RAPPORT

Hydrogeologisk utredning inför ansökan om tillstånd till täktverksamhet

Utredning avseende Cementas täktverksamhet i Slite

Framställd för:

Cementa AB

Författare

Johan Holmén fil.dr.
Jakob Eng fil.mag.

2022-04-08

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND, SYFTE OCH SAMMANFATTANDE SLUTSATS 1

2.0 VERKSAMHETSBESKRIVNING 1

3.0 KRONOLOGISK SAMMANSTÄLLNING AV TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR 5

4.0 FÄLTUNDERSÖKNINGAR 7

4.1 Geofysiska undersökningar 7

4.2 Nya borrhål 10

4.3 Borrhålsundersökningar 11

4.3.1 Spinner-flödesloggning 12

4.3.2 Pumptester 13

4.3.3 Slugtester 14

4.4 Kartläggning av vattentemperaturer 15

4.5 Siktanalyser 18

4.6 Mätning av salthalt 19

4.7 Fältobservationer efter kraftig nederbörd 19

5.0 KONCEPTUELL GEOLOGISK- OCH HYDROGEOLOGISKMODELL 20

5.1 Berggrund 21

5.1.1 Revkalksten 22

5.2 Strukturgeologi 26

5.3 Karst 28

5.4 Kvartära avlagringar 29

5.5 Jordvatten och berggrundvatten 30

5.6 Verifiering av konceptuell- och numerisk modell utifrån nya data 34

5.7 Hydrometeorologi 35

6.0 GRUNDVATTENNIVÅER OCH FLUKTUATIONSMÖNSTER 37

6.1 Övergripande beskrivning 37

6.2 Sammanfattande slutsatser om grundvattennivåer 42

7.0 HYDROGEOLOGI INOM NATURA 2000-OMRÅDENA SÖDER OM FILE HAJDAR 43

8.0 DEN KOMMUNALA VATTENTÄKTEN ÖSTER OM FILE HAJDAR 48

9.0 PÅVERKAN PÅ KLORIDHALT 51

10.0 VATTENBORTLEDNING FRÅN DAGBROTTEN 53

11.0 VATTENBALANS FÖR ETT OMRÅDE KRING DAGBROTTEN 55

12.0 TINGSTÄDE TRÄSK –VATTENBALANS OCH VATTENNIVÅER 57

12.1 Vattenbalans för Tingstäde träsk 57

12.2 Variation i avdunstning 58

12.3 Variation i nederbörd 59

12.4 Variation i vattennivå 61

12.5 Regionens vattenuttag 63

12.6 Korrelationsanalyser 64

12.7 Borrhål vid Tingstäde träsk 66

12.8 Vattennivån i Tingstäde träsk och File hajdar täkten 67

13.0 FRAMTIDA FÖRHÅLLANDEN – DEN TILLKOMMANDE BRYTNINGEN OCH NOLLALTERNATIVET 68

13.1 Inledning 68

13.2 Ansökt verksamhet 68

13.3 Metod 68

13.3.1 Vad är en grundvattenmodell? 68

13.3.2 Modell 2021 69

13.3.3 Gränsvärde för påverkansområde 75

13.3.4 Representativ grundvattennivå i brunnar 77

13.4 Påverkan som orsakas av den tillkommande brytning 77

13.4.1 Inledning 77

13.4.2 Olika beräkningsfall 77

13.4.3 Vatteninflödet till dagbrotten 79

13.4.4 Grundvattennivåer och påverkansområden 79

13.4.5 Den kommunala vattentäkten öster om File Hajdar 81

13.4.6 Grundvattenflöden i berget i de lokala avrinningsområdena nära File hajdar 81

13.4.7 Salthalter i grundvattnet kring Västra och Östra brotten vid vattenfyllning av dagbrotten 82

13.4.8 Salthalterna i de kommunala vattentäkterna öster om File Hajar kommer att påverkas 82

13.4.9 Påverkan på grundvattenflödena i VISS-området Stenkyrka 83

13.4.10 Påverkan på VISS-området Mellersta Gotland Roma 83

14.0 REFERENSER 95

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1: Utvärderad transmissivitet för enskilda identifierade sprickplan 13

Tabell 2: Utvärderade transmissivitet och magasinskoefficient från enhålspumptest. 14

Tabell 3: Utvärderad hydraulisk konduktivitet av testade borrhål. 15

Tabell 4: Hydraulisk konduktivitet beräknad utifrån siktanalyser av jordprover (Gustafson, 1984). 19

Tabell 5: Av SMHI uppskattad och beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende olika platser på Gotland. (Från studie av SGU för Gotlands kommun, Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003). 35

Tabell 6: Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende File hajdar och Slite. 36

Tabell 7: Medelnivåer sommar och vinter i bergbrunnar i anslutning till Hejnum Kallgate Natura 2000. 46

Tabell 8: Vattenbortledning. Uppmätta volymer för år 2021. 55

Tabell 9: Vattenbortledning. Representativa volymer för år 2021, baserade på uppmätta volymer. 55

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1: Översiktskarta 2

Figur 2: Ansökt brytområde i Västra brottet 3

Figur 3: Ansökt brytområde i File hajdar täkten (dagbrott). 4

Figur 4: Illustration av en liten del av fotogrammetrimodellen för File hajdars dagbrott. En översiktlig kartering utfördes av dominerande sprickor (röda linjer). Vy mot väster (Golder, 2020b). 6

Figur 5: Samtliga borrhål och grundvattenrör inom File hajdar området. Alla borrhål där inte hydrauliska tester eller nivåmätningar gjorts efter 2016 redovisas som historiska borrhål oavsett om dessa fortfarande är brukbara eller ej. 7

Figur 6 Mätprofiler för geofysiska undersökningar. 8

Figur 7: 3D-sammanställning av uppmätta resisitivitetsprofiler i syd, väst och norr. 9

Figur 8: Östlig resistivitesprofil. 10

Figur 9: De borrhål som har undersökts under hösten 2021 - vintern 2022. 11

Figur 10: Temp BH1801B, SGU1101, BH1801 - 03J, BH1905+06J, VK1802. 16

Figur 11: Uppmätta vattentemperaturer 1–3 februari 2022. 17

Figur 12: Överfulla vätar, uppströmmande vatten ur ytliga sprickstrukturer samt ca 1 meter högt spår av äldre kalkbrytning observerades. 20

Figur 13: Principskiss geologi File Hajdar och västra brottet. 22

Figur 14: De små mörkgröna områdena är revkalksten som kan identifieras vid markytan. Kartering av SGU (Sveriges Geologiska Undersökning). T.h. valda delar av kartans legend Från: SGU, 2017a. 23

Figur 15: Tolkade profiler baserade på geofysiska undersökningar av SGU (SGU, 2017a). 24

Figur 16: Exempel på utdrag ur SGUs geofysiska modell (SGU, 2017a). Figurerna har kompletterats med en pil eller elips vid Filehajdartäktens ungefärliga position. Samma legend gäller för både profiler och

utdrag i plan. Notera att den litologiska tolkningen (till skillnad SGU, 2009) ej särskiljer på revkalksten och revartad kalksten. 25

Figur 17: Tolkat område med revkalk i numeriska modellen. 26

Figur 18: Exempel på vattenförande sub-horisontella zoner i berget, som kan observeras i dagbrotten. 27

Figur 19: SGUs jordartskarta kompletterad med nuvarande täktutbredning och Natura 2000 områden 30

Figur 20: Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar. Det är i grundvattnet i jordlagren som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. (Figur ursprungligen från SGU-rapport 2017:01, (SGU, 2017b) Figuren är modifierad.) 31

Figur 21: Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. En mycket stor variation i grundvattennivå har observerats i borrhålen inom det studerade området. (Figur ursprungligen från SGU-rapport 2017:01, (SGU, 2017b) Figuren är modifierad). 32

Figur 22: Observerad variation i grundvattennivå i BH2001 (berg) och BH1905J (jord) under ca två år. Perioden är 20-06-18 till 22-02-03. 33

Figur 23: Borrhålens läge vid kanten av Hejnum Kallgate. 34

Figur 24: Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende File Hajdar och Slite. 37

Figur 25: Observationspunkter för grundvattennivåer i jord och berg. 38

Figur 26: Observerad variationsvidd i vattennivåer i observationspunkter, statistik från 2015–2022. 39

Figur 27: Exempel på typisk nivåfluktuation i berg (blå) och jord (grön), visualiserat för observationspunkt BH1801J (jord) och BH1801B (berg) söder om File hajdar-täkten. Observera att trycknivån i bergborrhålet mäts med tryckgivare i rör med tätt lock som medger mätning av trycknivåer över överkant rör, vilket förekommer vid högvattennivå. 39

Figur 28: Exempel som visar att den stora fluktuationen i berggrundvattennivåer inom området förevarit under lång tid innan File hajdar-täktens tillkomst 1983, här illustrerat av nivåer i observationspunkterna SGU1101 och SGU11012, sydväst om File hajdar-täkten. 40

Figur 29: Exempel som visar att grundvattentrycknivåer i berg, i anslutning till File hajdar-täkten, under stora delar av året ligger lägre än täktbotten. 40

Figur 30: Exempel som visar att historiska grundvattentrycknivåer i berg i nära anslutning till File hajdar-täkten före täktens tillkomst. 41

Figur 31: Exempel som visar att grundvattentrycknivåer vid den kommunala berggrundvattentäkten, sydost om File hajdar-täkten, samvarierar med grundvattentrycknivåer i berg väster om vattentäkten, samt att absolutnivåerna vid vattentäkten ligger lägre än nivåerna vid bergtäkten. Grundvattentrycknivåer vid vattentäkten illustreras med en medelvattennivå för brunnar ingående i täkten. 41

Figur 32: Exempel som visar att ett likartat fluktuationsmönster som redovisas i Figur 31 även förekommer i riktning VSV om berggrundsvattentäkten. 41

Figur 33: Exempel som visar de avsänkta grundvattennivåerna kring västra brottet. 42

Figur 34: Konceptuell beskrivning av den hydrogeologiska funktionen under vinter respektive sommar i en tvärprofil från Filehajdar ner över Hejnum kallgate. 45

Figur 35: Observerad variation i grundvatten i BH1801B (berg), BH2001(berg), BH1801J (jord) och BH1906J (jord). Perioden är 19-07-01 till 2021-07-15. 46

Figur 36: I Tabell 7 redovisade borrhål i anslutning till Hejnum Kallgate. 47

Figur 37: Läge för vattentäkten (produktionsbrunnarna). Vattentäkten ligger öster om File hajdar och mellan dagbrottet på File hajdar och dagbrotten i Slite. 48

Figur 38: Analys av variationen i vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar. Period: 1998–2021. 49

Figur 39: Korrelation mellan sommarnederbörd (maj-augusti) och uppmätta lägstanivåer. 50

Figur 40: Årligen uppmätta kloridhalter sommartid i Dyhagens vattentäkt 51

Figur 41: Gränsen mellan salt och sött grundvatten kartlades redan på 1950-talet i Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland, Helge Tullström (1955) (kurvorna återritade på nutida karta). 52

Figur 42: Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2006 till 2021. 54

Figur 43: Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2013 till 2021. 54

Figur 44: Område som beaktas vid vattenbalansen. 56

Figur 45: Vattenbalans för Tingstäde träsk för ett normalår. 58

Figur 46: Beräknad potentiell avdunstning. Data från Visby flygplats. Fördelningsfunktion. 59

Figur 47: Uppmätta mängd nederbörd vid SMHI:s station på Hejnum hällar, period 1971 till 2021. 60

Figur 48: Uppmätt årsnederbörd vid SMHI:s station på Hejnum hällar. Fördelningsfunktion. 61

Figur 49: Medelvärdesbeskrivning av hur vattennivån i Tingstäde träsk varierar under ett år, beräknat baserat på medelvärden för perioden 2010 till 2020 (10 år). 62

Figur 50: Tingstäde träsk. Vattennivåns variation under perioden 1974 till 2020. Analysen baseras på årsvärden, som sin tur har beräknats baserat på veckovärden. Notera att i denna analys är vattennivån för år 2020 delvis baserad på konstruerade värden från tidigare år, och är därför preliminära. 63

Figur 51: Regionens årliga vattenuttag ur Tingstäde träsk. Period 1991 till 2019. 64

Figur 52: Korrelationsanalys. Medelnivå i Tingstäde träsk som funktion av regionens vattenuttag. Period 1991–2019. 65

Figur 53: Korrelationsanalys. Medelnivå i Tingstäde träsk som funktion av nederbörden vid Hejnum hällar. Period 1991–2019. 65

Figur 54: Korrelationsanalys. Medelnivå i Tingstäde träsk som funktion av den potentiella avdunstningen vid Visby flygplats. Period 1991–2019. 66

Figur 55: Uppmätta vattennivåer i BH2006 och medelvärden för vattennivåer i Tingstäde träsk. 67

Figur 56: Topografin och Cementas dagbrott med omgivning, som de är geometriskt definierade för: (i) Den initiala situationen, som representerar situationen år 2021, markerat som ljust grått. (ii) Den framtida ansökta situationen fullt utbrutet om 4 till 5 år, markerat som mörkgrått. 68

Figur 57: Karta över Gotland. Den röda linjen markerar modellens yttre begränsning. Karta från Wikipedia. ..71

Figur 58: Modellens storlek och topografi. 1= File hajdar dagbrott. 2= Västra brottet. 3= Tingstäde träsk. Fet svart linje markerar modellens yttre begränsning. 71

Figur 59: Ett tvärsnitt i Väst-Östlig riktning genom File hajdar dagbrott. Figuren visar den konceptuella indelningen i olika lager och strukturer, som dessa är definierade i modellen, samt beräkningsnätets celler. Notera att figuren endast avbildar modellens östra del (File hajdar och Slite). Den vertikala skalan är c:a 15 gånger större än den horisontella skalan. Vid en jämförelse mellan scenario LT1-2021 (oktober 2021) och Scenario LT2 (ansökt utökning fullt utbrutet) blir skillnaden i storlek på File hajdar dagbrott mycket liten. I denna figur motsvarar utökning att västra väggen på File hajdar dagbrott flyttas 100m mot väster, vilket motsvarar tre celler i figuren ovan (vid dagbrottets västra

vägg). Bokstäverna vid figurens högra sida markerar de stora vattenförande zonerna, numrerade A till I. 72

Figur 61: Scenario LT1B (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för lågvattensituationen i juli. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47m. (Se sek 13.3.4). 74

Figur 62: Jämförelse av opåverkade och påverkade vattennivåer. De påverkade nivåerna är konstruerade. ..76

Figur 63: Jämförelse av opåverkade och påverkade vattennivåer. De påverkade nivåerna är konstruerade. ..76

Figur 64: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. Högvattensituationen (december). Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) [Scenario LT2 fall S] minus [Scenario LT1B]. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 1 m. Tunn röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 0,3 m. Notera att påverkansområdena har beräknats för en situation då de utökade dagbrotten har varit dränerade i många år. 84

Figur 65: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. Lågvattensituationen (juli). Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) [Scenario LT2 fall S] minus [Scenario LT1B]. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 1 m. Tunn röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 0,3 m. Notera att påverkansområdena har beräknats för en situation då de utökade dagbrotten har varit dränerade i många år. 85

Figur 66: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. Högvattensituationen (december). Figuren visar det påverkansområde som erhålls då dagbrotten succesivt har vattenfyllt under 5år i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3m. 86

Figur 67: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. Lågvattensituationen (juli). Figuren visar det påverkansområde som erhålls då dagbrotten succesivt har vattenfyllt under 5år i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3m. 87

Figur 68: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. Högvattensituationen (december). Figuren visar det påverkansområde som erhålls med vattenfyllda dagbrott i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3 m. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda. Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden. 88

Figur 69: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. Lågvattensituationen (juli). Figuren visar det påverkansområde som erhålls med vattenfyllda dagbrott i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3 m. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda. Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden. 89

Figur 70: Scenario LT2 fall T: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från nuvarande situationen (2021) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek succesivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3,75. 90

Figur 71: Scenario LT1noll4a (T), succesiv vattenfyllning av dagbrotten. Nollalternativ om c:a 5 år. Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten succesivt vattenfylls. 91

Figur 72: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Nuvarande situation 2021 (LT1) och Ansökt utökning, fullt utbrutet och dränerat (LT2). 92

Figur 73: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Nuvarande situation 2021 (LT!) och Nollalternativ om 40 år med helt vattenfyllda dagbrott (LT2Noll40a) 93

Figur 74: Det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för VISS-området Stenkyrka är markerat med en brun linje. Det största påverkansområdet (Lågvattensituationen för Noll alternativet) ör markerat med lila linjer. Förändringen i utflöde från VISS-området Stenkyrka har beräknats längs med den gula punktstrejkade linjen. 94

BILAGOR

BILAGA A
Översiktskarta med undersökningspunkter

BILAGA B
Geofysiska undersökningar 2021

BILAGA C
Hydrogeologisk fältrapport mars 2022

BILAGA D
Modellrappport 2021

BILAGA E
Referenser, tidigare utredningar för Cementa

1.0 BAKGRUND, SYFTE OCH SAMMANFATTANDE SLUTSATS

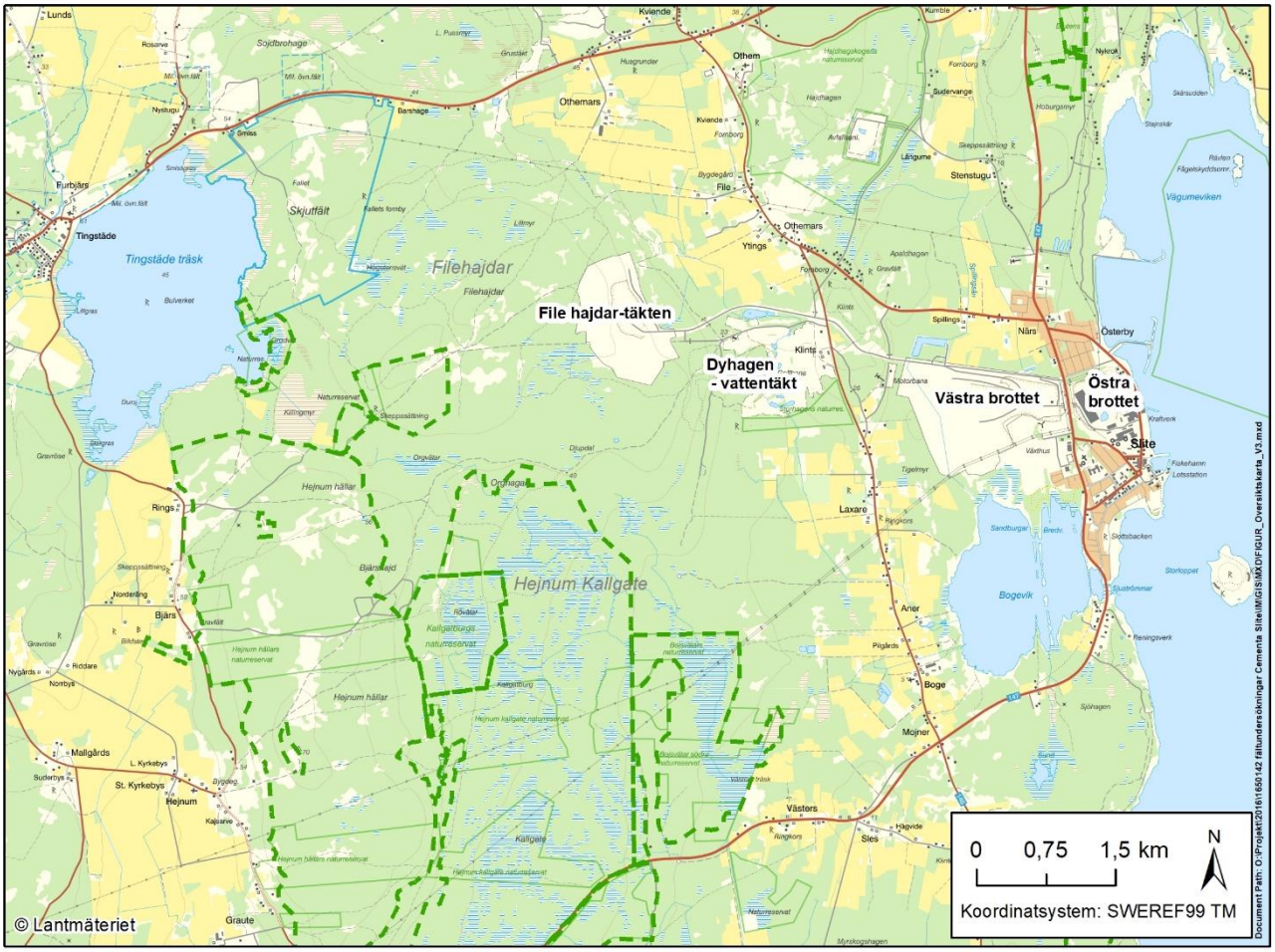
Inför Cementa ABs (Cementa) tillståndsansökan om fortsatt kalkstensbrytning i täkten på File hajdar samt i Västra brottet har Golder Associates (Golder) genomfört hydrogeologiska undersökningar. Golder är sedan februari 2022 en del av WSP men som förtydligande är det är alltså samma projektorganisation som arbetat vidare. Undersökningarna har genomförts som ett komplement till de undersökningar som tidigare genomförts inför den ansökan av ett långvarigt bryttillstånd vilken avvisades av Mark- och miljööverdomstolen sommaren 2021.

Rapporten har tagits fram för att ge en beskrivning av grundvattenförhållandena vid Cementas dagbrott i Slite på Gotland och den hydrogeologiska påverkan som kan förväntas av fyra års fortsatt täkt- och vattenverksamhet.

Sammanfattningsvis bedöms fortsatt brytning av den utpekade volymen kalksten och märgelsten endast ha en liten påverkan på grundvattenförhållandena jämfört med nuläget. I nollalternativet, dvs. om länshållningen upphör och vattnet stiger, kommer även grundvattennivåerna i omgivningen att stiga. På grund av de speciella hydrogeologiska förhållandena i området, med stora och hastiga variationer i grundvattennivå, sker höjningen i omgivningen förhållandevis snabbt om man studerar de torra sommarmånaderna och skapar en vattentillgång som aldrig tidigare har förekommit. Vintertid är skillnaden mellan nuläge och nollalternativ mindre

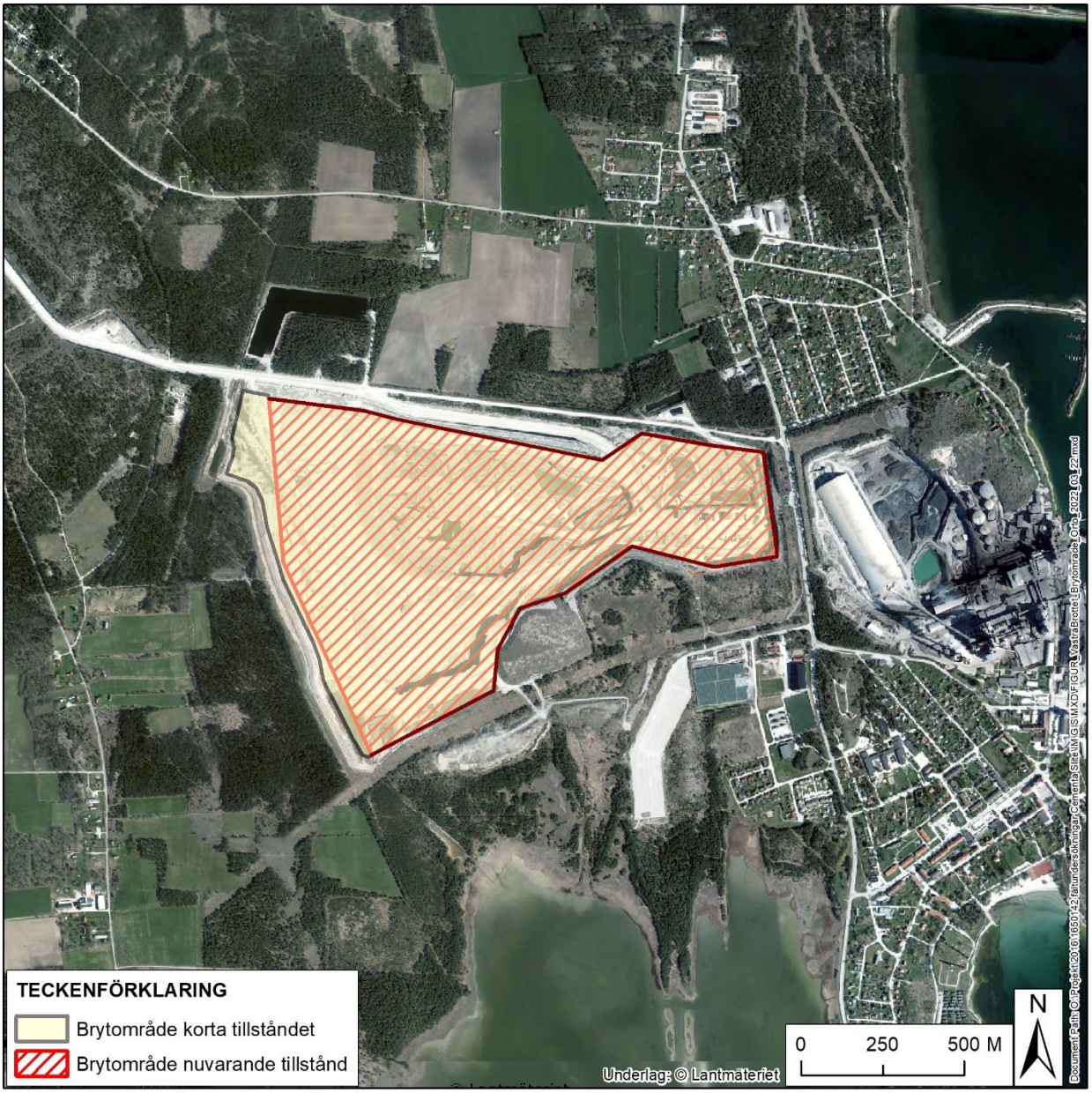
2.0 VERKSAMHETSBESKRIVNING

Cementa bedriver idag täktverksamhet i två täkter i närheten av Slite, Västra brottet och File hajdar-täkten, se Figur 1. Brytningen av kalksten i Västra brottet påbörjades i slutet av 1960-talet och i File hajdar-täkten runt 1983. Cementa har tidigare brutit kalksten i ett mindre tredje dagbrott – Östra brottet - beläget strax öster om Västra brottet. Detta används inte längre för kalkstensbrytning, utan för annan verksamhet (bl.a. lagring av råvaror och bränsle). Uppe på File hajdar finns spår av äldre, småskaligare brytverksamhet.



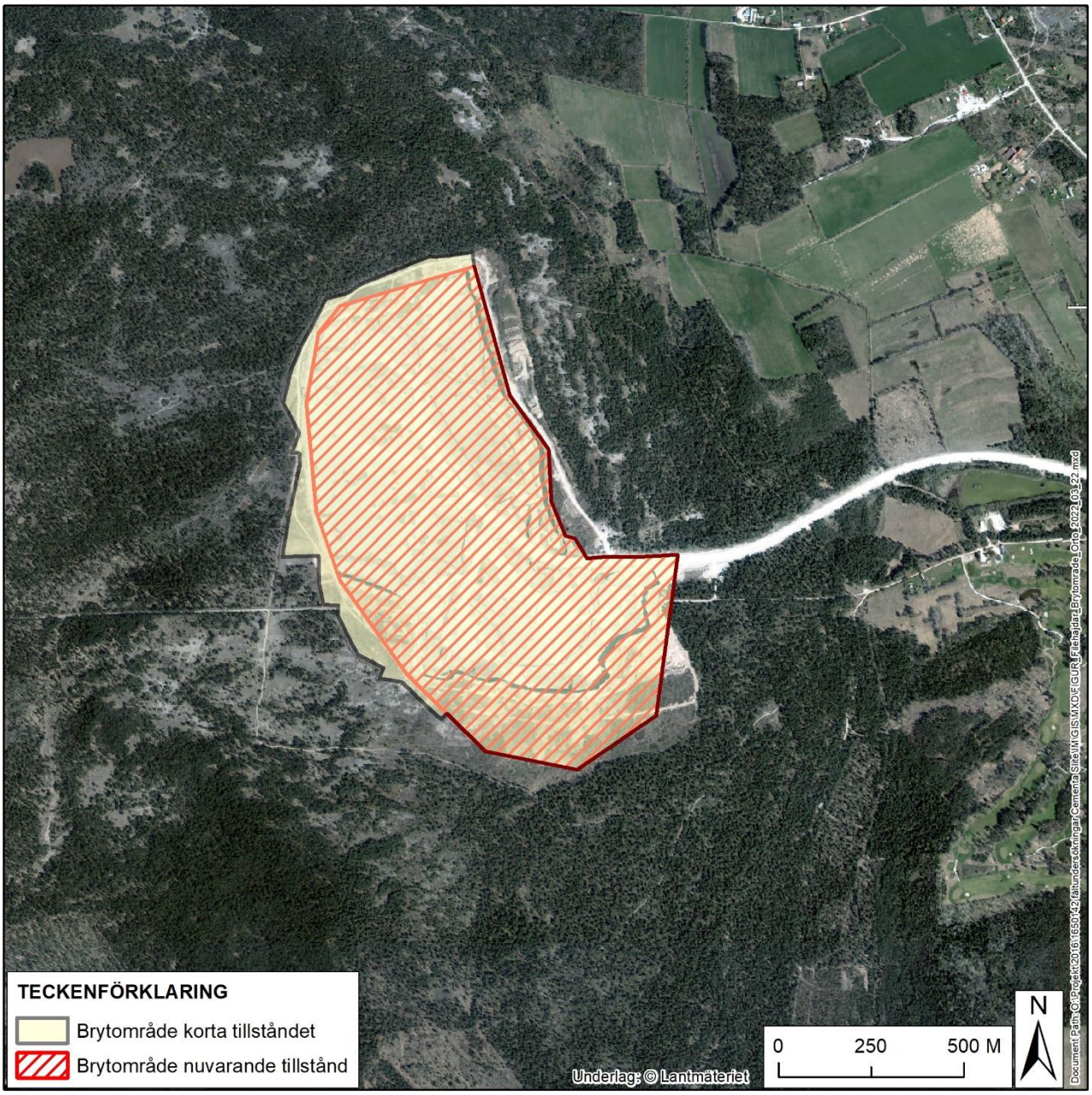
Figur 1: Översiktskarta

Västra brottet är beläget vid Slite samhälles västra kant, ca 700 m från havet. Västra brottet har ett lägsta brytdjup på ca -48 m. Täkten är bruten i två pallar (nivåer) och ingen brytverksamhet har skett i den nedre pallen (pall 2) på senare år, utan denna har sedan 2017 låtit vattenfyllas. Pall 2 är i nuläget i princip återfylld med vatten. En detaljerad bild av Västra brottet ges i Figur 2. En skiss som i profil visar de olika geologiska lagren presenteras i Figur 13.



Figur 2: Ansökt brytområde i Västra brottet

File hajdar-täkten är beläget ca 3 km väster om Västra brottet, och har en bottennivå på ca +20 m. Omgivande markyta sluttar svagt mot öster med en marknivå öster om täkten på ca +35 m och väster om täkten ca +50 m. En detaljerad bild av File hajdar-täkten ges i Figur 3.



Figur 3: Ansökt brytområde i File hajdar-täkten (dagbrott).

Mellan de två täkterna ligger den kommunala vattentäkten Dyhagen, som försörjer Slite med vatten. Vattentäkten består av sju bergborrade produktionsbrunnar placerade i ungefärlig nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 och 500 m. Pumpbrunnarna är placerade i en äldre strandzon vilken bedöms sammanfalla med en krosszon med stor vattenförande förmåga.

3.0 KRONOLOGISK SAMMANSTÄLLNING AV TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Ett stort antal undersökningar har genomförts i och omkring Cementas täkter under de senaste dryga halvseklet. En fördel med geologisk och hydrogeologisk data är att den inte blir inaktuell, utan ny kunskap adderas till vad som tidigare var känt.

SGU borrade främst under 1970-talet över 50 borrhål i området, genomförde en strukturgeologisk kartläggning, provpumpningar och slugtester. I samband med Cementas tillståndsansökningar har kunskapsunderlaget utökats med ytterligare undersökningar. Golder genomförde inför 1990 års tillståndsansökan en strukturgeologisk kartering, provpumpningar, slugtester, manschettester och resitivitetsloggningar.

Vidare har en rad undersökningar genomförts för den närbelägna kommunala vattentäkten vilka har bidragit till den hydrogeologiska förståelsen för området. Från vattentäkten har även erhållits pumpflöden, nivåmätningar och uppmätta kloridhalter.

2011 borrade Golder - på uppdrag av Cementa - 11 nya undersökningshål. 2014 försågs 6 av dessa med kontinuerlig nivåövervakning.

2016–2017 genomförde Golder – återigen på uppdrag av Cementa - omfattande fältundersökningar. Ytterligare 6 borrhål borrades. I dessa nya borrhål samt i flera äldre borrhål utfördes enhålspumptester/infiltrationstester, borrhålsfilmning, geofysisk loggning (ATV, temp, resistivitet, NGAM). Vidare genomfördes provpumpning under längre tid med observationer i ett stort antal omgivande borrhål inklusive den kommunala vattentäkten, mätning av grundvattennivåer i ett stort antal borrhål och installation av tryckgivare för högupplösta nivåmätningar i fler borrhål. Undersökningarna syftade framförallt till att verifiera den upprättade konceptuella modellen, undersöka bergets genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) och hur denna varierar mellan olika områden och på olika djup i berget (heterogenitet). Vidare genomfördes flera mindre studier för att besvara specifika frågeställningar, t.ex. bedömdes grundvattenbildning från ytvattendike, platser med utströmmande grundvatten karterades Golder (2017), och en litteraturstudie gjordes om bottenförhållandena i Tingstäde träsk (Golder, 2016).

2018 installerades ytterligare 3 borrhål i berg, 3 grundvattenrör för studier av vattennivåer i strandvallar samt 4 rör för mätning av vattenkemi och vattennivåer i våtmarker. Syftet med dessa undersökningar var framför allt att verifiera den konceptuella modell som upprättats för att beskriva hur skyddade våtmarker i Natura 2000-områden (Hejnum Kallgate m.fl.) söder om File hajdar-täkten försörjs med vatten, inom det vetenskapliga fält som brukar beskrivas som ekohydrologi. Arbetet gjordes nära integrerat med de biologiska studier som Cementa låtit göra i området. Samtliga nya hål och rör samt ett antal äldre hål försågs med tryckgivare för att timme för timme kunna studera hur grundvattennivåerna fluktuerar i både berg och jord. Under 2018 inleddes även specifika studier över vilken påverkan en förändrad användning av Spillingsmagasinet får för grundvattennivåerna i dess närområde (från processvattenmagasin för Cementa till magasin för råvatten till ett planerat dricksvattenverk åt Region Gotland), Golder (2019).

2019 gjordes ytterligare studier för att bättre beskriva strandvallarnas funktion för ekohydrologin och belysa skillnaden mellan grundvatten i jord och berg. Jordprov togs på olika platser i strandvallen för att undersöka kornstorleksfördelning i ytan och på djupet (Golder, 2020a).

De borrningar som genomfördes under perioden 2018–2019 placerades precis utanför Natura 2000-områdena. Under 2020 erhölls tillstånd för borrning även inom Hejnum Kallgate Natura 2000-området. Sammanlagt borrades 8 brunnar i berg, varav två placerades inom Natura 2000-området. Därtill installerades också ett grundvattenrör inom Natura 2000-området. De nyborrade brunnarna samt ytterligare 5 borrhål med fokus på Natura 2000-områdenas närhet loggades med avseende på flöden från specifika sprickor

(flödesloggning) och elektrisk konduktivitet i borrhålsvattnet (Golder, 2020c). Efter avslutade tester installerades tryckgivare för högupplöst nivåövervakning även i dessa borrhål. De nya resultaten gav även en möjlighet att jämföra den upprättade konceptuella och numeriska modellen mot ny data från platser där det tidigare inte funnits någon data tillgänglig (Golder, 2020d). Jämförelsen beskrivs mer ingående i avsnitt 5.6 nedan.

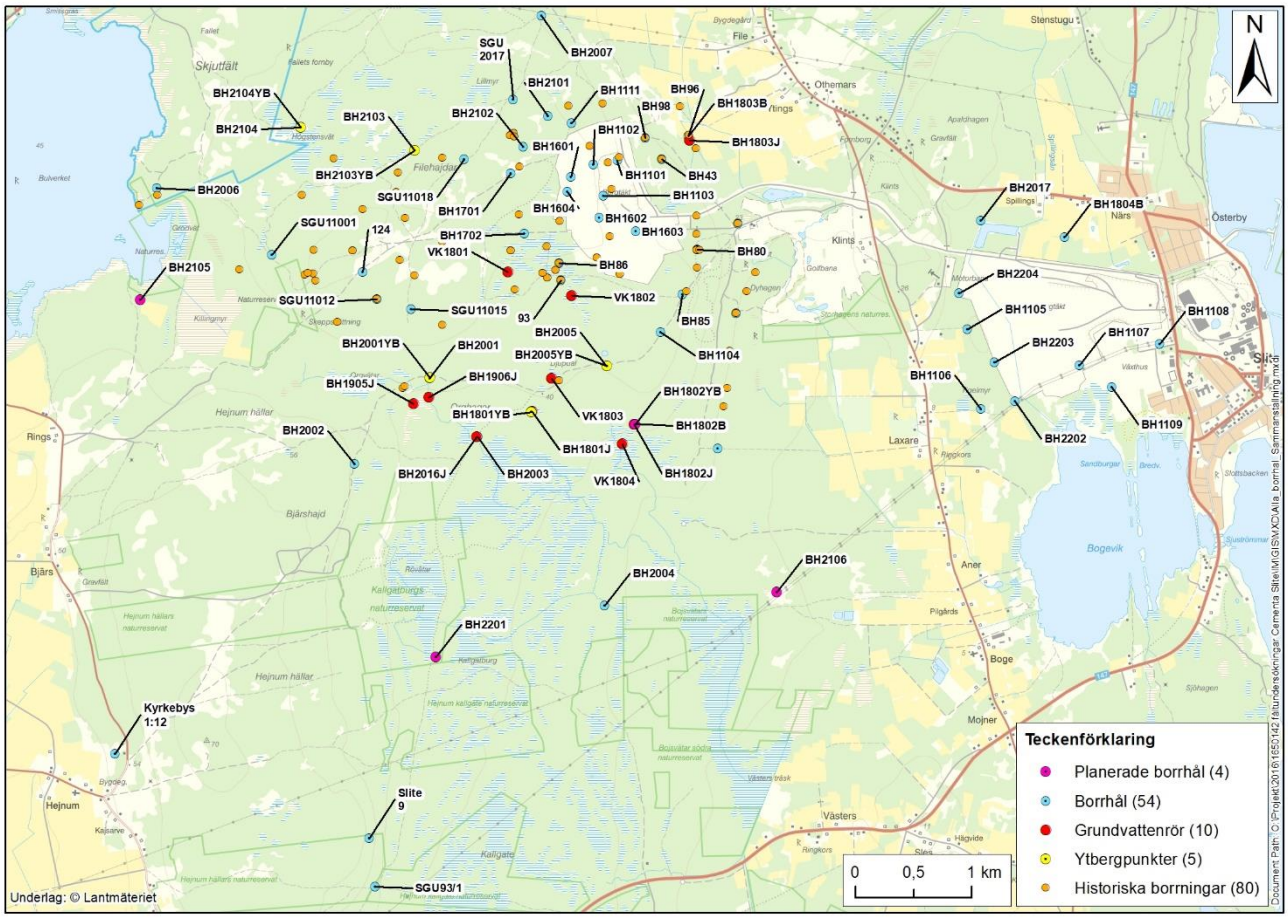
Vad gäller eventuell karst – vittrade genomsläppliga ådror i berget – i anslutning till File hajdar täkten, har inga tecken på djupgående karst observerats i undersökningsresultaten. Det finns inte heller några sådana tecken i den flera kilometer långa bergskärning som Västra brottet och File hajdar-täkten tillsammans utgör. För att ändå ytterligare studera detta gjordes sommaren 2020 en strukturgeologisk studie av File hajdar-täkten. Inom ramen för denna studie upprättades även en fotogrammetrimodell från drönarfoto av en betydande del av täktväggen, se Figur 4 (Golder, 2020b). Sammanfattningsvis kan sägas att resultaten från denna studie överensstämmer väl med egna observationer och observationer utförda av SGU m.fl.

Figur 4: Illustration av en liten del av fotogrammetrimodellen för File hajdars dagbrott. En översiktlig kartering utfördes av dominerande sprickor (röda linjer). Vy mot väster (Golder, 2020b).

Som framgår ovan, har det hela tiden skett en utökning av antalet borrhål som är föremål för högupplöst mätning. I dagsläget är 6 borrhål försedda med automatstationer (skickar automatiskt kontinuerlig data). Vidare finns det i 32 rör eller brunnar finns installerade tryckgivare (divrar), som mäter nivåerna varje timme. Därtill görs regelbundna manuella lodningar i drygt 20 borrhål och brunnar (i och utanför Cementas kontrollprogram) i täkternas närområde. Dataunderlaget för hur grundvattennivåerna varierar byggs därmed hela tiden på. I Figur 5 nedan redovisas samtliga kända borrhål i området.

Våren 2021 genomfördes en studie av möjligheterna att beräkna grundvattennivåer för de tidsperioder då det saknas bra uppmätta tidsserier. Idén var att utifrån befintliga tidsserier och t.ex. meteorologiska data kunna beräkna grundvattennivåerna vid olika tillfällen, för att sedan i ett nästa steg kunna bedöma historisk påverkan från t.ex. täktverksamheten. Arbetet genomfördes av två studenter på Chalmers tekniska högskola, som ett examensarbete för masterexamen (Ali & Patel, 2021).

Studien visar att de exceptionella nivåfluktuationerna på File hajdar gör tidsserierna ytterst känsliga för mätfrekvensen. I dagsläget går det därmed inte att göra den här typen av modellerade nivåer med en noggrannhet tillräcklig för att göra relevanta studier av eventuell påverkan. I framtiden, när de högupplösta tidsserierna är längre (om ca 5–7 år), bör det dock vara möjligt.



Figur 5: Samtliga borrhål och grundvattenrör inom File hajdar området. Alla borrhål där inte hydrauliska tester eller nivåmätningar gjorts efter 2016 redovisas som historiska borrhål oavsett om dessa fortfarande är brukbara eller ej.

4.0 FÄLTUNDERSÖKNINGAR

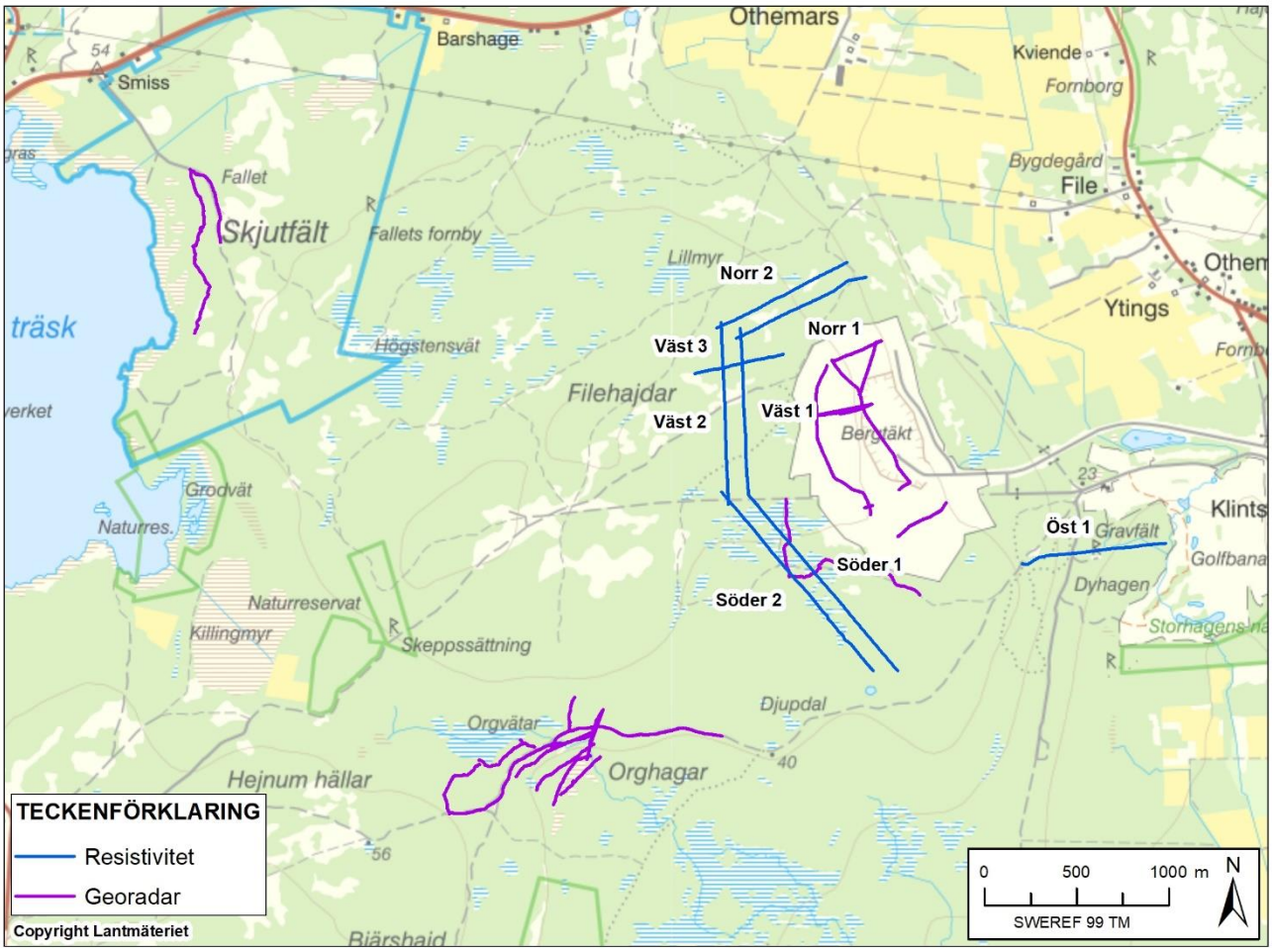
Som framgår av avsnitt 3.0 ovan fanns det sedan tidigare ett gediget kunskapsunderlag avseende de hydrogeologiska förhållandena runt täkterna. För att ytterligare stärka den konceptuella geologiska modellen och ytterligare minska osäkerheterna i områdets hydrogeologiska funktion, har fler tester utförts under hösten 2021 och vintern 2022. En mer detaljerad beskrivning av hur de olika fältundersökningarna har genomförts redovisas i Hydrogeologisk fältrapport mars 2022 (BILAGA C).

4.1 Geofysiska undersökningar

För att undersöka förekomsten av mer vattenförande strukturer i berget så som karst, genomfördes under september och november 2021 geofysiska undersökningar med markradar och resistivitet. Undersökningarna beskrivs mer ingående i BILAGA B.

Markradarundersökningarna utfördes med Guideline Geos Proex-system tillsammans med en 30 MHz RTA-antenn. Trots att mätningarna gjordes två gånger med något justerade instrumentinställningar har data visat sig vara av undermålig kvalité, varför mätningarna inte har kunnat utvärderats. Den dåliga datakvalitén beror sannolikt på en ogynnsam geologi för radarundersökningar. Antagandet om ogynnsam geologi styrks av det faktum att SGU år 2016, gjorde 31 georadarprofiler runt om på Gotland för att undersöka anomalier från SKYtem undersökningar, men lyckades inte erhålla någon användbar data från de två mätprofilerna inom det nu undersökta området (SGU, 2017a).

Inom resistivitetsundersökningen mättes åtta resistivitetsprofiler, på sammanlagt 8 km i området kring File hajdar-täkten under två kampanjer i september och i november 2021. Undersökningarna i Slite har utförts med multielektrodsystemet Terrameter LS2 (Guideline Geo). Mätningarna utfördes med gradientkonfiguration, vilket medger en hög känslighet för både laterala och vertikala strukturer. Kablar med ett minsta elektrodavstånd på 5 m användes, vilket medför ett största nedträngningsdjup på ca 70–80 m. Data har filtrerats med avseende på data med höga standardavvikelser (>2 %), samt datapunkter som avviker stort från beräknade skenbara resistiviteter. Resistivitetsmodellerna är av mycket god kvalité, har lågt anpassningsfel och har förhållandevis god samstämmighet i parallella profiler samt i skärningspunkter i korsande profiler. Modellerna är således geologiskt trovärdiga.



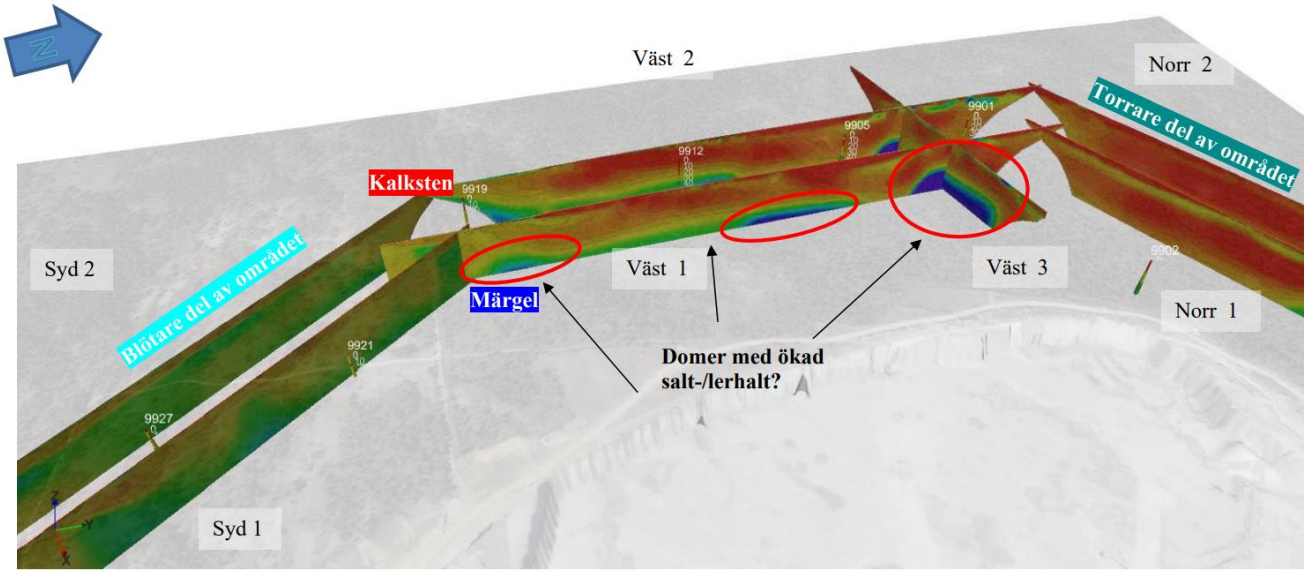
Figur 6 Mätprofiler för geofysiska undersökningar.

Berggrunden längs den norra och större delen av den västra profilen är generellt sett mer högresistiv än den södra profilen, vilket kan bero på att denna del av File hajdar är torrare och/eller innehåller lägre halter av lermineral. Detta medför att det i modellsektionerna inte finns någon entydig gräns mellan kalksten och underliggande märgel och därmed inte heller någon tydlig korrelation mot närliggande borrhål. Alla sektioner blir dock mer lågresistiva mot djupet.

I de norra och västra profilerna återfinns en eller flera mer ytliga, horisontella/subhorisontella struktur från markytan till ca 20–30 m djup, ofta med en mäktighet på ca 10–15 m. Denna typ av struktur sammanfaller ofta vid markytan med topografiska lågpunkter. Efter den första kampanjen har en av dessa strukturer blivit undersökt med ett borrhål i den norra profilen (BH2101).

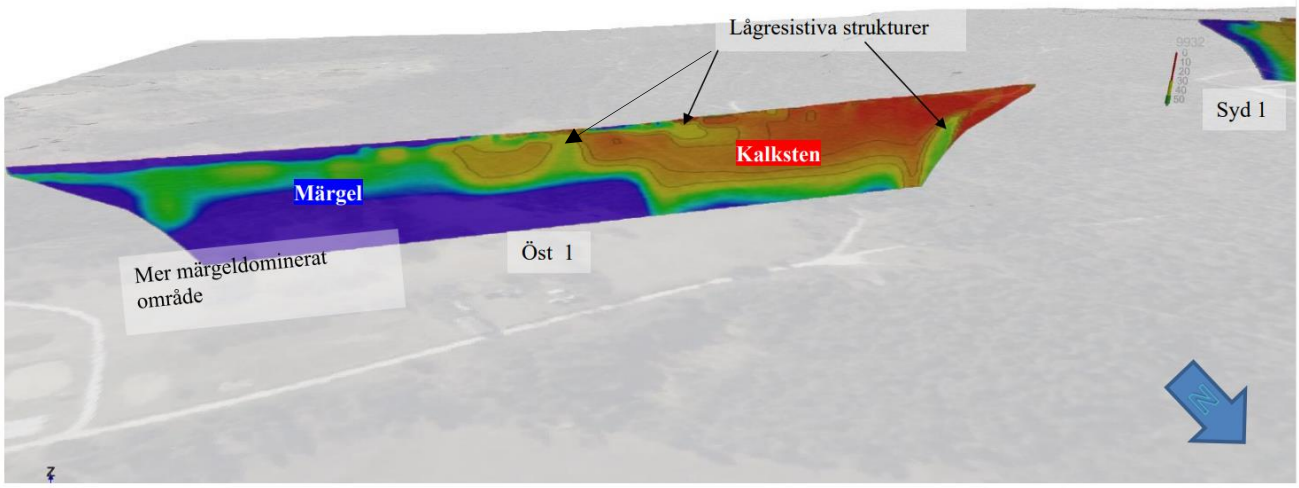
Fem till sex tydliga lågresistiva anomalier har identifierats i resistivitetsmodellerna i den norra, västra och i den östra profilen. Vidare har, ett flertal mindre distinkta anomalier identifierats i de södra profilerna. Anomalierna i den västra profilen utgörs av tre domliknande strukturer på ca 40 - 60 m djup med en förhållandevis låg resistivitet (200–500 Ωm; Figur 7). Den tydligaste domen (vid profilavsnittet 160–250 m) har blivit borrad (BH2102) efter den första resistivitetskampanjen, där en lägre resistivitet tydligt sammanfaller med ökad ler-, salt- och vattenhalt i borrhålet. I den andra kampanjen mättes förutom en parallell profil (väst 2), en tvärprofil för att avgränsa strukturen i väst-östlig riktning. Det visar sig att anomalin sammanfaller med en topografisk, linsformad struktur i terrängskuggningskartan. Det är därför tydligt att denna anomali är förhållandevis välavgränsad i modellsektionerna och utifrån resistivitetsmodeller och borrningsresultat kan slutsatsen dras att denna struktur inte utgör karst, utan snarare märgel med förhöjda ler och salthalter.
Anomalin kan kopplas till ett mot väster/nordväst stupande lager av märgelsten som identifierats i SGU:s SKYtemundersökningar (SGU, 2017a), se Figur 16, avsnitt 5.0.

Modellerna för de södra profilerna karakteriseras av flertalet mer lågresistiva strukturer. I syd 1 består dessa till stor del av tunna, vertikala zoner på ett djup av ca 15–20 m som fortsätter mot djupet. Syd 2 är genomgående mer lågresistiv och består av mer ellipsformade zoner på ca 20 m djup. Dessa strukturer ser inte ut att sammanfalla med varandra, utan verkar vara mer isolerade företeelser. Skillnaden i resistivitet mellan dessa zoner och omgivande berg är nästan försumbar (några hundra Ωm) - dessa anomalier bör med andra ord inte utgöra några större karst- /sprickformationer. Resistiviteter för olika geologiska material kan variera inom väldigt stora spann. En lera under grundvattenytan kan ha en resistivitet mellan 10 – 1000 Ωm, medan en torr lera kan ligga på ett intervall om 4000 – 100 000 Ωm. En ung sedimentär bergart, så som kalksten och märgel kan ha resistivitet inom 10 – 100 000 Ωm (GeoVista, 2021).



Figur 7: 3D-sammanställning av uppmätta resisitivitetsprofiler i syd, väst och norr.

I den östra profilen (se Figur 8) finns två tydliga lågresistiva strukturer i kalkstenen samt en något diffusare lågresistiv struktur ytterligare åt öster. En brant, tunn struktur i profilavsnittet 70–125 m som stupar mot ostnordost. Anomalin är tydlig från ca 20 m djup, men kan ses ända upp mot markytan. I profilavsnittet 350–410 m finns en tjockare, flackare struktur från markytan ner till ca 20 m djup som stupar mot västsydväst. En något diffusare, mer vertikal struktur mitt på profilen sammanfaller med läget för de kommunala produktionsbrunnarna. Alla eller någon av dessa tre anomalier bedöms vara den geologiska struktur som i äldre undersökningar (bl.a. Viak 1974) benämnts krosszonen. Denna har identifierats hydrauliskt och bidrar till en högre vertikal hydraulisk konduktivitet än märgelstenen i stort. Den östra delen av profilen är mer märgeldominerad och ett saltare grundvatten bidrar till att sänka resistiviteten mot djupet.



Figur 8: Östlig resistivitesprofil.

4.2 Nya borrhål

Sammanlagt 9 nya borrhål har borrats under perioden oktober 2021 – januari 2022 för att ytterligare öka den hydrogeologiska kunskapen om området. Samtliga borrningar är utförda av Ahlqvists brunnsborrning med 115 mm hammarborrning. Borrhålens läge visas i Figur 9 nedan.

Efter den första omgången av geofysiska undersökningar borrades två nya borrhål (BH2101 och BH2102) längst profilernas sträckning mot identifierade lågresistiva anomalier. I samband med dessa borrningar provtogs borrkax (var femte meter) för klassificering och analys av klorid och lerinnehåll på Cementa Researchs laboratorium, resultatet redovisas i BILAGA C.

Två nya 60 m djupa borrhål (BH2103 och BH2104) borrades längre västerut på File hajdar inom områden där borrhål historiskt sett har saknats och där SGU:s geofysiska modell (se avsnitt 5.1.1) indikerar revkalksten. Syftet med dessa hål är därmed att undersöka om den hydrauliska konduktiviteten och dess fördelning skiljer sig åt i revkalkstenen och i märgelstenen samt att erhålla ytterligare mätpunkter för nivå i dessa geologiska förhållanden. I båda dessa borrhål installerades permanentmanschetter på ca 40 m djup för att kunna mäta vattennivåer både i bergets övre del (3–39 m u my) och på djupet (40–60 m u my).

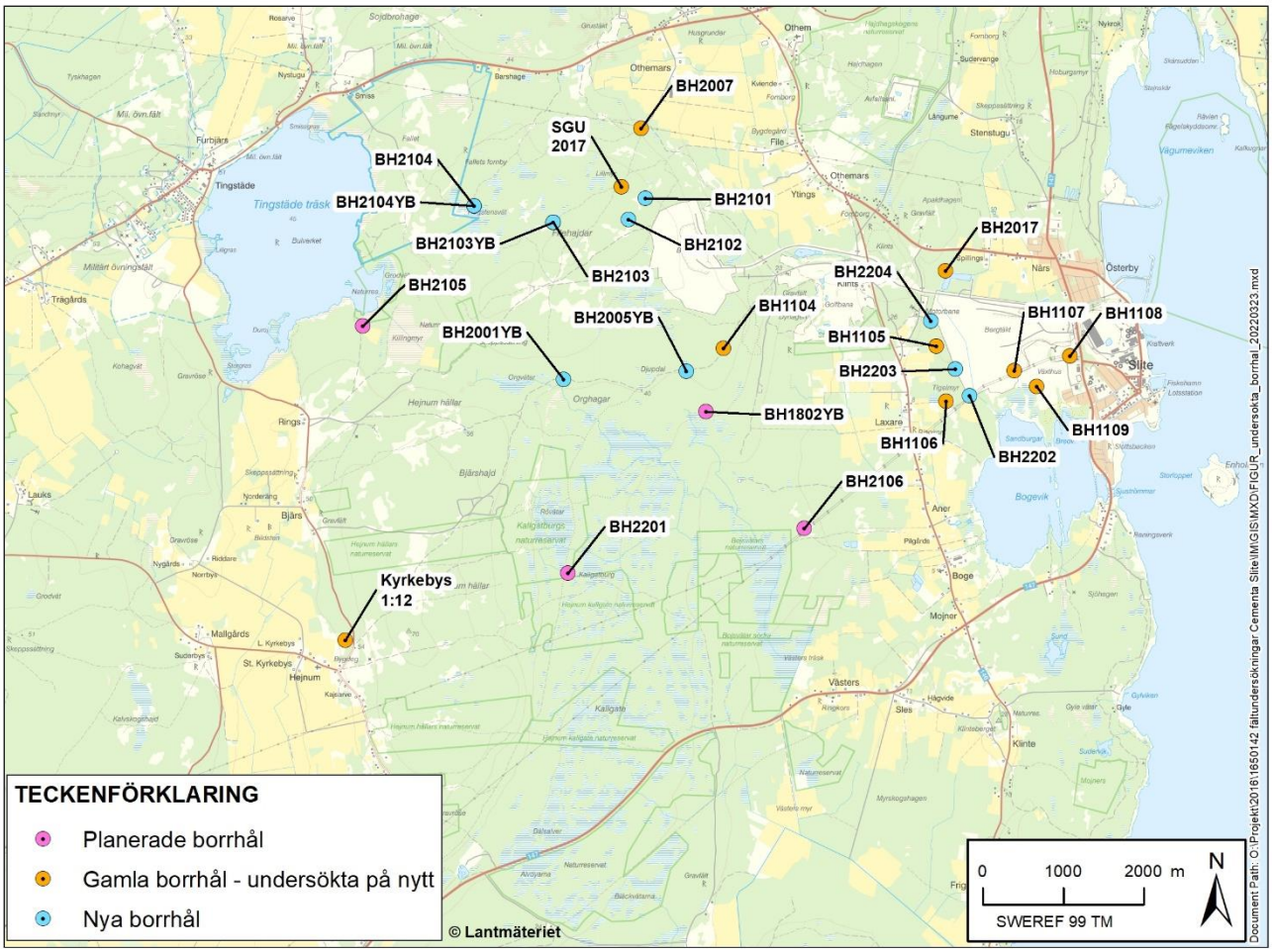
Det har konstaterats att ytberget ställvis är påtagligt ytuppsprucket. Baserat på tolkningar från fältobservationer är detta framförallt är kopplat till områden med ren kalksten eller revkalksten och förekommer inte i samma grad i märgelstenen. Även SGU har i sitt arbete noterat förekomsten av ytuppsprucket berg och framförde önskemål om borrhål för undersökning av detta under samrådsprocessen. I anslutning till 4 andra borrhål borrades därför ytliga bergborrhål för att studera bergets översta ca 2 meter. Befintliga djupa bergborrhål är som standard installerade med ca 3 m foderrör. De ytliga bergborrhålen är benämnda utifrån vid vilket borrhål de är placerade, men med ett YB som suffix. Borrhålen BH2103YB och BH2104YB är placerade i revkalkstenen i nordväst. Borrhålen BH2001YB och BH2005YB är placerade längs den södra kanten av File hajdar höjdparti. Borrhål BH2001YB sitter i märgelsten, men borrhålets geologi kan inte tydligt avgöras då SGU:s geofysiska modell (se avsnitt 5.1.1) indikerar att röret sitter i kanten av en revstruktur som sträcker sig från markytan ner till ca 0 m.ö.h. och ett jordlager täcker berget på platsen.

Vid borrhål BH2007, som borrades 2020 indikerar SGU:s geofysiska modell att revkalkstenen når ner till ca -10 m.ö.h. Röret har även uppvisat ett nivåmönster som tydligt avviker från rör som har borrats ner i märgelstenen runt File hajdar-täkten. Av denna anledning fördjupades BH2007 med 20 m, till nivån -22 m.ö.h. för att undersöka underliggande märgelsten. Efter ytterligare borrhålsloggning installerades

permanentmanschett på ca 40 m djup för att kunna mäta vattennivåer både i bergets övre del (3–39 m u my) och på djupet (40–60 m u my).

Längs Västra brottets västra kant planeras en ridåinjektering på en sträcka av ca 1,5 km för att minska inläckaget av grundvatten. För att följa upp effekten på grundvattennivån bakom injekteringsridån har ytterligare 3 kontrollborrhål utöver de två som redan finns längst sträckan borrats. På grund av pandemin var endast ett borrhål (BH2202) borrat vid tidpunkten för övriga tester. De två övriga (BH2203 och BH2204) har borrats under februari 2022. Samtliga hål har instrumenterats för nivåövervakning.

Utöver ovan redovisade borrade borrhål var ytterligare 3 djupa borrhål planerade att borras under perioden oktober 2021 – januari 2022. På grund av framförallt tillgänglighetsskäl har dessa borrningar inte ännu genomförts. Dessa borrningar kommer genomföras när Natura 2000-tillstånd och markägarens tillåtelse har meddelats, och torrare markförhållanden som medger körning utan för stora markskador har infunnit sig. I anslutning till djupa borrhål kommer även ytterligare grunda borrhål borras.



Figur 9: De borrhål som har undersökts under hösten 2021 - vintern 2022.

4.3 Borrhålsundersökningar

Under hösten och vintern 2021/2022 genomfördes flertalet nya borrhålsundersökningar i området väster om File hajdar-täkten, i både befintliga borrhål och nyborrade borrhål. Undersökningarna genomfördes främst med spinner-flödesloggning och loggning av vattenparametrarna temperatur och konduktivitet. Metoden och resultatet i sin helhet redovisas i BILAGA C.

4.3.1 Spinner-flödesloggning

Genom att undersöka borrhålen med flödesloggning för att hitta vattenförande strukturer väster om File hajdar-täkten, kan antaganden i den konceptuella modellen verifieras . Väster om File hajdar-täkten upphör de vattenförande lagren, som kan observeras på stora avstånd inom andra delar av undersökningsområdet. Tolkningen är att märgelstenen och den lagrade kalkstenen övergår i en kalksten dominerad av en eller flera revstrukturer. Undersökningarna bidrar därmed också till kunskap till vilken hydraulisk konduktivitet som kan förväntas i revkalkstenen vilken historiskt inte är lika väl undersökt.

Borrhål SGU2017 spinner-flödesloggades under hösten 2021 varpå resultatet från flödesloggningen inte identifierade några vattenförande strukturer längs den loggade delen av borrhålet, vilken sträckte sig ner till 2 m ovanför borrhålets botten, motsvarande ca – 19 m.ö.h. 2016 genomfördes en undersökning med akustisk televiewer (Alm, 2017) som identifierade en spricka i botten av borrhålet, på en nivå av -20,8 m.ö.h. Då ingen anomali identifierades ovan denna nivå i borrhålet - trots ett pumpflöde om 10 l/min, uppåtriktad strömning i hela hålet vid pumpning – är det bekräftat att den spricka som identifierades med en akustisk televiewer på nivån -20,8 m.ö.h. är den enda vattenförande sprickan av betydelse i borrhålet.

I borrhål BH2102 går det inte att tydligt identifiera var den mest vattenförande strukturen finns, men resultatet tyder på att det är ett djupt beläget sprickplan (på nivån -10,6 m.ö.h.) då flödet i borrhålet är riktat uppåt. Under naturliga förhållanden sker ett visst utflöde ur borrhålet vid på nivån 34 m.ö.h. Transmissiviteten (samlad hydraulisk konduktivitet för hela borrhålet) är betydligt större i BH2102 än resterande nu loggade borrhål, vilket indikerar att en vattenförande zon finns i borrhålet. Resultatet från spinner-flödesloggningen tyder på att den största vattenförande sprickan finns på nivån -10,6 m.ö.h. och att det finns med mindre vattenförande sprickor på högre nivå. Utvärderade transmissiviteter redovisas i Tabell 1.

Borrhål BH2101 är beläget strax nordöst om borrhålet BH2102. Borrhålet är borrat till nivån 25 m.ö.h. (30 m djupt). Då grundvattennivån stod lågt (på nivån 26,7 m.ö.h.) gav det en direkt indikation på att inga vattenförande sprickzoner hade påträffats. I stället genomfördes ett test med tillsats av vatten för att utvärdera den hydrauliska konduktiviteten. Den hydrauliska konduktiviteten i BH2101 skiljer sig med flera storleksordningar mindre än den hydrauliska konduktiviteten i borrhål BH2102, som redovisas i Tabell 3. (För att konduktivitetsvärdet i denna tabell ska vara jämförbart med transmissiviteter i Tabell 1 behöver man multiplicera den hydrauliska konduktiviteten med sektionslängden).

Mer västerut är borrhål BH2103 och BH2104 belägna, både gällande läge och djup, inom vad som tolkas som revkalk. Borrhålen är borrade ca 60 m under markytan till nivåerna -1 m.ö.h. respektive -6 m.ö.h. Varken vid flödesloggningen av borrhål BH2103 och BH2104 identifierades några större vattenförande sprickor. Vidare ska nämnas att transmissiviteten i dessa borrhål är två till fyra storleksordningar mindre än transmissiviteten i de borrhål med identifierade vattenförande sprickor. I och med att inga vattenförande lager kan identifieras i varken borrhål BH2103 eller BH2104 och därmed inte härledas till grundvattenmodellens lager, stärker resultatet från borrhålsundersökningarna väster om File hajdar-täkten den konceptuella modellens beskrivning om att de kontinuerliga vattenförande lagren upphör i den av SGU tolkade revkalkstenen. Vattenförande strukturer kan fortsatt antas förekomma men då med mer oregelbundna strukturer/lager och mindre uthållighet.

Borrhål BH2007 loggades på nytt efter att ha borrats djupare. Hålet har relativt låg transmissivitet. Det förekommer vattenförande sprickor i både den övre och undre delen av borrhålet. I den övre delen av borrhålet förekommer ett uppåtriktat vattenflöde med inflöde från nivån 12,4 m.ö.h. I den undre sektionen finns ett tydligt utflöde som är identifierat till en spricka vid -12,3 m.ö.h. som skapar det nedåtriktade vattenflödet i sektionen 10 - -12,3 m.ö.h.

Efter flödesloggningen hade genomförts i borrhål väster om File hajdar (BH2007, BH2103 och BH2104) manschetterades de av ca 40 m under markytan för att kunna mäta grundvattennivåer i både en övre och en

undre del av berget (samtliga representerande ca 3–39 m u my och 40–60 m u my). Nivåerna för respektive manschett är 0 m.ö.h., 18,5 m.ö.h. och 14 m.ö.h. Enligt den konceptuella tolkningen når BH2007 ner till underliggande märgelsten medan BH2103 och BH2104 helt är borrade inom revkalkstenen. Efter manschettering av BH2007 uppstod en minst 16 meters tryckdifferens mellan övre och undre sektion där grundvattentrycket blev artesisk i övre sektion. I BH2103 och BH2104 var grundvattentrycket i övre och undre sektion likartade.

För att undersöka förhållandena väster om Hejnum hällar loggades den privata brunnen på fastigheten Kyrkebys 1:12. I brunnen identifieras ett inflöde i nivå med grundvattenytan. När denna brunn sedan loggades i pumpat tillstånd så missades ca 5 m av mättad brunn på grund av att sonden sänktes ner under grundvattenytan med pumpen ovanför. Detta medför att transmissiviteten för sprickor som identifierades nära grundvattenytan inte kan utvärderas på ett noggrant sätt. Det kan därför inte uteslutas att detta inflöde står för en del av tillrinningen utöver de identifierade sprickorna. Kyrkebys 1:12 har tydliga sektioner med in-/utflöden, men till skillnad från ovan undersökta borrhål är vattenrörelsen i borrhålet naturligt riktat nedåt. Uppmätta vattenförande sprickor har inte kunnat korreleras till vattenförande strukturer öster om Hejnum hällar.

Tabell 1: Utvärderad transmissivitet för enskilda identifierade sprickplan

ID	Djupintervall [m.ö.h.]	Transmissivitet [m^2/s]
SGU2017	-20,5 – -21,0	1,6E-04
BH2007	25,4 – 24,1	1,0E-05
	18,9 – 9,0	1,4E-05
	-11,0 – -12,8	4,4E-06
BH2102	5,6 – 4,0	2,9E-04
	-4,2 – -5,8	1,9E-04
	-10,0 – -11,2	1,5E-03
BH2103	15,2 – 13,6	1,9E-05
	12,4 – 5,8	4,4E-05

4.3.2 Pumptester

Mindre pumptester utfördes i BH1104, BH2005 och samtliga borrhål som spinner-flödesloggades 2021–2022, samtliga utvärderingar av transmissiviteter redovisas i Tabell 2. Vid tre av brunnarna (BH2005, BH2103 och BH2104) som pumptestades hade ytliga bergborrhål installerats för att undersöka om det finns en koppling mellan vertikala sprickzoner. Inget av pumptesten påvisar en hydraulisk koppling mellan djupt borrade borrhål och ytligt borrade borrhål.

I BH2005 gjordes en tidigare pumpning och spinner-flödesloggning sommaren 2020. Vid detta tillfälle var grundvattennivåerna låga. Vid mättillfället i februari 2022 stog grundvattenytan nära markytan. Utvärderad transmissivitet var likartad då (sommaren 2020) som nu (februari 2022) (Golder, 2020c), vilket styrker den tidigare bilden att flödet ur BH2005 domineras av ett vattenförande lager beläget på ca +4 vilket kan korreleras med uppmätta anomalier i omkringliggande borrhål i märgelstenen (Golder, 2020d).

BH1104 samvarierar mycket tydligt med den kommunala vattentäkten. Borrhålet undersöktes med geofysiska undersökningar 2016 och har varit föremål för kontinuerliga nivåmätningar sedan 2014 men har aldrig tidigare pumptestats. Vid kalibrering av den numeriska modellen krävdes en hög hydraulisk konduktivitet i området runt BH1104 för att uppnå en god passning mot uppmätta nivåer. För att bekräfta denna bild utfördes detta kompletterande pumptest. Nu uppmätt resultat ligger i samma storleksordning som gjorda de antaganden som tidigare gjorts.

Tabell 2: Utvärderade transmissivitet och magasinskoefficient från enhålspumptest.

ID	Start/Stopp pumpning	Flöde [l/min]	Utvärderad transmissivitet [m^2/s]	Specifik kapacitet (Q/dh) [m^2/s]	Wellbore skin [-]	Magasinskoefficient [-]
BH1104	15:52/17:22	55	1,1E-03	2,1E-03	-2,7	4,0E-02
SGU2017	13:19/13:52	10	1,4E-04	1,7E-04	1,425	1,0E-02
BH2007	12:50/14:17	8	3,0E-05	5,3E-05	-3,3	4,2E-03
BH2005	16:15/17:22	60	7,0E-04	8,5E-04	-1,725	1,5E-03
BH2102	11:04/11:30	53	1,8E-03	1,9E-03	-3,725	3,6E-04
BH2103	18:26/18:44	6	4,0E-05	5,6E-05	0	3,0E-03
BH2104	13:13/13:29	4	8,4E-07	-	0	2,3E-03
Kyrkebys 1:12	08:56/10:06	13	6,2E-04	2,2E-03	-5,0	1,9E-03

4.3.3 Slugtester

Intill vissa befintliga brunnar borrades några ytliga bergborrhål för att utvärdera den hydrauliska konduktiviteten i ytberget. Dessa borrhål testades hydrauliskt genom att tillsätta en vattenvolym så att brunnen toppfylldes och sedan utvärderades återhämtningen i Aqtesolv med Hvorslev (1951) kurvpassningsmetod mot typkurva. Som nämnt ovan kunde BH2101 inte testas med spinner-flödesloggning då borrhålet i stort sett saknade vatten. Borrhålet testades därför genom tillförsel av vatten och utvärderades som ett slugtest. Den struktur som har identifierats vid borrhål BH2101, genom de geofysiska undersökningarna, är inte vattenförande utan mer troligt ett lager med högt lerinnehåll då borrhålet har en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på 1,0E-08 m/s.

Utvärderingen av slugtesterna visar att det ytliga berget vid BH2104YB har en hög hydraulisk konduktivitet på 1,1E-04 m/s trots en till synes relativt homogen bergöveryta. Detta styrker bilden av frekventa horisontella ytliga sprickor inom revkalksområdena. I BH2103YB och BH2005YB uppmäts vad som kan betecknas som en låg-måttlig hydraulisk konduktivitet vilket indikerar att horisontella sprickor inte förekommer överallt nära markytan inom kalkstenen. Det bör påpekas att kalkstenstypen vid BH2005 är oklar. BH2001YB uppvisar en mycket låg hydraulisk konduktivitet. Detta borrhål sitter i märgelsten. Endast de inledande 7 timmarna, vilket motsvarade ca 1,5% återhämtning användes för utvärderingen då borrhålet därefter frös vilket skapade störningar i tryckdata, resultatet är därmed ungefärligt.

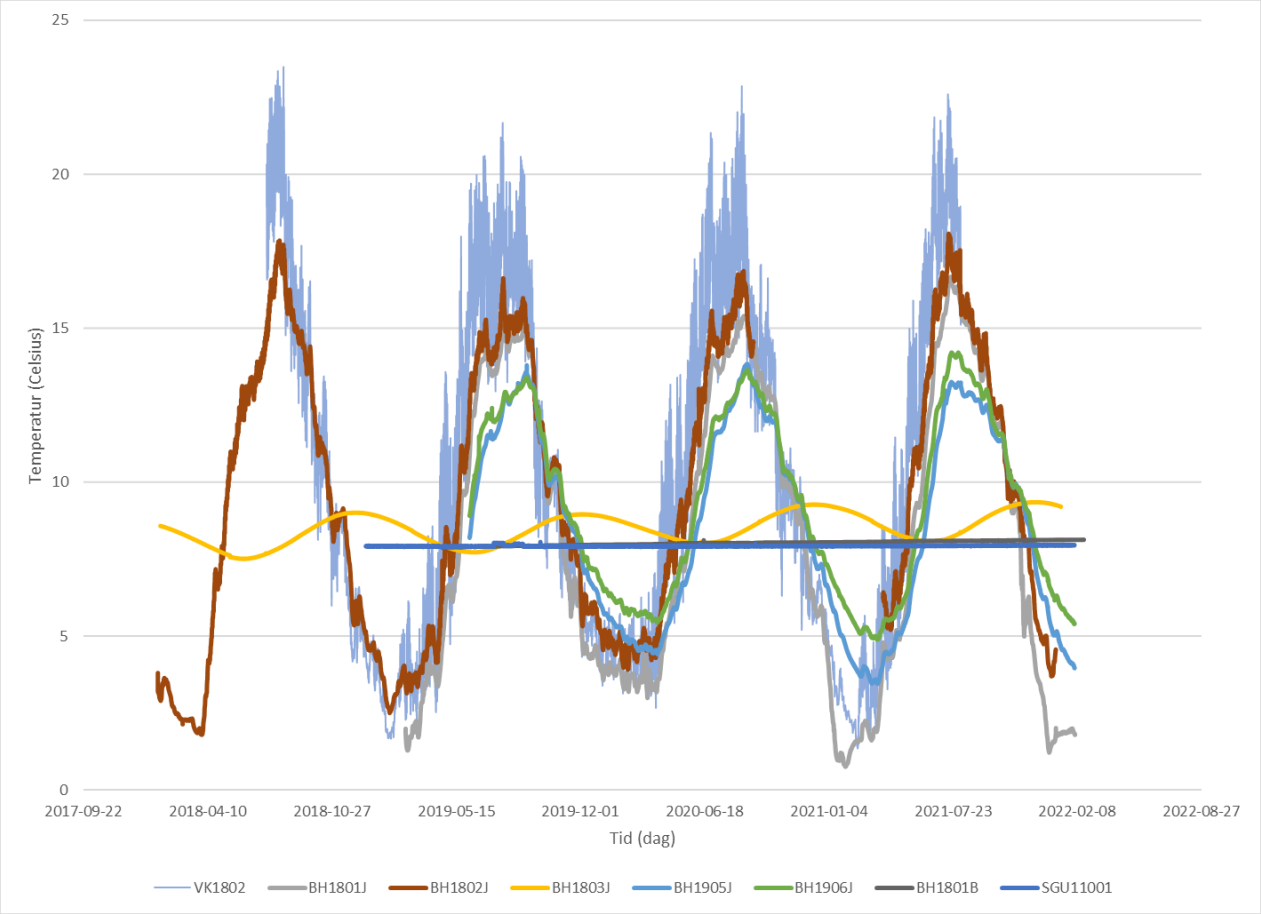
Uppmätt data överenstämmer med bilden från fältobservationer om att ytberget är mer uppsprucket inom områden med revkalksten medan i märgelstenen är ytberget sprickfattigare. Fler tester behövs och är planerat för att bekräfta bilden.

Tabell 3: Utvärderad hydraulisk konduktivitet av testade borrhål.

ID	Hydraulisk Konduktivitet (m/s)	Längd testsektion	Kommentar
BH2101	1,0E-08	27	Låg konduktivitet i geofysisk profil. Mycket tätt berg.
BH2001YB	1E-09	2,0	Mycket tätt berg. Utvärderat med enbart 1,5% återhämtning innan borrhålet frös.
BH2005YB	6,1E-07	1,8	
BH2103YB	6,8E-08	2,4	Tätt berg.
BH2104YB	1,1E-04	2,4	Genomsläppligt trots homogen bergöveryta

4.4 Kartläggning av vattentemperaturer

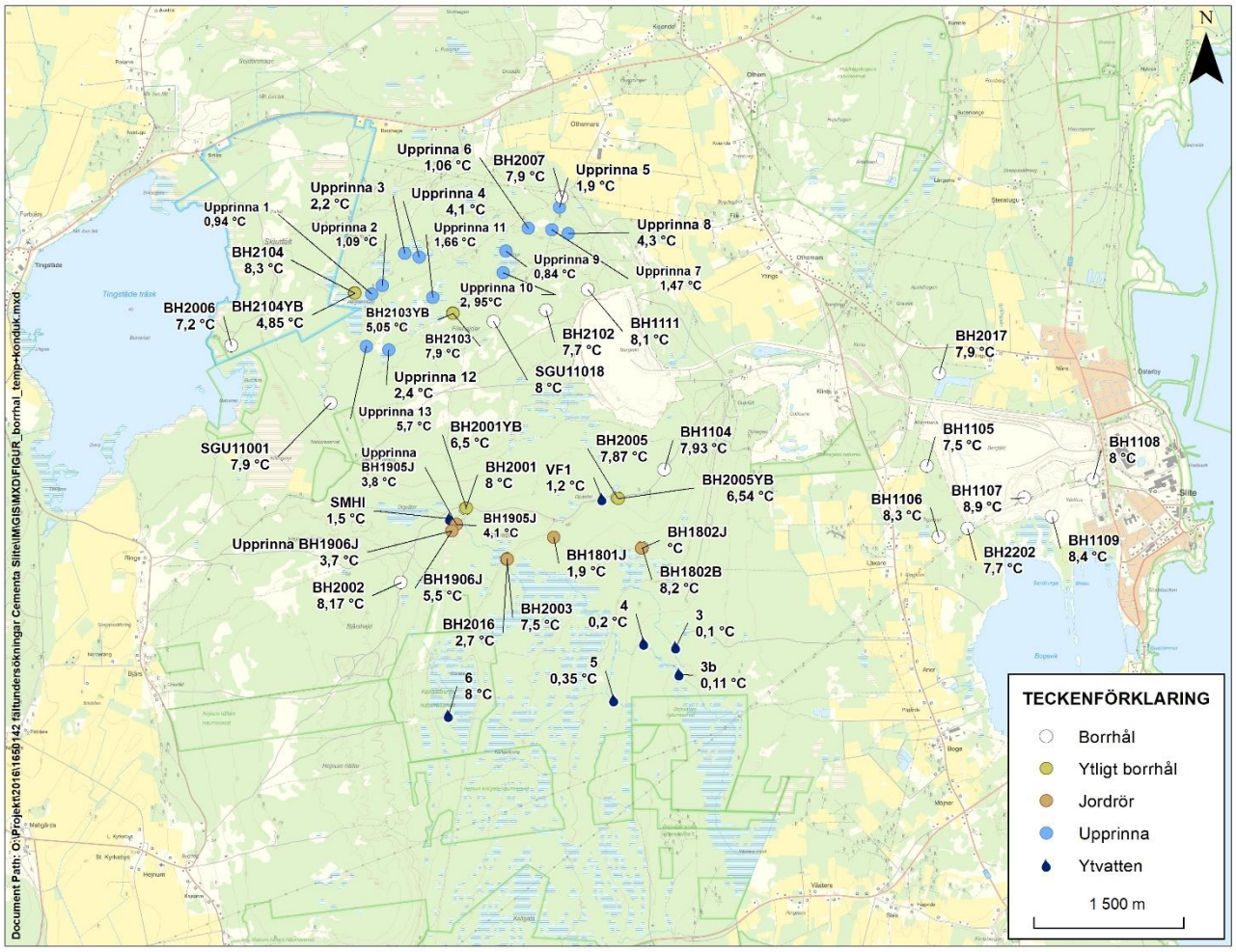
Temperaturen i olika typer av vatten varierar olika. Ytvattentemperaturen styrs främst av vädret och har därmed stora säsongsvariationer. Grundvatten i berg har endast mycket små temperaturvariationer under året och ligger som regel nära årsmedeltemperaturen, för att öka med djupet till följd av den geotermiska energin. Grundvatten i jord och ytligt berg ligger mittemellan dessa extremer. Temperaturen över året i jordgrundvatten respektive berggrundvatten i File hajdar området exemplifieras i Figur 10 nedan.



Figur 10: Uppmätt temperatur i VK1802, BH1801J – 03J, BH1905J – 06J, BH1801B och SGU11001.

I alla de mätpunkter där vattennivåer övervakas med loggrar mäts även temperaturen på vattnet. I samtliga mätpunkter med nivåmätningar i berg (ytberget exkluderat) ligger temperaturerna stabilt runt ca 8 ºC. Temperaturerna i grundvattenrören i jord har en tydlig säsongsvariation. I rören i de tunna jordlagren i våtmarkerna fluktuerar temperaturen mest. I rören vid strandvallarna mot Hejnum Kallgate följer vattentemperaturen lufttemperaturen med endast en mindre förskjutning (under åren 2018–2021 har årsmaximum uppmätts i slutet av juli till början av september). I BH1803J, belägen i ett område med mäktigare och tätare jordlager, är fasförskjutningen stor med temperaturmaximum i november eller början av december. Även temperaturamplituden följer samma mönster. Störst temperaturamplitud uppmäts i våtmarksrören (VK1802 m.fl.). Även i de östliga strandvallsrören (BH1801J och BH1802J) har en stor variation över året uppmäts. Vid de mäktiga jordlagren i strandvallen vid BH1905J och BH1906J är amplituden något mindre och grafen är således mer utjämnad, men även här finns en amplitud mellan högsta och lägsta temperatur på ca 10 ºC. I BH1803J är amplituden under 2 ºC.

Dessa skillnader i vattentemperatur har nyttjats för att ytterligare förstå ursprunget på det vatten som rinner fram på olika håll i källmiljöer och våtmarker. Under några kalla februaridagar 2022 (0 – -4 ºC) mättes temperaturen på 15 platser där grundvatten kunde iakttas strömma fram. Vidare mättes temperaturen på 7 platser i ytvattendrag, i de 4 relativt nya borrhålen i bergets översta två metrar, samt i alla de instrumenterade borrhål där mätningar görs kontinuerligt.



Figur 11: Uppmätta vattentemperaturer den 1–3 februari 2022.

Av de mätningar som gjordes var dets en punkt som stack ut, ytvattenpunkt 6 (nedströms Prosthulet) med en vattentemperatur på 8 ºC vilket tydligt visar att detta är ett vatten som strömmar upp från berget vid Hejnum hällars sluttning.

Vid de utströmningsområden som finns i Hejnum Kallgates nordvästra del (nedströms Orgvätar) var vattentemperaturen 3,7–3,8 ºC vilket är 0,3–1,8 ºC kallare än vad som samtidigt mättes upp i grundvattenrören inne i strandvallen (vattnet kyls något vid den långsamma strömningen genom det ytligaste jordlagren och i kontakten med luften). Både temperaturen på det utströmmande vattnet och variationsmönstret i grundvattenrören är utöver nivåfluktuationerna (se avsnitt 5.5) tecken på att det är grundvatten från jord (ej berg) som strömmar ut i området.

Väderförhållandena var idealiska för den här typen av kartläggning: ingen nederbörd precis före eller under perioden, och en tunn rimfrosttäckt is täckte stillastående vatten vilket tydligt avslöjade punkter med utströmmande varmare vatten under vattenytan. En orienteringskarta i skala 1:10 000 användes som underlagsmaterial. Temperaturmätningar har inte genomförts på alla platser där utströmning konstaterats utan detta har fokuserats på punkter med tydlig utströmning. Mindre tid har även spenderats på de flacka delarna på södra File hajdar. Undersökningen kan inte ses som en fullständig kartläggning av alla utströmningspunkter för grundvatten inom File hajdar-området men får anses att ge en god bild av de generella mönstren

Generellt sett finns det få synliga utströmningspunkter av grundvatten i File hajdar-områdets södra delar relativt de norra. Den utströmning som återfinns i söder är vid nedansidan av strandvallar. Det finns osäkerheter i en jämförelse av denna typ med möjligt ojämnt spenderad tid inom olika delområden, det finns något mer jordlager i söder än i norr och uppe på File hajdar, vilket kan dölja viss grundvattenutströmning från berget. Vidare bidrar att i de östra delarna är grundvattennivåerna i berg avsänkta framförallt av den kommunala vattentäkten men även den befintliga länshållningen av File hajdar-täkten, vilket bidrar till att grundvattennivåerna i mindre omfattning når upp över bergöverytan. Dessa faktum utgör osäkerheter i jämförelsen men tillsammans med övriga observationer bedöms huvuddelen av skillnaden vara knuten till den konceptuella geologiska modellen (se avsnitt 5.0) och de skillnader som finns mellan märgelstenen och revkalkstenen.

Temperaturen i de ytliga bergrören (borrade 2 m ner i berg) uppe på File hajdar uppgick vid mättillfället till ca 5 ºC. Temperaturen i observerat utströmmande grundvatten är med ett undantag (Upprinna 13, 5,7 ºC) lägre än så och i de flesta fall betydligt lägre. Det relativt rikliga antalet observerade punkter med grundvattenutströmning som kan observera på många håll på norra File hajdar, främst i anslutning någon av de många små våtmarkerna som förekommer i detta område, utgörs därmed av vatten som strömmar nära markytan. Detta styrker övriga observationer (se avsnitt 4.7) om att det inom områden med revkalksten förekommer rikligt med ytliga horisontella sprickor och enstaka vertikala sprickor vilka kan vara kraftigt karstifierade men att djupgåendet är begränsat till en eller på sin höjd några meter.

Två talande exempel är Upprinna 10 och 9, söder respektive norr om Lillmyr. Ur en mycket flack sprickstruktur vid myrens södra kant (upprinna 10) kunde vatten ses strömma ut, vattentemperaturen var ca 3 ºC. Inga tecken på smält is observerades ute på myren. Ur en mycket distinkt upprinna med kraftigt flöde ca 50 m norr om Lillmyr (upprinna 9) strömmade vatten med en temperatur på endast 0,8 ºC, vilket visar att det är vatten från myren som avvattnas genom det ytliga berget.

Övriga noterbara observationer från samma studie är att temperaturen i ytvatten uppströms Hejnum Kallgate är tydligt högre än temperaturen i ytvatten nedströms Hejnum Kallegate vilket tolkas som att andelen grundvatten som strömmar ut inom Natura 2000-området är liten. Detta överensstämmer med övriga observationer - nivåobservationer visar att märgelstenen är mycket tät i vertikalled och att mängden buffrande jordmagasin i form av strandvallar är mindre inom Natura 2000-området än inom de uppströms liggande områdena.

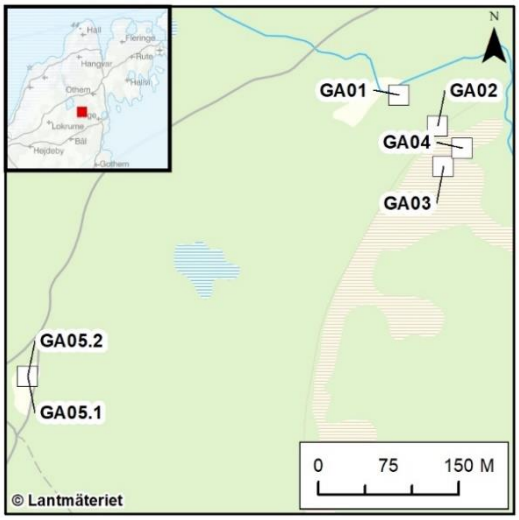
Ca 1 km av den strandnära isen på Tingstädeträsk, från de centrala delarna av Grodvät och norrut observerades avseende tecken på utströmmande grundvatten. Sannolikt krävs ett större vattenflöde för att detta ska vara synligt från ytan när det blandas i en större vattenvolym med större vattendjup men inga sådana observationer gjordes. Isen var något tunnare decimetern närmast strandkanten. Tolkningen är att det inom denna del inte finns någon markant inströmning av grundvatten från berget utan endast en svag ytlig lateral inströmning.

4.5 Siktanalyser

Under hösten 2021 togs flera jordprover i och runt strandvallarna vid Natura 2000-område Hejnum Kallgate som siktanalyserades. Vidare beräknades en hydraulisk konduktivitet utifrån siktkurvorna. Siktkurvorna från proverna tagna i strandvallen (GA01, GA05.1 och GA05.2) tyder på ett välsorterat grus medan siktkurvorna från proverna tagna utanför strandvallarna (GA02-GA04) har ett mer finkornigt material så som siltig sand till finkornig sand. Baserat på siktkurvorna har den hydrauliska konduktiviteten räknats ut (se Tabell 4), proverna som är tagna utanför strandvallarna har en hydraulisk konduktivitet som är flera storleksordningar lägre än vad motsvarande prover tagna i strandvallarna har. Proverna i strandvallarna är välsorterade vilket även tyder på en hög porositet. Siktkurvorna redovisas i BILAGA C.

Tabell 4: Hydraulisk konduktivitet beräknad utifrån siktanalyser av jordprover (Gustafson, 1984).

ID	Hydraulisk Konduktivitet (m/s)
GA01	6,7E-04
GA02	2,2E-06
GA03	1,1E-07
GA04	2,9E-07
GA05.1	1,9E-03
GA05.2	3,0E-03



4.6 Mätning av salthalt

I flertalet äldre borrhål runt västra brottet har enbart temperatur och konduktivitet loggats för att undersöka saltpåverkan.

Borrhål BH1107 – BH1109 ligger vid Västra brottets sydöstra del och har konduktiviteter upp mot 500 mS/m vilket omräknat till mg/l NaCl motsvarar ca 1200 mg/l som mest. Uppmätta salthalter i dessa hål ligger dock i samma storleksordning som uppmätta salthalter i vatten från täktväggen till pall 2 innan denna började vattenfyllas 2017. Den höga konduktiviteten är därmed mest sannolikt en effekt av relikt saltvatten och/eller ett tecken på kontakt med havsvatten. Alla borrhål, sydöst om Västra brottet har en ökande konduktivitet mot botten av borrhålet.

Borrhål BH1105, BH1106 och BH2202, belägna av Västra brottets sydvästra kant, har uppmätta konduktiviteter från 125 mS/m till 225 mS/m vilket omräknat till mg/l NaCl motsvarar ca 520 mg/l NaCl som mest. Högst konduktivitet är uppmätt i BH2202 som är borrat till nivån -52m.ö.h. Konduktiviteten i detta borrhål ökar tydligt vid ca -40 m.ö.h. och når högst uppmätt konduktivitet på nivån -48 m.ö.h.

Vid borrhål BH2017, beläget norr om Västra brottet, genomfördes också loggning med avseende på konduktivitet och temperatur. Konduktiviteten ligger på en lägre nivå, som mest på 70 mS/m högst upp i borrhålet och avtar mot botten av borrhålet som är ca 20m djupt från 9 m.ö.h. till -11 m.ö.h. Som mest motsvarar det ca 170 mg/l NaCl.

Grafer på salthalt i borrhålen redovisas i BILAGA C. Alla konduktiviteter redovisas i ekvivalent konduktivitet vid 25 ºC. Grundvattnet i denna geologiska miljö ligger konstant på ca 8 ºC året om.

4.7 Fältobservationer efter kraftig nederbörd

Den 11 november 2021 gjordes ett fältbesök på File hajdar efter mycket kraftigt regn. Enligt SMHI:s nederbördstation i Hejnum hade det regnat 133 mm under föregående månad varav 67 mm under föregående vecka. Dock i princip inget regn föregående dygn. På fukthedar och vägar väster och söder om File hajdar-täkten stod eller strömmade vatten. Alla vätar var fyllda med vatten till nivåer långt högre än vad vegetationen indikerar är brukligt. Samtidigt var marken på de områden med mycket (ytlig) epikarst i stort sett torr. Det kanske tydligaste exemplet på markyta med riklig epikarst finns i området öster om Högstensvät. Här observerades även mindre tillfälliga vattendrag som strömmade ut ur framförallt flacka sprickstrukturer nedströms vätar. Vattendrag upphörde för att åter komma i dagen ca 50 meter nedströms. I en äldre täktgrop

som påträffades stod vattenytan ca 70 cm under markytan på en nivå som tolkades som ungefärlig övergång till en mer homogen sprickfattig kalksten. En tolkning som gjordes i fält, som dock inte har belagts med ytterligare studier, är utifrån de småskaliga historiska kalkbrott som återfinns på olika håll i landskapet. Brytningen som regel gjordes till ca en meters djup, är att det var till detta djup som det gick lätt att bryta kalksten då det förekommer rikligt med sprickor och bankningsplan. Därunder var det mer energikrävande att bryta sten i en mer homogen kalksten.

Den strömning av ytvatten som observerades följer topografin. Inga stora källflöden vid lägre liggande delar av File hajdar påträffades vid detta besök eller tidigare besök, trots bra kartunderlag och att personer med mycket god terrängkännedom deltar i undersökningarna.

Den samlade tolkningen av dessa observationer är att det är mycket stora skillnader på hur mycket vatten som finns på markytan inom områden med eller utan epikarst. Epikarsten och betydande vattenförande ytnära horisontella sprickor förefaller ha ett djupgående på ungefär en meter. Avrinningsmönstret påverkas därmed inte särskilt mycket då strömningen i stort följer topografin. Hydrauliskt sett skulle områden med mycket epikarst i princip kunna jämställas med att berget varit täckt av en meter grovkorniga jordlager. Några tecken på utströmning av vatten från en betydande djupgående karst har dock ej påträffats. Karst diskuteras mer under avsnitt 5.3.

Figur 12: Överfulla vätar, uppströmmande vatten ur ytliga sprickstrukturer samt ca 1 meter högt spår av äldre kalkbrytning observerades.

5.0 KONCEPTUELL GEOLOGISK- OCH HYDROGEOLOGISKMODELL

Grundvatten finns i en heterogen verklighet och kan därför aldrig studeras i fullständig detaljnivå. Hydrogeologi är därför en vetenskap som man ofta studerar genom systemanalys. Denna studie avser grundvattenflöden och ytvattenflöden i regional och lokal skala runt utökade kalkstenstäkter väster om Slite. Den studerade delen av verkligheten kallar vi ett system, t ex grundvattensystemet. Utifrån ett systemperspektiv beskriver man de olika delarna i ett system och deras inbördes relationer, men också hur systemet interagerar med omgivningen. Med en systemanalytisk metod kan man lösa komplicerade problem genom att:

1. Upprätta en modell av det studerade systemet
2. Använda modellen för simuleringar som imiterar det verkliga systemets beteende

3. Baserat på resultat som beräknats av modellen (genom de utförda simuleringarna) uppnå förståelse av det verkliga systemets beteende och tillstånd

Vad som slarvigt benämns ”modellen” kan i verkligheten egentligen sägas bestå av två delar. En konceptuell modell och en numerisk modell.

Den konceptuella modellen, skulle enkelt förklarat kunna sägas vara förståelsen för hur systemet fungerar. Den innehåller känd information om det studerade systemets egenskaper (t.ex. topografi, geologiska egenskaper, värden på konduktivitet etc.) samt en beskrivning av de fysikaliska processer som styr det studerade systemet (t.ex. Darcys lag). Den konceptuella modellen innehåller dock endast information som är relevant med avseende på studiens syfte. I detta kapitel beskrivs de kunskaper som bedömts relevanta för att förstå grundvattensystemets funktion, dvs den konceptuella modellen.

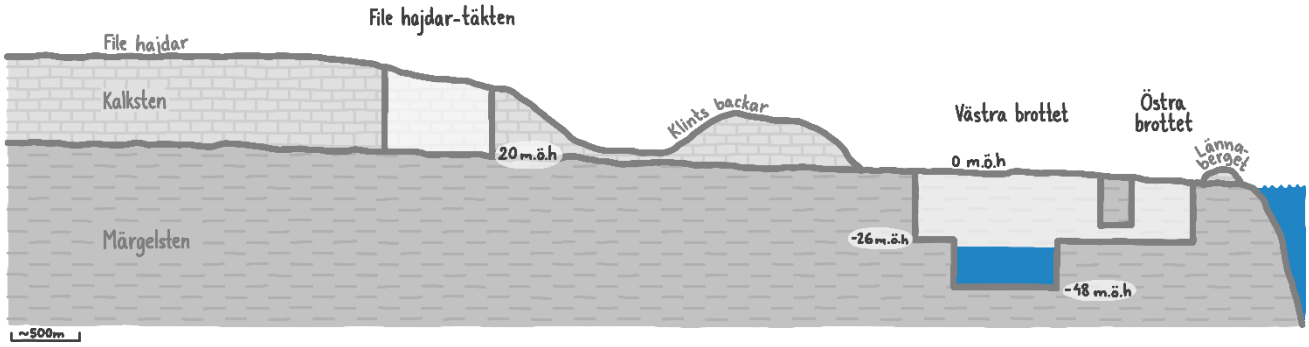
I vissa fall räcker det med en konceptuell modell och enklare numeriska beräkningar för att besvara den aktuella frågeställningen. I andra mer komplicerade fall krävs upprättandet av en numerisk modell med hjälp av ett datorprogram (t.ex. Geoan). I den numeriska modellen kan de förhållanden som beskrivs i den konceptuella modellen kvantifieras. Den numeriska modellen kan används för simuleringar av olika scenarion. I detta projekt har en numerisk modell upprättats. Den numeriska modellen beskrivs i BILAGA D samt översiktligt och tillsammans med resultat av framtidssimuleringar i avsnitt 13.0.

Arbetet med analys av ett system är i många avseende iterativt. Resultat från en simulering skapar behov av ytterligare kunskaper från undersökningar, vilka ger nya resultat. På så vis förbättras ständigt detaljförståelsen för systemet.

5.1 Berggrund

Berggrunden på Gotland består av sedimentära bergarter. Sedimenten som har omvandlats till bergarter avsattes i ett subtropiskt till tropiskt hav. De ytnära bergarterna är av silurisk ålder (415–440 miljoner år gamla). Av särskilt intresse för den industriella användningen av kalksten är Slitelagren. Slitelagren består i huvudsak av kalksten och märgelsten. Kalkstenen är en relativt ren form av kalksten, medan märgelsten har ett större lerinnehåll och består av karbonat- och silikatbergarter. Både kalksten och märgelsten behövs för framställningen av cement. Vid File hajdar-täkten, i de obrutna delarna, överlagras märgelstenen av kalksten med en mäktighet på mer än 20 m (se principskiss i Figur 13). Övergången mellan kalksten och märgelsten är i många delar successiv med ett gradvis ökande lerinnehåll.

File hajdar-täktens södra kant utgörs av revkalksten. Revstrukturen är främst belägen i kalkstenen men sträcker sig även ner i märgelstenen. Revkalksten förekommer också i de höglänta områdena på Filehajdar och Hejnum hällar väster om täkten.

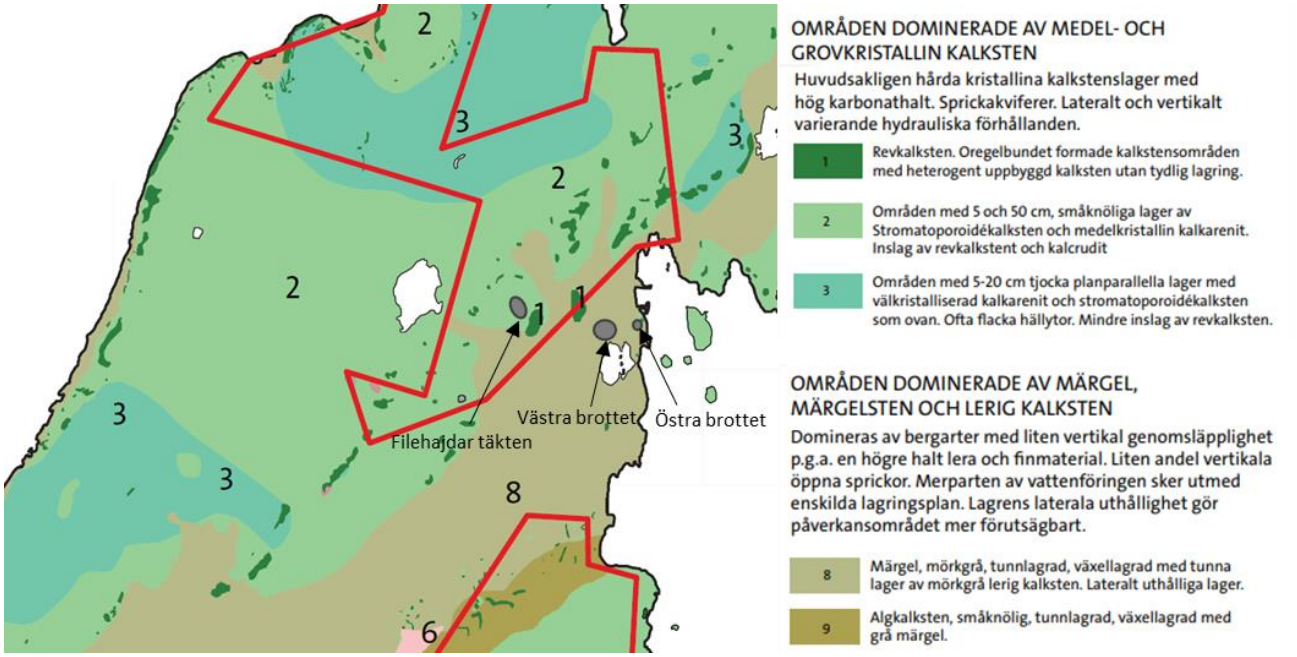


Figur 13: Principskiss geologi File hajdar och västra brottet.

5.1.1 Revkalksten

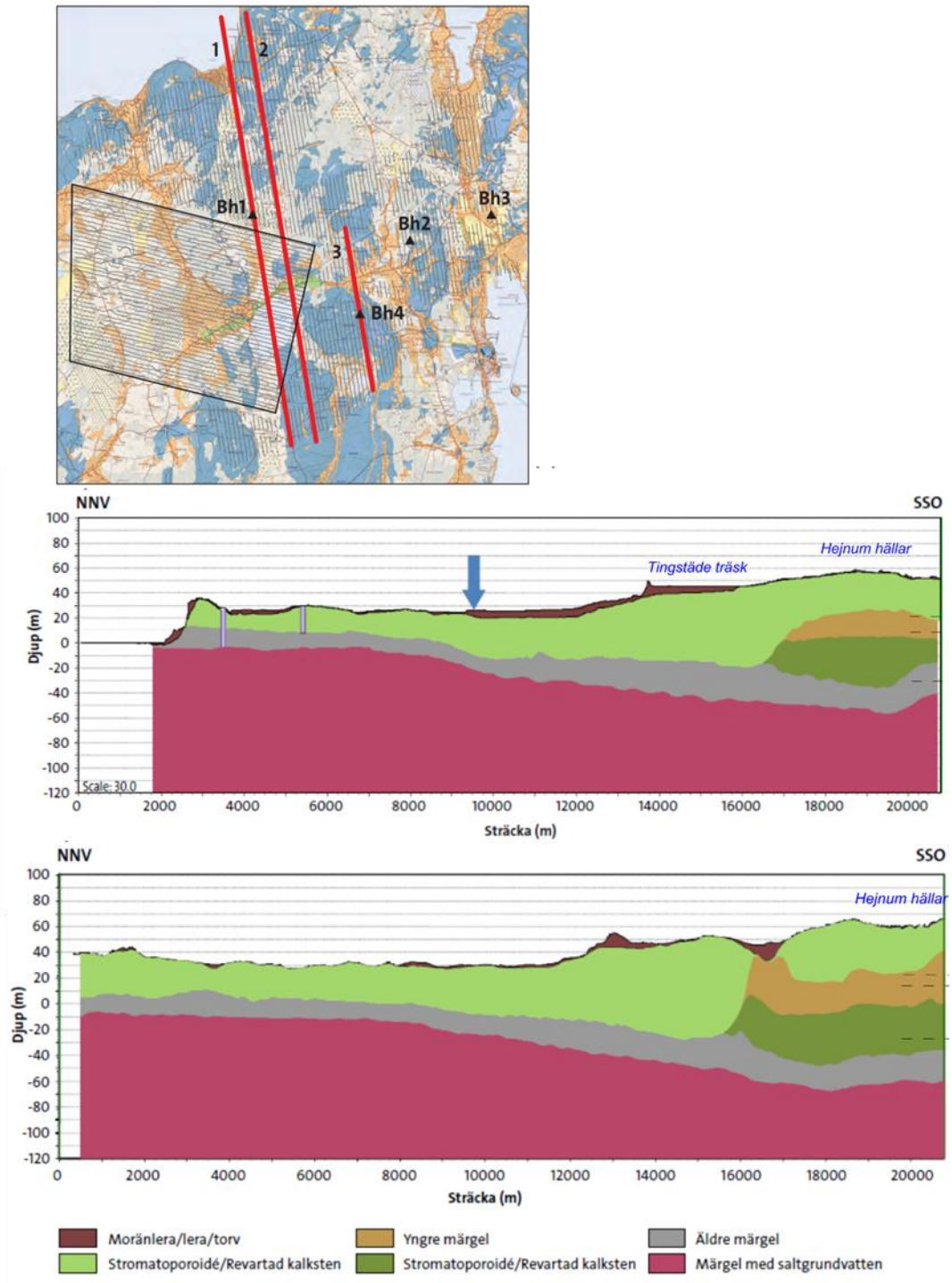
Utbredningen på revkalkstenen har tolkats från SGU:s karteringar, geofysiska undersökningar och topografin. Figur 14 visar områden kring Slite och Tingstäde träsk där revkalksten kan identifieras vid markytan (SGU, 2017a). De karterade områdena kan korreleras till topografin, den karterade revkalkstenen tenderar att förekomma i områden med högre topografi. Revkalksten förekommer normalt ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå märgelstenen eller ner i märgelstenen. Revkalkstenen tenderar ligger överst i den sedimentära lagerföljden vid Slite.

Revkalkstenen förekommer inte bara vid de karterade områdena (Figur 14) utan också i varierande omfattning mellan dessa områden - i synnerhet längs med den högre topografin.



Figur 14: De små mörkgröna områdena är revkalksten som kan identifieras vid markytan. Kartering av SGU. Till höger: valda delar av kartans legend. Från: SGU, 2017a.

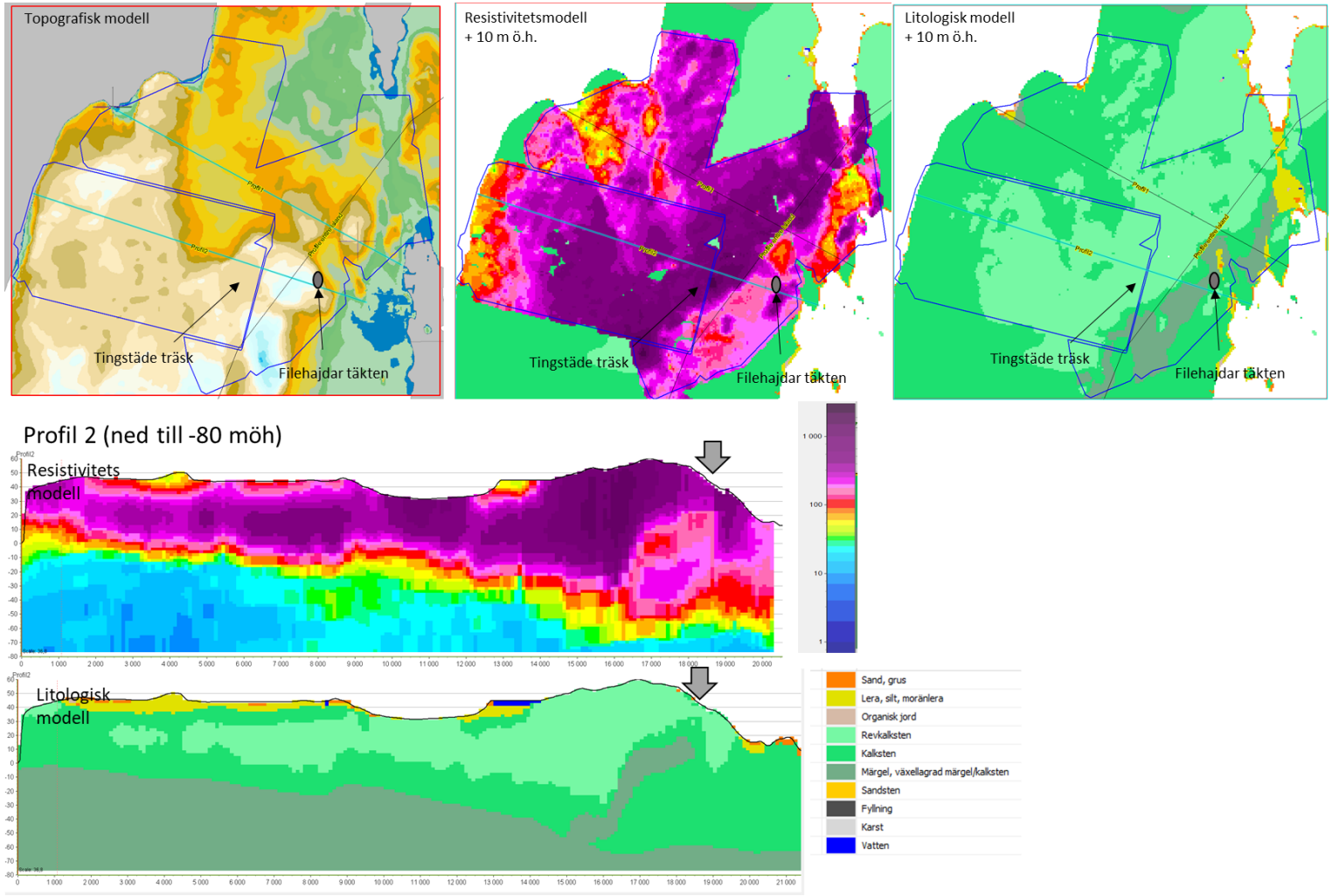
Kärnborrhål har borrats vid Hejnum hällar och inom File hajdar, vilket har gjort att lagerföljden ända ner till urberget har kunnat fastställas, inklusive en ytlig del av revkalksten. Att det förekommer revkalksten vid exempelvis Hejnum hällar framgår också av vertikala profiler som har presenterats av SGU. Revartad kalksten, som inte är exakt samma sak som revkalksten, förekommer enligt SGU vid stora områden inom File hajdar och Hejnum hällar. (Se Figur 15).



Figur 15: Tolkade profiler baserade på geofysiska undersökningar av SGU (SGU, 2017a).

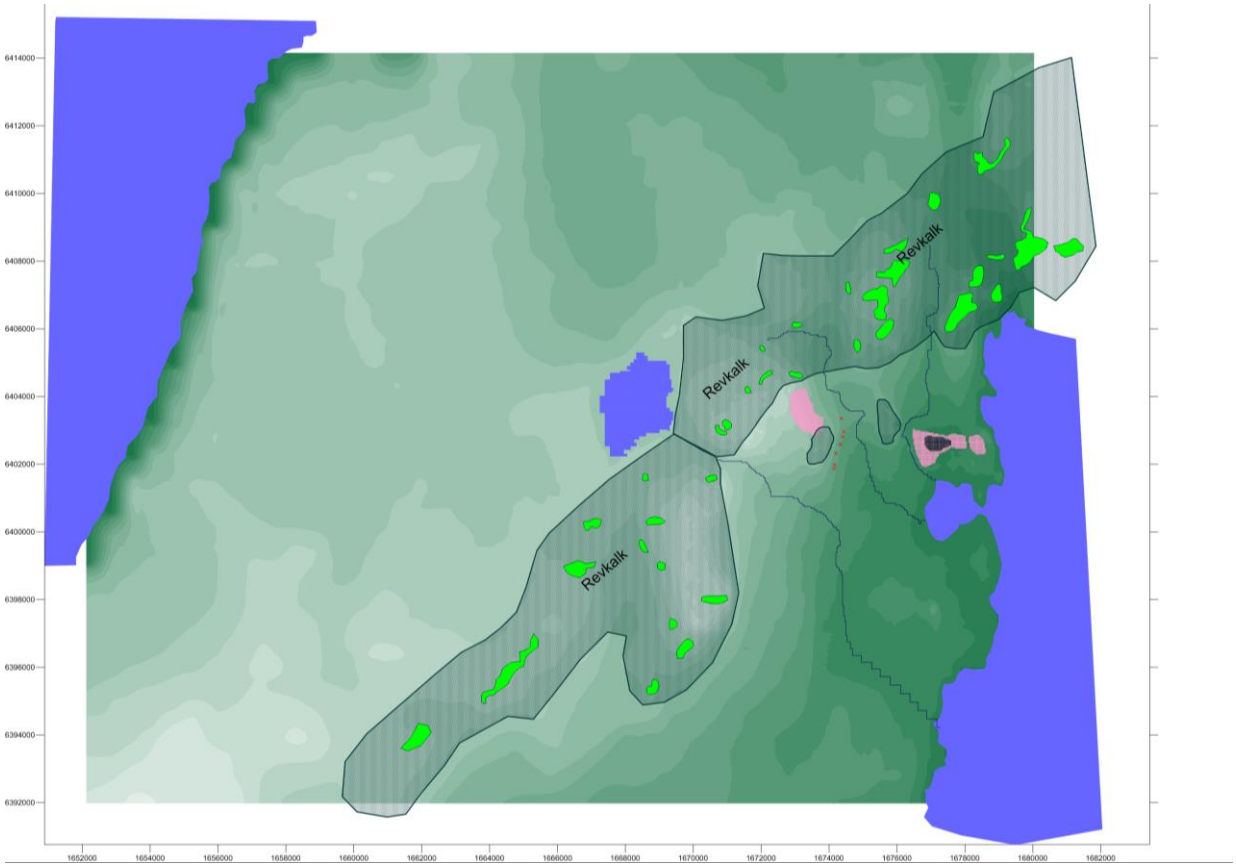
SGU har 2021 utifrån data från främst SkyTEM och helikopterburna VLF-mätningar upprättat en geofysisk 3D-modell över Gotland. Utifrån uppmätt resistivitet och samlad geologisk kunskap (vilken bl.a. redovisas i SGU, 2017a, förutom profil 3) har SGU gjort en stratigrafisk tolkning. Cementa har fått ta del av utdrag ur modellen i plan och profil i File hajdar-området.

I Figur 16 redovisas exempel på utdrag ur SGU:s geofysiska modell.



Figur 16: Exempel på utdrag ur SGU:s geofysiska modell (SGU, 2017a). Figurerna har kompletterats med en pil eller elips vid Filehajdartäktens ungefärliga position. Samma legend gäller för både profiler och utdrag i plan. Notera att den litologiska tolkningen (till skillnad från SGU, 2009) ej särskiljer på revkalksten och revartad kalksten.

SGU:s geofysiska modell särskiljer inte på revkalksten och revartadkalksten även om det finns litologiska skillnader mellan de två typerna av sten. Båda typerna är dock i huvudsak oregelbundna med lateralt och vertikalt varierande hydrauliska förhållanden, vilket skiljer sig markant från den horisontellt lagrade märgelstenen med dess lateralt uthålliga lager. I den hydrogeologiska modellering som gjorts inom ramen för denna ansökan har denna sammanslagna indelning använts för att representera revkalk i ett större kontinuerligt område, se Figur 17 samt modellrapporten (BILAGA D).



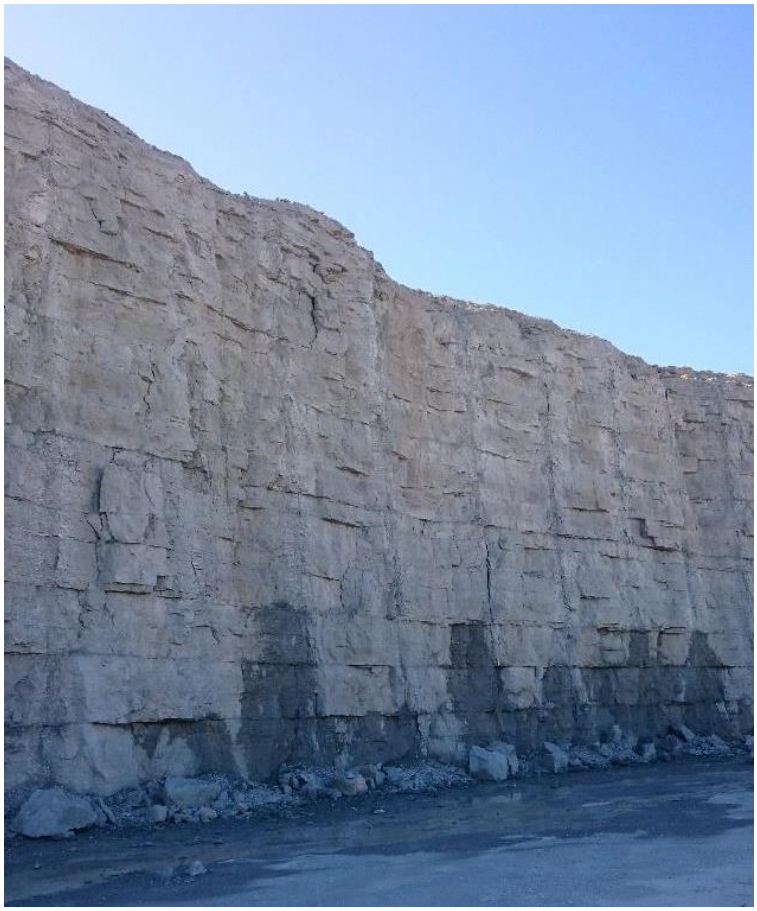
Figur 17: Tolkat område med revkalk i numeriska modellen.

5.2 Strukturgeologi

Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Detta konstateras av SGU gälla generellt för Gotlands siluriska berggrund. Varken i Västra brottet eller File hajdar-täkten har några förkastningar observerats.

Grundvattenflödet i berggrunden är till större delen koncentrerat till (nära) horisontella lager (subhorisontella), som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av cirka 0,3 grader åt sydost. De horisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare sten. Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom enstaka vertikala sprickor. Öppna vertikala sprickor med betydande öppning kan observeras i dagbrotten.

I Västra brottet kan de vattenförande horisontella lagren följas över en sträcka av 1 kilometer i märgelstenen. Med stöd av borrhålsundersökningar i området har dessa lager i Västra brottet extrapolerats parallellt med bergartsgränsen (de 2–3 kilometrarna) in under File hajdar De extrapolerade lagrens inbördes avstånd och nivåer stämmer väl överens med resistivitetsmätningar och hydrauliska tester i borrhål på File hajdar.



Figur 18: Exempel på vattenförande sub-horisontella zoner i berget, som kan observeras i dagbrotten.

Som nämnts tidigare förekommer revkalksten ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå märgelstenen. Från ett strukturgeologisk och hydrogeologiskt perspektiv skiljer sig revkalkstenen från den lagrade kalkstenen och den lagrade märgelstenen genom avsaknaden av uthålliga subhorisontella lager eller strukturer. Revkalkstenen kan sägas vara delvis lagrad och innehålla lagrade strukturer och vattenförande sprickor, men den innehåller (normalt) inga uthålliga subhorisontella lager. Revkalkstenen kan därmed anses utgöra en gräns för stora kontinuerliga subhorisontella lager som identifierats i tex Västra brottet.

Kommunens grundvattentäkt är belägen mellan File hajdar-täkten och Västra brottet vid Dyhagen. Brunnarna ligger inom en äldre strandzon. Strandzonen sammanfaller med ett svagt utvecklad dalgång i vilken det är troligt att den vertikala genomsläppligheten är förhöjd, tex genom att antalet vertikala sprickor är större än i omgivande områden, eller att området genomskärs av en eller flera större vertikala sprickzoner. Den östliga profilen i resistivitetsundersökningarna (se avsnitt 4.1) indikerar 3–4 lågresistiva brant stupande strukturer. Detta område, kallad krosszonen (även om bildningssättet är oklart), har en huvudsaklig utbredning i nord-sydlig riktning, strax öster om File hajdar. Krosszonens förekomst har tolkats utifrån resultat av provpumpningar. Provpumpningar av produktionsbrunnarna (Viak 1974 och 1981) visar på att brunnarna är placerade i en linjär formation. Pumpresultaten når ingen begränsning i längd på formationen, *”zonens bredd har uppskattats till 550m och dess utsträckning i längdled har genom provpumpningar belagts till minst 2 km*” (Viak 1974 och 1981).

5.3 Karst

Med karst avses landskap och landformer som skapats genom korrosion av karbonathaltig berggrund. Karst kan vidga befintliga sprickor till mångdubbel storlek och därmed ha en betydande påverkan ett områdes hydrogeologi. SGU har tagit fram en rapport som bl.a. sammanställer kunskapsläget om karst på Gotland (SGU, 2022). Nedanstående beskrivningar är hämtade från denna rapport om inget annat anges.

Den vanligaste typen av karst på Gotland är ytnära karst (epikarst) som utvecklas i den omättade zonen. Typiska exempel är de karstskrevor som skapats genom att meteoriskt vatten löst upp kalkstenen i anslutning till sprickor. Förekomsten av epikarst, är dock inte systematiskt dokumenterad på Gotland. Vid SGU:s berggrundskartläggning av Gotland 2006–2008 noterades karstskrevor främst inom hällområden med kalksten som ligger högre än cirka 25 m.ö.h. Förekomsterna verkade, förutom topografi och närvaron av sprickor, även vara knutna till speciella typer av kalksten. Karbonatrika, kristallina, sprickiga och homogent lagrade kalkstenar är mer benägna att påverkas av karst i jämförelse med lerigare varianter. Som jämförelse finns i regel ingen karst inom områdena med märgel på Gotland.

Epikarst är som nämnt ovan, strukturer som bildas i den omättade zonen med meteoriskt vatten, det vill säga nederbördsberoende karst. Det är också i den omättade zonen som merparten av upplösningen sker eftersom det meteoriska vattnet ofta hinner nå jämvikt mellan koldioxiden i vattnet (kolsyra) och dess salt (bikarbonat) innan det når den mättade zonen (grundvattnet). Den lösta koldioxiden i det meteoriska vattnet förbrukas relativt snabbt med djupet vilket gör att epikarst vanligtvis inte sträcker sig djupare än cirka 15 m (Williams 2008, Jones 2013).

SGU har observerat att karstskrevornas djupgående beror på kalkstenens lagring och bankning. Ofta bryts eller länkar sprickorna av vid lagergränser redan på 0,5–1 m djup vilket gör att det meteoriska vattnet omväxlande följer sprickor respektive utmed hydrauliskt konduktiva lagringsplan på sin väg neråt i berggrunden och i topografin.

Riktningarna på de öppna karststrukturerna tycks också vara lokalt betingade även om man kan förmoda att det finns regionala trender. På Gotland är karstskrevorna ofta mindre än en meter djupa och det vatten som ansamlas i skrevorna perkolerar inte bara neråt utan länkas ofta av utmed lagringplan mot underliggande lager med mindre karstbenägen kalksten eller märgelsten. Detta laterala flöde kan resultera i utsipprande meteoriskt vatten i sänkor i intilliggande terräng där den tätare berggrunden bildar underlaget, vilket ger förutsättningar för bildandet av vätar.

Samtliga ovanstående beskrivningar stämmer väl överens med de observationer som gjorts inför denna tillståndsansökan samt inför Cementas tidigare tillståndsansökningar. Nedan följer ett urval av observationer som bekräftar SGU:s bild:

- Ingen karst har observerats under de ytligaste metrarna längst de över 8 km av blottade täktväggar som finns i Västra brottet och Filehajdar täkten, vilket bekräftar att karst är mycket ovanligt i märgelsten samt att karst snabbt avtar med djupet.
- Observationer av ett landskap utan ytvatten nära efter ett extremt nederbördstillfälle i områden med mycket epikarst på norra File hajdar samtidigt som det var mycket blött i Vätar och på områden med märgelsten eller kalksten utan karst visar att epikarsten kan ha en betydande hydraulisk konduktivitet och därmed stor påverkan på ythydrologin. En bild som förstärktes av hur vatten strömmande ut ur karstifierade sprickor och bankningsplan något lägre ner i topografin vid samma tillfälle.
- Mätningar av vattentemperaturen under några vinterdagar har visat att det vatten som strömmar ut i vätar inom områden med ställvis rik karstförekomst inte har transporterats mer än någon meter under markytan. Det enda källflöde som påträffats inom undersökningsområdet och uppmätts härröra från

mer än enstaka meter under markytan var vid Prosthulet på Hejnumhällars östra kant (ett område som dock ej berörs av denna ansökan).

Någon systematisk kartering av epikarst har inte gjorts inom ramen för denna studie då dess exakta utbredning inte anses ha någon betydelse för påverkan av den nu ansökta utökningen av täkterna. Det är dock tydligt i fält att det förekommer stora lokala variationer av mängden karst inom den del av kalkstenen som beskrivs som revkalksten i SGU:s förenklade litologiska beskrivning (Figur 14). Man kan med andra ord säga att den litologiska beskrivningen är relevant för att avgränsa områden utan kontinuerliga vattenförande lager men ej tillräcklig för att i detalj beskriva var epikarst är mest frekvent.

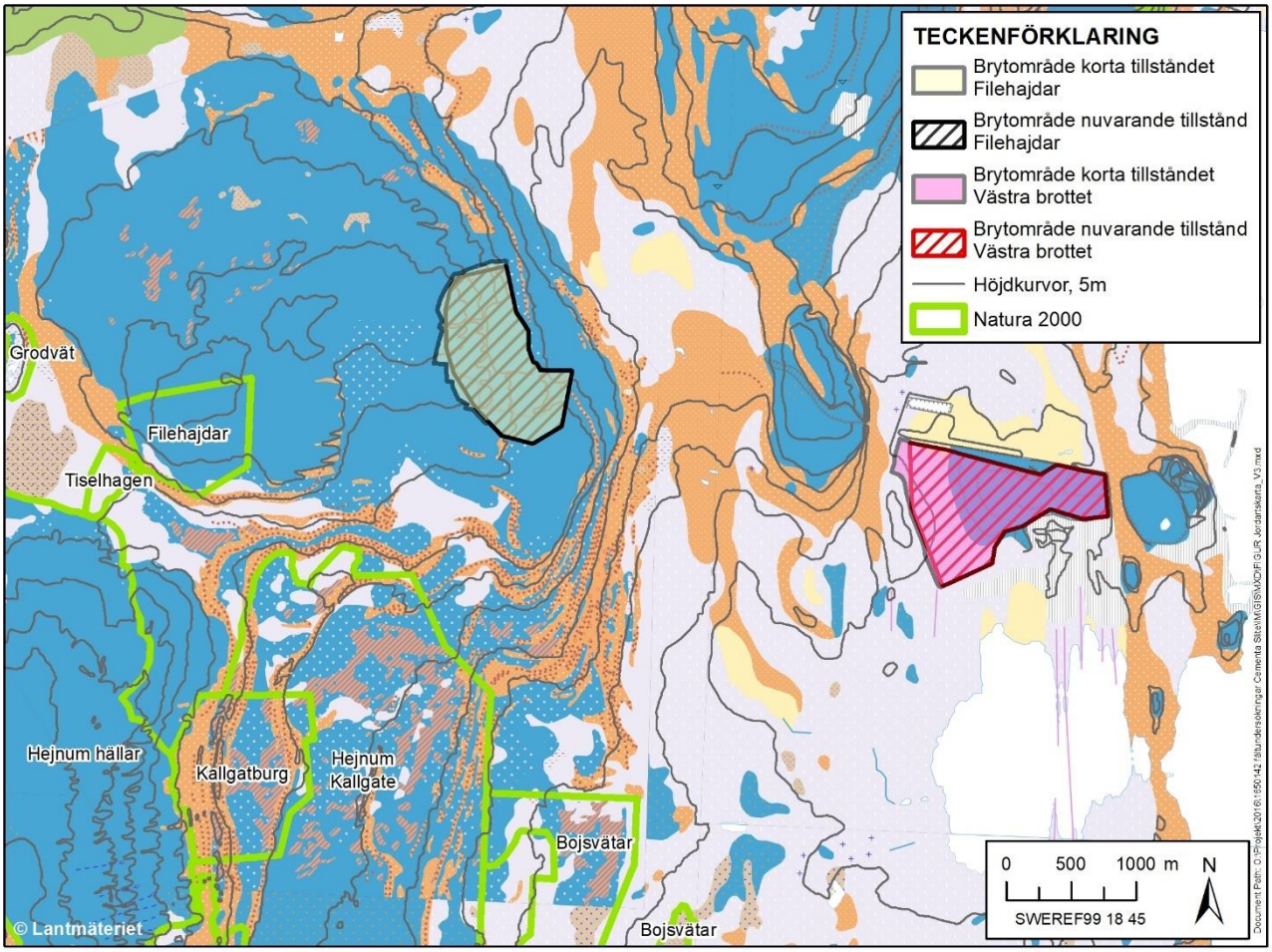
Det förefaller sannolikt att epikarst kan möjliggöra en ökad grundvattenbildning även till djupare strukturer i berget vilket även SGU påpekar i sin rapport (SGU, 2022). Det är därmed sannolikt att det finns lokala variationer även på grundvattenbildningen inom området. Även i grundvattenmodellen varierar grundvattenbildningen eftersom modellen beräknar grundvattenbildningen utgående från nettonederbörden och genomsläppligheten på jord och berg. Eftersom genomsläppligheten är definieras som heterogen även i den lokala skalan så varierar grundvattenbildningen lokalt.

5.4 Kvartära avlagringar

De kvartära avlagringarna på File hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen (blå färg på jordartskartan i Figur 19 nedan). I det lågt liggande området mellan File hajdar och Ytings i öster finns relativt mäktiga jordlager av moränlera. Enligt SGU:s jorddjupskarta uppgår jorddjupet i huvudsak till 5–10 meter men partier med 10–20 meter kan förekomma. Även området runt Västra brottet har ett jordtäcke med flera meter moränlera. Bergets låga vertikala genomsläpplighet tillsammans med att de kvartära avlagringarna i anslutning till File hajdar i huvudsak utgörs av täta jordarter innebär att grundvattenbildningen är låg. Den låga grundvattenbildningen bekräftas av förekomsten av tillfälliga vattensamlingar på markytan vid vått väder, och en relativt stor ytavrinning. Runt File hajdar på olika topografiska nivåer finns en rad strandavlagringar med sand och grus avsatta under Östersjöns olika transgressionsstadier (orange färg på jordartskartan i Figur 19).

SGU har under våren 2022 karterat om jordartskartan över området, nu i skala 1:25 000, i syfte att beskriva jordlagren på en större detaljnivå. Den konceptuella bilden har inte förändrats, men den mer detaljerade bilden beaktas vid det vidare arbetet kring Cementas tillståndsansökan.

Utöver en ökad detaljrikedom är den största skillnaden mellan SGU:s kartering från våren 2022 och äldre underlag att klassificeringen av jordarten i flera lågområden (bl.a. nedanför strandvallarna i Hejnum Kallgate natura 2000-område), är justerat från moränlera till vittringsjord (orange med blå streck på jordartskartan i Figur 19). Denna ändring, hydrogeologiskt sett, ändrar hydrogeologiskt sett inte den konceptuella bilden då båda jordarterna är täta med låg genomsläpplighet.

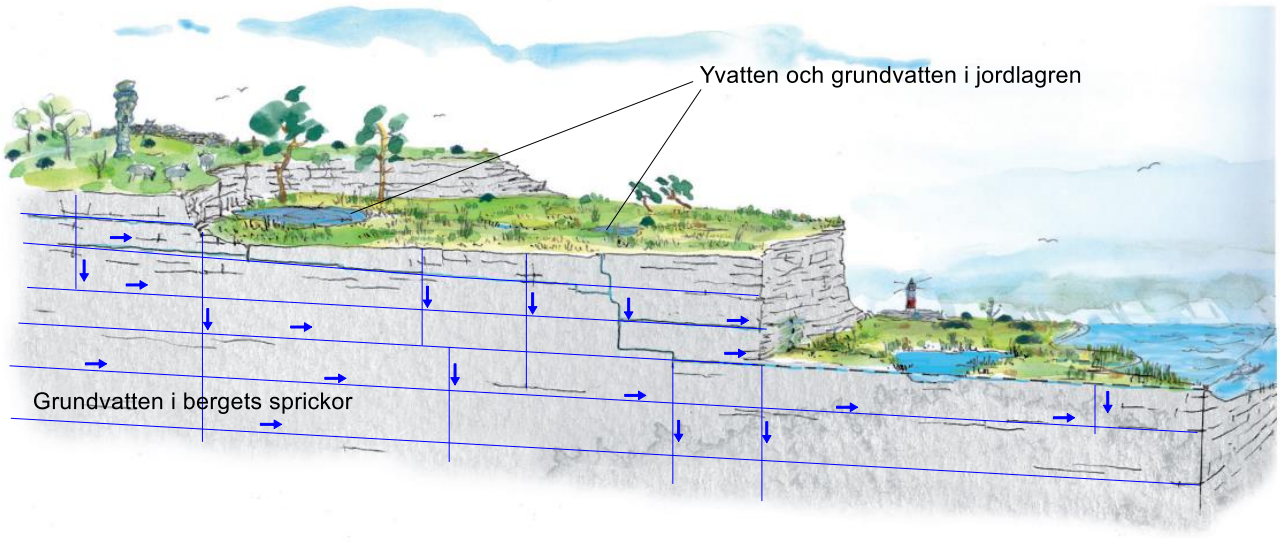


Figur 19: SGU:s jordartskarta kompletterad med nuvarande täktutbredning och Natura 2000-områden.

5.5 Jordvatten och berggrundvatten

Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. Dessa två grundvattensystem kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar eller strandvallar. Det är grundvattnet i jordlagren som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. En skiss som visar principerna för denna typ av hydrogeologi visas som Figur 20.

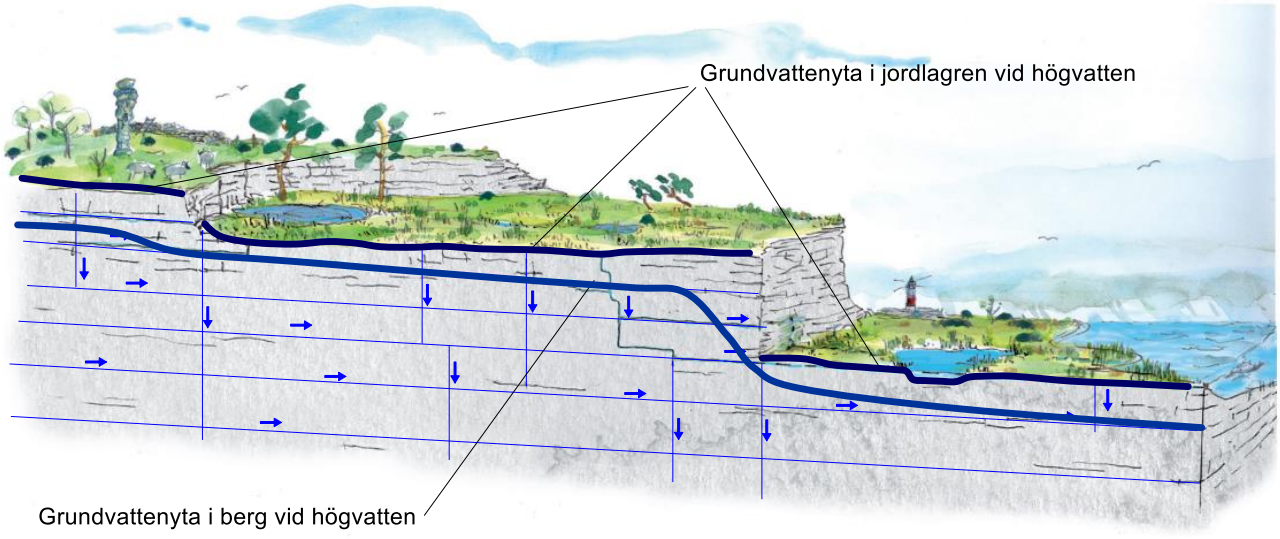
Grundvattnet i berget är till större delen koncentrerat till subhorisontella lager, som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare sten. Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor.

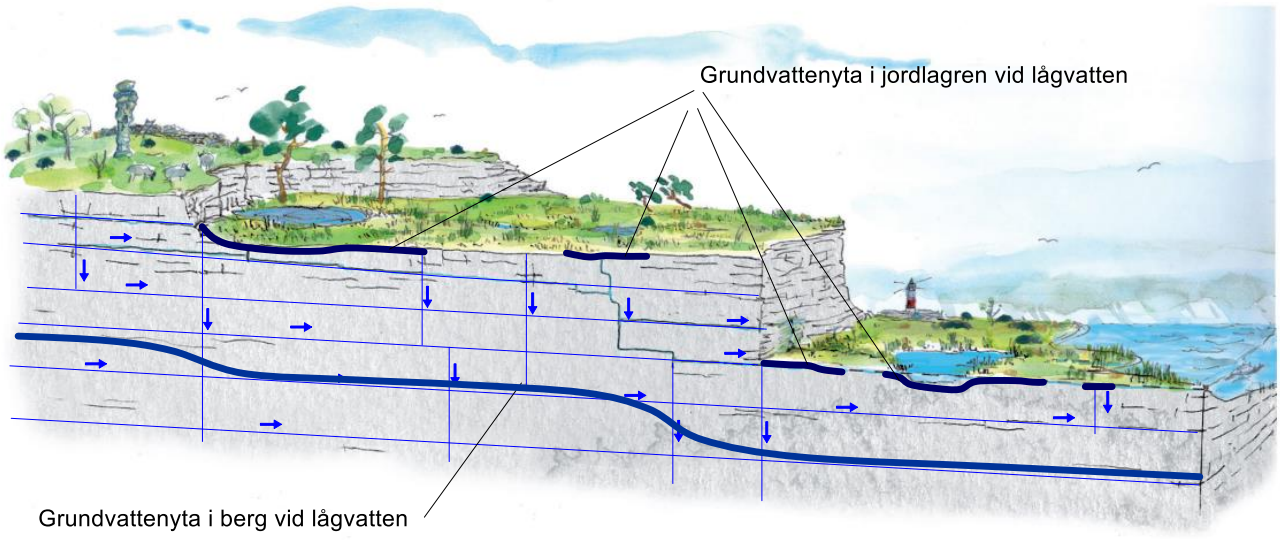


Figur 20: Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar. Det är i grundvattnet i jordlagren som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. (Figur ursprungligen från SGU, 2017b. Figuren är modifierad.)

En mycket stor variation i grundvattennivå mellan olika årstider har observerats i borrhålen i berg inom det studerade området. Vattennivåerna i jordlagren varierar alls inte lika mycket, men jordlagren kan i stället inom vissa områden delvis torka ut under perioden med liten nederbörd.

En skiss som visar principerna för den ovan diskuterade variationen i grundvattennivå visas som Figur 21.





Figur 21: Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. En mycket stor variation i grundvattennivå har observerats i borrhålen inom det studerade området. (Figur ursprungligen från SGU, 2017b. Figuren är modifierad).

Exempel på variation i grundvattennivå i berg och jord ges nedan i Figur 22. Figuren visar uppmätta grundvattennivåer under ett år för två borrhål. BH2001 som är borrat ned i berget och BH1905J som endast är borrat i jordlagren, bägge borrhålen är placerade sydväst om File hajdar vid kanten av Hejnum Kallgate Natura 2000-område. Borrhålen står inte bredvid varandra, men avståndet mellan dem är inte stort, lägena framgår av Figur 23. BH2001 visar grundvattennivåer i berg, och BH1905J visar grundvattennivåer i jordlagren.

De observerade grundvattennivåerna i bergets spricksystem (BH2001) visar på mycket stora variationer under året. Grundvattennivåerna i BH2001 varierar mellan +16,8 m.ö.h. (minimum) och +47,4 m.ö.h. (maximum), amplituden är 30,7 m och medelvärdet 32,4 m.ö.h. När vi i denna rapport talar om amplitud så syftar vi på skillnaden mellan maximivärdet och minimivärdet.

De observerade grundvattennivåerna i jordlagren (BH1905J) visar på betydligt mycket mindre variationer under året. Grundvattennivåerna i BH1905J varierar mellan +39,9 m.ö.h. (minimum) och +40,7 m.ö.h. (maximum). Amplituden är 0,9 meter (att jämföra med 30,7 i berggrundvattnet). Medelvärdet är 40,3 m.ö.h.

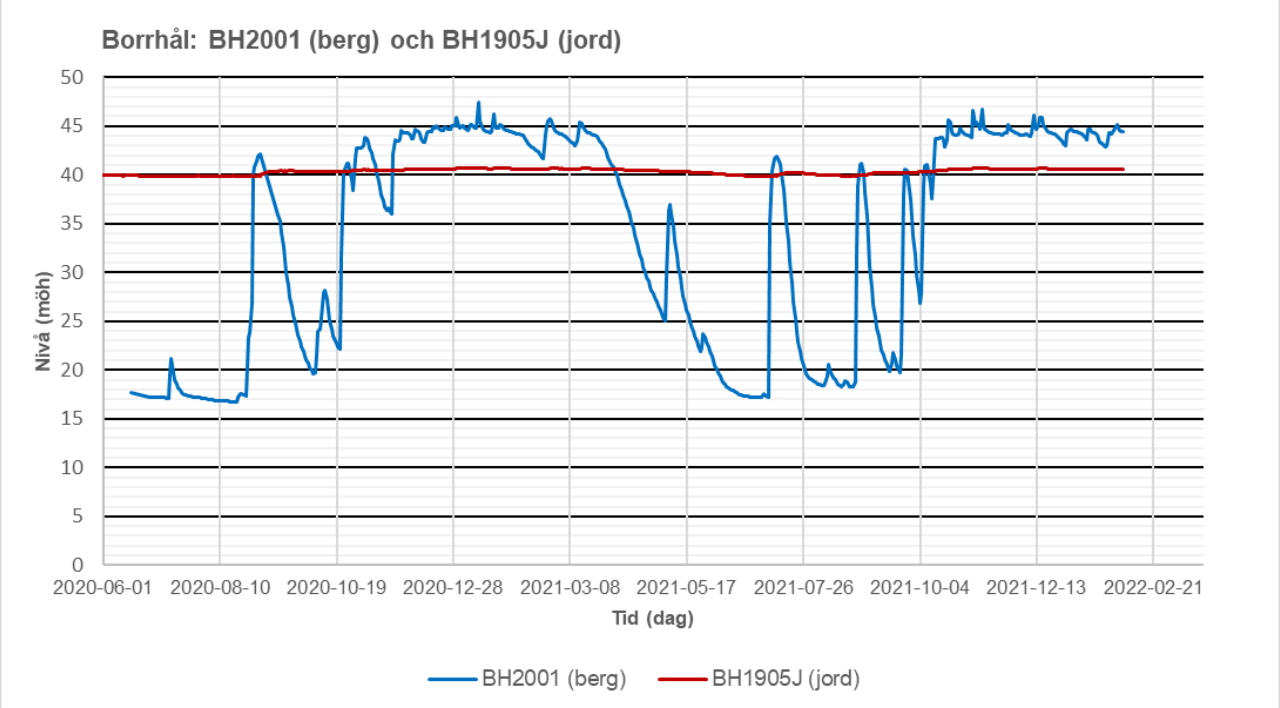
Den årstidsbundna variationen i vattennivå i jordlagren blir mycket mindre än i berg eftersom det är en helt annan typ av hydrogeologiskt system än grundvattensystemet i bergets sprickor. Grundvattensystemet i jordlagren är ett öppet system med mycket större porositet, nederbörden faller direkt på jordlagren, och vattnet i jordlagren står i kontakt med ytvattensystemet (vattendragen). Grundvattnet i jordlagren står inte i direkt kontakt med den kommunala vattentäkten, och endast i mycket ringa utsträckning i kontakt med dagbrotten. De stora tryckfluktuationer i berggrundvattnet som skapas av till exempel vattentäkten syns alltså inte i jordgrundvattnet. Grundvattensystemet i jordlagren kommunicerar med de vattenförande horisontala sprickzonerna i berget via vertikala sprickor.

Det är grundvattnet i jordlagren som försörjer växterna med vatten. Eftersom den årstidsbundna variationen i grundvattennivå är ringa i jordlagren är det möjligt för växterna att överleva en sommar med lite nederbörd. Om växterna i det studerade området direkt försörjdes av grundvattnet i berg så skulle de flesta växterna vissna under sommaren, eftersom grundvattennivån i berget kan sjunka så mycket som 30 meter under sommaren. Skillnaden mellan grundvattennivåer i jord och berg är en mycket viktig skillnad för de studerade grundvattensystemen, i synnerhet med avseende på växter.

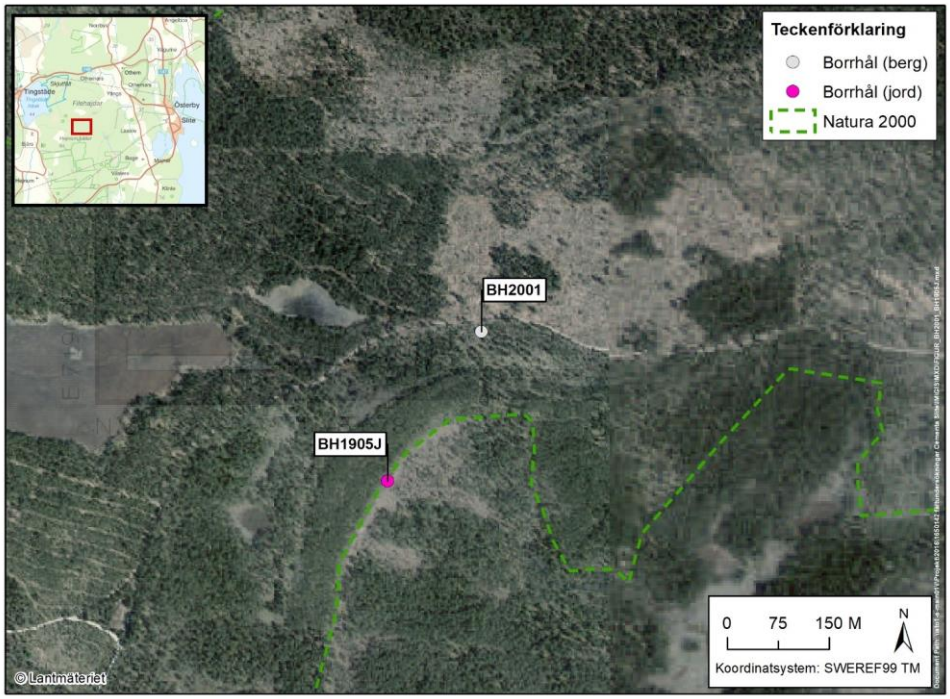
Grundvatten som lagrats i jordlagren under nederbördsrika perioder utströmmar i vattendragen, och sådan utströmning sker även under nederbördsfattiga perioder. Jordlagren har en mycket större porositet och förmåga att lagra vatten än bergets spricksystem. Siktanalyser på jordprov tagna i strandvallarna visar på ett sorterat material i huvudsak inom grusfraktionen, men med inslag av sand och sten. Ett sorterat grusmaterial kan enligt Freeze et.al (1979) ha en porositet på 25–40%, där i stort sett all porositet utgör effektiv porositet. Porositeten hos lera och silt brukar variera mellan 25 och 75 % (SGI, 2008), trots att den effektiva porositeten endast uppgår till några få procent. Den effektiva porositeten för morän brukar anses ligga inom spannet 1–10% (Naturvårdsverket, 2007). Porositeten i ytliga jordlager är normalt betydligt större än i djupare jordlager, på grund av biologisk aktivitet och tjälfrysning. Enligt Lundin (1977) kan porositeten i markens översta 0,3 m vara så hög som 60 %. Sammantaget innebär jordens porositet en stor förmåga att lagra vatten, vilket jämnar ut flöden och tillgängliggör vatten för växtligheten under torrare perioder.

Växterna kan även nyttja vatten som inte ryms inom den effektiva porositeten utan binds av kapillärkrafterna mellan jordkornen. Inom rotzonen kan växterna suga upp vatten ner till en gräns/vattenhalt benämnd vissningsgräns ”Vissningsgräns är den vattenhalt, då det kvarvarande vattnet är så hårt bundet att växterna inte längre tar upp det. pF-värdet anges vanligen till 4,2 vilket motsvarar ett undertryck av 150 m vattenpelare (1,5 MPa). Vissningsgränsen kan således sägas motsvara växtrötternas maximala sugkraft. Gränsen inträffar normalt vid vattenhalter från c:a 25 volymprocent för styva leror och vid 12 volymprocent för sandjordar”, Sveriges Skogsvårdsförbund (2000).

Bergets porositet och förmåga att lagra vatten är i jämförelse liten, vilket är en av orsakerna till de stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå som har observerats i berget. Lokalt inom kalkstensområden med ett sprickrikt ytberg (SGU, 2022) kan porositeten antas vara betydligt förhöjd den översta ca metern. Några tillförlitliga litteraturvärden på porositet i denna typ av geologi har ej hittats men fenomenet kan förväntas bidra till att bibehålla vatten längre tex för nedströms liggande våtmarker.



Figur 22: Observerad variation i grundvattennivå i BH2001 (berg) och BH1905J (jord) under ca två år. Perioden är 20-06-18 till 22-02-03.



Figur 23: Borrhålens läge vid gränsen till Hejnum Kallgate Natura 2000-område.

5.6 Verifiering av konceptuell- och numerisk modell utifrån nya data

År 2020 gjordes undersökningar med flödesloggning av borrhål som till stor del var nyborrade och samtliga ej tidigare hydrauliskt testade borrhål. Detta innebar en möjlighet att verifiera hur väl de upprättade konceptuella och numeriska modellerna överensstämmer med uppmätt fältdata. Studien har tidigare redovisats mer ingående i Golder (2020d). Studien visade att i de borrhål som var placerade i märgelstenen i området vid File hajdars södra kant norr om Hejnum Kallgate natura 2000-område kunde identifierade vattenförande lager korreleras med en mycket hög samstämmighet med vad som oberoende angivits i den numeriska modellen. Jämförelsen avsåg både:

- samlad transmissivitet (genomsläpplighet) för de vattenmättade delarna av borrhålen
- transmissivitet för enskilda lager
- geometrisk korrelation mellan antagen lutning av sub-horisontella lager i modellen och i verkligheten uppmätta lägen för flödesanomalier (punkter för huvudsaklig vatteninströmning)

Den numeriska modellen var och är som nämnts i tidigare kapitel framtagen utifrån en konceptuell baserad på fältstudier i Västra brottet och ett stort antal i och kring File hajdar-täkten.

Störst avvikelse noterades i de två hål som ligger längst från File hajdar-täkten, BH2006 och SGU93/1 vilka med den nu genomförda uppdateringen av den konceptuella modellen, utifrån ytterligare geofysisk data, konstaterats ligga utanför det område som kan knytas till de sammanhängande kontinuerliga lagren i märgelstenen.

SGU:s geofysiska modell har gett en ytterligare kunskap om revkalkens utbredning inom områden på större avstånd från File hajdar-täkten där Cementa inte utfört undersökningar eller endast hade tillgång till ett begränsat dataunderlag. Den geofysiska modellen har även kunnat ge ett djup och en mer exakt utbredning i 3D på revstrukturer som identifierats i fält och genom hydrauliska tester men ej avgränsats tydligt tidigare. Modellens mätdata har samtidigt kunnat verifieras genom de nu genomförda geofysiska mätningarna. T.ex.

har de uppmätta anomalier som identifierats i Cementas västra profil (se avsnitt 4.1) (som det sedan borrats i och konstaterats ett ökat lerinnehåll mot djupet) kunnat korreleras mot SGU:s tolkade stråk av märgelsten (se Figur 15).

De nyborrade borrhålen BH2103 och BH2104 inom revkalkstenen har låg hydraulisk konduktivitet och inga flödesanomalier som sammanfaller med nivåer tolkade utifrån de kontinuerliga lagren i märgelstenen. Vilket visar på revkalkstenens mer heterogena struktur.

BH2007 har sedan hålet började mätas visat på grundvattennivåer som har legat nära eller över markytans nivå. Den geofysiska modellen indikerat ett djup på revkalkstenen på ca 40–50 m vid läget för BH2007. Av denna anledning fördjupades borrhålet från 40 till 60 meter och en permanentmanschett installerades på 40 meters djup. Efter installation uppmättes en ca 16 m lägre trycknivå under manschett än ovan. Den hydrauliska konduktiviteten var relativt låg i bägge sektioner. Resultatet styrker tolkningen att borrhålets övre del sitter i revkalksten vilken försörjs med vatten relativt lokalt från det uppströms belägna höjdområdet. Borrhålets undre del når märgelstenen med dess kontinuerliga lager, som har nivåer som sänks av vattenuttag på stora avstånd.

5.7 Hydrometeorologi

För beräkning av hydrologiska och hydrogeologiska förändringar eller vattenbalanser krävs hydrometeorologiska ingångsparametrar. Med nettonederbörd (R) menas skillnaden mellan nederbörden (P) och avdunstningen (E). Nettonederbörden kallas också för potentiell grundvattenbildning eller avrinning. Nettonederbörden är alltså det som finns kvar av nederbörden (P) efter det att avdunstning och transpiration från växterna (E) har subtraherats från nederbörden. Nettonederbörden beräknas som R = P – E.

I denna studie har vi använt oss av samma värde på nettonederbörden som SGU har använt i en studie för Gotlands kommun: *Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003*. Det använda värdet på nettonederbörden baseras på data från SMHI, som har beräknat nettonederbörden för olika platser på Gotland. Resultatet presenteras i Tabell 5.

Tabell 5: Av SMHI uppskattad och beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende olika platser på Gotland. (Från studie av SGU för Gotlands kommun, Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003).

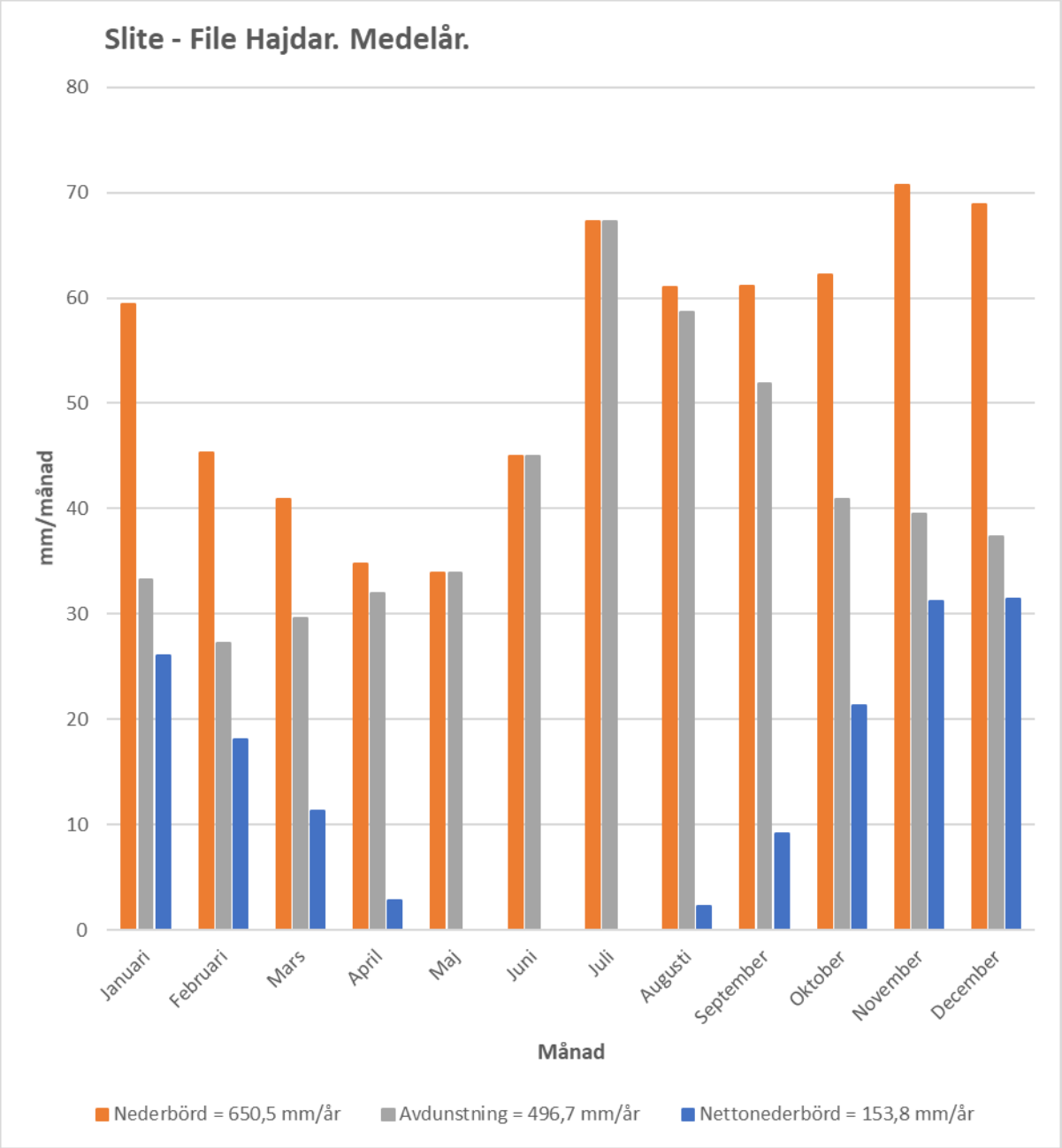
	Gotland. Uppskattad och beräknad nettonederbörd [mm/månad]												
Månad	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Total
Roma SV	25	19	35	31	9	3	2	2	6	11	23	26	**192**
Roma NV	21	16	30	27	6	2	1	2	5	9	18	22	**159**
Fårö	17	12	24	22	6	2	3	3	5	8	16	18	**136**
Herrvik	19	11	31	25	5	3	1	2	4	6	12	17	**136**
Visby	19	14	29	26	6	2	1	2	5	8	16	19	**147**
MEDEL	20,2	14,4	29,8	26,2	6,4	2,4	1,6	2,2	5,0	8,4	17,0	20,4	**154**

Av tabellen framgår att medelvärdet för de olika platserna är 154 mm/år. Detta värde är ett representativt värde baserat på beräkningar av SMHI, och har använts för att göra dessa beräkningar jämförbara med tidigare studier utförda för Gotlands kommun. Den beräknade vattenbalansen för File hajdar och Slite, avseende ett medelår, visas nedan i Tabell 6 och Figur 24.

Det är under vintern som den huvudsakliga nettonederbörden och grundvattenbildningen äger rum. Det är dock troligt att en ringa nettonederbörd kan förekomma under sommaren vissa år. Antagandet om noll nettonederbörd under sommaren är ett konservativt antagande med avseende på den påverkan som erhålls från de utökade dagbrotten, dvs. ett antagande som leder till en överskattning av dagbrottens påverkan. För simuleringar med långa tidshorisonter (tex nollalternativ om 30 år) är en ytterligare konservativ faktor som överskattar dagbrottens påverkan att nettonederbörden hålls konstant. Nederbördsstatik visar på en tydligt ökad nederbördsmängd, se Figur 47.

Tabell 6: Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende File hajdar och Slite.

	Slite och File hajdar. Uppskattad och beräknad vattenbalans [mm/månad]												
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	59,4	45,3	40,9	34,8	33,9	45,0	67,3	61,0	61,1	62,2	70,7	68,9	650,5
E	33,3	27,2	29,6	32,0	33,9	45,0	67,3	58,7	51,9	40,9	39,5	37,4	496,7
R	26,1	18,1	11,3	2,8	0	0	0	2,3	9,2	21,3	31,2	31,4	153,8



Figur 24: Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende File Hajdar och Slite.

6.0 GRUNDVATTENNIVÅER OCH FLUKTUATIONSMÖNSTER

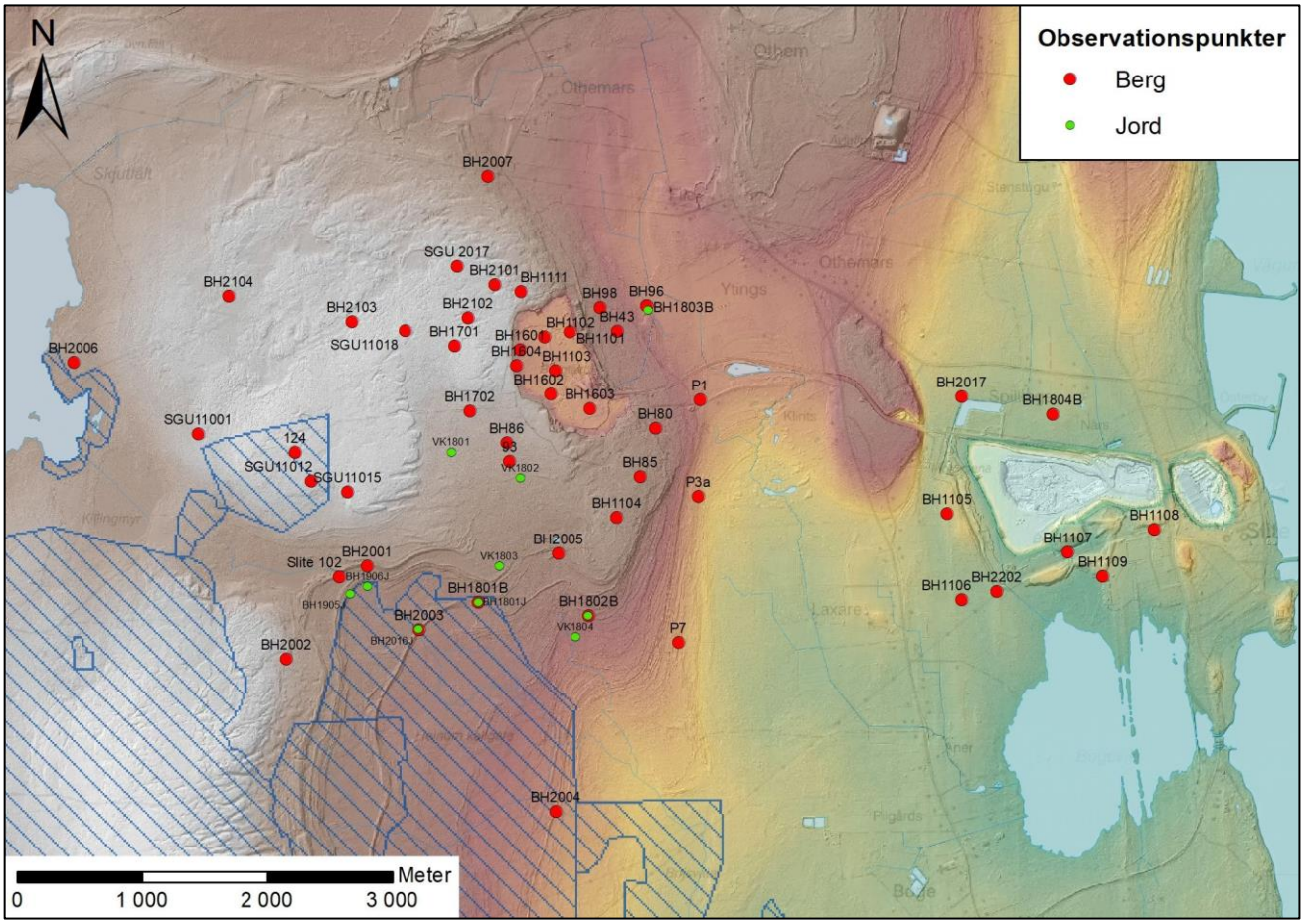
6.1 Övergripande beskrivning

Inom aktuellt område finns ett stort antal observationspunkter för grundvattennivåer (Figurfigur 25). Merparten av observationspunkterna avser grundvatten i berg och det är även för denna observationstyp som längst tidsserier finns att tillgå. I de äldsta observationspunkterna startade mätningarna i slutet av 1960-talet. Observation av ytligt grundvatten i jord har främst gjorts i området söder om File hajdar-täkten. För dessa observationspunkter finns tidsserier med start 2018.

Grundvattennivåer varierar över tid som följd av variationen i grundvattenbildning och grundvattenavrinning. Inom aktuellt område förekommer generellt en mycket stor inomårsvariation för grundvattennivå i berg (upp till

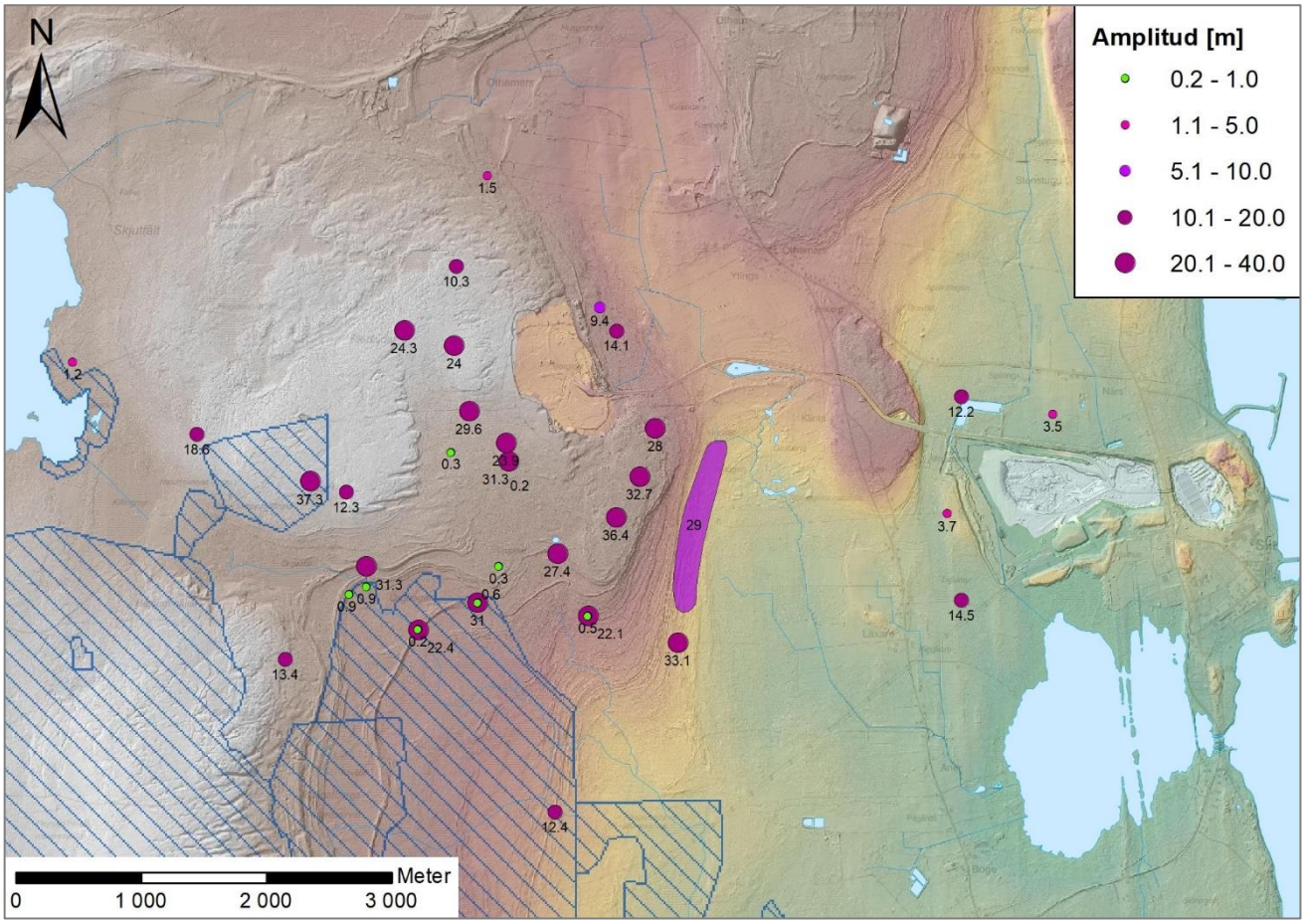
>30 m), dels som följd av naturgivna förhållanden, dels påverkat av bergtäkterna (främst västra och östra brottet) som inverkar på grundvattenavrinningen samt dels påverkat av den kommunala grundvattentäkten. Detta gäller huvudsakligen för berggrundvatten i kontakt med de subhorisontella genomsläppliga zonerna i Slitelagren, medan berggrundvatten i ytligare liggande revkalksten, samt jordgrundvatten, uppvisar en betydligt mindre inomårsvariation, typiskt kring <5 m för berg och <1 m för jord.

Grundvattnets fluktuationsmönster beskriver således vilket system som observationspunkten tillhör och bidrar till förståelsen av det grundvattenhydrauliska systemet. Studie av fluktuationsmönster kan, tillsammans med trender i absolutnivåer, visa hur grundvattennivåer påverkats historiskt av olika verksamheter (exempelvis bergtäkter och vattentäkter), men även stödja bedömning av hur grundvattennivåer kan påverkas av framtida verksamheter.



Figur 25: Observationspunkter för grundvattennivåer i jord och berg.

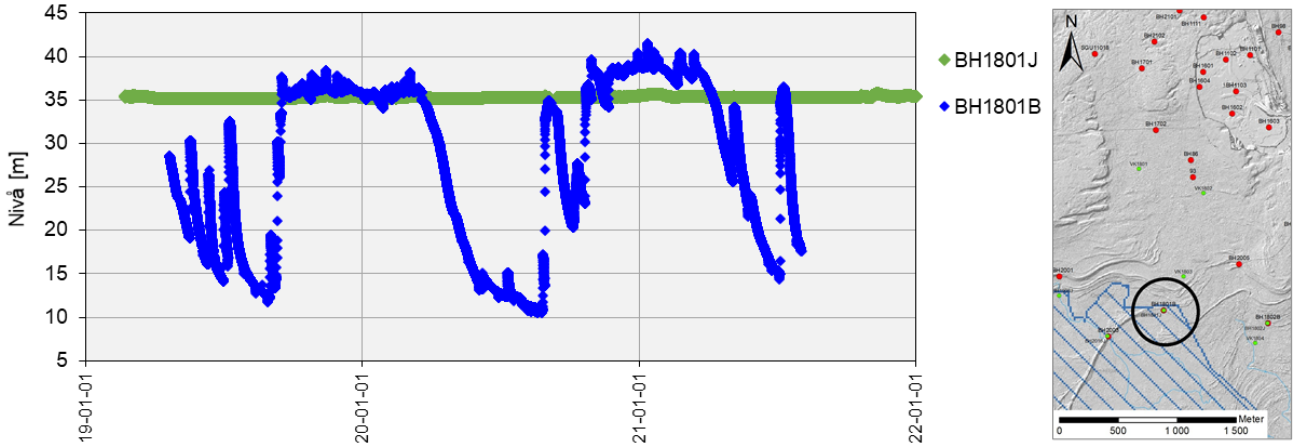
En representation av den rumsliga fördelningen i variationsvidd kan ses i Figur 26, där liten amplitud (<1 m) kan ses för mätpunkter i jord och successivt större amplituder kan ses för olika mätpunkter i berg. Den kommunala berggrundvattentäkten representeras med ett område inom vilket nivåvariationen anges som ett medelvärde för de i täkten ingående brunnarna. I öster kan det noteras att mätpunkterna i nära anslutning till Västra brottet har en förhållandevis liten amplitud, vilket beror på att nivåerna här är avsänkta till följd av bergtäkten.



Figur 26: Observerad variationsvidd i vattennivåer i observationspunkter, statistik från 2015–2022.

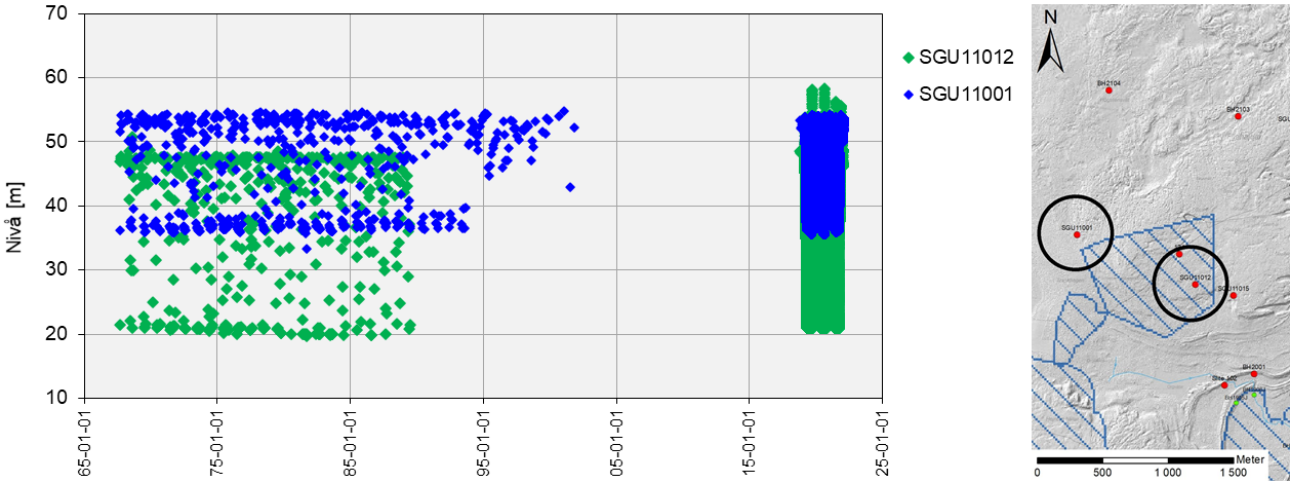
Nedan redovisa några exempel på tidsserier för att visualisera det dataunderlag som finns att tillgå, jämte peka på vissa slutsatser som kan dras utifrån underlaget. En mer detaljerad sammanställning av mätdata redovisas i BILAGA C.

Som framgår av Figur 26 förekommer stora nivåfluktuationer för grundvatten i berg, framför allt vid den kommunala grundvattentäkten och inom höjdområdet väster om vattentäkten. Detta gäller dock inte för nivåfluktuationer i jord, vilket illustreras i exemplet i Figur 27.



Figur 27: Exempel på typisk nivåfluktuation i berg (blå) och jord (grön), visualiserat för observationspunkt BH1801J (jord) och BH1801B (berg) söder om File hajdar-täkten. Observera att trycknivån i bergborrhålet mäts med tryckgivare i rör med tätt lock som medger mätning av trycknivåer över överkant rör, vilket förekommer vid högvattennivå.

De stora nivåfluktuationerna i berg har förekommit under lång tid innan File hajdar-täktens tillkomst, vilket illustreras av observationspunkterna SGU11001 och SGU11012 i Figur 28 nedan. Av nivåerna framgår även att det inte kan spåras någon påverkan på grundvattennivåerna här som följd av File hajdar-täkten.

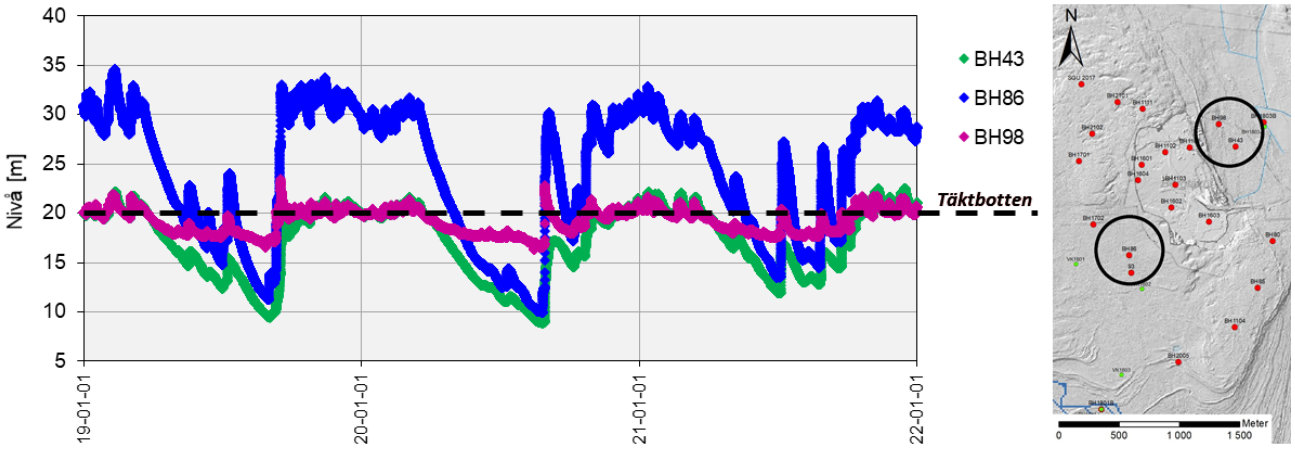


Figur 28: Exempel som visar att den stora fluktuationen i berggrundvattennivåer inom området förevarit under lång tid innan File hajdar-täktens tillkomst 1983, här illustrerat av nivåer i observationspunkterna SGU1101 och SGU11012, sydväst om File hajdar-täkten.

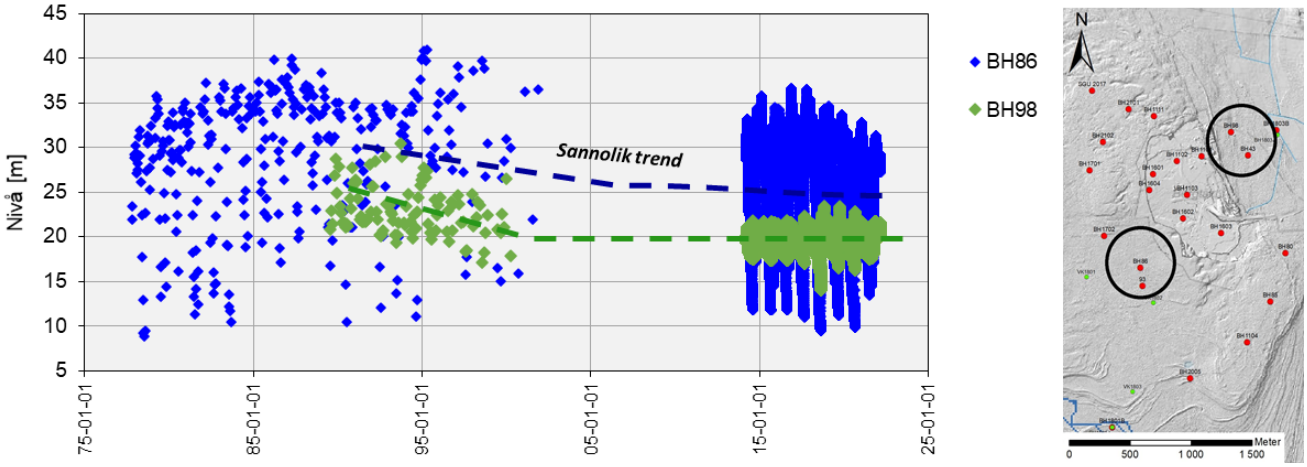
I närmare anslutning till File hajdar-täkten kan det noteras att grundvattentrycknivåerna i berg under betydande delar av året ligger lägre än täktbotten (Figur 29). Under sådan förhållanden kan det förstås att grundvatteninläckage till täkten är försumbart. Vid studier av absolutnivåer för längre tidsserier kan det ses att File hajdar-täkten sannolikt medfört en viss avsänkning av grundvattennivåerna i sitt närområde (Figur 30).

De nutida låga nivåerna under sommarhalvåret bedöms till stor del beror på uttag vid den kommunala vattentäkten, vars nivåer samvarierar väl med grundvattennivåer i berg väster om vattentäkten i Figur 31 kan ses hur nivåer vid vattentäkten kan följas västerut till BH1104 och vidare mot BH86. Det kan även noteras att BH1104, närmast berggrundvattentäkten, har ett påfallande likt fluktuationsmönster som vattentäkten men även likartade absolutnivåer. Samma koppling kan göras mellan vattentäktens nivåer och nivåfluktuationer i VSV riktning (Figur 32).

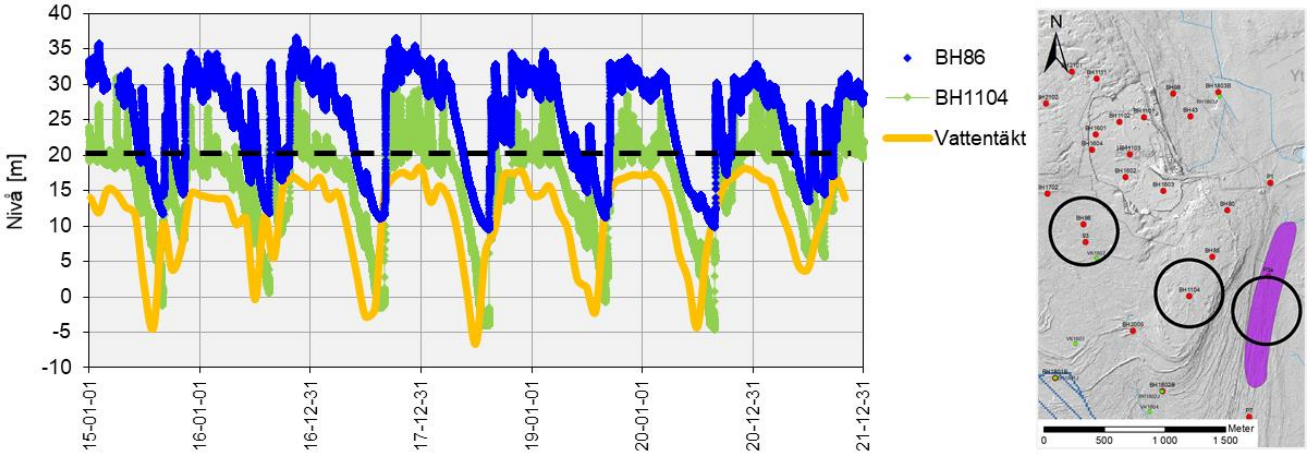
Grundvattentrycknivåerna i berg kring västra brottet är tydligt påverkade av bergtäkten, vilket framgår av de låga absolutnivåerna samt att variationsvidden i årstidsfluktuationerna är betydligt mindre än vad som annars hade varit att förvänta (Figur 33).



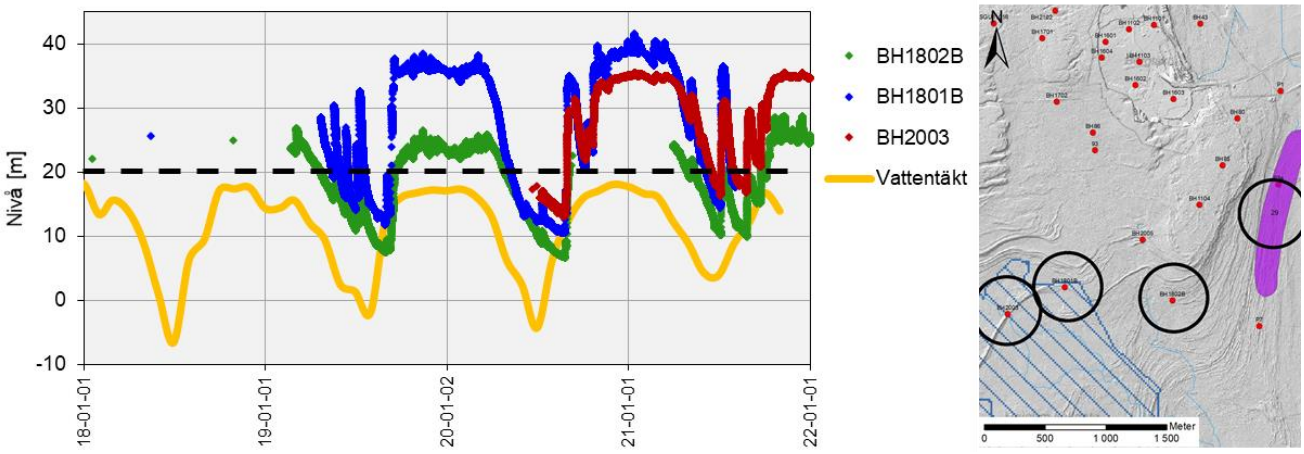
Figur 29: Exempel som visar att grundvattentrycknivåer i berg, i anslutning till File hajdar-täkten, under stora delar av året ligger lägre än täktbotten.



Figur 30: Exempel som visar att historiska grundvattentrycknivåer i berg i nära anslutning till File hajdar-täkten före täktens tillkomst.

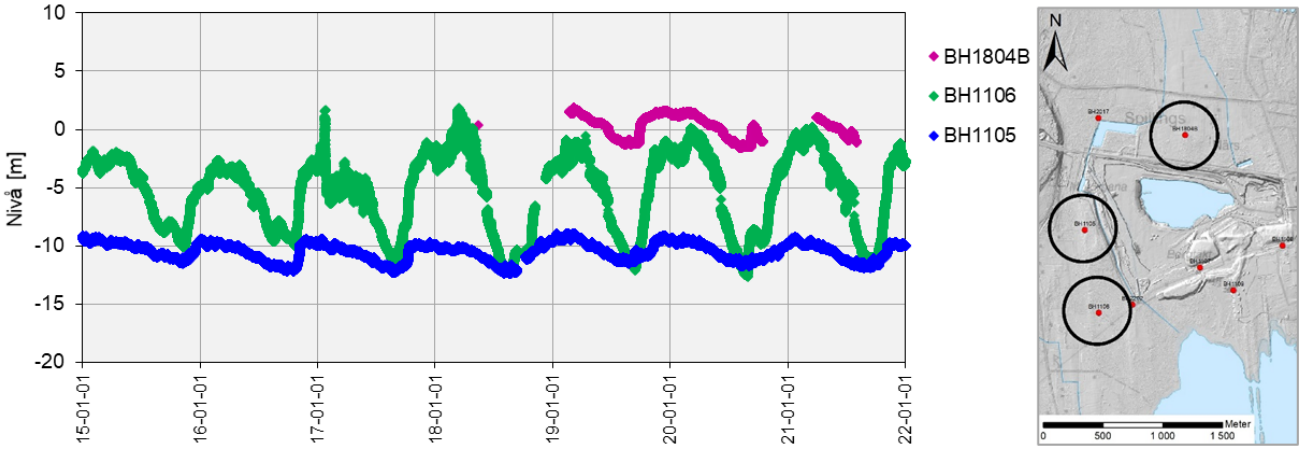


Figur 31: Exempel som visar att grundvattentrycknivåer vid den kommunala berggrundvattentäkten, sydost om File hajdar-täkten, samvarierar med grundvattentrycknivåer i berg väster om vattentäkten, samt att absolutnivåerna vid vattentäkten ligger lägre än nivåerna vid bergtäkten. Grundvattentrycknivåer vid vattentäkten illustreras med en medelvattennivå för brunnar ingående i täkten.



Figur 32: Exempel som visar att ett likartat fluktuationsmönster som redovisas i Figur 31 även förekommer i västsydvästlig riktning om berggrundsvattentäkten.

Grundvattentrycknivåerna i berg kring västra brottet är tydligt påverkan av bergtäkten, vilket framgår av de låga absolutnivåerna samt att variationsvidden i årstidsfluktuationerna är betydligt mindre än vad som annars hade varit att förvänta (Figur 33).



Figur 33: Exempel som visar de avsänkta grundvattennivåerna kring Västra brottet.

6.2 Sammanfattande slutsatser om grundvattennivåer

Baserat på de uppmätta grundvattennivåerna i borrhålen som redovisats ovan kan vi dra följande slutsatser. Diskussionen nedan gäller *berggrundvatten* om inte annat sägs.

En mycket stor inomårsvariation i grundvattennivåer har observerats för observationspunkter i berg som står i kontakt med subhorisontella vattenförande zoner i Slitelagren. En amplitud på över 30 meter förekommer inom området. Nivåfluktuationer för observationspunkter i ytligare liggande revkalksten är betydligt mindre (<5 m) och för grundvatten i jord mycket små (<1 m). De stora inomårsvariationerna i grundvattennivåer har funnits sedan lång tid tillbaka, förhållanden var rådande redan då nivåmätningar påbörjades år 1967.

File hajdar-täkten påverkar grundvattennivåer i berg nära täkten, vilket huvudsakligen kan ses i historiska data för exempelvis observationspunkt BH86 (väster om täkten) och BH43 och BH98 (öster om täkten). Dessa borrhål ligger inom ett avstånd av några hundra meter från bergtäkten. Under stora delar av året ligger grundvattennivåerna i nära anslutning till täkten lägre än täktbotten, vilket i betyder att grundvatteninflödet till täkten under sommarhalvåret är försumbart.

På större avstånd från File hajdar-täkten går det inte att spåra någon påverkan på grundvattennivåer som kan knytas till bergtäkten.

Den kommunala berggrundvattentäkten påverkar grundvattennivåer inom ett betydande område, vilket särskilt tydligt kan spåras väster om vattentäkten (exempelvis i BH1104 och BH86), men även västsydväst om vattentäkten (exempelvis i BH1802B, 1801B och BH2003).

Grundvattennivåerna kring Västra brottet är tydligt avsänkta, men uppvisar ingen tydlig trend till att sänkas ytterligare. Däremot finns det en svag trend i ett av borrhålen (BH1106) som uppvisar successivt lägre årslägstanivåer under 2015–2021.

7.0 HYDROGEOLOGI INOM NATURA 2000-OMRÅDENA SÖDER OM FILE HAJDAR

Som beskrivts i avsnitt 5.5 är det viktigt att förstå skillnaderna mellan grundvatten i jord och berg för att förstå potentiell påverkan på växtligheten. Detta gäller inte minst för potentiell påverkan på våtmarkerna i Natura 2000-områdena söder om File hajdar.

Runt File hajdar finns det på olika topografiska nivåer en rad strandavlagringar med sand och grus avsatta under Östersjöns olika transgressionsstadier (orange färg på jordartskartan i Figur 19).

Strandvallarna dämmer ytvatten och skapar våtmarker uppströms. Samtidigt infiltrerar vatten i jordlagren vilket skapar en magasinering av grundvatten i jordlagren. Detta jordgrundvatten strömmar (sipprar) sedan ut på vallens nedre sida och förser nedströms belägna våtmarker med vatten under en längre tid. Figur 34 nedan visar en konceptuell modell över hur de olika terrestra ekosystemen försörjs med vatten under olika delar av året. Torrhedar och fukthedar är helt beroende av nederbörd eller ytavrinning. Uppströms strandavlagringen förekommer ofta rikkärr där ytvatten däms. Det kan dock inte uteslutas att dessa under högvattensituationer även får ett mindre bidrag av utströmmande grundvatten från berg.

Nedströms strandvallarna förekommer källmiljöer där det i strandvallen magasinerade ytvattnet strömmar ut. Vid de mäktiga strandvallarna nedströms Orgvätar, där det finns ett ytvattendrag som kan bidra till grundvattenbildningen och generellt större jorddjup, finns tillräckligt med vatten för att upprätthålla ett flöde hela sommaren, exemplifierat med BH1906J i Figur 35. Vid andra mindre strandvallar räcker det magasinerade vattnet endast till att upprätthålla ett flöde i någon eller några veckor efter att tillförseln från ytvatten eller nederbörd upphört, exemplifierat med BH1801J i Figur 35. Det finns vid dessa båda jordrör två närliggande bergborrhål - BH2001 respektive BH1801B - som också finns med redovisade i figuren. Dessa borrhål visar sammantaget att nivån i berg sjunker till under nivån i jord medan det fortfarande finns grundvatten i jord som kan strömma ut nedströms strandvallen.

Ute i våtmarken där det förekommer agmyr kan utströmning av berggrundvatten ske vintertid vid högvattensituationer då det förekommer trycknivåer i berget som stiger över markytan. Under de torraste månaderna ligger grundvattennivån så djupt som 5 meter under markytan ända nere vid BH2004 vid Bojsvätars norra kant. Någon utströmning av berggrundvatten kan därmed inte förekomma inom detta område.

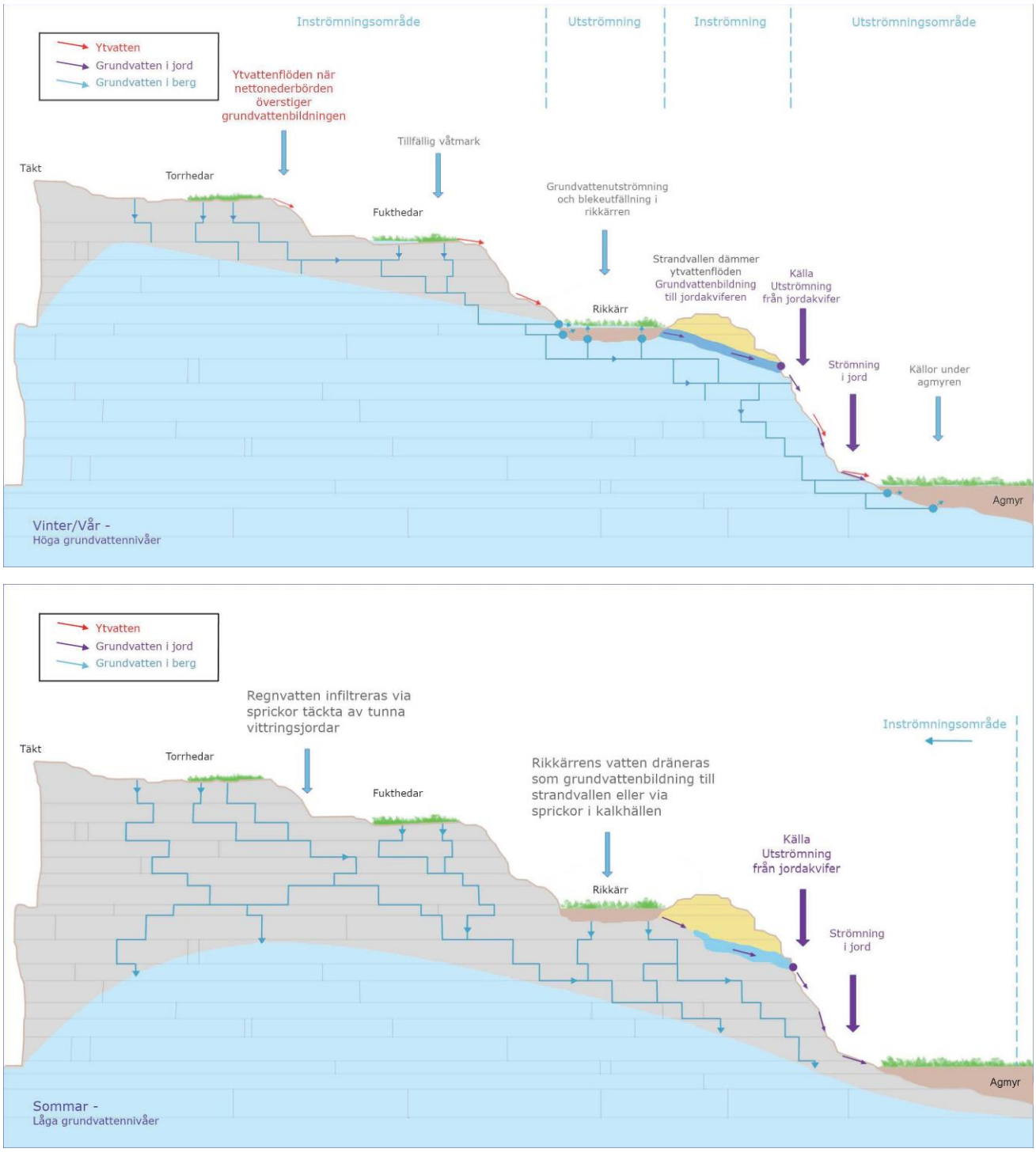
Utströmning av berggrundvatten förekommer längst Hejnum Kallgates och Kallgatburgs västra kant vid foten av Hejnum hällar vilket skapar den topografiskt mest distinkta gränsen i det i övrigt flacka landskapet. Källflödet från det s.k Prosthulet är det enda betydande flöde i hela undersökningsområdet som bl.a. via temperaturmätningar (se avsnitt 4.4) har kunnat fastställas härröra från ett berggrundvatten. Det är dock troligt att det förekommer fler men mindre källflöden från berg längs Hejnum hällars östra fot. Området har dock inte undersökts lika noga som File hajdar då det på inget sätt kan påverkas av täktverksamheten. En mycket stor del av den vattenhållande förmågan för vatten som finns tillgängligt i våtmarkerna under torrperioden (med strömningsriktning från Hejnum hällar) bedöms finnas i de strandvallar som löper längs höjdpartiets fot och därmed kan antas buffra avrinnande ytvatten på samma sätt som beskrivits längs File hajdars sluttning.

Att den hydrauliska kontakten mellan berggrundvattnet och jordgrundvattnet är mycket begränsad inom våtmarksområdet demonstreras också av att berggrundvattnet i detta flacka område under vintern uppvisar trycknivåer som kan ligga ca 5 meter över markytan (ett s.k., artesiskt grundvattentryck). Om kontakten mellan berggrundvattnet och jordgrundvattnet hade varit god hade berggrundvattnet bildat jordgrundvatten och utströmmat som jordgrundvatten, och de artesiska övertrycken hade då utjämnats.

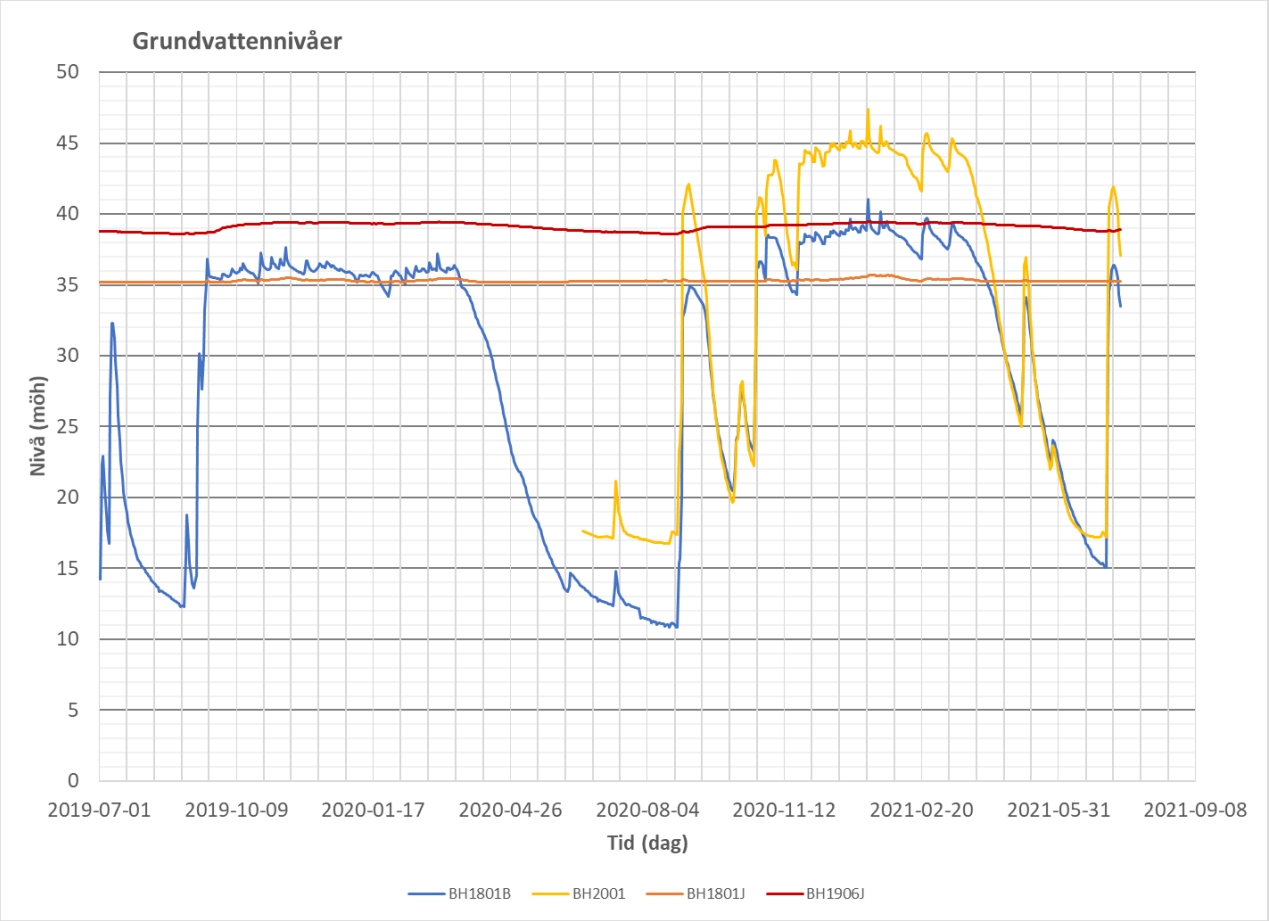
Grundvattennivåerna i berg inom Hejnum Kallgate styrs sommartid tydligt av den kommunala vattentäkten. I BH1802B mellan vattentäkten och Natura 2000-området, ser man en tydlig nivåförändring varje gång

pumparna i vattentäkten slår av och på (ca 3 gånger per dygn). Lika snabb och tydlig respons syns inte i övriga mätpunkter men nivåerna följer tydligt vattentäktens nivåer. I tabell 3 sammanställs grundvattennivåerna sommartid och vintertid i de brunnar som har borrats inom och i nära anslutning till Natura 2000-området Hejnum Kallgate samt BH1104 vilken ligger nära vattentäkten och tydligt samvarierar med densamma. Borrhålens läge framgår av Figur 36. Av nivåerna framgår det att sommartid är strömningsriktningen för grundvatten i berg riktad mot den kommunala vattentäkten inom hela det undersökta området. Vintertid däremot följer det i större omfattning topografin och det är endast borrhålen närmast vattentäkten som har avsänkta grundvattennivåer.

Den ansökta verksamhetens påverkan på Natura 2000-områdena beskrivs i andra delar av ansökningshandlingarna, se PM miljöbedömning Natura 2000 Bilaga till MKB.



Figur 34: Konceptuell beskrivning av den hydrogeologiska funktionen under vinter respektive sommar i en tvärprofil från File hajdar ner över Hejnum Kallgate.

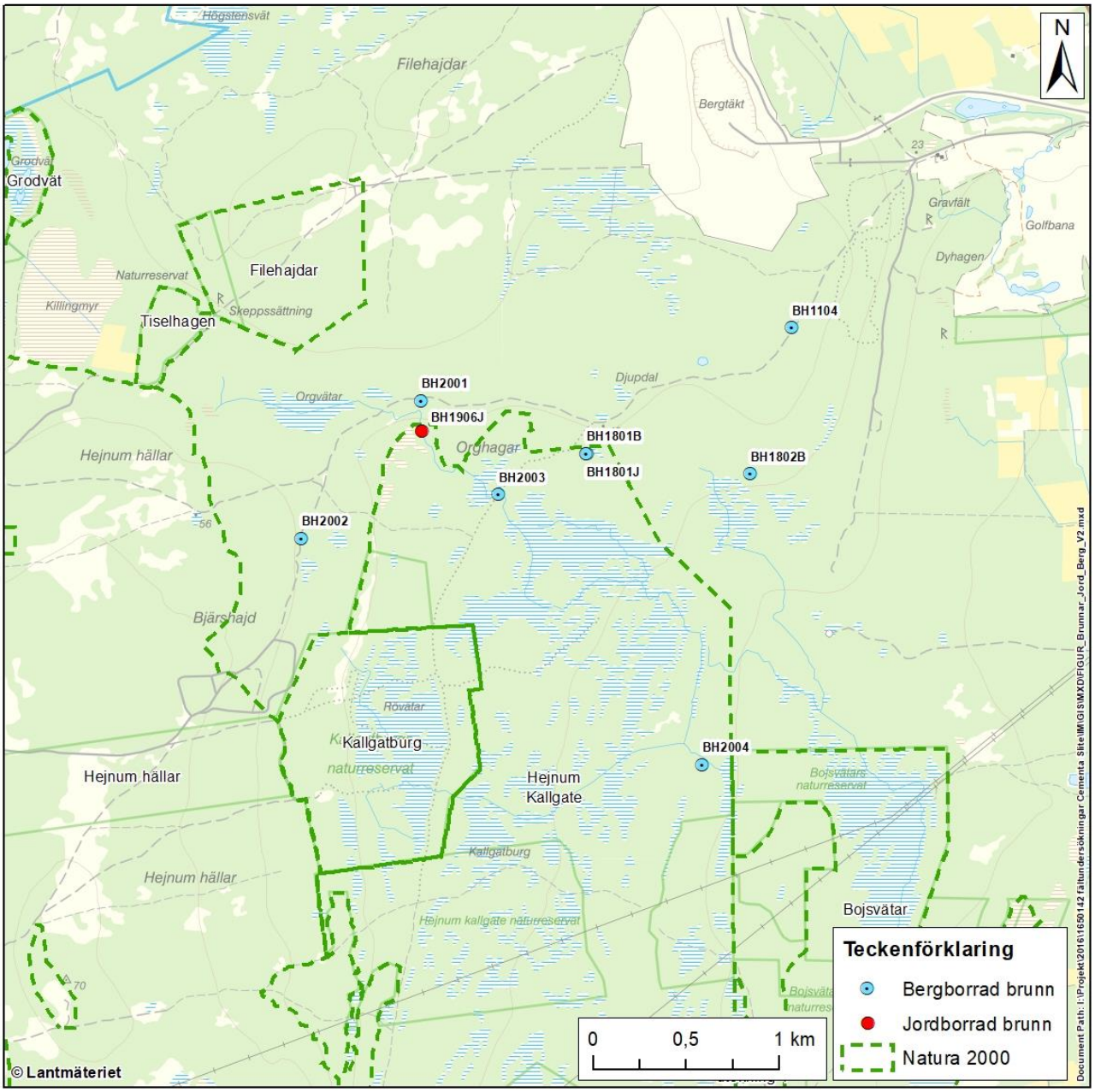


Figur 35: Observerad variation i grundvatten i BH1801B (berg), BH2001(berg), BH1801J (jord) och BH1906J (jord). Perioden är 19-07-01 till 2021-07-15.

Tabell 7: Medelnivåer sommar och vinter i bergbrunnar i anslutning till Hejnum Kallgate Natura 2000.

	Z Röröverkant (möh)	Medel GV Juli 2020 (möh)	Medel GV Jan 2021 (möh)	Medel GV Juli 2021 (möh)	Medel GV Jan 2022 (möh)
BH1104	43,5	2,0	23,5	4,0	21,5
BH1801B	36,0	12,7	38,5	25,5	*
BH1802B	33,5	8,5	23,5	16,1	25.4
BH2001	42,7	18,5	44,5	28,1	44,5
BH2002	51,7	33,5	42,5	36,5	41,9
BH2003	37,0	15,5	34,9	24,7	34,8
BH2004	22,1	17,3	27,3	22,0	*

* Frusen vid avläsningsstillfället

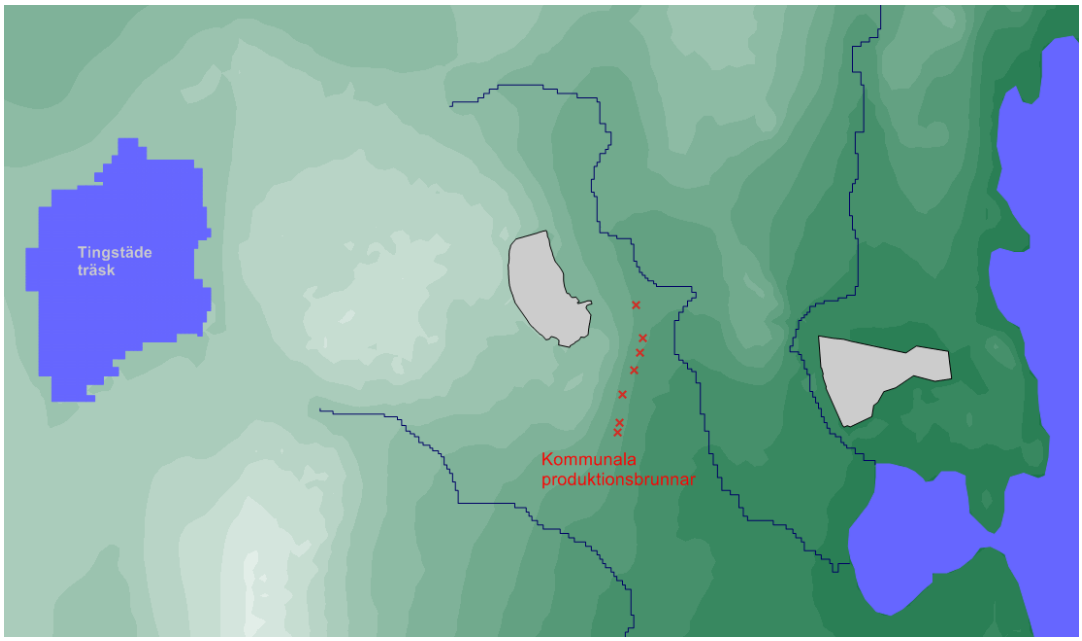


Figur 36: I Tabell 7 redovisade borrhål i anslutning till Hejnum Kallgate.

8.0 DEN KOMMUNALA VATTENTÄKTEN ÖSTER OM FILE HAJDAR

Mellan de bägge täkterna ligger den kommunala vattentäkten Dyhagen vilken försörjer Slite med vatten. Vattentäkten består av sju bergborrade produktionsbrunnar placerade i ungefärlig nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 och 500 m. Pumpbrunnarna är placerade i en äldre strandzon vilken sammanfaller med en krosszon med god vattenförande förmåga.

Brunnarna i vattentäkten kallas också för produktionsbrunnarna. Produktionsbrunnarnas placering framgår av Figur 37.



Figur 37: Läge för vattentäkten (produktionsbrunnarna). Vattentäkten ligger öster om File hajdar och mellan dagbrottet på File hajdar och dagbrotten i Slite.

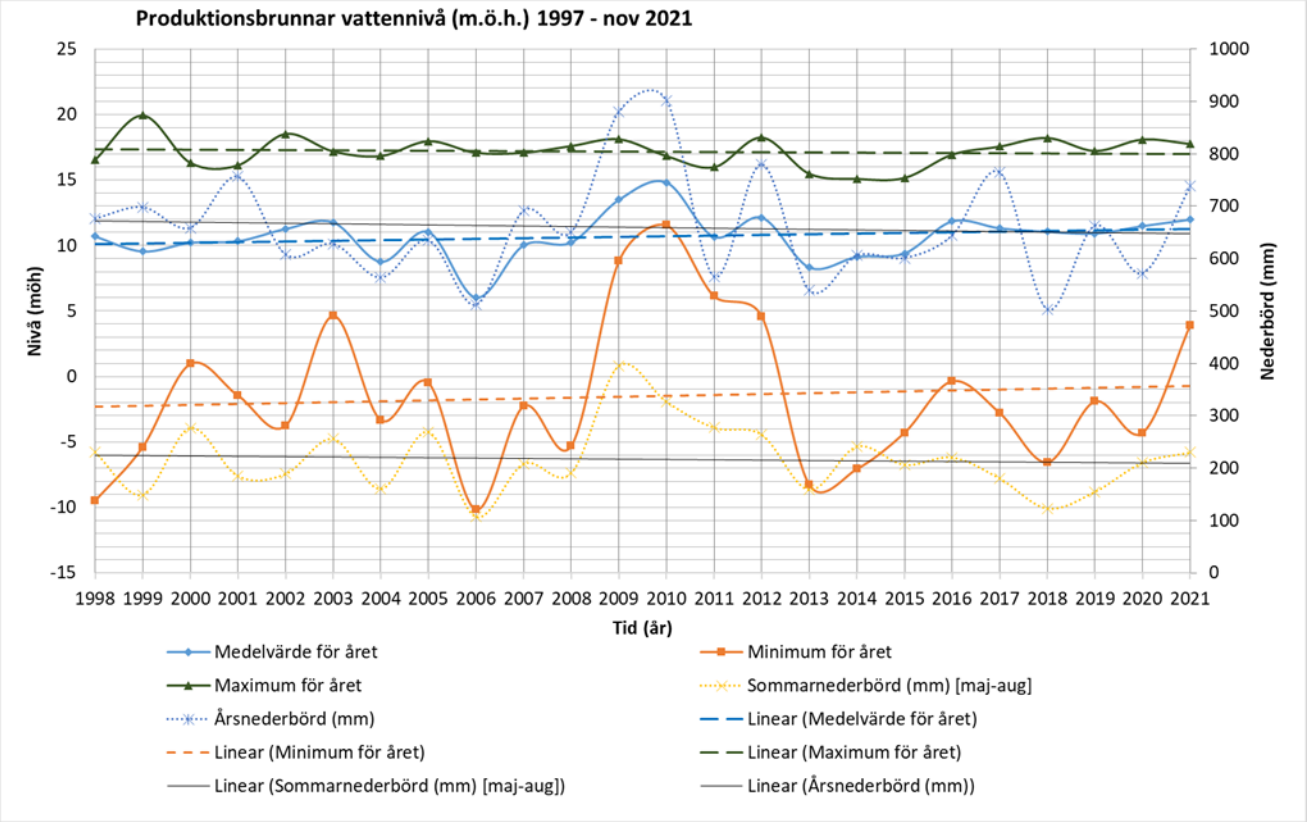
Den sammanlagda produktionen i dessa brunnar ligger nära tillståndsgivet uttag på 220 000 m^3/år. En viss variation i produktion har förekommit mellan olika år. Även om skillnader i uttag har förekommit mellan olika år så är det viktigt att notera att brunnarna varit i drift i många år, alltid med stora uttag och utan längre avbrott.

Grundvattensystemet söder om File hajdar och söder om File hajdar-täkten påverkas tydligt av de kommunala brunnarna, särskilt på sommaren. Detta framgår av Figur 31. Figuren demonstrerar att vattennivån i BH1104 under sommarmånaderna tenderar att efterlikna vattentäkten, både med avseende på tid och nivå.

Eftersom vattennivå kan variera mellan de olika brunnarna vid samma mättillfälle, och för att tydligare kunna se hur vattennivåerna varierar för hela vattentäkten, har ett medelvärde för brunnarna beräknats., Ett värde har beräknats för varje månad under den studerade perioden. För varje år erhålls således 12 månadsvärden. Varje år representeras alltså av 12 månadsvärden- Baserat på dessa månadsvärden beräknas sedan medelvärde, minimumvärde och maximumvärde, för varje studerat år. Resultatet visas i Figur 38. Baserat på årsvärdena (medel, max och min) har sedan en enkel statistisk analys utförts som visar trenden för hur vattennivån i brunnarna förändras med tiden. Resultatet visas i Figur 38 nedan.

Analysen i Figur 38 visar att de linjära trendlinjerna för i det närmaste oförändrad för maxnivå medan medel-, och min-nivåerna visar på en svagt ökande trend. Mellanårsvariationen är stor och ökningen är relativt liten. Men det indikerar utan tvivel att trenden för medelvärdena av vattennivåerna för de studerade 24 åren inte har försämrats. Om vattennivåerna i produktionsbrunnarna hade sjunkit systematiskt under den studerade perioden då hade trendlinjerna lutat nedåt, mot minskande värden.

Detta är ett intressant resultat eftersom File hajdar-täkten har utökats betydligt under samma period (de senaste 24 åren). Som tidigare nämnts har produktionen i brunnarna varierat en del under åren och det kan vara orsaken till en del av den variation som kan iakttas i medel, max och min-värdena ovan. Variationen i produktion förminskar dock inte det intressanta i iakttagelsen att trenden för medelvärdet av vattennivåerna inte har förändrats nämnvärt under de senaste 24 åren.



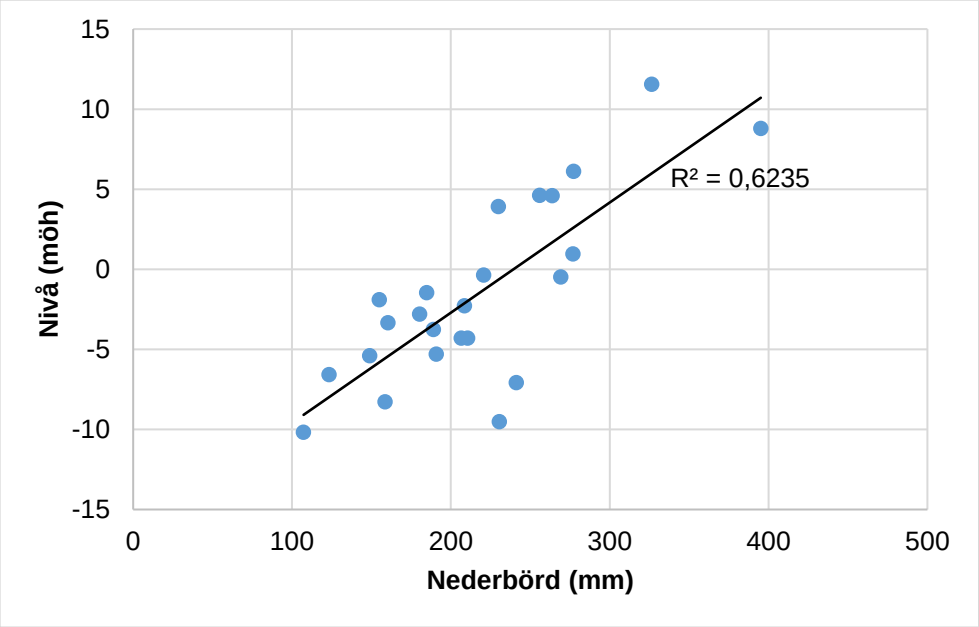
Figur 38: Analys av variationen i vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar. Period: 1998–2021.

Korrelationsanalyser har gjorts mellan nivådata och faktorer som totalt pumpflöde, pumpflöde under sommarmånaderna, årsnederbörd och nederbörd under sommarmånaderna. Det enda tydligt korrelerande sambandet är mellan lägsta nivå och nederbörd under sommarmånaderna (maj-augusti), se Figur 39. En torr sommar ger låga nivåer. Nivåerna under sommaren är av stor vikt då ca 40 % av totala vattenuttaget för ett år ur täkten sker under maj till augusti och det är under denna period med låg nettonederbörd och låga nivåer som för stora uttag kan medföra ökade kloridhalter.

Viktigt att notera är att all redovisad nederbörd är bruttonederbörd från SMHI:s station på Hejnum Hällar och inte nettonederbörd. Avdunstningen är hög under sommaren så under många år är nettonederbörden nära noll för samma period (Figur 24). Det är därmed av stor betydelse för grundvattenbildningen och därmed nivåerna hur nederbörden fördelar sig. För att skapa grundvattenbildning till berg under sommaren är det därmed gynnsammare med enstaka kraftiga nederbördstillfällen än många små där det mesta avdunstar. Detta faktum kan även konstateras vid jämförelser mellan högupplösta uppmätta nivåer i andra borrhål inom området och nederbördsdata (små nederbördstillfällen syns som regel inte på grundvattennivåerna medan kraftig nederbörd kan höja nivåerna med 10-tals meter).

Fördelningen av de kraftiga nederbördtillfällena skulle kunna vara förklaringen till att lägstanivåerna visar en svagt stigande trend, uttagsvolymerna under sommarmånaderna är stabila eller faktiskt svagt ökade, samtidigt som nederbörden under sommarmånaderna visar en svagt sjunkande trend. Man ska dock vara försiktig med att dra för långtgående slutsatser utifrån detta dataunderlag då ett enskilt mätvärde kan ha en betydande osäkerhet till följd av bl.a. när mätningen gjordes i förhållande pumpning, datum för mätning, pumpflöde i respektive brunn, meteorologiska faktorer så som nederbördsfördelning och faktisk avdunstning mm.

Analysen i Figur 39 visar dock tydligt att med rådande styrning av vattentäkten är det framförallt sommarnederbörden som styr lägstanivåerna och Figur 38 visar på att utökningen av dagbrotten i File hajdar och Slite, under de senaste 24 åren, inte har haft en påverkan på vattennivåerna i de kommunala produktionsbrunnarna.



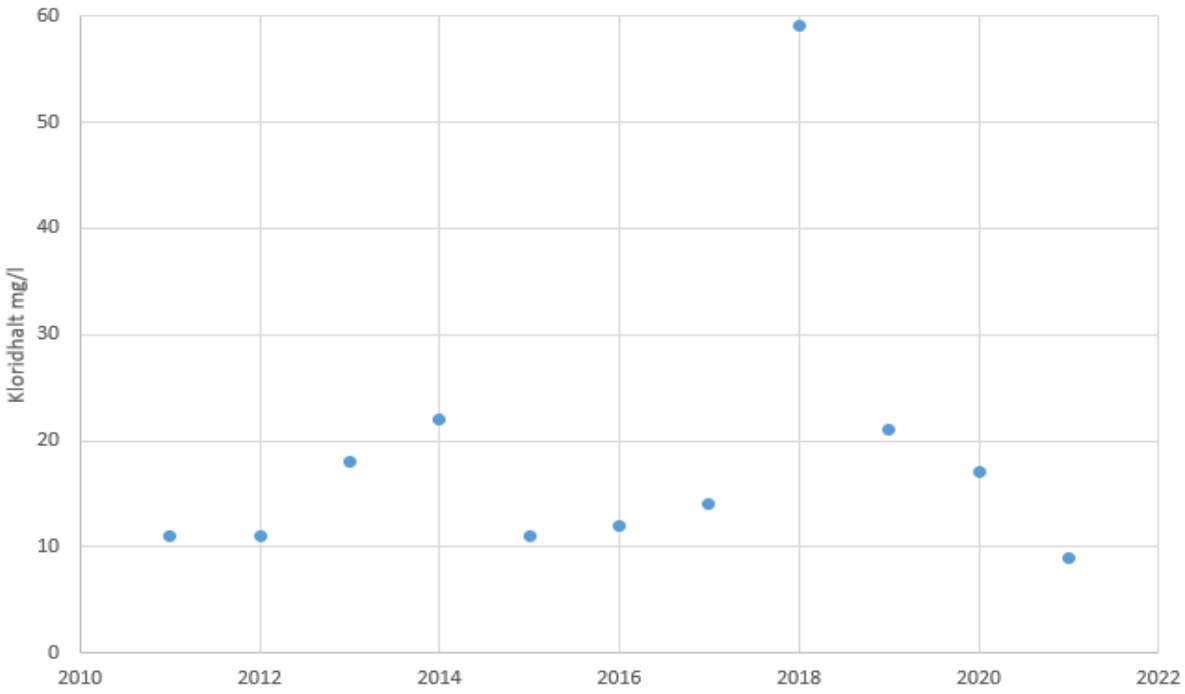
Figur 39: Korrelation mellan sommarnederbörd (maj-augusti) och uppmätta lägstanivåer.

Angående kloridhalter i vattentäkterna så har modellsimuleringar med saltvattenmodellen(se avsnitt 13.3.2) visat att endast stora förändringar i grundvattenförhållandena kan påverka kloridhalterna i dagbrottens närhet och i vattentäkten. Inga så stora förändringar kan förväntas av den nu ansökta brytningen (se avsnitt 13.4).

9.0 PÅVERKAN PÅ KLORIDHALT

Påverkan på vattenkemin av en fortsatt täktverksamhet och länshållning är av praktisk betydelse framförallt för den kommunala vattentäkten. Det har också betydelse för bedömning enligt regelverket om miljökvalitetsnormer för grundvatten.

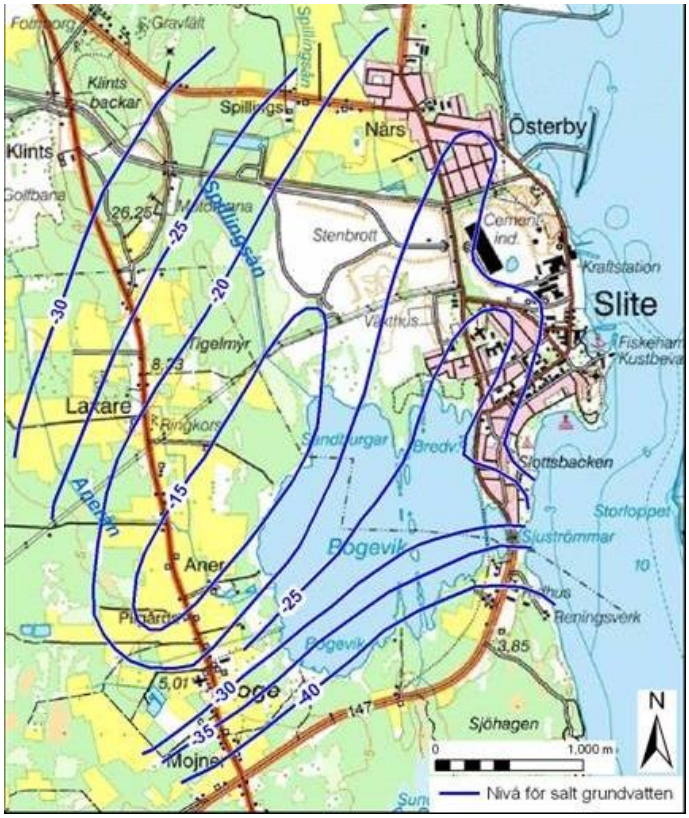
Vattentäkten producerar ett råvatten av god kvalité. Vattnet provtas en gång per år med avseende på klorid. Provtagningen utförs under sensommaren då grundvattennivån är som lägst och därmed kloridhalten som högst. Under övriga delar av året kan alltså kloridhalten förväntas vara lägre. Eftersom både tidpunkten för provtagning och lägsta grundvattennivå varierar inom ett spann på en dryg månad utan att vara synkroniserade med tex nederbörd finns det en viss osäkerhet för verkligt högsta halt varje år och man bör undvika att göra trender utifrån enstaka mätvärden. Om man exkluderar mätvärdet från extremsommaren 2018 uppmäts stabila värden inom spannet 9–22 mg/l med ett medelvärde på 15 mg/l för perioden 2011–2021. År 2018 uppmättes de såväl lägsta uppmätta grundvattennivåerna på 2000-talet i flera brunnar som den klart högsta kloridhalten i Dyhagens vattentäkt. Kloridhalten uppgick då till 59 mg/l. Det var dock fortfarande med marginal under riktvärdet för grundvatten, vilket är satt till 100 mg/L (08FS 2016:15). 300 mg/l brukar benämnas smakgränsen, dvs. den nivå då de flest upplever att vattnet smakar salt.



Figur 40: Årligen uppmätta kloridhalter sommartid i Dyhagens vattentäkt

I och med att Västra och Östra brotten är dränerade inströmmar grundvatten till dagbrotten, en del av detta grundvatten kommer från djupare delar av det omgivande berget och innehåller relativt höga koncentrationer av salt (klorid). Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan Slite låg under det salta Littorina-havets vattenyta (ca 3000 år sedan). Gränsen mellan sött och salt vatten i området kartlades på 1950-talet av Helge Tullström (1955), se Figur 41. Kartläggningen visade på ett salt grundvatten på 15–20 meters djup inom området där Västra brottet idag ligger och på drygt 30 meters djup där kartläggningen slutar upp mot dagens kommunala vattentäkt.

Som ett ytterligare exempel uppgick medelhalten klorid vid årliga provtagningar under 50-talet i den kommunala vattentäkten Klint 1 (belägen strax norr om Spillingsmagasinet vid Västra brottet) till över 0,4 Kg/m^3, vilket är högre än smakgränsen. Tydliga parametrar som påverkar salthalterna i en kustnära brunn är brunnens djup och uttaget i brunnen – djupa brunnar har höga salthalter, och stora uttag ger höga salthalter. Dessa förhållanden gäller kustnära brunnar oavsett dagbrottens påverkan.



Figur 41: Gränsen mellan salt och sött grundvatten kartlades redan på 1950-talet i Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland, Helge Tullström (1955) (kurvorna återritade på nutida karta).

Kvalitetskriterierna i VISS ska bedömas mot övervakningsstationer. Det finns ingen aktiv övervakningsstation för grundvatten i VISS i närheten av Slite. 2008–2016 fanns en station i Slite med kloridhalter över riktvärdet 100 mg/l. Denna station är nu inaktiv och ingår därmed ej i den senaste förvaltningscykeln. Brunnsdjupet för denna inaktiva övervakningsstation framgår ej i VISS, det går därmed ej att fastställa om kloridhalterna var naturliga eller påverkade av vattenuttaget i Västra brottet. Aktiva övervakningsstationer finns i Busarve och Åminne (över en mil söderut), vilka ligger långt utanför vad som kan påverkas av dräneringen vid Västra brottet. Även kemin i råvattenuttagen för de kommunala vattentäkterna inom vattenförekomsten beaktas. Den enda vattentäkt i Slites närhet är Dyhagens vattentäkt. Som beskrivet ovan uppvisar denna stabila och låga kloridhalter. Trots att inget i historisk mätdata och naturliga förhållanden tyder på en försämrad situation av fortsatt verksamhet med avseende på klorider har en simulering gjorts med en saltvattenmodell. Modellen redovisas i detalj i BILAGA D. Resultaten av modelleringen m.a.p. påverkan av salthalter i den kommunala vattentäkten redovisas i avsnitt 13.4.8.

Om den ansökta verksamheten inte kommer till stånd (nollalternativet) kommer Västra brottet, Östra brottet och File hajdar-täkten att börja vattenfyllas. Förutsatt att länshållningen inte återupptas kommer vattenfyllnaden pågå tills täkterna om några decennier är vattenfyllda. Även effekten av nollalternativets vattenfyllnad har modellerats med ovan nämnda saltvattenmodell. Saltvattenmodellen har kalibrerats mot

uppmätta kloridhalter i olika brunnar såsom den kommunala vattentäkten och under vintern uppmätta kloridhalter i borrhål framförallt runt Västra brottet redovisade under avsnitt 4.6. Modellerad framtidsprognos för påverkan av kloridhalt runt Västra och Östra brottet redovisas i avsnitt 13.4.7.

10.0 VATTENBORTLEDNING FRÅN DAGBROTTEN

Vattenbortledningen från dagbrotten är summan av grundvatteninflödet till dagbrotten och nettonederbörden som faller över dagbrotten. Dessa flöden pumpas ut ur dagbrotten, eller ansamlas i dagbrotten (tex i pall 2 i västra brottet). Den exakta andelen grundvatten i vattenbortledningen är svår att uppskatta och varierar. Den totala volymen årlig vattenbortledning beror till stor del på hur mycket nederbörd som faller under höst och vinter. Nederbörden under denna period är stor och avdunstningen under denna period är liten. När nederbörden faller över Filehajdar täkten pumpas den raskt bort, vilket direkt återspeglas i storleken på vattenbortledningen. Man måste därför vara försiktig med att direkt korrelera grundvatteninflödets storlek till vattenbortledningens storlek.

Stora pumpade volymer av vattenbortledning är normalt en följd av stora mängder nederbörd, inte stora mängder inströmmande grundvatten. Inflödet av grundvatten varierar under året och proportionen grundvatten är inte densamma under hela året. Detta är mycket tydligt för File hajdar-täkten. Botten på File hajdar-täkten ligger på nivån +20 möh. Grundvattennivåerna kring dagbrottet faller till nivåer under dagbrottets botten under sommaren, vilket i sin tur betyder att grundvatteninflödet till File hajdar-täkten under sommaren är minimalt.

Det kan dock fortfarande regna kraftigt över dagbrottet under sommaren, vilket producerar en vattenbortledning från dagbrotten fastän grundvatteninflödet är minimalt eller obefintligt. Av resonemanget ovan följer att vattenbortledningen till stor del beror av nederbörden över dagbrotten. Eftersom nederbörden varierar mycket mellan olika år så kommer också vattenbortledningen att variera mycket mellan olika år. År med stora mängder nederbörd under höst och vinter kommer att producera stora volymer vattenbortledning.

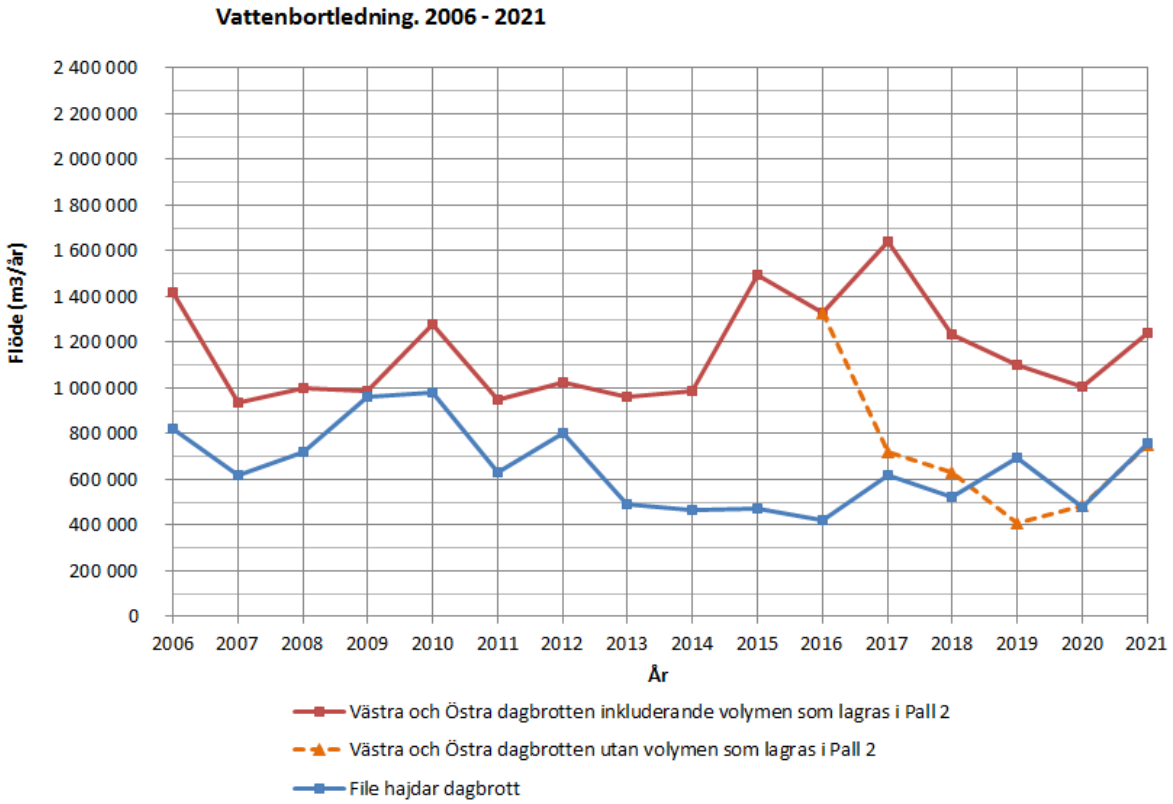
Vattenbortledningens storlek har uppmätts. De tidiga mätningarna var behäftade med ett systematiskt mätfel som ledde till att vattenbortledningen överskattades, särskilt före år 2000. Mättningar med bättre kvalitet har utförts de senaste 20 åren, dock kvarstår delar av det systematiska mätfelet och de uppmätta flödena tenderar att vara överskattningar. Av dessa orsaker har vi i denna studie fokuserat på mätningar efter 2005, trendanalysen är utförd för värden efter 2012.

Sedan 2017 har Cementa inte längre pumpat vatten från Pall 2 i Västra brottet. I stället har man låtit vatten ansamlas i Pall 2, och därmed skapat en vattenyta i Pall 2 som sakta stiger. Av detta följer att volymen vatten som bortleds från Västra brottet har blivit mindre efter 2016, eftersom en betydande mängd vatten har lagrats i Pall 2. Vi har uppskattat hur mycket vatten som ansamlats i Pall 2 och adderat denna volym till de uppmätta flödena ifrån Västra brottet för att kunna erhålla jämförbara värden över en längre period.

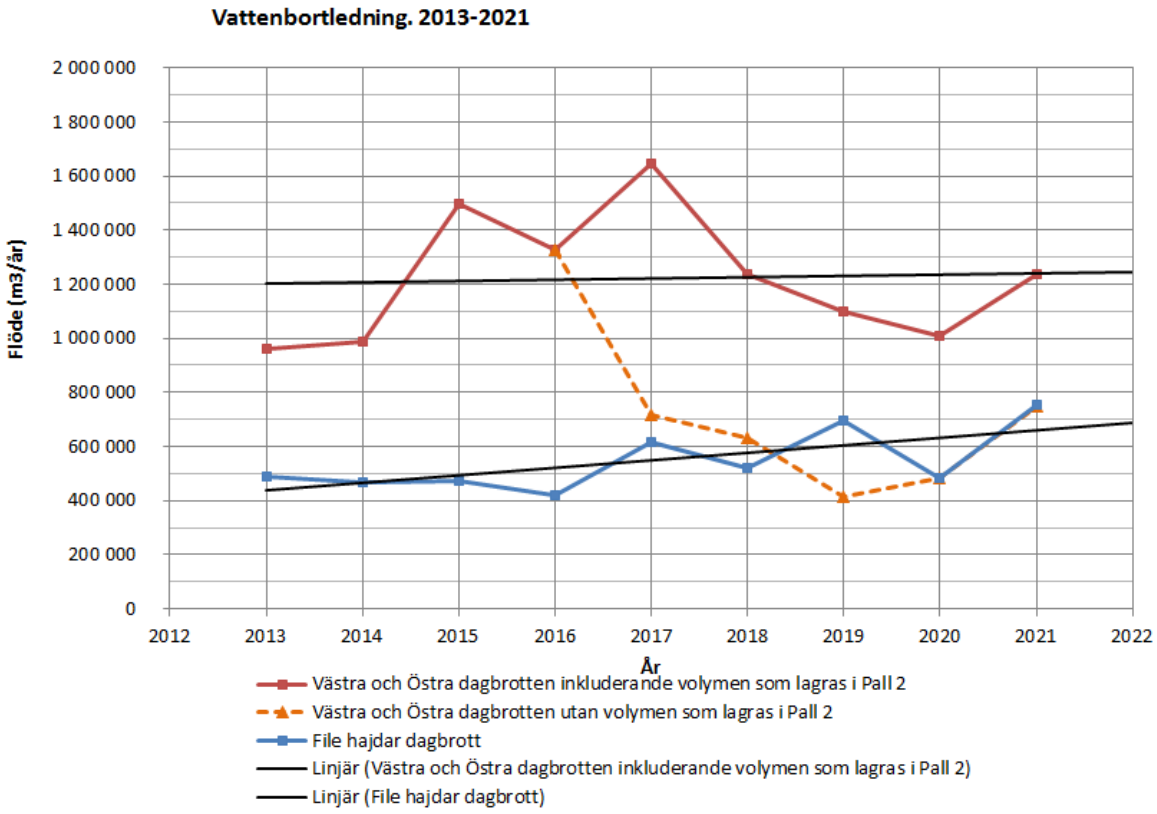
De uppmätta värdena på vattenbortledningen framgår av Figur 42 och Figur 43.

Utöver mättekniska osäkerheter utgör även andelen nederbörd som avdunstar en osäkerhet. Andelen kommer att påverkas av hur nederbörden fördelas mellan tillfällen och tider på året. Andelen som avdunstar har även förändrats något i Västra brottet sedan 2017 då delar av det bortledda vattnet lagras i pall 2 istället för att pumpas bort direkt efter nederbörd. I botten på File hajdar-täkten finns sedan hösten 2021 en vattenvolym i en damm, detta kommer påverka andelen som avdunstar något även i denna täkt.

Som ovan redovisats beror vattenbortledningen huvudsakligen av nederbörden över dagbrotten. Eftersom nederbörden varierar mycket mellan olika år så kommer också vattenbortledningen att variera mycket mellan olika år, vilket framgår av Figur 42.



Figur 42: Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2006 till 2021.



Figur 43: Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2013 till 2021.

Variationen i vattenbortledning mellan olika år gör det svårt att se hur trenden för vattenborledning förändras i en längre tidsskala. Modellprediktioner av framtida vattenbortledning avser dessutom medelsituationer. För att ta fram en trolig representativ förändring av vattenbortledningen med tiden har vi gjort en linjär trendanalys av den uppmätta vattenbortledningen från och med 2013 och framåt. Notera att för Västra brottet inkluderas volymen vatten som har lagrats i Pall 2. Trendanalysen visas i Figur 43.

Trendlinjerna visar på svagt ökande inflöden sedan 2013, särskilt för File hajdar dagbrott. Trendlinjerna är i denna analys linjära. Från de linjära ekvationerna kan representativa värden för vattenbortledningen uppskattas för år 2021 baserat på uppmätta värden.

Uppmätta värden för år 2021 visas i Tabell 8. Representativa värden för år 2021 visas i Tabell 9.

Tabell 8: Vattenbortledning. Uppmätta volymer för år 2021.

För år 2021 erhålls följande årliga uppmätta volymer:
File hajdar: 756 000 m^3/år
Västra brottet: 1 238 000 m^3/år (inkluderande vattnet i Pall 2)

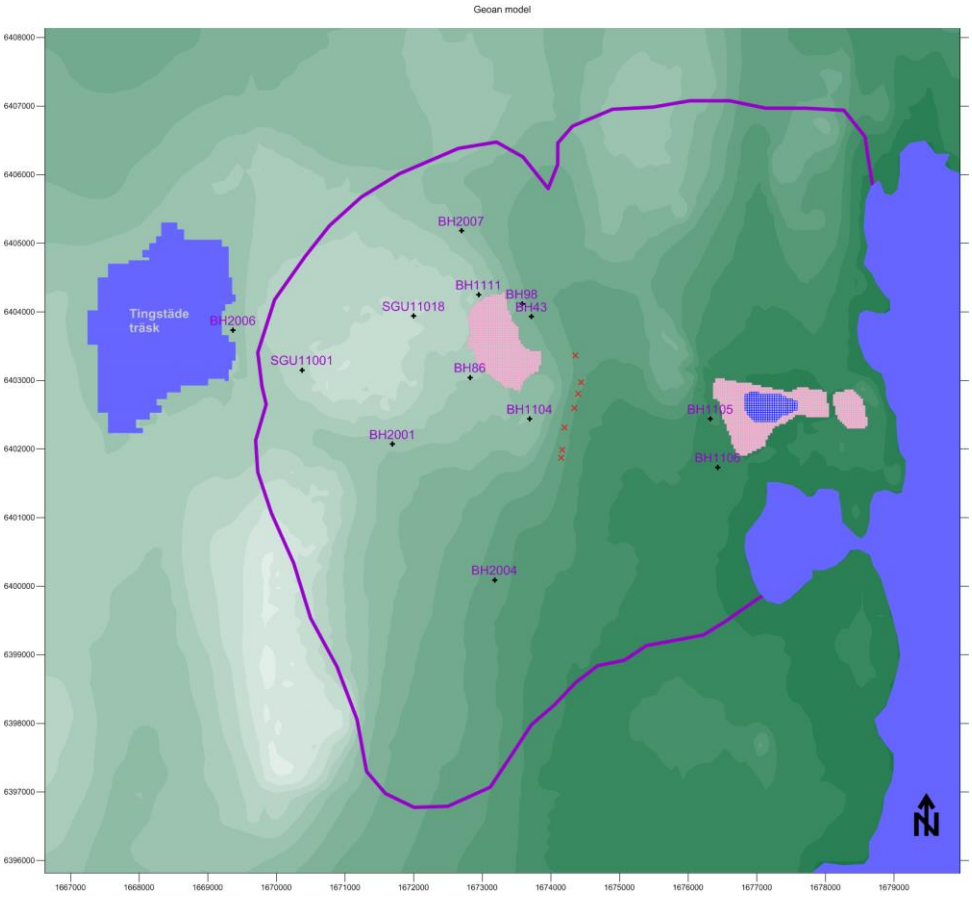
*Tabell 9: Vattenbortledning. Representativa volymer för år **2021**, baserade på uppmätta volymer.*

För år 2021 producerar trendanalysen följande representativa årliga volymer:
File hajdar: 657 000 m^3/år
Västra brottet: 1 241 000 m^3/år (inkluderande vattnet i Pall 2)

Som nämnts ovan beror vattenbortledningen till stor del på nederbörden över dagbrotten. Den uppmätta mängden nederbörd vid SMHI:s station på Hejnum hällar visas i Figur 47 (nedan). Det är rimligt att anta att samma nederbörd faller på dagbrotten. Av Figur 47 framgår det tydligt att variationen i årsnederbörd är betydande, medelvärde 632 mm/år, minimivärde 394 mm/år, maximivärde 902 mm/år. Trenden för hur årsnederbörden varierar är också tydlig, årsnederbörden ökar, mellan 1971 och 2019 visar trendlinjen (för årsnederbörden) på en ökning med ca 100 mm/år (för hela perioden).

11.0 VATTENBALANS FÖR ETT OMRÅDE KRING DAGBROTTEN

En vattenbalansberäkning har utförts för ett område kring Slite och Cementas dagbrott. I en geologisk miljö som den på Gotland, med grundvattenakviferer som saknar tydliga geologiska avgränsningar, är det svårt att avgränsa ett område. I förevarande fall har det ansetts för stort att beräkna balansen för hela grundvattenförekomsten. Ytterligheten åt andra hållet är själva täktområdet och dess omedelbara närhet där 100% av nettonederbörden kommer att avledas. Vattenbalansen är beräknad för det område som på något vis kan beräknas påverkas av vattenbortledningen från täkterna. Påverkansområdet är därför definierat som det området som påverkas när de nuvarande förhållandena (t2021t) jämförs med nollalternativet med vattenfyllda dagbrott (om ca 40 år, se Figur 69). Området visas i Figur 44. Området har en area på nära 70 km^2.



Figur 44: Område som beaktas vid vattenbalansen.

Beräkningen som diskutera nedan är en grundvattenbalans där grundvattenuttag subtraheras från den vattenvolym som produceras av nettonederbörden (även kallad den potentiella grundvattenbildningen). Inkluderade uttag är grundvattenandelen av den representativa vattenbortledningen för File hajdar dagbrott, och Östra och Västra brotten, samt grundvattenuttag för dricksvattenproduktion. Även inkluderade är uttag från de kommunala produktionsbrunnarna och uttag i privata enskilda brunnar, samt grundvattenuttag för lantbruk.

Vattenbalansberäkningen är gjord för två scenarier, nuvarande och framtida situationer. Skillnaden mellan de två beräkningarna är att vattenbortledningen för brotten har ökats, medan uttagen för dricksvatten och lantbruk inte har förändrats.

Grundvattenuttaget för dricksvatten har beräknats genom att addera uttaget från de kommunala brunnarna med uppskattat uttag från privata brunnar. Uttaget från de privata brunnarna har uppskattats genom att antalet brunnar inom påverkansområdet (men utanför distributionsområdet för kommunalt vatten) har identifierats med hjälp av SGU:s brunnsarkiv. Antalet brunnar har sedan multiplicerats med genomsnittligt antal personer i ett hushåll (här 2,6 personer, vilket är genomsnittligt antal personer i ett småhus med äganderätt för hela landet) (SCB, 2022) och genomsnittlig vattenförbrukning per person (140 l/person och dygn) (Svenskt Vatten, 2022). Det totala grundvattenuttaget för dricksvattenproduktion har uppskattats till 229 000 m^3/år, där de uttaget i de kommunala produktionsbrunnarna utgör 96 %.

Grundvattenuttaget för lantbruk har uppskattats genom att beräkna uttag för ett känt större lantbruk nordost om File hajdar och adderat ytterligare uttag för att inkludera andra mindre gårdar och bevattning inom handelsträdgårdar. Grundvattenuttaget för det större lantbruket har beräknats genom att multiplicera antalet kor (550 st) med en kos konsumtion (100 l/dygn) (Länsstyrelsen Västra Götaland, 2020; Arla, 2022). Detta ger

ett grundvattenuttag på 20 075 m³/år. För att inkludera andra mindre lantbruk och handelsträdgårdar (vars omfattning av verksamhet och vattenuttag är okänt) har förbrukning motsvarande ytterligare 200 kor (uttag på 7300 m³/år) adderats. Detta antas vara en konservativ uppskattning som inkluderar uttag från identifierade brunnar i SGU:s brunnsarkiv vars användning är markerad som ’Större Lantbruks vattentäkt’ och ’Bevattning handelsträdgård’. Tillsammans ger det ett uppskattat grundvattenuttag på 27 375 m³/år.

Den potentiella grundvattenbildningen (nettonederbörden) är 154 mm/år, vilket ger 10 800 000 m3/år för det givna påverkansområdet. Total grundvattenbortledning från dagbrotten för nuvarande situation, inkluderande volymen som lagras i pall 2 i Västra brottet, har beräknats utifrån antagen andel grundvatten i vattenbortledningen (se avsnitt 10.0) och uppgår till ca 930 000 m³/år vilket motsvarar 8,6 % av den potentiella grundvattenbildningen. Övriga totala grundvattenuttag (dricksvatten och lantbruk) är 255 000 m³/år vilket motsvarar 2,4 % av den potentiella grundvattenbildningen. Det ger en vattenbalans, för nuvarande situation, på **+9 630 000 m³/år.**

För den framtida situationen har grundvattenbortledningen för brotten beräknats till ca 1 010 000 m³/år vilket motsvarar 9,3 % av den potentiella grundvattenbildningen (med oförändrad grundvattenbildning). Med övriga uttag oförändrade ger det en vattenbalans på **+9 550 000 m³/år** för den framtida situationen.

Osäkerheterna kring uttagen för privata brunnar och lantbruket är relativt stora då kunskap om dess omfattning är begränsad och uppskattningar därför har fått göras.

12.0 TINGSTÄDE TRÄSK –VATTENBALANS OCH VATTENNIVÅER

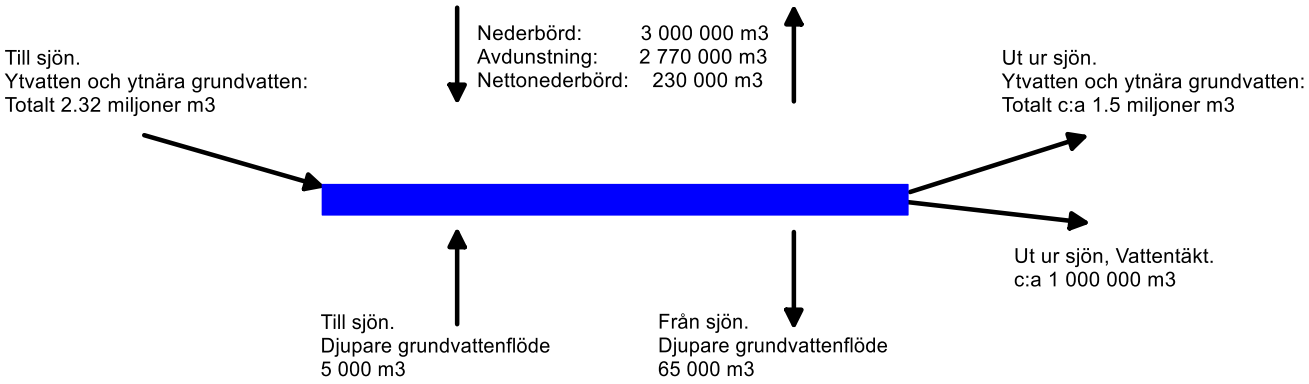
12.1 Vattenbalans för Tingstäde träsk

Det sker ett inflöde och utflöde av grundvatten till och från Tingstäde träsk. Grundvattenflödet varierar med årstiden. Inflödet av ytligt grundvatten (jordgrundvatten) längs med eller nära strandlinjen är mycket större än det djupare grundvattenutbytet vid sjöns botten.

Om träsket hade haft en god hydraulisk kontakt med de djupare vattenförande lagren i berget hade vi inte sett de stora avsänkningarna i vattennivå i borrhål i berget under sommaren, som vi nu observerar i borrhål på File hajdar och nära Natura 2000-områdena. Om träsket hade haft en god hydraulisk kontakt med de djupare vattenförande lagren i berget hade ytvatten från sjön infiltrerat ned i berget och bildat berggrundvatten under sommaren, och därmed hållit uppe vattennivåerna i berget under sommaren.

Den beräknade vattenbalansen för Tingstäde träsk för ett normalår framgår av Figur 45.

Inflödet är lika med ca 2,3 miljoner m3/år, alternativt 2,1 miljoner m3/år, beroende på osäkerheter i avrinningsområdets storlek uppströms sjön. (En skillnad på ca 200 000 m3/år.)
Avrinningsområde uppströms+sjöarea (enl. Svenskt vattenarkiv, via Wiki) = 20,2 km²
Avrinningsområde uppströms+sjöarea i den upprättade modellen = 18,5 km²

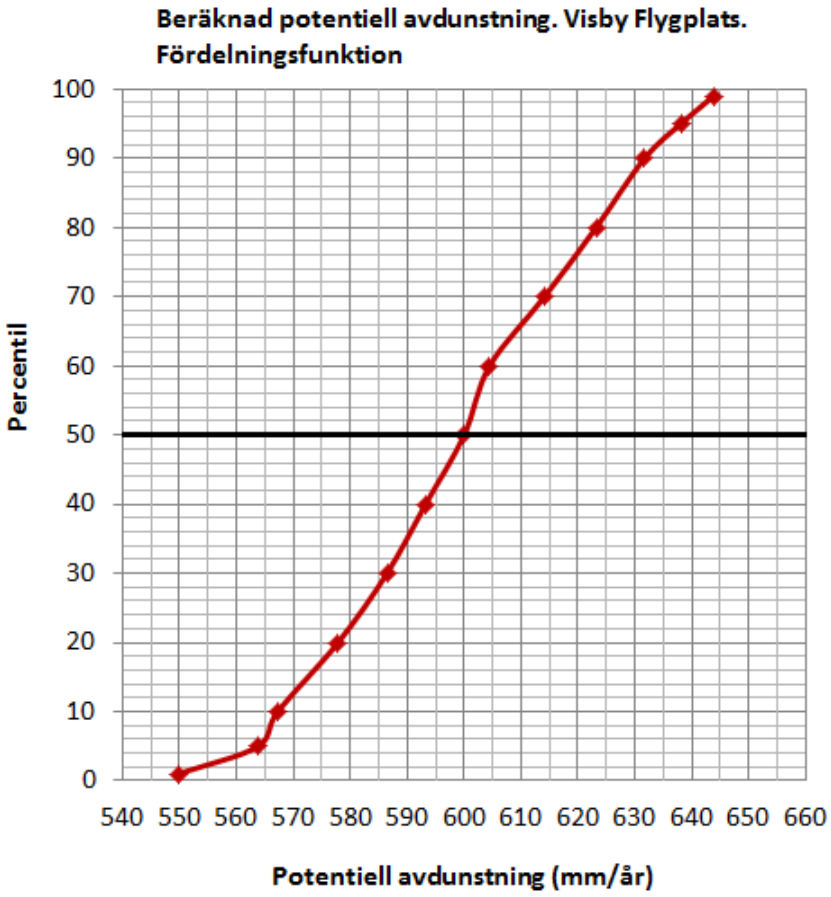


Figur 45: Vattenbalans för Tingstäde träsk för ett normalår.

12.2 Variation i avdunstning

För att illustrera hur avdunstningen över sjön kan variera mellan olika år har vi beräknat avdunstningen från sjön med hjälp av data från Visby flygplats. Den potentiella avdunstningen har beräknats via Thornthwaite's ekvation. Resultatet ges i Figur 46 som en sannolikhetsfunktion (fördelningsfunktion).

Den statistiska fördelningen av de beräknade årsvärdena för avdunstningen visas i Figur 46. Av figuren framgår det att med 80 % sannolikhet så varierar avdunstningen mellan 567 mm/år och 631 mm/år. Detta motsvarar en relativ variation från medelvärdet som motsvarar plus/minus 32 mm/år. Vattenbalansen för Tingstäde träsk visar att en avdunstning på 600 mm/år motsvarar 2 770 000 m^3/år. Av detta följer att en variation på plus/minus 32 mm/år (80 % sannolikhet) motsvarar en variation i avdunstning på plus/minus 150 000 m^3/år.



Figur 46: Beräknad potentiell avdunstning. Data från Visby flygplats. Fördelningsfunktion.

12.3 Variation i nederbörd

För att illustrera hur nederbörden kan variera och hur detta påverkar sjöns vattenbalans har vi utfört beräkningarna nedan. Den uppmätta mängden nederbörd vid SMHI:s station på Hejnum hällar visas i Figur 47 nedan. Det är rimligt att anta att samma nederbörd faller på Tingstäde träsk och dessutom på sjöns tillrinningsområde.

Av figuren framgår det tydligt att variationen i årsnederbörd är betydande, medelvärde 632 mm/år, minimivärde 394 mm/år, maximivärde 902 mm/år. Trenden är också tydlig, årsnederbörden ökar, mellan 1971 och 2021 visar trendlinjen i figuren på en ökning med ca 100 mm/år (för hela perioden).

Den statistiska fördelningen av de beräknade årsvärdena för nederbörden visas i Figur 48. Av figuren framgår det att med 80 % sannolikhet varierar nederbörden mellan 513 mm/år (percentil 10) och 754 mm/år (percentil 90). Detta motsvarar en relativ variation från medianen som motsvarar plus/minus 120 mm/år.

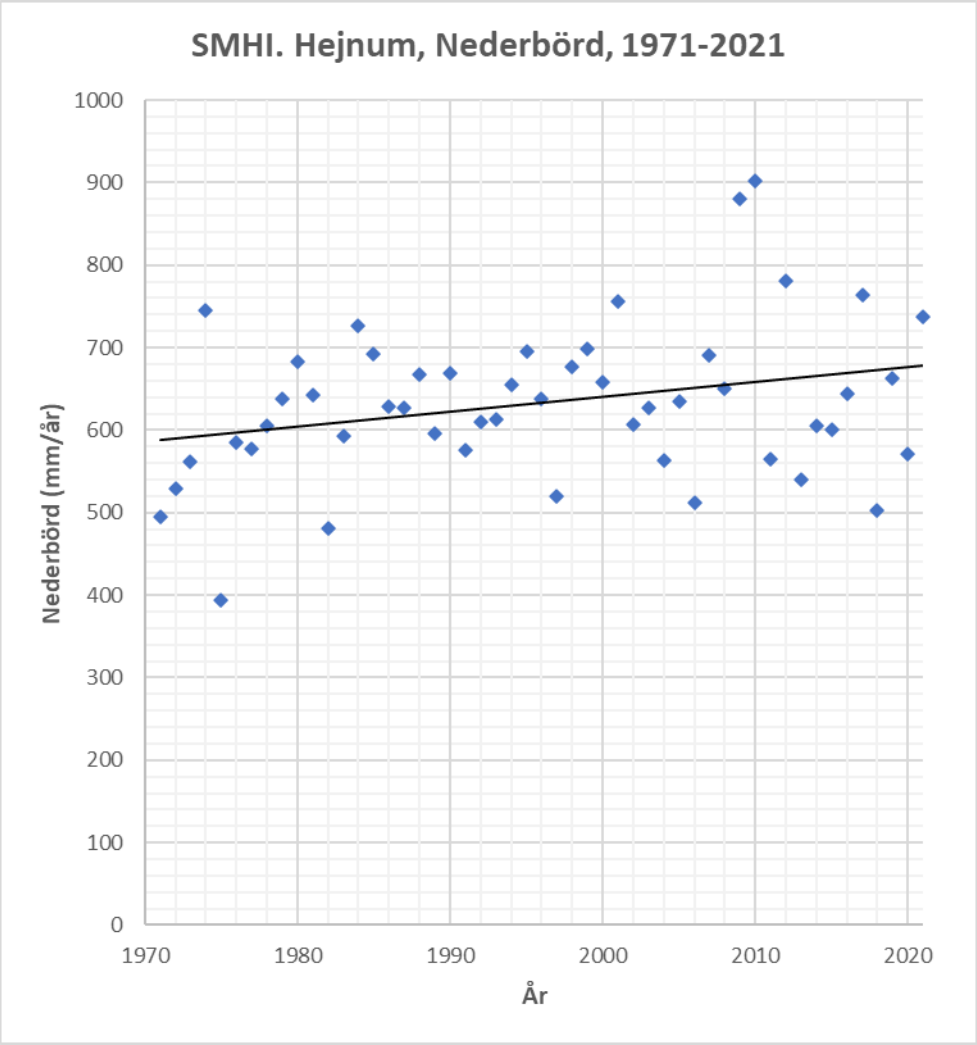
Om vi analyserar hur denna variation i nederbörd påverkar hur mycket vatten som faller direkt på sjön och på dess tillrinningsområden får vi följande resultat:

Nederbörd på Tingstäde träsks sjöarea

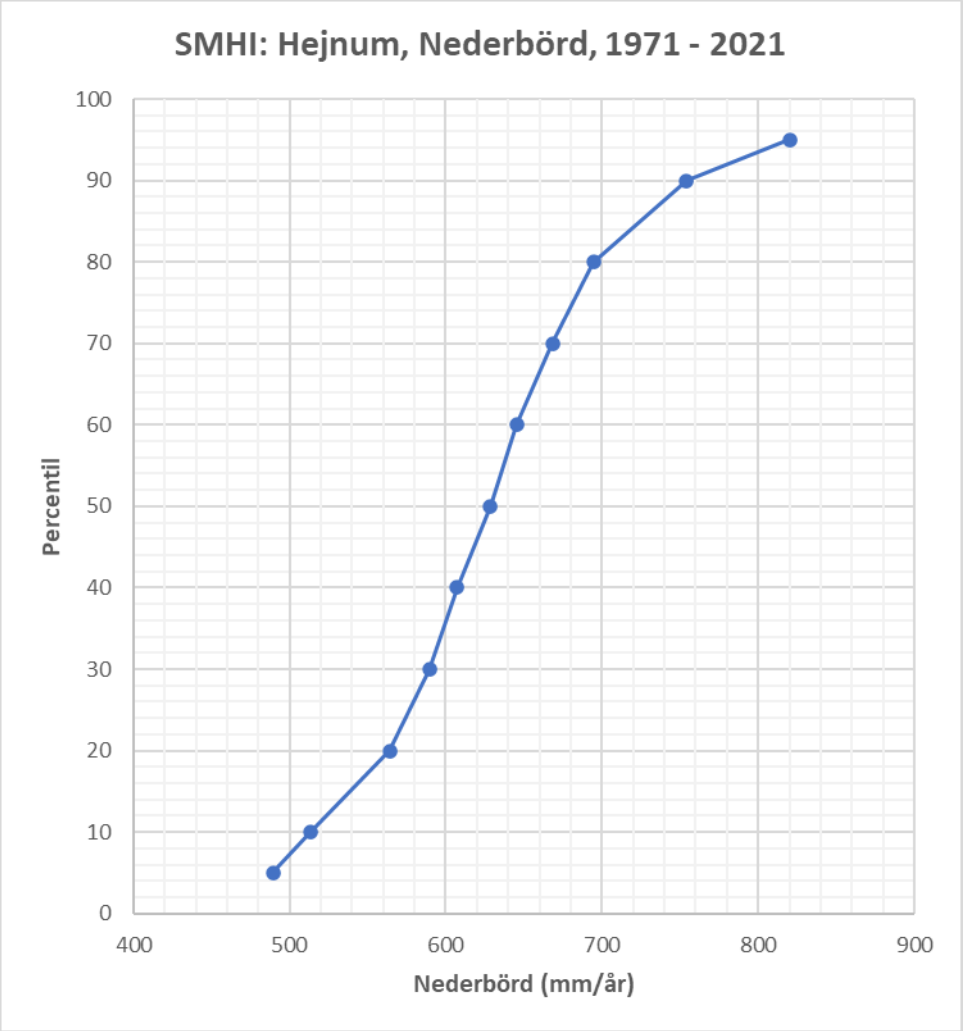
Tingstäde träsks sjöarea är 4,68 Km^2 (enl. Svenskt vattenarkiv, via Wiki). Av detta följer att en variation på plus/minus 118 mm/år (80 % sannolikhet) motsvarar en variation på plus/minus 563 5000 m^3/år.

Nederbörd på Tingstäde träsks tillrinningsområde

Tingstäde träsks tillrinningsområdes area är ca 13,9 Km^2 (arean är beräknad från värden som angetts av svenskt vattenarkiv, via Wiki.). Av detta följer att en variation på plus/minus 120 mm/år (80 % sannolikhet) motsvarar en variation på plus/minus 1,67 miljoner m^3/år. Variationen kan också ställas i relation till osäkerheten i tillrinningsområdet storlek som motsvarar ca 200 000 m^3/år för normalåret



Figur 47: Uppmätta mängd nederbörd vid SMHI:s station på Hejnum hällar, period 1971 till 2021.



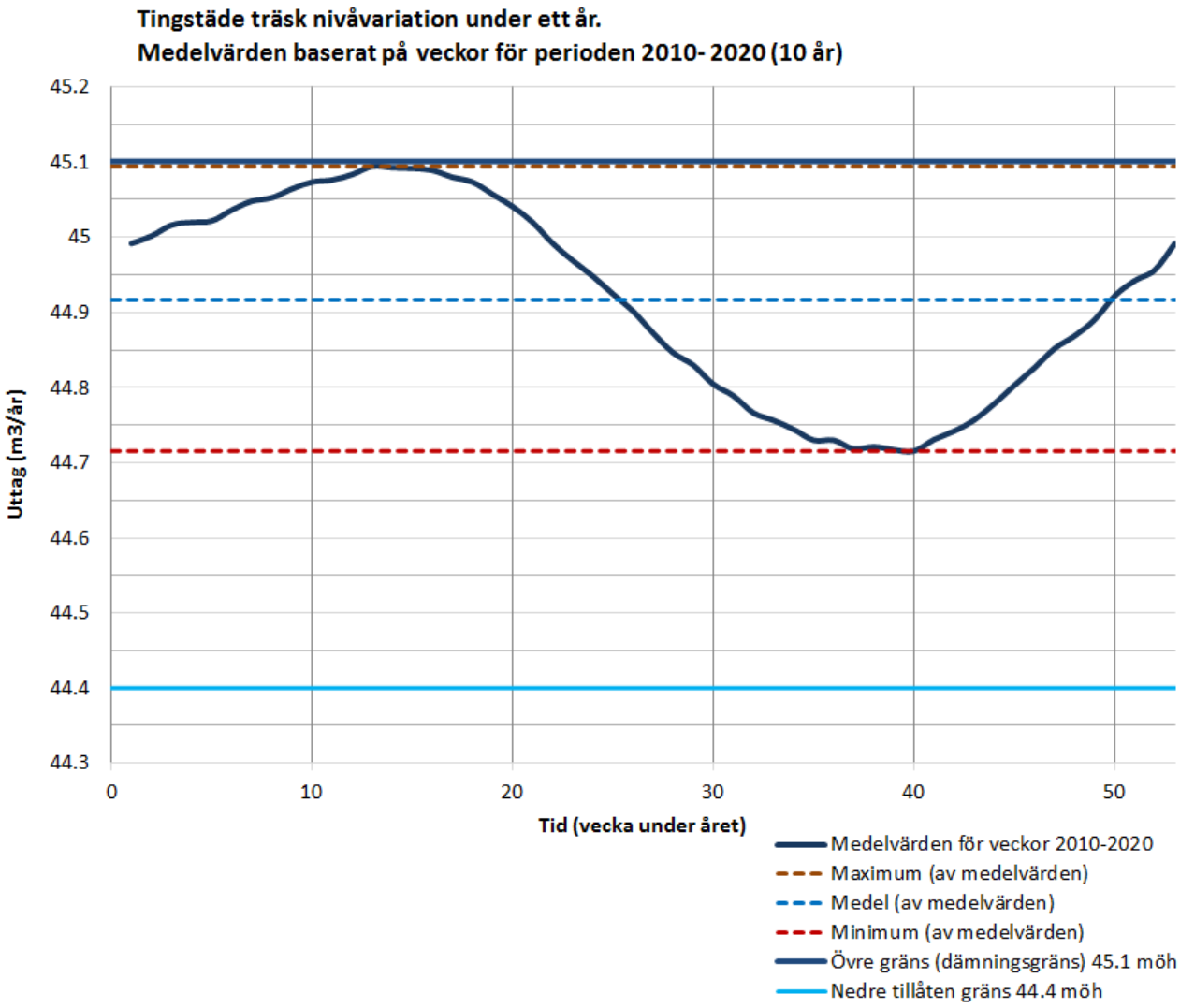
Figur 48: Uppmätt årsnederbörd vid SMHI:s station på Hejnum hällar. Fördelningsfunktion.

12.4 Variation i vattennivå

Vattennivån i Tingstäde träsk är reglerad. Följande text är ett citat från Region Gotlands hemsida

”Tingstäde träsk är reglerat sedan mitten av 1960-talet. Befintligt tillstånd för uttag för ytvatten från Tingstäde träsk för allmän vattenförsörjning medger uttag ned till nivå + 44,4 m ö h. Dämningsgränsen är 45,1 m ö h. Detta ger en möjlig avsänkning på 70 cm om vattennivån når dämningsgränsen under vinterhalvåret. Vattennivån i sjön sjunker under sommarhalvåret dels på grund av uttag av vatten för allmän vattenförsörjning men framförallt på grund av avdunstning. Enligt befintligt tillstånd ska en minimitappning om 10 l/s (motsvarande 864 m3 per dygn) släppas till Ireån. Minimitappningen motsvarar dock en sänkning av vattennivån i sjön motsvarande 0,2 mm per dygn (0,6 cm per månad eller 6,7 cm per år). Region Gotlands uttag från Tingstäde träsk var ca 1 100 000 m3 vatten 2017, vilket motsvara 27,5 cm sänkning.”

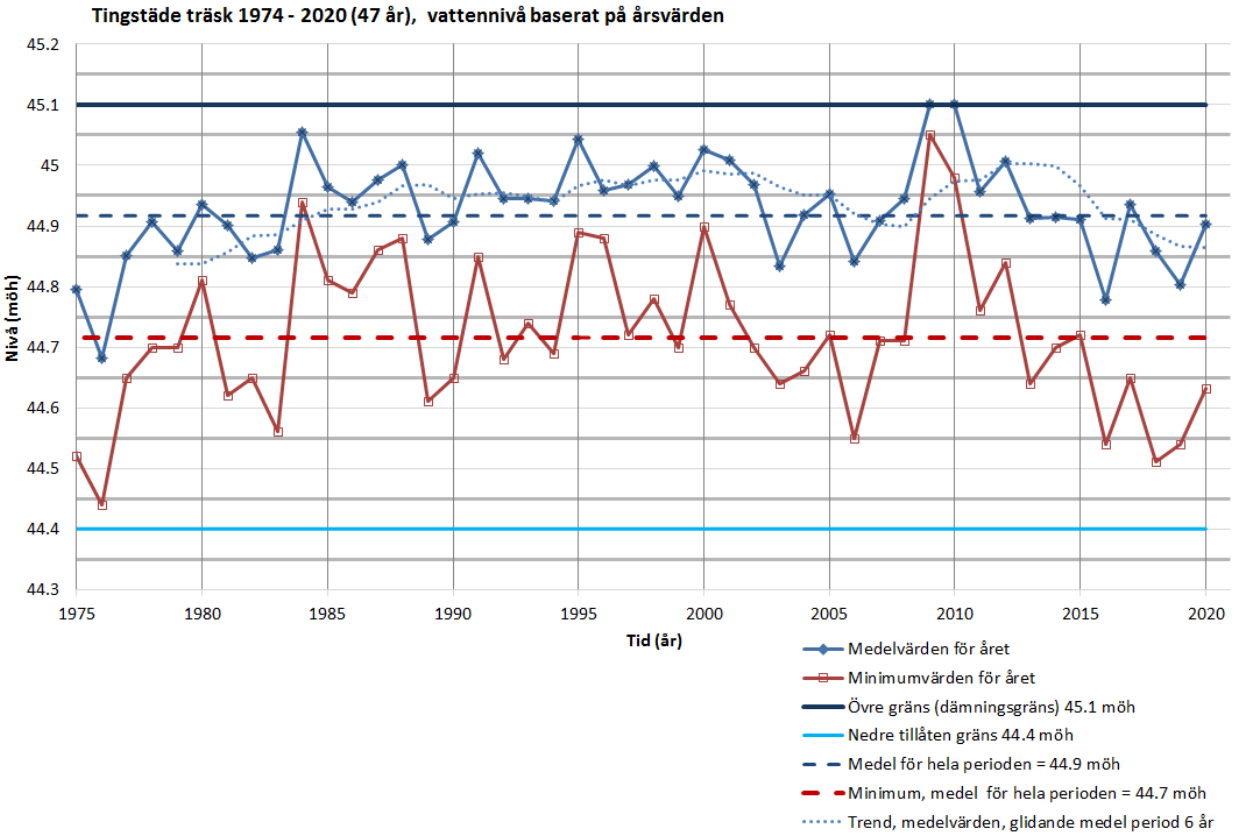
All data som har använts i analyserna av vattennivåer nedan har tillhandahållits av Region Gotland. En medelvärdesbeskrivning av hur vattennivån i Tingstäde träsk varierar under ett år har beräknats baserat på medelvärden för veckor för perioden 2010 till 2020 (10 år). Resultatet ges i Figur 49.



Figur 49: Medelvärdesbeskrivning av hur vattennivån i Tingstäde träsk varierar under ett år, beräknat baserat på medelvärden för perioden 2010 till 2020 (10 år).

Figur 49 visar att vattennivån i sjön normalt når upp till dämningsgränsen under vintern. Under sommaren sjunker vattennivån med 0,38 m (medelvärde) ned till nivån 44,7 m.ö.h. (medelvärde). Vattennivåns medelvärde för den studerade perioden är 44,9 m.ö.h.

Vattennivån i Tingstäde träsk varierar från år till år. Vi har beräknat medelvärden för alla år under perioden 1974 till 2020, baserat på de veckovärden som tillhandahållits av Region Gotland. Dessutom har vi beräknat miniminivån för alla år under samma period, också baserat på veckovärdena. Resultaten ges i Figur 50. Notera att i denna analys är vattennivån för år 2020 delvis baserad på konstruerade värden från tidigare år, och därför preliminära.



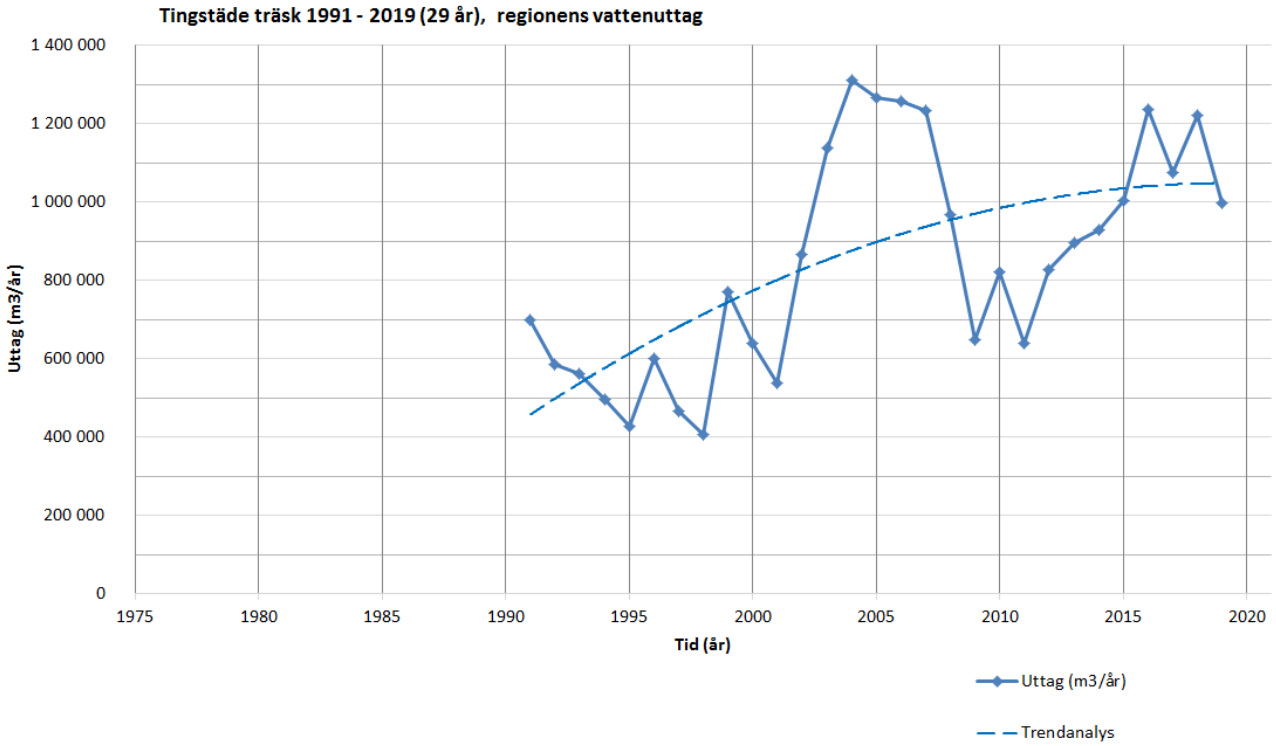
Figur 50: Tingstäde träsk. Vattennivåns variation under perioden 1974 till 2020. Analysen baseras på årsvärden, som sin tur har beräknats baserat på veckovärden. Notera att i denna analys är vattennivån för år 2020 delvis baserad på konstruerade värden från tidigare år, och är därför preliminära.

Av Figur 50 framgår det att för den studerade perioden var vattennivåerna i Tingstäde träsk som lägst i mitten på 1970-talet. Lägsta nivån inträffade sommaren 1976. Från 1985 har vattennivån varierat runt ett medelvärde som är relativt stabilt. Mellan 2015 och 2020 har dock årets medelvärde tre gånger tydligt fallit under det värde som representerar hela den studerade periodens medelvärde. Efter 2013 har miniminivåerna under sommaren tenderat att sjunka under det värde som representerar hela den studerade periodens medelvärde för miniminivåerna. Denna förändring tycks dock ha stabiliserats och viss återhämtning har ägt rum under de senaste åren. Miniminivåerna är för hela perioden tydligt över den nedre tillåtna gränsen.

Som tidigare beskrivits i presentationen av Tingstäde träsk vattenbalans (ovan) beror vattennivån i sjön på nettonederbördens variation och på det kommunala vattenuttaget.

12.5 Regionens vattenuttag

Region Gotlands årliga vattenuttag från Tingstäde träsk framgår av Figur 51, av figuren framgår det att uttaget har ökat tydligt sedan 1990-talet. Under åren 2015 till 2020 ligger uttaget nära eller över 1 miljon kubikmeter per år. Det är detta värde som har använts i vattenbalansen (se Figur 45). De relativt låga vattennivåerna i sjön efter år 2015 har ett samband med de stora uttagen under denna period.



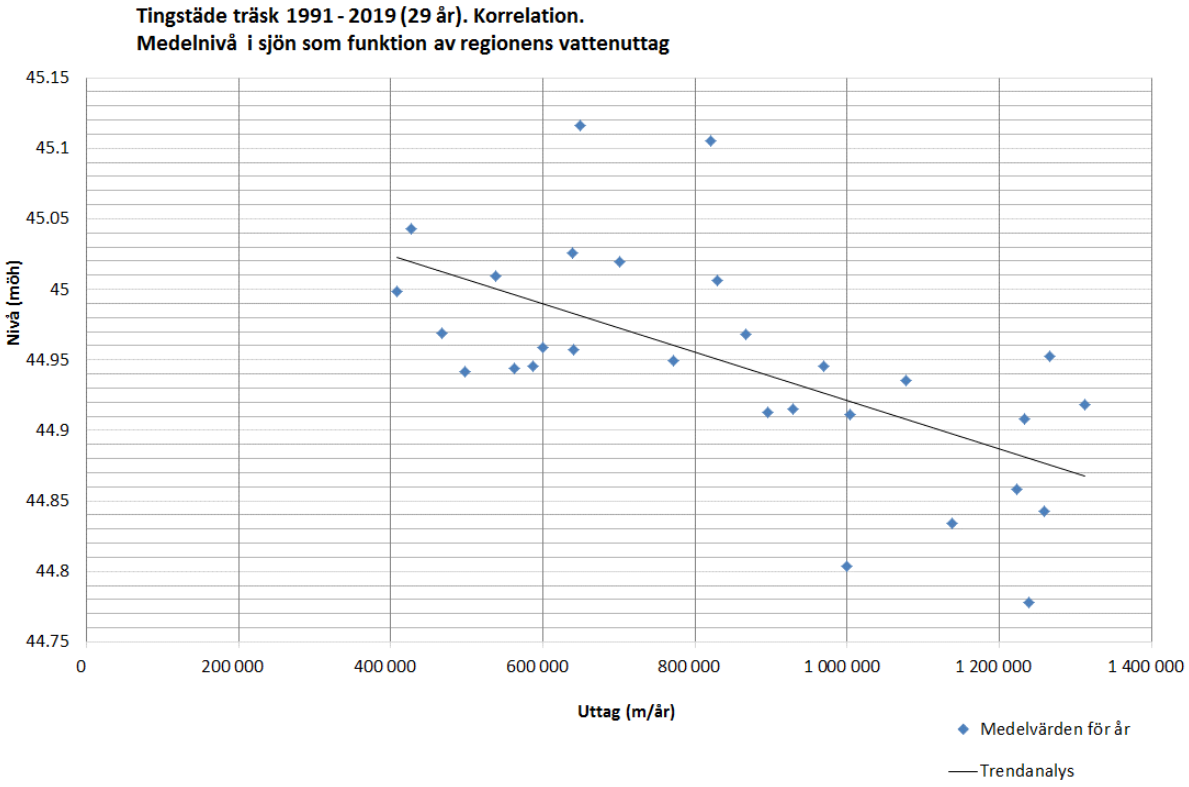
Figur 51: Regionens årliga vattenuttag ur Tingstäde träsk. Period 1991 till 2019.

12.6 Korrelationsanalyser

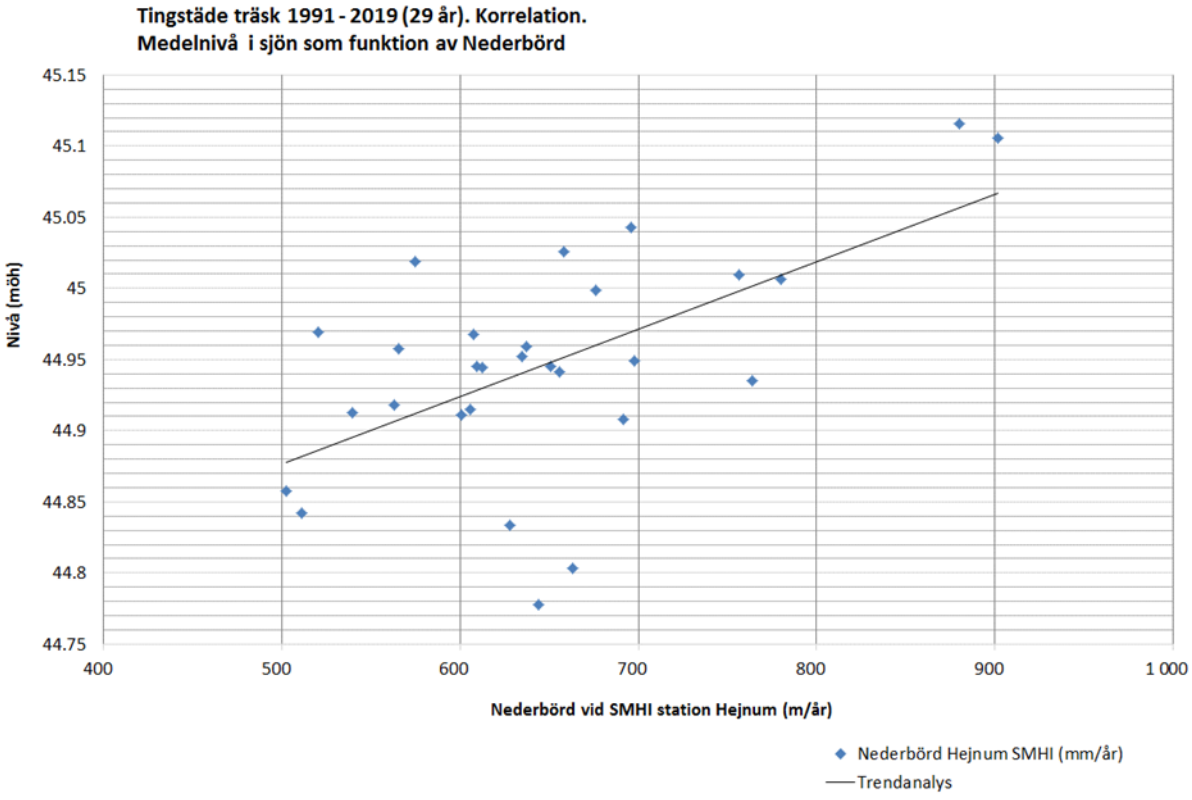
Som tidigare diskuterats beror vattennivån i Tingstäde träsk på nettonederbördens variation och på regionens vattenuttag. Detta demonstreras av tre korrelationsanalyser nedan, för perioden 1991–2019.

Figur 52 visar korrelations mellan medelnivå i Tingstäde träsk och regionens vattenuttag.
Figur 53 visar korrelations mellan medelnivå i Tingstäde träsk och nederbörden vid Hejnum hällar.
Figur 54 visar korrelations mellan medelnivå i Tingstäde träsk och den beräknade potentiella avdunstningen (vid Visby flygplats).

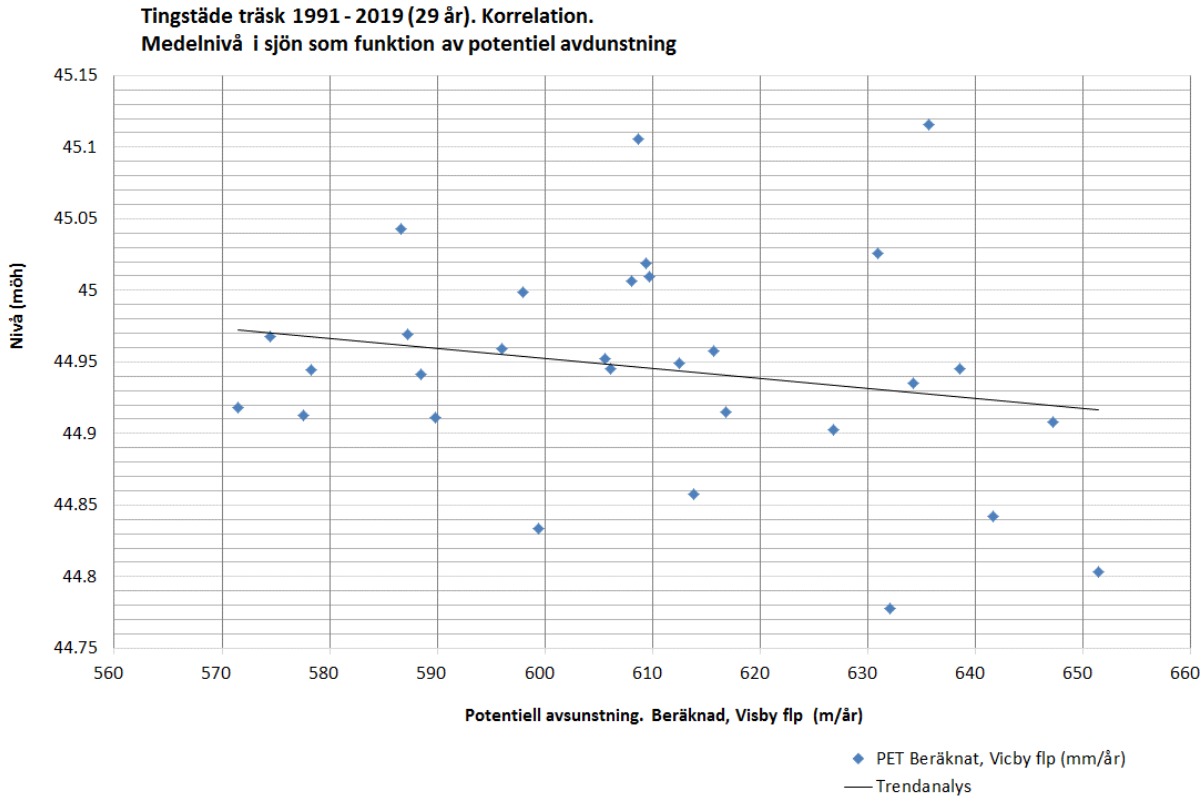
De två första figurerna visar på tydliga korrelationer. Detta är ingen överraskning. Det är självklart att vattennivån i sjön huvudsakligen beror av hur mycket det regnar över sjön, och hur mycket vatten som pumpas ut ur sjön. Den tredje figuren visar också på en viss korrelation, om än mycket svagare än i de två första figurerna; stor avdunstning ger låga vattennivåer.



Figur 52: Korrelationsanalys. Medelnivå i Tingstäde träsk som funktion av regionens vattenuttag. Period 1991–2019.



Figur 53: Korrelationsanalys. Medelnivå i Tingstäde träsk som funktion av nederbörden vid Hejnum hällar. Period 1991–2019.



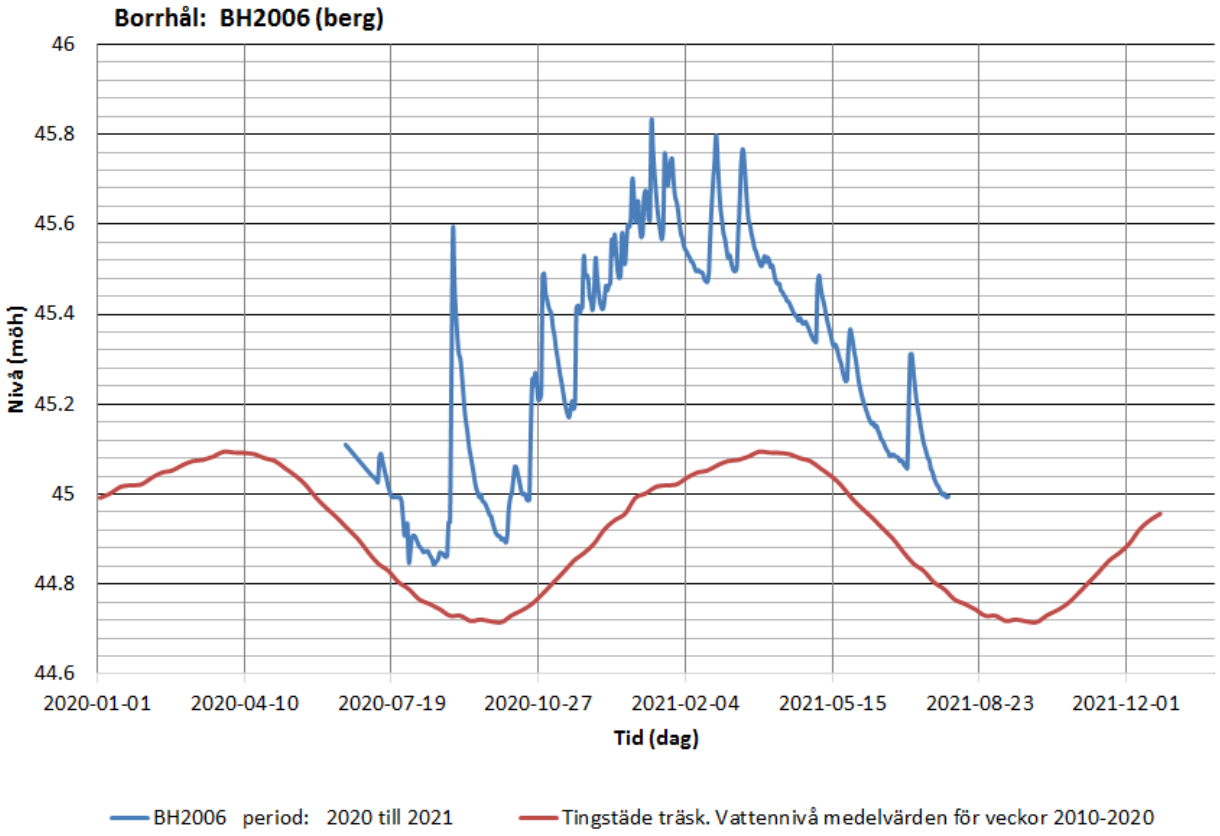
Figur 54: Korrelationsanalys. Medelnivå i Tingstäde träsk som funktion av den potentiella avdunstningen vid Visby flygplats. Period 1991–2019.

12.7 Borrhål vid Tingstäde träsk

Borrhålet BH2006 ligger alldeles öster om Tingstäde träsk, se Figur 25. Vattennivån i BH2006 har mätts under 2020 och 2021. Vattennivån i detta borrhål kan jämföras med vattennivån i Tingstäde träsk. I Figur 55 görs en sådan jämförelse. I figuren representeras vattennivån i Tingstäde träsk med medelvärdena för veckor under perioden 2010 till 2020. Figur 55 demonstrerar att vattennivåerna i BH2006 hela tiden ligger högre än vattennivåerna i Tingstäde träsks, även om skillnaden är liten. Detta indikerar ett flöde av vatten från berget till Tingstäde träsk vid BH2006.

Borrhål BH2006 och det äldre SGU-borrhålet BH100 är sammanborrade (sitter ihop). Borrningen av BH2006 fungerade som en renspumpning av SGU BH100 eftersom detta borrhål var tidigare igensatt med olika material (skräp m.m.). Vattennivåerna ligger numera på samma nivå i bägge borrhålen och samvarierar. Borrhålen uppvisar numera en amplitud i vattennivåvariation som stämmer väl med mätningar i SGU BH100 för perioden 1977–1992.

SGU1101, ligger väster om File hajdar-täkten, mellan dagbrottet och Tingstäde träsk. Figur 28 visar variationen i vattennivå i detta borrhål. Figuren visar att utökningen av dagbrotten på File hajdar (och i Slite) inte har en tydlig påverkan på vattennivåerna i detta borrhål. Tingstäde träsk ligger väster om borrhålet. Att borrhålet inte är påverkat pekar på att dagbrottet på File hajdar inte påverkar Tingstäde träsk.



Figur 55: Uppmätta vattennivåer i BH2006 och medelvärden för vattennivåer i Tingstäde träsk.

12.8 Vattennivån i Tingstäde träsk och File hajdar täkten

En slutsats som kan dras av de resultat som presenteras ovan är att File hajdar-täkten inte påverkar vattennivåerna i Tingstäde träsk. Det finns ingenting i de ovan presenterade analyserna som tyder på att ett sådant samband existerar.

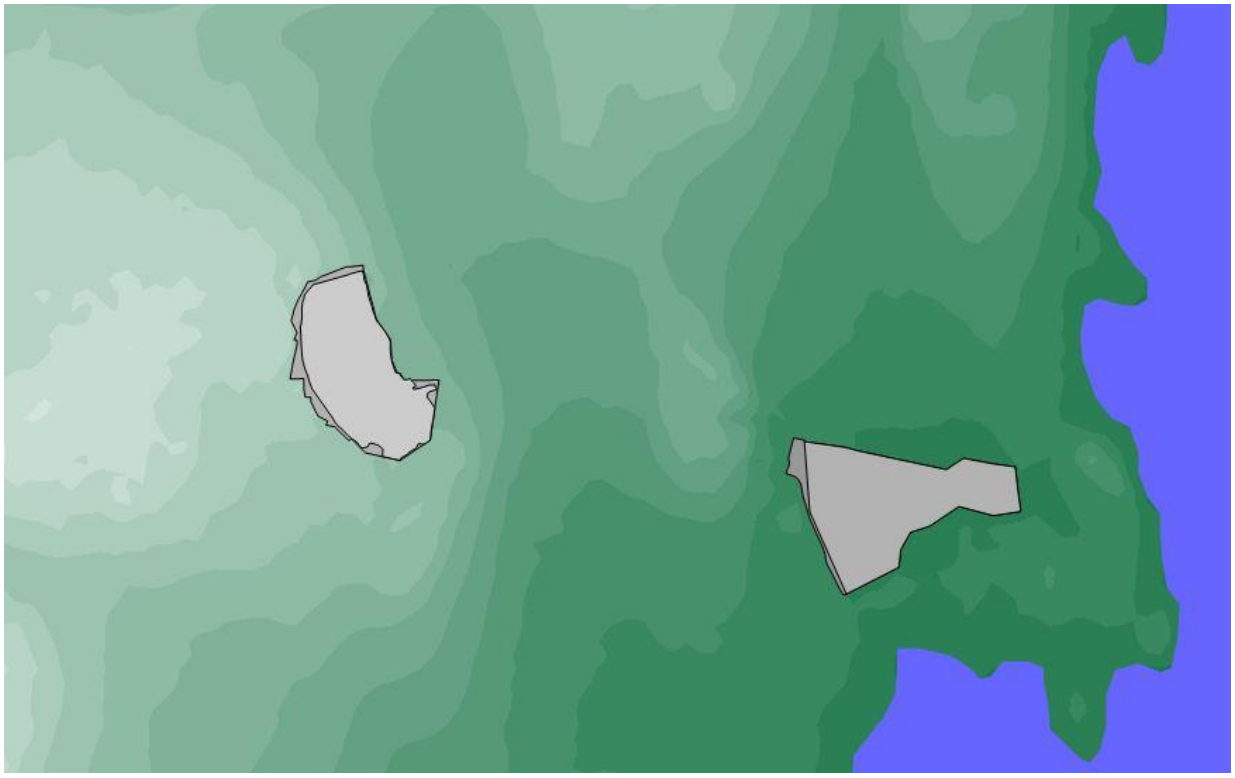
13.0 FRAMTIDA FÖRHÅLLANDEN – DEN TILLKOMMANDE BRYTNINGEN OCH NOLLALTERNATIVET

13.1 Inledning

Framtida grundvattensituationer har beräknats för den tillståndsansökan som Cementa nu lägger fram. Dessa beräkningar är utförda med hjälp av grundvattenmodeller.

13.2 Ansökt verksamhet

Cementa ansöker om tillstånd till att under 4 års tid bryta kalksten i File hajdar-täkten och Västra brottet, samt leda bort det vatten som läcker in i File hajdar-täkten, Västra brottet och Östra brottet. Storleken på den ansökta brytningen framgår av Figur 56.



Figur 56: Topografin och Cementas dagbrott med omgivning, som de är geometriskt definierade för: (i) Den initiala situationen, som representerar situationen år 2021, markerat som ljust grått. (ii) Den framtida ansökta situationen fullt utbrutet om 4 till 5 år, markerat som mörkgrått.

13.3 Metod

13.3.1 Vad är en grundvattenmodell?

Grundvattenmodeller är det enda möjliga sättet att beräkna de framtida grundvattenförhållandena. Man brukar säga att modeller gör prediktioner. En prediktion är en förutsägelse, det vill säga ett uttalande om en framtida situation eller händelseförlopp.

En grundvattenmodell är en matematisk beskrivning av grundvattenflödet inom ett studerat område. Den studerade delen av verkligheten kallar vi ett system, t.ex. grundvattensystemet. Den upprättade modellen är en förenklad beskrivning av det studerade systemet.

En modellstudie bygger på en systemanalytisk metod för att lösa komplicerade problem genom att:
(i) Upprätta en modell av det studerade systemet (en modell av verkligheten), (ii) Använda modellen för simuleringar som imiterar det verkliga systemets beteende och (iii) Baserat på resultat som beräknats av modellen (genom de utförda simuleringarna) uppnå förståelse av det verkliga systemets beteende och tillstånd.

Baserat på studiens syfte och tillgänglig information upprättas först en konceptuell modell. Den konceptuella modellen innehåller känd information om det studerade systemets egenskaper, t.ex. topografi, utbredning på olika jordarter, strukturgeologisk tolkning, värden på konduktivitet m.m. Den konceptuella modellen innehåller dessutom en beskrivning av de fysikaliska processer som styr det studerade systemet (t.ex. Darcys lag). Den konceptuella modellen innehåller dock endast information som är relevant med avseende på studiens syfte.

Baserat på den konceptuella modellen upprättas en formell modell. Den formella modellen är en matematisk beskrivning av den konceptuella modellen. Den formella modellen upprättas med hjälp av ett datorprogram (t.ex. Geoan). Den formella modellen används för simuleringar.

13.3.2 Modell 2021

För att uppskatta den framtida påverkan av den nu ansökta tillkommande brytningen används en grundvattenmodell. Vid Cementas tidigare ansökningar om utvidgade dagbrott har grundvattenmodeller också använts. Två olika generationer av modeller har tidigare använts. En modell från 2007 (Modell 2007) och en modell från 2017 (Modell 2017). Resultaten som presenteras nedan har beräknats med en uppdaterad version av Modell 2017. Den tidigare använda Modell 2017 har uppdaterats, bland annat har berg av typen revkalksten inkluderats i modellen, resultat från geofysiska undersökningar har inkluderats och storleken på beräkningscellerna i modellen har reducerats, dessutom har modellen kalibrerats om. Den uppdaterade modellen kallas Modell 2021. Modell 2021 bygger på samma grundläggande hydrogeologiska beskrivning som de tidigare modellerna (Modell 2007 och Modell 2017). Nya simuleringar har utförts med den uppdaterad modellen (Modell 2021). Modell 2021 är precis som Modell 2007 och Modell 2017 en modellbeskrivning som är definierad i datorprogrammet Geoan.

För en detaljerad beskrivning av Modell 2021, se BILAGA D.

Vad som är av störst betydelse för den etablerade modellen är den grundläggande hydrogeologiska beskrivningen av grundvattensystemet på File hajdar och dess omgivning, tex. geometri, typ av bergart, lagerföljder, sprickzoner, samt systemets dynamiska beteende som det har observerats i borrhål etc. (detta kallas ofta för en konceptuell modell). Den hydrogeologiska beskrivningen inkluderar ett antal subhorisontella vattenförande lager, som försörjs av vatten via vertikala sprickor. Dessa strukturer har observerats i fältstudier, bland annat med hjälp av hydrauliska tester i borrhål, och geofysiska undersökningar, mm.

Modell 2021 är kalibrerad. Kalibreringen har utförts för en situation som motsvarar nuvarande förhållanden (2021). Modellen är kalibrerad mot följande uppmätta data. Det är kalibreringens syfte att reproducera dessa uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans:

- Transient inflöde till File hajdar-dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål

Kalibreringen är tidsberoende (transient) och redovisar det studerade systemets variation under ett medelår/normalår. Syftet med att utföra en transient kalibrering, som är komplicerad och tidsödande, är

upprätta en modell som kan simulera hur de framtida grundvattennivåerna kommer att variera under ett teoretiskt medelår/normalår. Detta möjliggör en analys av både högvattensituationen (vinter) och lågvattensituationen (sommar).

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellenen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv.

Det går att spekulera kring alternativa beskrivningar av det studerade hydrogeologiska systemet, men den etablerade och kalibrerade modellen är den beskrivning som bedöms vara mest trolig. Det är inte så att modellen kan kalibreras för vilken hydrogeologisk beskrivning som helst, eller för vilka parametervärden som helst. Endast beskrivningar som ligger mycket nära den etablerade modellen kan kalibreras mot uppmätta data. Om vi utgår från den kalibrerade modellen, så är det endast för mindre förändringar av de betydelsefulla parametrarna som det är möjligt att erhålla en kalibrerad modell, genom att olika betydelsefulla egenskaper noggrant balanseras mot varandra. Detta gör den etablerade modellen trovärdig. En sensitivitetsanalys av kalibreringen har utförts och presenteras i modellrapporten (BILAGA D).

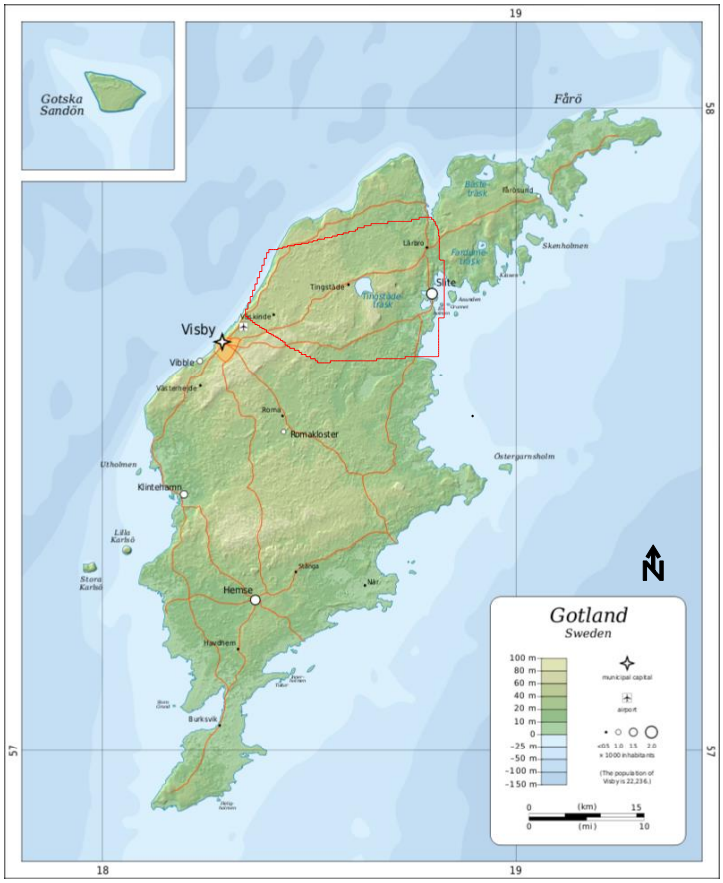
Modellens storlek och läge på Gotland framgår av Figur 57.

Modellens storlek och topografi framgår Figur 58.

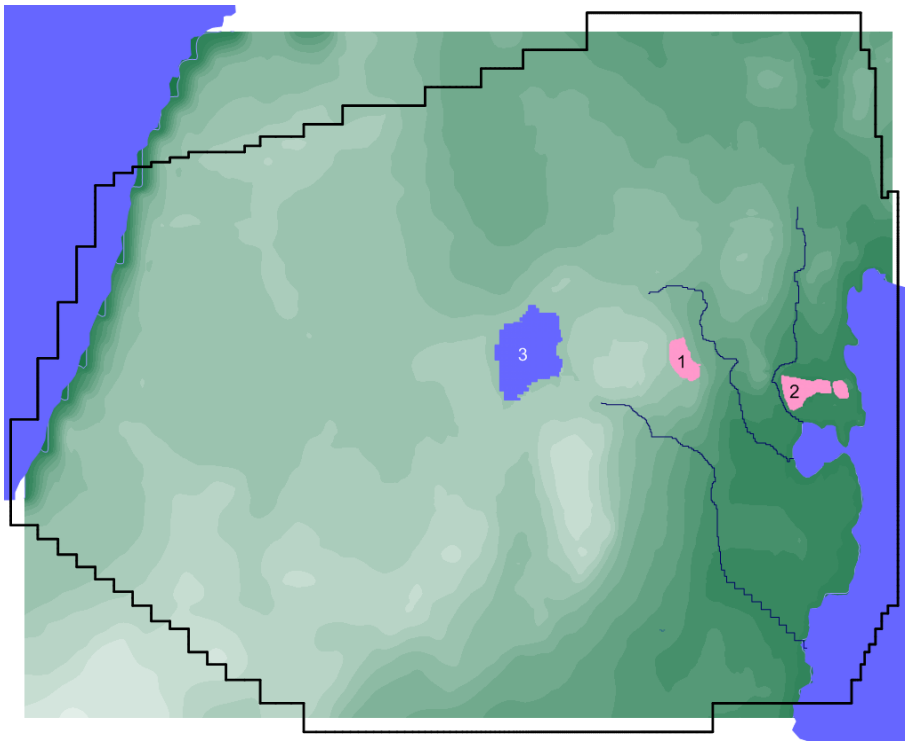
Ett vertikalt snitt genom modellens östra del visas i Figur 59.

För den kalibrerade modellen visas grundvattennivåer kring dagbrotten för högvattensituationen i december i Figur 60. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m.

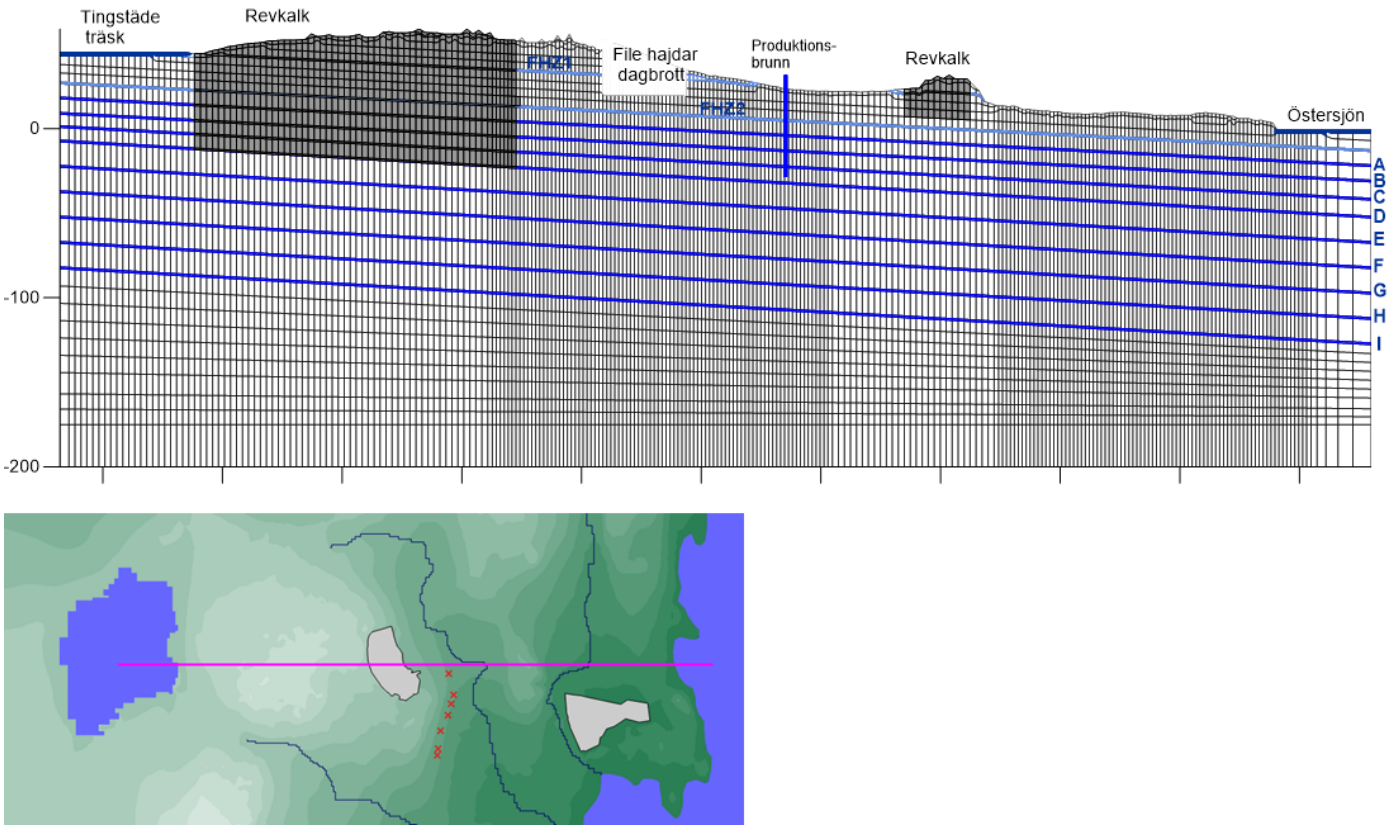
För den kalibrerade modellen visas grundvattennivåer kring dagbrotten för lågvattensituationen i juli i Figur 61. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m.



Figur 57: Karta över Gotland. Den röda linjen markerar modellens yttre begränsning. Karta från Wikipedia.



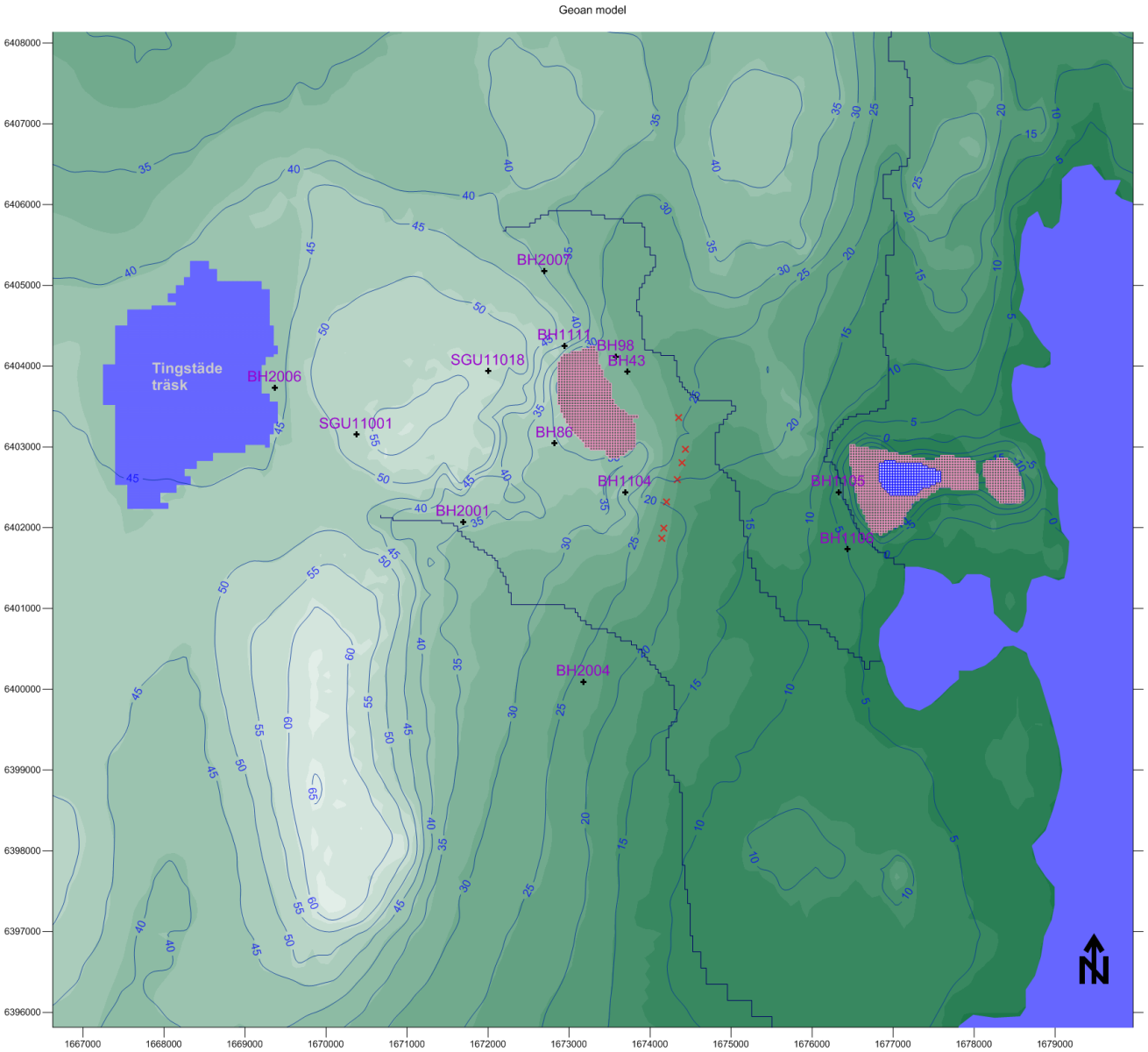
Figur 58: Modellens storlek och topografi. 1= File hajdar dagbrott. 2= Västra brottet. 3= Tingstäde träsk. Fet svart linje markerar modellens yttre begränsning.



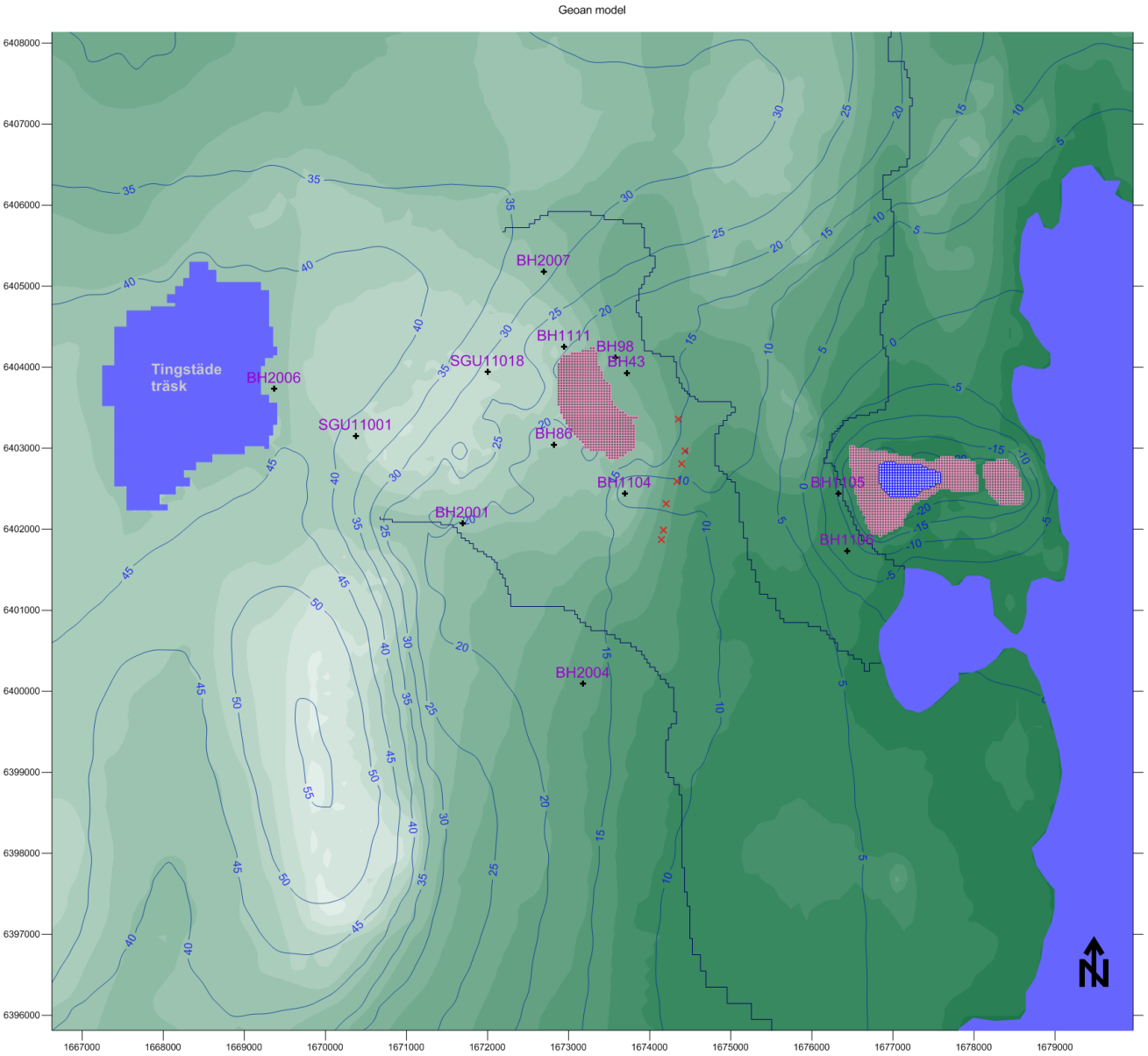
Figur 59: Ett tvärsnitt i Väst-Östlig riktning genom File hajdar dagbrott. Figuren visar den konceptuella indelningen i olika lager och strukturer, som dessa är definierade i modellen, samt beräkningsnätets celler. Notera att figuren endast avbildar modellens östra del (File hajdar och Slite). Den vertikala skalan är ca 15 gånger större än den horisontella skalan.

Vid en jämförelse mellan scenario LT1-2021 (oktober 2021) och Scenario LT2 (ansökt utökning fullt utbrutet) blir skillnaden i storlek på File hajdar dagbrott mycket liten. I denna figur motsvarar utökningen den västra väggen på File hajdar dagbrott flyttas 100m mot väster, vilket motsvarar tre celler i figuren ovan.

Bokstäverna vid figurens högra sida markerar de stora vattenförande zonerna, numrerade A till I.



*Figur **60: Scenario LT1B (2021).** Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för högvattensituationen i december. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47m (Se avsnitt 13.3.4)*.



Figur 61: Scenario LT1B (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för lågvattensituationen i juli. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47m. (Se avsnitt 13.3.4).

13.3.3 Gränsvärde för påverkansområde

Den indirekta påverkan av det utökade dagbrottet beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras. Skillnaderna kan sedan plottas på en karta och isolinjen för en viss förändring kan markeras. Det indirekta påverkansområdet är inte samma sak som en avsänkningstratt runt dagbrotten.

Storleken på påverkansområdet varierar med storleken på gränsvärdet: ju mindre gränsvärde, desto större påverkansområde. Vad som ofta glöms bort när storleken på gränsvärdet diskuteras är dock att analysens osäkerhet också beror av gränsvärdets storlek: ju mindre gränsvärde, desto större är osäkerheten i storleken på det beräknade påverkansområdet. Det är därför orimligt att välja ett gränsvärde som är mycket mindre än naturliga variationer i grundvattennivå och mycket mindre än osäkerheten i topografi och uppmätta grundvattennivåer.

Nollalternativen inträffar i framtiden och de innebär mycket stora hydrauliska förändringar för det studerade systemet. För det slutliga nollalternativet är tidshorisonten 20 till 40 år in i framtiden, och det slutliga nollalternativet inkluderar betydande osäkerheter vad gäller hur den framtida situationen egentligen kommer att se ut. Dagbrotten kommer att omvandlas till täktsjöar, osäkerheter finns tex med avseende på täktsjöarnas framtida dämningsnivåer och framtida vattenuttag ur täktsjöarna, och hur det framtida klimat utvecklas mm.

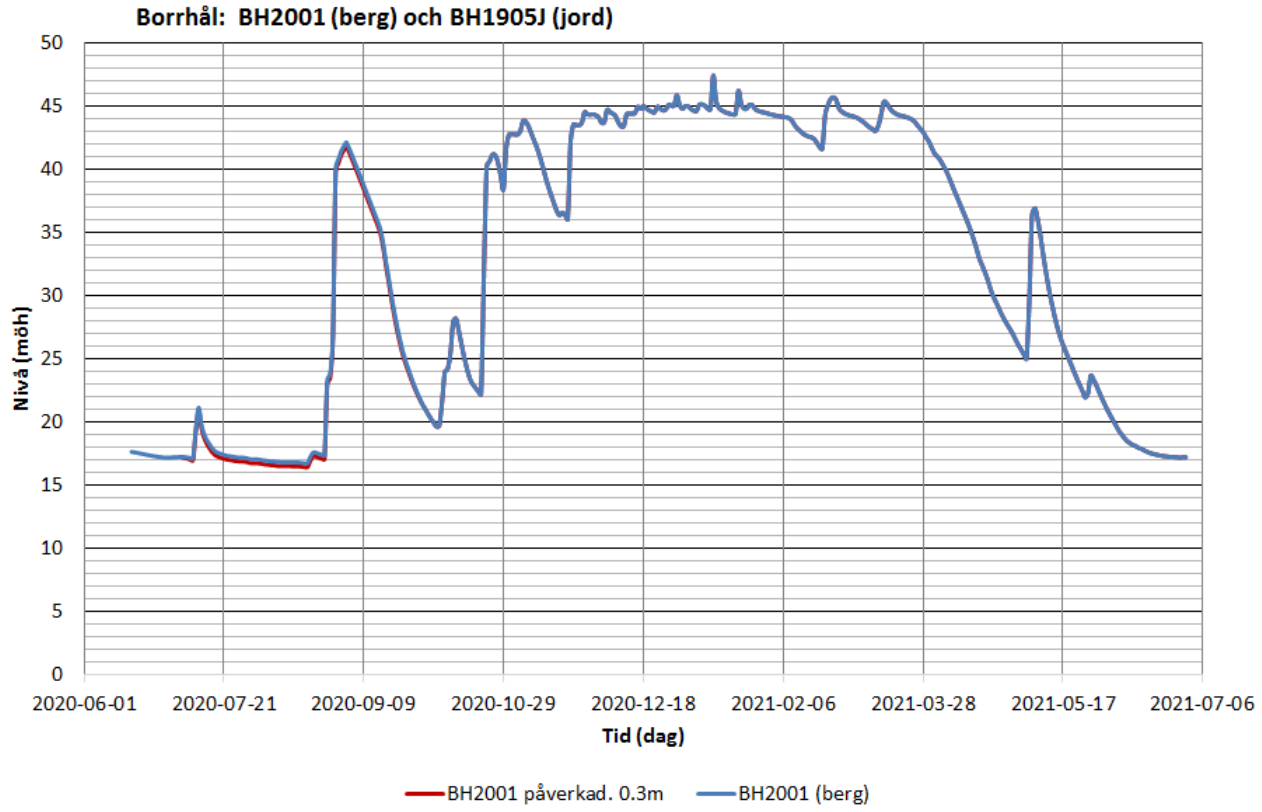
Gränsvärdet bör väljas så stort att den förändring i grundvattennivå som gränsvärdet representerar tydligt kan särskiljas från naturliga variationer i grundvattennivåerna. Därför bör gränsvärdet sättas i relation till de naturliga årliga variationerna i vattennivå.

Om den naturliga årliga variationen är 1–2 meter, vilket ofta är storleksordningen för en naturlig variation i ett grundvattensystem, då motsvarar ett gränsvärde på 0,3 m 15–30 % av den årliga variationen i vattennivå, och kan troligen urskiljas från den naturliga variationen. Det studerade grundvattensystemet vid File hajdar är dock ett ovanligt grundvattensystem med extremt stora årliga variationer i grundvattennivåer i berg – ofta i storleksordningen 20 meter, en amplitud på 35 m är uppmätt i borrhål BH1104. Om den naturliga årliga variationen är 20 m, då motsvarar ett gränsvärde på 0,3 meter 1,5 % av den årliga variationen, och kommer därför i verkligheten att inte kunna urskiljas från naturliga förändringar. Detta illustreras i figurerna nedan (Figur 62 och Figur 63).

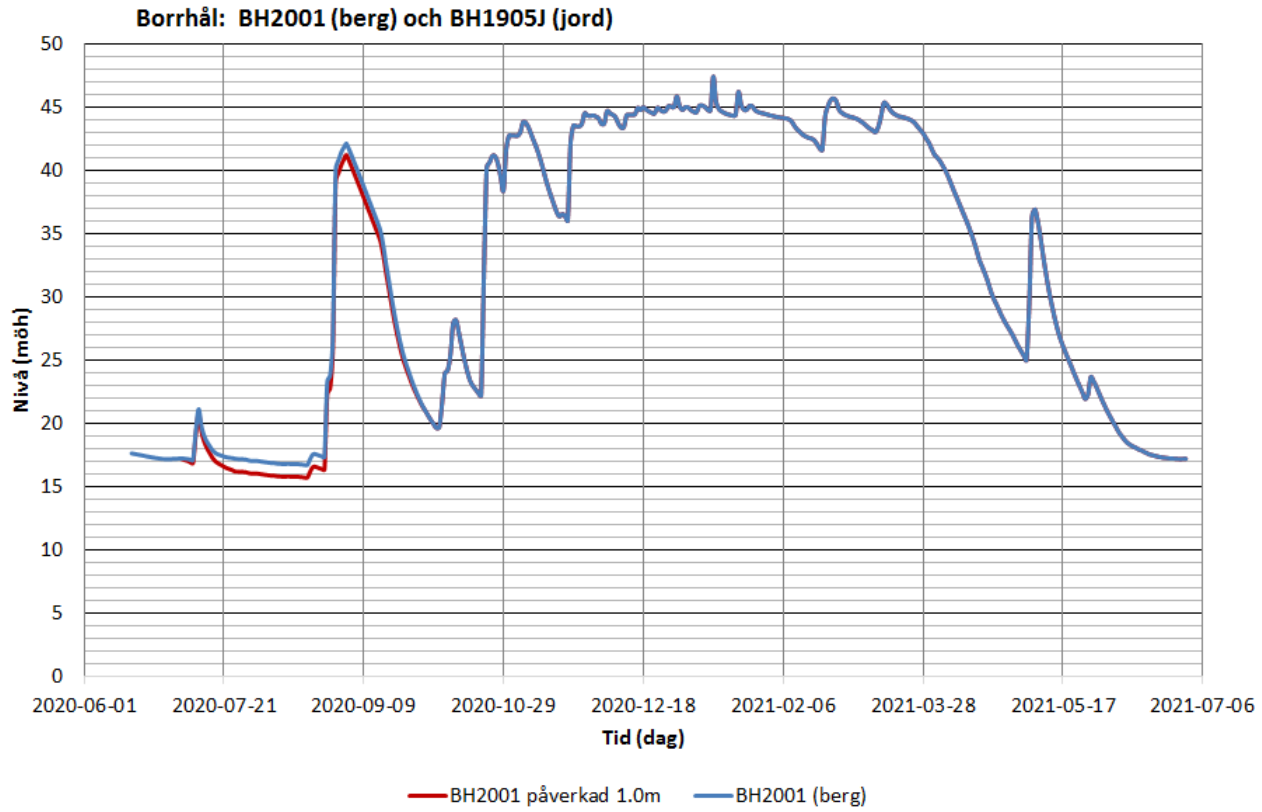
Den blå linjen i figurerna visar uppmätta grundvattennivåer i borrhål BH2001 under 2020–2021. Den röda linjen i Figur 62 visar de uppmätta grundvattennivåer minus en påverkan på 0,3 m i slutet på sommaren 2020. Som man tydligt ser i Figur 62 går det inte att i praktiken särskilja de påverkade nivåerna från de opåverkade nivåerna. Teoretiskt kan man räkna ut att påverkan är lika med -0,3 m, men den går inte att i verkligheten särskilja en så liten förändring från den naturliga variationen om den naturliga variationen är stor.

Den röda linjen i Figur 63 visar de uppmätta grundvattennivåer minus en påverkan på 1,0 m i slutet på sommaren 2020. Som man ser i Figur 63 går det att i figuren särskilja de påverkade nivåerna från de opåverkade nivåerna, men i verkligheten är det fortfarande omöjligt, eftersom amplituden är så stor som 30 m, och mönstret med höga och låga vattennivåer i verkligheten inte infaller på samma tidpunkter för olika år.

Teoretiskt kan man räkna ut att påverkan är lika med -0,3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som tex 20 m (eller större). Ett bättre sätt vore att definiera gränsvärdet i relation till den årliga amplituden, tex att definiera gränsvärdet till 10% av amplituden med ett minimivärde på 0,3 m, vilket för BH2001 skulle betyda ett gränsvärde lika med ca 3 m.



Figur 62: Jämförelse av opåverkade och påverkade vattennivåer. De påverkade nivåerna är konstruerade.



Figur 63: Jämförelse av opåverkade och påverkade vattennivåer. De påverkade nivåerna är konstruerade.

13.3.4 Representativ grundvattennivå i brunnar

Den upprättade modellen är tredimensionell och inkluderar 40 olika lager. Grundvattennivåerna är normalt olika i alla de 40 lagren, även om skillnaderna kan vara små. Ett av syftena med modellstudien är att beräkna grundvattennivåerna i bergborrade brunnar. Ett representativt värde för de varierande grundvattennivåerna längs ett vertikalt borrhål kan beräknas som ett viktat medelvärde, där grundvattennivån i varje lager (i borrhålet) viktas mot lagrets transmissivitet. Därmed kommer de mest genomsläppliga lagren att ha störst betydelse för grundvattennivån i borrhålet. Detta stämmer med verkligheten. Grundvattennivån i ett borrhål bestäms till stor del av grundvattennivåerna i de mest genomsläppliga lagren. Mediandjupet för bergborrade brunnar inom det studerade området är nära 47 m. När vi i denna studie har beräknat en representativ grundvattennivå i en brunn har vi analyserat brunnar med djupet 47 m. Vi antar också att de översta 5 m i brunnen är tätade mot omgivningen. Detta antagande görs för att inte grundvattennivån i de översta lagren, tex lösa jordarter, ska påverka brunnens vattennivå. Brunnars översta del är ofta tätad mot omgivningen för att förhindra att ytligt vatten i de lösa jordlagren ska läcka in i brunnen. I verkligheten varierar längden på denna tätning med djupet på de lösa jordlagren och är ofta mindre än 5 m. I modellen har vi ansatt ett konstant värde eftersom vi analyserar hela modellen utan att särskilt beakta det lokala djupet på de lösa jordlagren.

13.4 Påverkan som orsakas av den tillkommande brytning

13.4.1 Inledning

En jämförelse mellan storleken på den ansökta utökningen av dagbrotten och dagbrottens nuvarande storlek (Figur 56) visar att den ansökta utökningen är liten i jämförelse med dagbrottens nuvarande area och djup. En viss mindre påverkan på grundvattensystemet kan dock förväntas äga rum i anslutning till den ansökta brytningen. Nedan presenteras resultat från modellstudien för ett antal olika frågeställningar kring hur den ansökta verksamheten påverkar grundvattensituationen kring dagbrotten.

13.4.2 Olika beräkningsfall

Följande scenarier (beräkningsfall) har studerats:

- Referenssituation. Nuvarande situation (2021)	Scenario LT1B-2021.
- Framtida situation om ca 5 år: Ansökt utökning, utbrutet och dränerat	Scenario LT2.
- Framtida situation Nollalternativ om ca 5 år. Succesivt vattenfyllda dagbrott.	Scen. LT1noll4aT
- Framtida situation Nollalternativ om ca 40 år. Vattenfyllda dagbrott	Scenario LT1noll40a
- Framtida situation Utbrutna och succesivt vattenfyllda dagbrott om ca 5 år	Scenario LT2noll4a
- Framtida situation Utbrutna och vattenfyllda dagbrott, om ca 40 år	Scenario LT2noll40a
- Saltvattenmodellen. - Referenssituation. Nuvarande situation (2021)	Scenario 2021
- Saltvattenmodellen. - Nollalternativ om ca 40 år. Vattenfyllda dagbrott	Scenario 2021SaltNoll

Nuvarande situation år 2021. Den kalibrerade beskrivningen. Scenario LT1B-2021.

Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra brottet brutet ned till -26 m.ö.h. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån -31 m.ö.h.
Pall 1 i File hajdar-täkten bruten ned till nivån +20 m.ö.h. Dränerat.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Framtida situation. Ansökt utökning utbrutet och dränerat. Scenario LT2.

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.

Pall 1 i Västra brottet brutet ned till -26 m.ö.h. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån -26.5 m.ö.h.
Pall 1 i File hajdar-täkten bruten ned till nivån +20 m.ö.h. Dränerat.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 4 till 5 normalår med successivt utökat dagbrott, från nuvarande situation och framåt.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllning om ca 5 år. Scenario LT1noll4a.

Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra brottet brutet ned till -26 m.ö.h. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 m.ö.h. Vattenfylld till nivån -26,2 m.ö.h. Stigande nivåer.
Pall 1 i File hajdar-täkten bruten ned till nivån +20 m.ö.h. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 5 normalår med stigande vattennivåer, från nuvarande situation och framåt.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllda dagbrott om ca 40 år. Scenario LT1noll40a.

Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra brottet brutet ned till -26 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån +1 m.ö.h.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån +1 m.ö.h.
Pall 1 i File hajdar-täkten bruten ned till nivån +20 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån +28 m.ö.h.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Framtida situation. Utbrutet och vattenfyllning om ca 5 år. Scenario LT2noll4a

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.
Pall 1 i Västra brottet brutet ned till -26 m.ö.h. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 m.ö.h. Vattenfylld till nivån -26,2 m.ö.h. Stigande nivåer.
Pall 1 i File hajdar-täkten bruten ned till nivån +20 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 5 normalår med stigande vattennivåer, från nuvarande situation och framåt.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Framtida situation. Utbrutet med vattenfyllda dagbrott, om ca 40 år. Scenario LT2noll40a.

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.
Pall 1 i Västra brottet brutet ned till -26 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån +1 m.ö.h.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån +1 m.ö.h.
Pall 1 i File hajdar-täkten bruten ned till nivån +20 m.ö.h. Vattenfylld upp till nivån +28 m.ö.h.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Modellen inkluderar Västra brottet, Östra brottet och File hajdar-täkten. De olika nivåerna i dagbrotten är inkluderade och representeras i modellen av olika numeriska lager. I de fall dagbrotten simuleras som dränerade, definieras dagbrotten med atmosfäriskt tryck. I de simuleringar i vilka en fri vattenyta förekommer i dagbrotten simuleras de vattenfyllda delarna med en specificerad vattennivå, som i sin tur skapar olika tryck på olika nivåer. Modellen beräknar inflöde till dagbrotten både genom dagbrottens sidor och genom botten.

I modellen läggs också en nettonederbörd över dagbrottet. Ytvatten och grundvatten kan också rinna in i dagbrottet, men inget vatten kan strömma ut från dagbrotten.

13.4.3 Vatteninflödet till dagbrotten

Inflödet till dagbrotten består av nettonederbörd och grundvatteninflöde.

Med avseende på Scenario LT2, ansökt utökning, utbrutet och dränerat:

- För File hajdar dagbrott ökar inflödet med 6% i jämförelse med den nuvarande situationen (2021)

- För Västra och Östra brotten ökar inflödet med 10% i jämförelse med den nuvarande situationen (2021)

För nollalternativet (vattenfyllda dagbrott) har inflödet till dagbrotten inte beräknats, eftersom dagbrotten då inte dräneras.

13.4.4 Grundvattennivåer och påverkansområden

Dagbrottens indirekta påverkan på de omgivande grundvattennivåerna beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras. Storleken på påverkansområdet varierar med storleken på ett gränsvärde som definierar påverkansområdets gräns. Ett gränsvärde lika med 1,0 m är huvudalternativet i denna studie. Det går att teoretiskt räkna ut ett påverkansområde för gränsvärdet 0,3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som 20 m (eller större).

Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) – Indirekt påverkansområde.

Grundvattennivåerna kommer att avsänkas då dagbrotten görs större och då dagbrotten dräneras. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli). Jämförelse har gjorts mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021). Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m.

För högvattensituationen visas resultaten i Figur 64.

För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 65.

För File hajdar dagbrott och för gränsvärdet 1 m är påverkansområdet litet för högvattensituationen och mycket litet för lågvattensituationen. Det mycket lilla området som erhålls för lågvattensituationen beror på att dagbrottets botten till stor del ligger ovanför grundvattenytan under lågvattensituationen (sommaren). För Västra och östra brotten är påverkansområdena också små och begränsade till dagbrottens närområde.

Jämförelse mellan ansökt utökning och nollalternativet – Indirekt påverkansområde

Grundvattennivåerna kommer att höjas då dagbrotten vattenfylls. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för det femte året (år 5) av succesiv vattenfyllning av dagbrotten, både för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli). Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se avsnitt 13.3.4).

För högvattensituationen visas resultaten i Figur 66.

För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 67.

Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda, både för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli). Denna situation bedöms kunna uppnås ca 40 år in i framtiden. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se avsnitt 13.3.4).

För högvattensituationen visas resultaten i Figur 68.

För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 69.

Den ansökta utvidgningen är liten. En liten förändring i storlek på dagbrotten är av ringa betydelse i jämförelse med att dagbrotten vattenfylls. När påverkansområdets gränsvärde är litet blir påverkansområdet stort. Vid små gränsvärden får vi i praktiken samma stora påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför med helt vattenfyllda dagbrott. Alltså erhålls samma påverkansområde som vid Nollalternativet då dränerade utökade dagbrott (enligt ansökan) jämförs med helt vattenfyllda dagbrott.

Påverkansområde för grävda brunnar

Som nämnts ovan avser de beräknade påverkansområdena en representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn, påverkansområdet med avseende på en brunn grävd i jordlagren kan förväntas vara betydligt mindre. Det är troligt att dagbrotten bara påverkar grävda brunnar (i jordlagren) om dessa brunnar är placerade i direkt anslutning till dagbrotten. Som en konservativ uppskattning kan man säga att det beräknade påverkansområdet för bergborrade brunnar också kan tillämpas för grävda brunnar.

Diskussion

När dagbrotten vattenfylls blir förändringarna i grundvattennivå stora, särskilt för lågvattensituationen. När dagbrotten är helt eller delvis vattenfyllda kommer dagbrotten inte att avsänka grundvattennivåerna på det sätt som de gör för den nuvarande situationen. I situationen med vattenfyllda dagbrott finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren, vatten som kan infiltrera till grundvattensystemet. Då kommer inte grundvattennivåerna i omgivningarna att sjunka på sommaren (lågvattensituationen), på det vis som de gör under nuvarande förhållanden (då File hajdar-täkten är dränerat). Det spelar stor roll om vattennivån i dagbrottet är låg eller hög, men för File hajdar dagbrott är det inte nödvändigtvis den mest betydelsefulla faktorn, den stora effekten skapas av att det finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren.

Infiltration av vatten från sjön i File hajdar dagbrott till omgivningarna förutsätter att det finns en god hydraulisk kontakt mellan sjön i File hajdar dagbrott och det omgivande grundvattensystemet, det är ett rimligt antagande baserat på hur förhållandena ser ut idag. I ett längre perspektiv, många år in i framtiden, är det troligt att sediment kommer att ansamlas i sjön, vilket på lång sikt kommer att förminska den hydrauliska kontakten mellan sjön och det omgivande grundvattensystemet. Därmed kommer också infiltrationen av vatten från sjön till omgivningarna att minska med tiden, och de låga grundvattennivåerna under sommaren kommer med tiden åtminstone delvis kunna komma tillbaka. Beräkningarna med vattenfyllda dagbrott, som presenteras i denna rapport, förutsätter en god hydraulisk kontakt mellan sjöarna i dagbrotten (tex sjön i File hajdar dagbrott) och det omgivande grundvattensystemet.

Grundvattensituationerna som erhålls då dagbrotten vattenfylls är situationer som aldrig tidigare har förekommit. Det är alltså inte en återgång till en tidigare situation eller en jämförelse med förhållandena innan Cementas verksamhet i Slite startade i början av 1900-talet. Dagbrotten har omvandlats till två sjöar av en betydande storlek och volym. Dessa sjöar har aldrig tidigare existerat.

Modellen predikterar att då dagbrotten vattenfylls kommer grundvattennivåerna att höjas tydligt inom ett mycket stort område, även nivåerna på större djup kommer att påverkas tydligt. Särskilt lågvattensituationen påverkas av att dagbrotten omvandlas till sjöar. Regionens vattentäkt påverkas kraftigt på ett positivt vis med tydligt förhöjda vattennivåer.

13.4.5 Den kommunala vattentäkten öster om File hajdar

I modellen pumpas produktionsbrunnarna med 220 000 m^3/år. Med avseende på Scenario LT2 (T), som är den ansökta utökningen, utbrutet och dränerat, har utökningen av dagbrotten simulerats tidsberoende i 4 steg, från den nuvarande situationen (2021) till den ansökta utökningen om 5 år. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek succesivt utökats. Förändringen i vattennivå i brunnarna är mycket liten, i jämförelse med den årliga nivåvariationen i brunnarna som är nära 15 m. Miniminivåerna i slutet på juli avsänks med nära 0,5 m i jämförelse med den initiala situationen (den nuvarande situationen 2021), se Figur 70. Med avseende på den ansökta utökningen, utbrutet och dränerat, visas de simulerade vattennivåerna i produktionsbrunnarna för ett normalår i Figur 72.

En frågeställning är vilken betydelse en liten förändring i vattennivå under sommaren har för produktionen i brunnarna. För att kvantifiera detta har vi gjort en simulering där vattennivån i produktionsbrunnarna aldrig tillåts vara lägre än den nuvarande miniminivån. Detta betyder att produktionen måste begränsas, men bara under den sista veckan i juli. Produktionen begränsas under den sista veckan i juli, så att vattennivåerna i brunnarna inte blir lägre än de nuvarande miniminivåerna. Denna begränsning ger ett produktionsbortfall lika med ca 100 m^3 under juli månad. Vilket är en helt försumbar förändring.

Med avseende på Scenario LT2noll4a (T), succesiv vattenfyllning av dagbrotten (Nollalternativet om ca 5 år), har vattennivån i dagbrotten succesivt höjts under 5 år. Under denna period har miniminivåerna i brunnarna i slutet på juli stigit med nära 2 m i jämförelse med den nuvarande situationen (2021). Se Figur 71.

Med avseende på Scenario LT2noll40a (S), helt vattenfyllda dagbrott, nollalternativet om ca 40 år visas de simulerade vattennivåerna i produktionsbrunnarna för ett normalår i Figur 73. För den framtida situationen (om ca 40 år) har miniminivåerna i brunnarna i slutet på juli stigit med nära 6 m i jämförelse med den nuvarande situationen (2021).

13.4.6 Grundvattenflöden i berget i de lokala avrinningsområdena nära File hajdar

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal områden runt dagbrotten. Dessa områdens utbredning är anpassade till topografin och ytvattensystemet – områdena är lokala avrinningsområden. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet beräknats längs med en yta på djupet 5 m. Det finns både uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden inom varje område. Ett nettoflöde kan beräknas som skillnaden mellan de uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden. Det ovan diskuterade nettoflödet är i områdena kring dagbrotten nedåtriktade.

Nettoflödet har beräknats för varje studerat område för följande scenarier:

Referens situation, år 2021	Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021).
Framtida situation	Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat.
Framtida situation Nollalternativ:	Scenario LT2noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om ca 40 år.

Nettoflödena för de framtida situationerna har jämförts med referenssituationen (Nuvarande situation 2021). Förändringen i nettoflödet är den påverkan som dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrottens kommer att orsaka. Om dagbrotten utvidgas kommer ett nedåtriktat nettoflöde att bli större, eftersom dagbrotten kommer att avleda mer grundvatten, samtidigt som kommunens produktionsbrunnar kommer att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare. Om dagbrotten vattenfylls kommer ett nedåtriktat nettoflöde att bli mindre, eftersom dagbrotten kommer att avleda mindre grundvatten, samtidigt som kommunens produktionsbrunnar kommer att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare.

De studerade områdena och de beräknade flödena visas i modellrapporten (se BILAGA D). De beräknade förändringarna i nettoflöden är mycket små i jämförelse med nettonederbörden och ytvattenflödena. Avseende

förändringen från den Nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen är förlusten av berggrundvatten från de lokala avrinningsområden som medelvärde 0,3% av nettonederbörden (över samma områden). Avseende förändringen från den Nuvarande situationen (2021) till nollalternativet med vattenfyllda täkter är vinsten av berggrundvatten till de lokala avrinningsområden som medelvärde 1,3% av nettonederbörden. Förlusten eller vinsten av grundvatten i de lokala avrinningsområdena äger huvudsakligen rum under höst och vinter, eftersom det är då som grundvattenflödena är stora.

13.4.7 Salthalter i grundvattnet kring Västra och Östra brotten vid vattenfyllning av dagbrotten

För närvarande är Östra brottet helt dränerat, och i Västra brottet är pall 1 helt dränerat, men i pall 2 ansamlas vatten och där finns en fri vattenyta som sakta stiger. När Västra och Östra dagbrotten vattenfylls, då kommer det betydande grundvatteninflödet till de dränerade dagbrotten att minska tydligt. Grundvatten från stort djup kommer inte längre att på samma sätt strömma mot dagbrottet. Därmed kommer grundvatten från stort djup, som innehåller salt, inte längre att strömma mot dagbrotten – detta är en positiv effekt av att vattenfylla Västra och Östra dagbrotten med avseende på salthalter i det omgivande grundvattnet. Så småningom kommer även grundvattennivåerna i ett större område kring dagbrottet att stiga betydligt. Detta betyder att mängden sött grundvatten i dagbrottens omgivningar kommer att öka. Detta är positivt med avseende på vattenuttag i brunnar i omgivningarna, bland annat därför att det gör det möjligt att göra uttag i brunnarna med mindre risk för att ett djupare salthaltigt grundvatten kan tränga fram till brunnarna. Dessa förändringar kommer dock att inträffa långsamt, inga tydliga förändringar kan förväntas inträffa på många år, bland annat eftersom det bedöms ta ca 40 år att vattenfylla Västra brottet och Östra brottet.

En successiv vattenfyllning av dagbrotten under 40 år har simulerats i en saltvattenmodell. Dessa simuleringar visar att djupet till ett saltvatten med en koncentration lika med smakgränsen (0,3 Kg/m^3) kommer att öka. För ett område som sträcker sig ca 1 km runt Västra brottet, och 300 m till 500m från Östra brottet, ökar mediandjupet med nära 2 m. Det blir alltså ett större djup till det salta grundvattnet när dagbrotten vattenfylls. För områden närmare dagbrotten blir förändringen större. För områden längre bort från dagbrotten blir förändringen mindre.

Vattenfyllnaden av Västra och Östra brotten kommer inte förändra de historiska naturliga förutsättningarna för grundvattenuttag i området kring dagbrotten. Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorina-havets vattenyta (ca 3000 år sedan). Risken för saltvatteninträngning i en lokal brunn nära havet kommer att vara betydande även då Västra och Östra brotten är vattenfyllda.

13.4.8 Salthalterna i den kommunala vattentäkten öster om File Hajdar kommer att påverkas

Den ansökta utökningen av dagbrotten är ringa i jämförelse med dagbrottens nuvarande storlek. En så liten utökning av dagbrotten kommer endast ha en försumbar påverkan på salthalterna i de kommunala vattentäkterna. Denna slutsats stöds av de simuleringar av salthalter i brunnarna som utfördes med en saltvattenmodell. För de kommunala produktionsbrunnarna öster om dagbrottet är vattenfyllning av File hajdar dagbrott av större intresse, eftersom det möjliggör en ökad produktion i brunnarna. I det sammanhanget är också vattenfyllning av File hajdar dagbrott av intresse för salthalterna, eftersom det minskar risken för saltvatteninträngning i produktionsbrunnarna när produktionen ökas.

13.4.9 Påverkan på grundvattenflödena i VISS-området Norra Gotland - Stenkyrka

En mycket liten del av VISS området Norra Gotland - Stenkyrka ligger innanför påverkansområdet för Nollalternativet, se Figur 74. Grundvattenflödet i detta lilla område kommer att påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Vi har beräknat hur stor denna påverkan blir för grundvattenflödet i berget. Beräkningarna presenteras mer i detalj i modellrapporten (BILAGA D).

Beräkningarna visar att den ansökta utökningen och länshållningen av dagbrotten kommer att orsaka en förlust för VISS-område Norra Gotland - Stenkyrka på nära 6 000 m^3/år (för ett normalår).

Beräkningarna visar att en vattenfyllning av dagbrotten (vilket tar många år) kommer att orsaka en vinst för VISS-området på nära 41 000 m^3/år (för ett normalår).

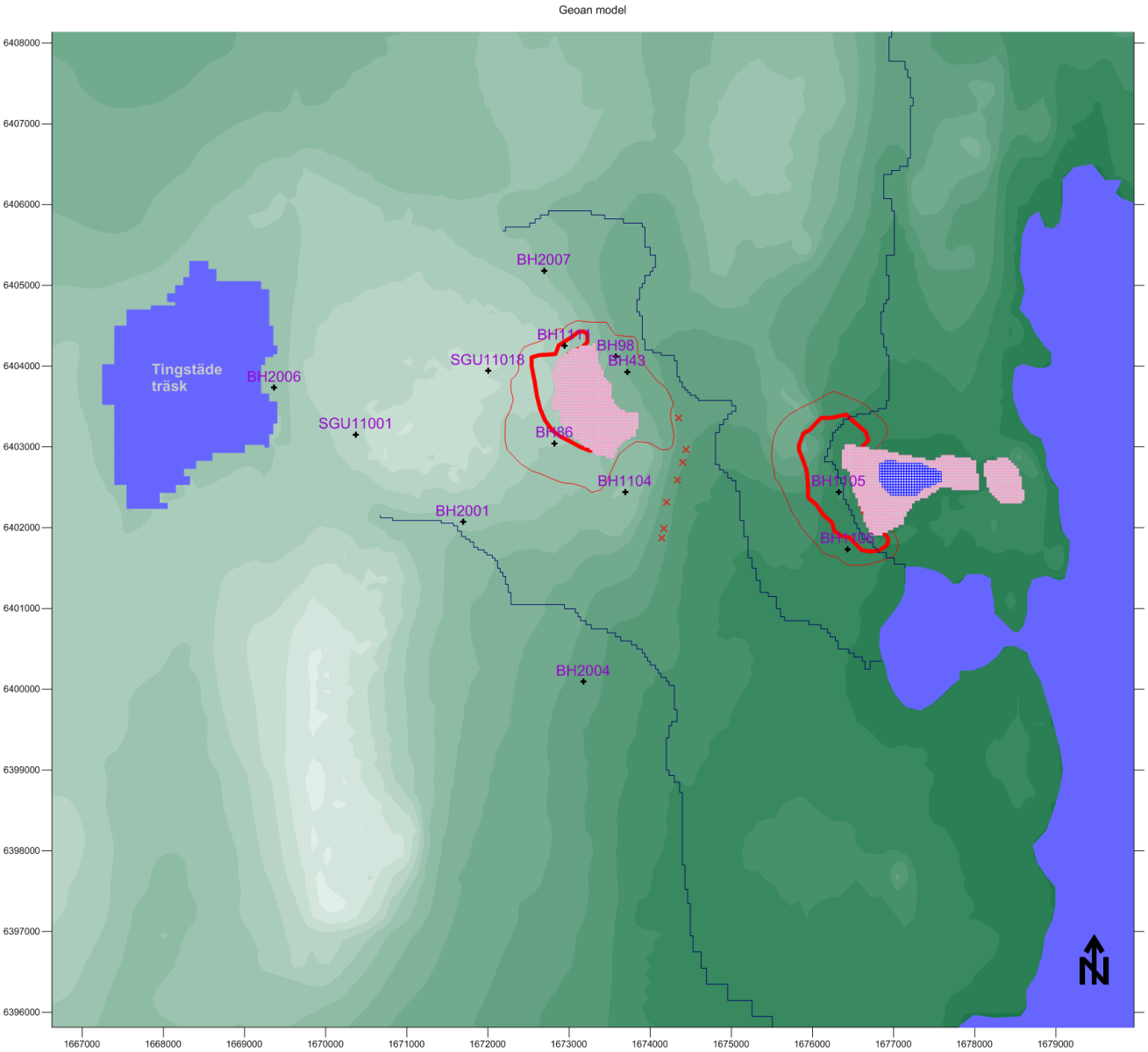
13.4.10 Påverkan på VISS-området Mellersta Gotland - Roma

Dagbrotten ligger i VISS-området Mellersta Gotland - Roma. Påverkan på VISS-området Mellersta Gotland - Roma kan uppskattats som hela förändringen i den totala vattenbortledningen från dagbrotten, alternativt studerar man bara grundvattenbortledningen från dagbrotten.

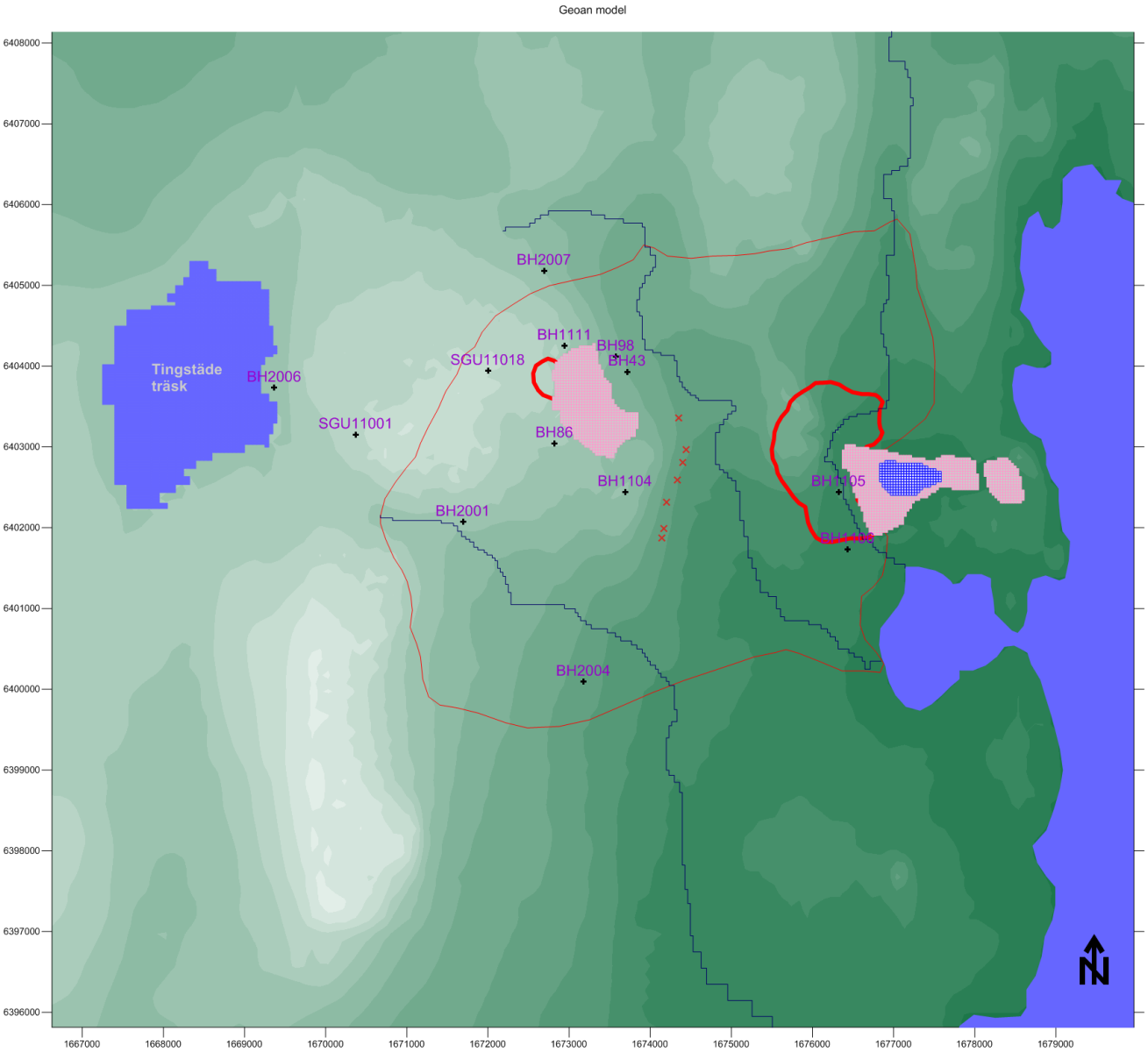
Beräkningarna visar att den ansökta utökningen och länshållningen av dagbrotten kommer att orsaka en förlust för grundvattensystemet i VISS-området på nära 94 000 m^3/år (för ett normalår). En del av grundvattenflödet samlas i pall 2 i Västra brottet och pumpas inte till havet, och är därför inte en fullständig förlust för det studerade VISS-området.

Vad gäller den totala förändringen av vattenbortledningen, som består av nettonederbörden över dagbrotten och grundvatteninflödet till dagbrotten, visar beräkningarna att den ansökta utökningen och länshållningen av dagbrotten kommer att orsaka en förlust på 154 000 m^3/år. En del av detta vattenflöde samlas i pall 2 i Västra brottet och pumpas inte till havet, och är därför inte en fullständig förlust för det studerade VISS-området.

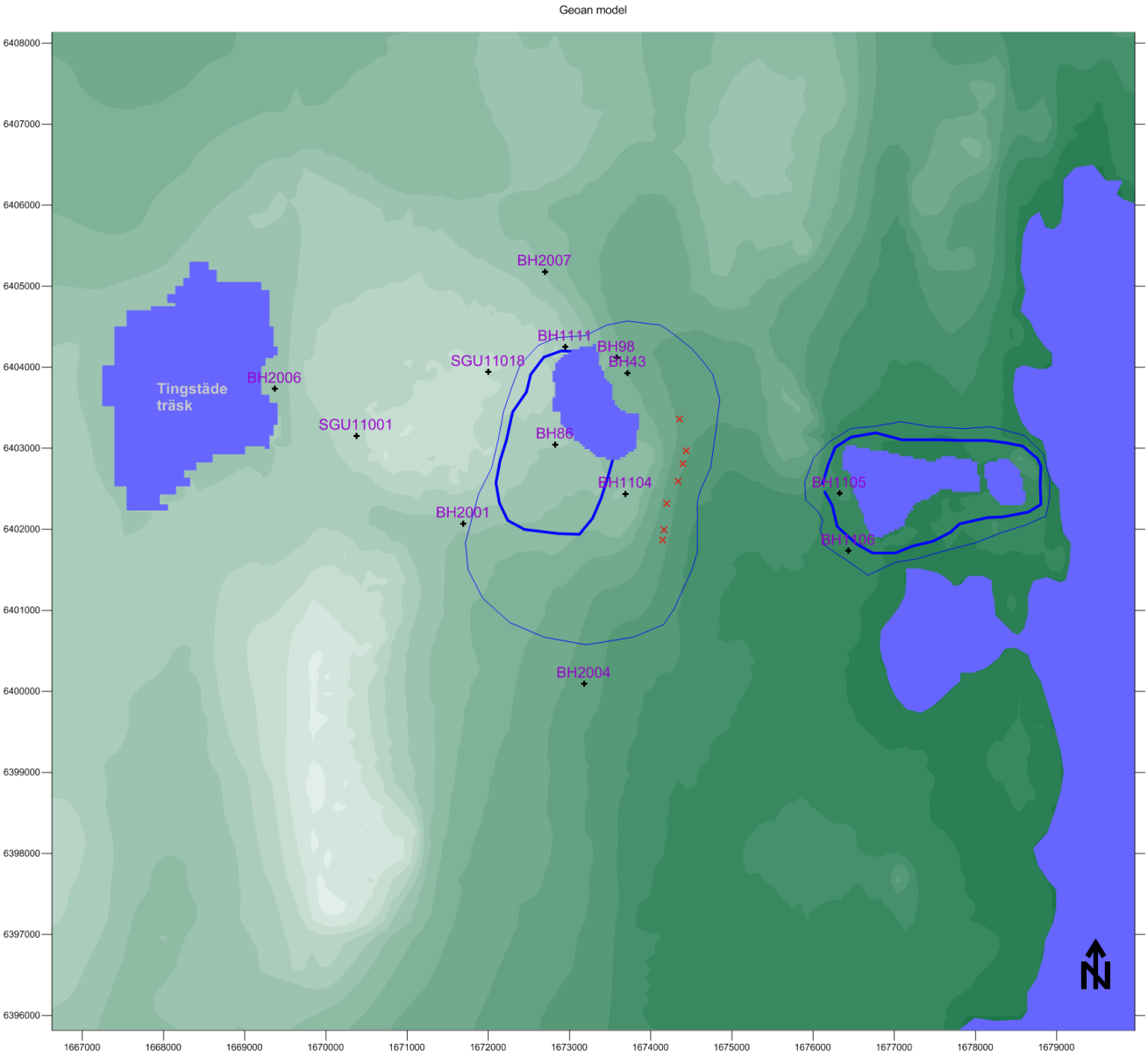
För Nollalternativet vattenfylls dagbrotten. Dagbrotten dräneras inte längre. Hela grundvattensituationen förändras kring dagbrotten. I nollalternativet erhålls ingen kvantitativ förlust för VISS området Mellersta Gotland - Roma. I stället erhålls en kvantitativ vinst som motsvarar hela vattenbortledningen från dagbrotten som är nära 1,9 miljoner m^3/år.



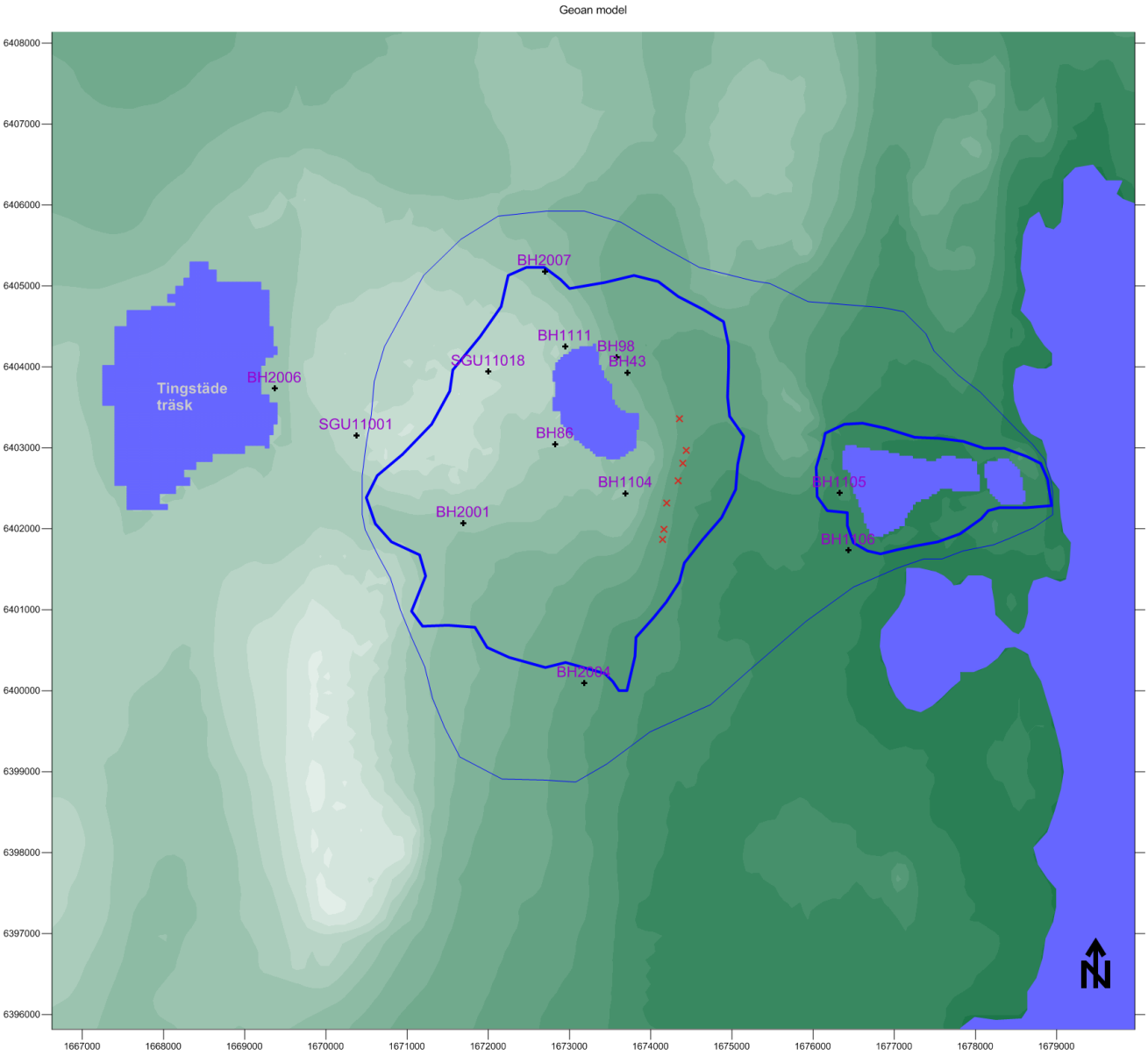
Figur 64: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. ***Högvattensituationen*** *(december). Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) [Scenario LT2 fall S] minus [Scenario LT1B]. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 1 m. Tunn röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 0,3 m. Notera att påverkansområdena har beräknats för en situation då de utökade dagbrotten har varit dränerade i många år.*



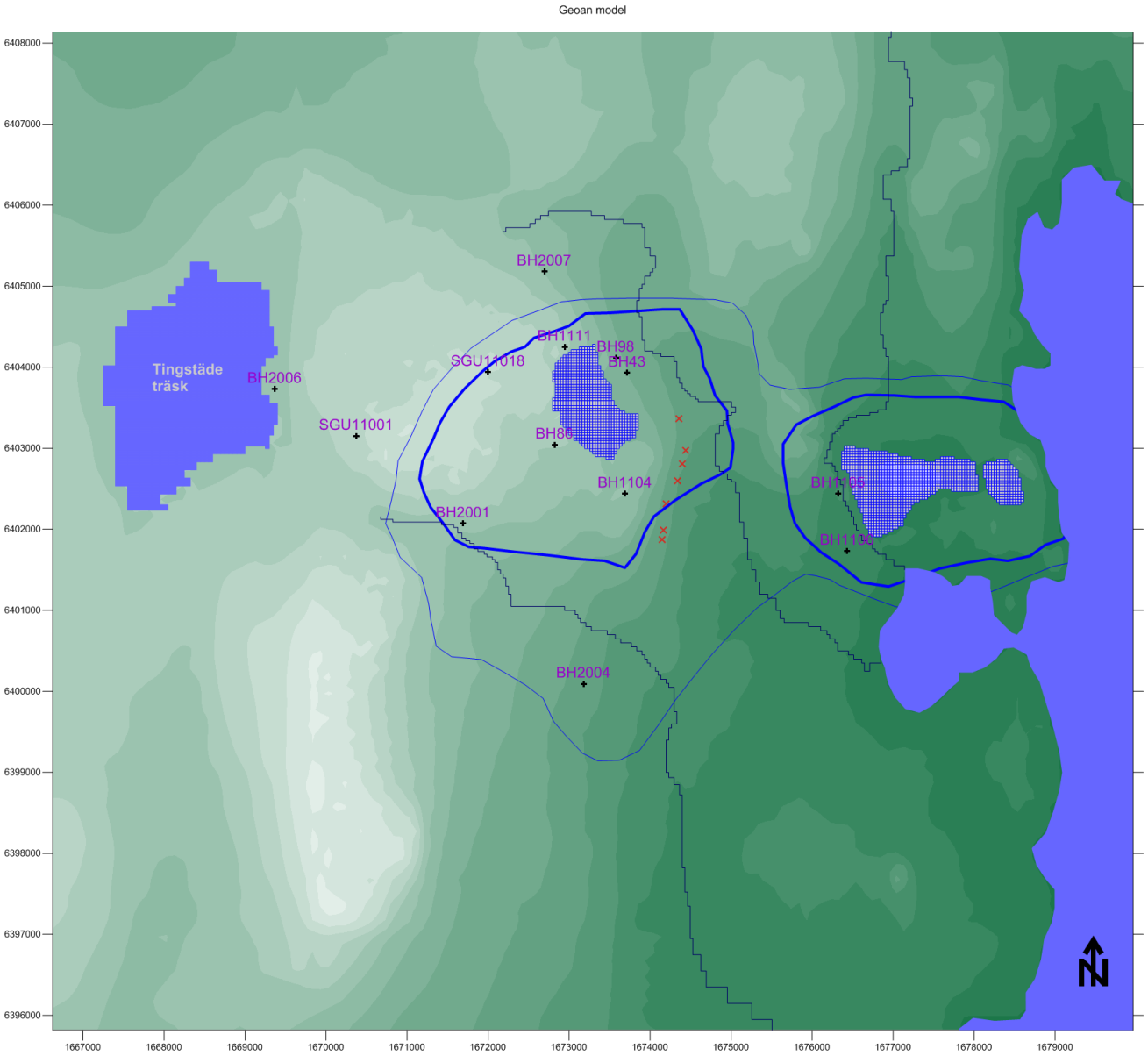
Figur 65: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. ***Lågvattensituationen*** *(juli). Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) [Scenario LT2 fall S] minus [Scenario LT1B]. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 1 m. Tunn röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 0,3 m. Notera att påverkansområdena har beräknats för en situation då de utökade dagbrotten har varit dränerade i många år.*



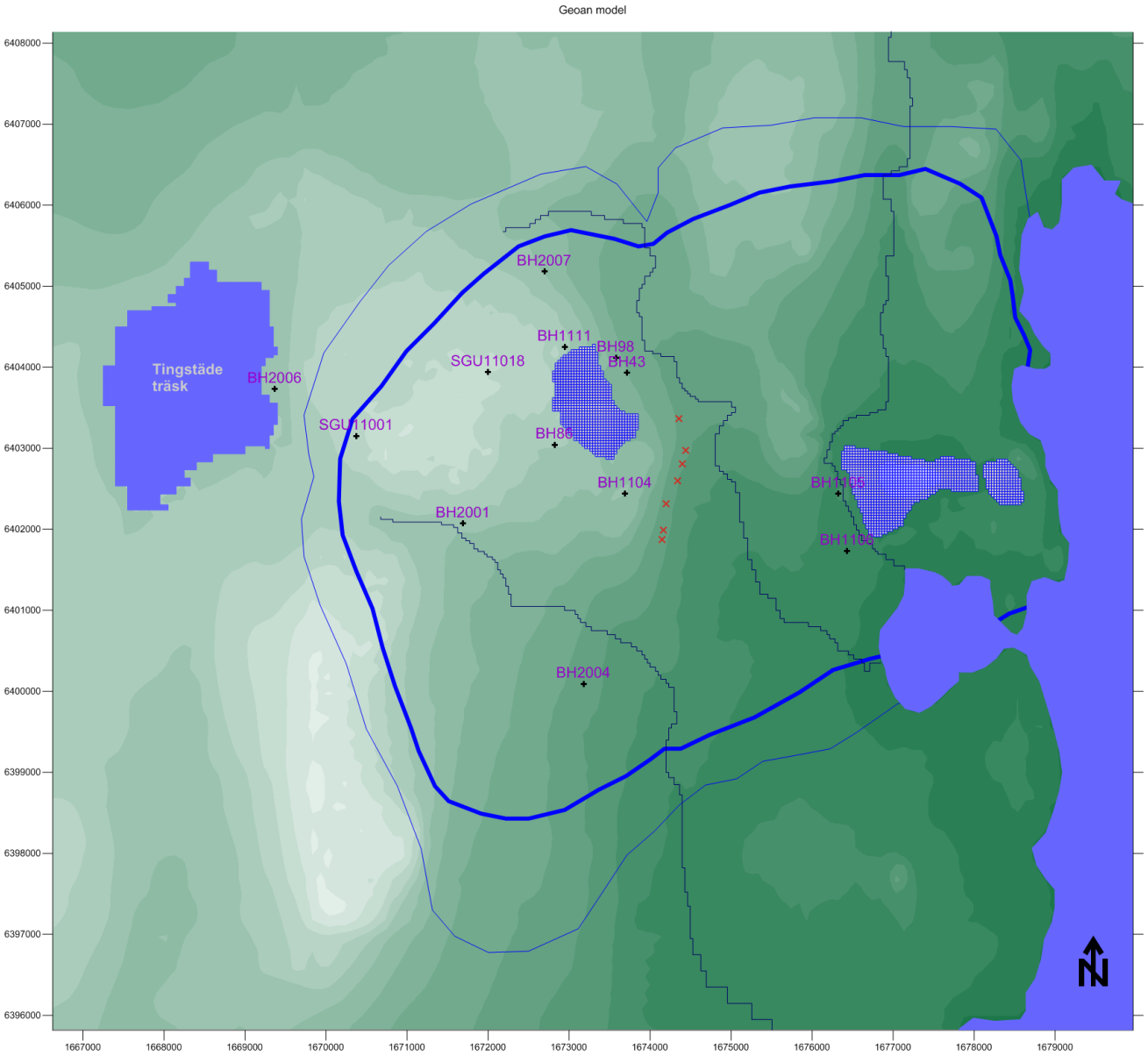
Figur 66: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. ***Högvattensituationen*** *(december). Figuren visar det påverkansområde som erhålls då dagbrotten succesivt har vattenfyllts under 5 år i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3m.*



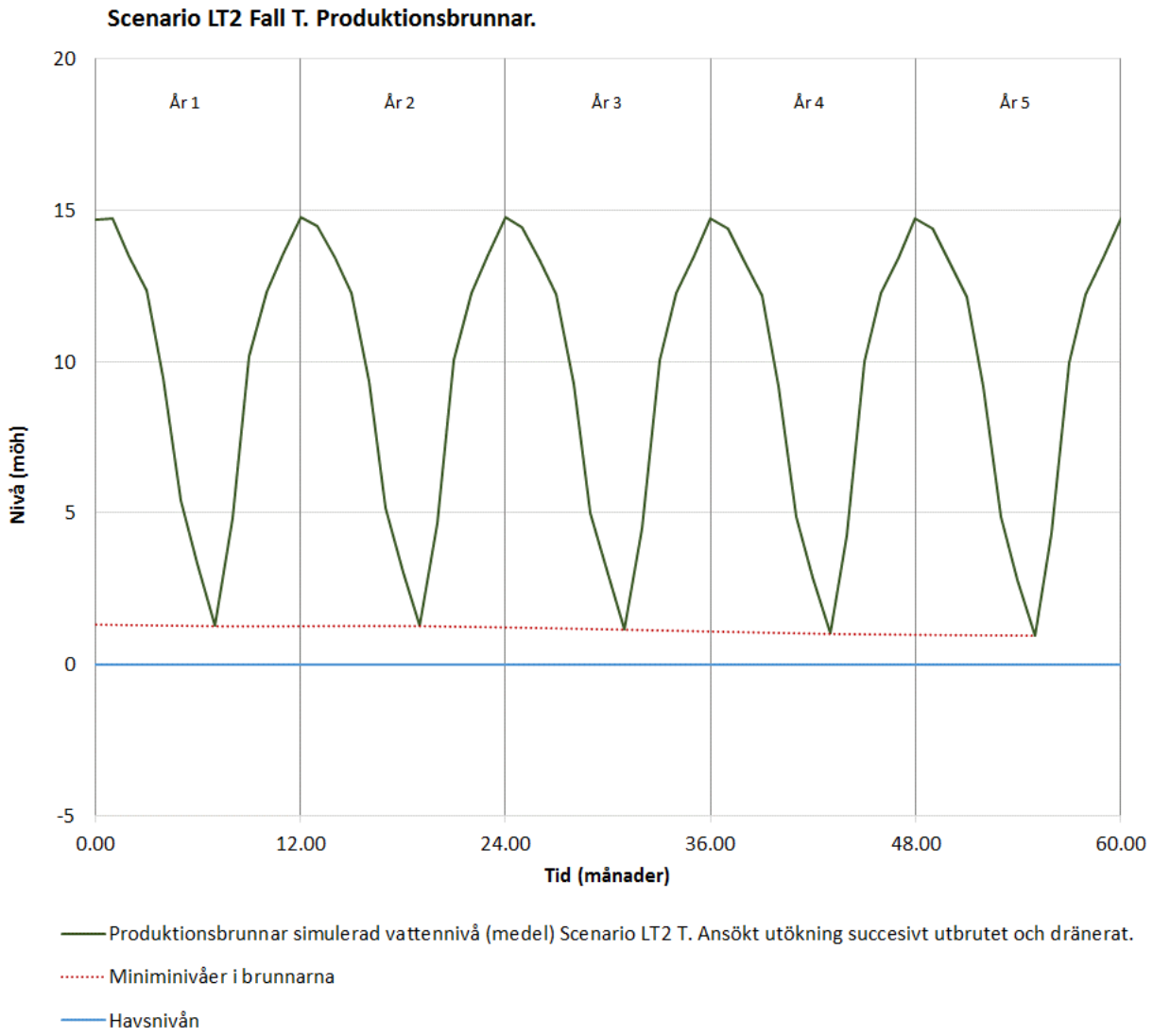
Figur 67: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. ***Lågvattensituationen*** *(juli). Figuren visar det påverkansområde som erhålls då dagbrotten succesivt har vattenfyllts under 5 år i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3m.*



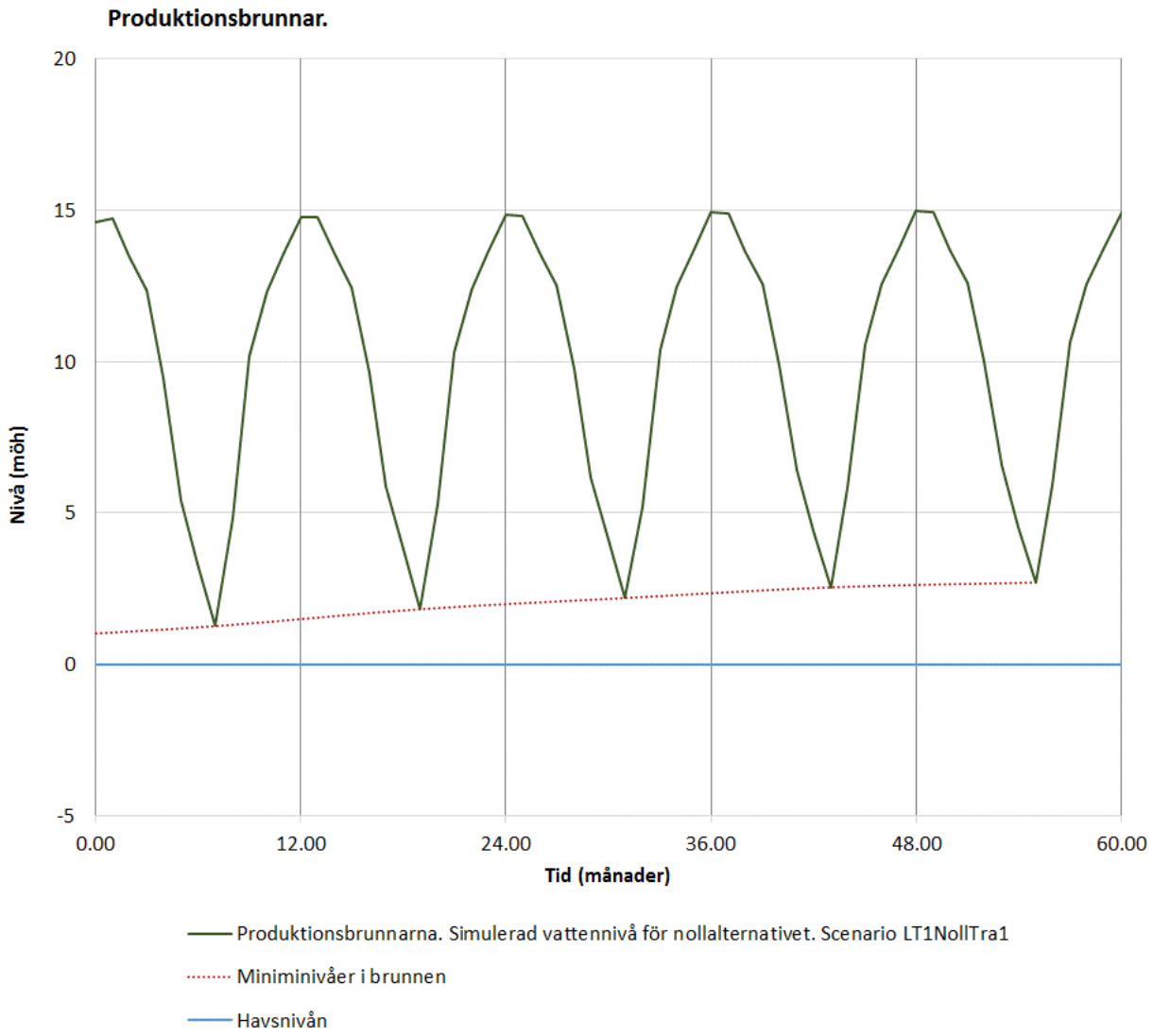
Figur 68: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. ***Högvattensituationen*** *(december). Figuren visar det påverkansområde som erhålls med vattenfyllda dagbrott i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3 m. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda. Denna situation bedöms kunna uppnås ca 40 år in i framtiden.*



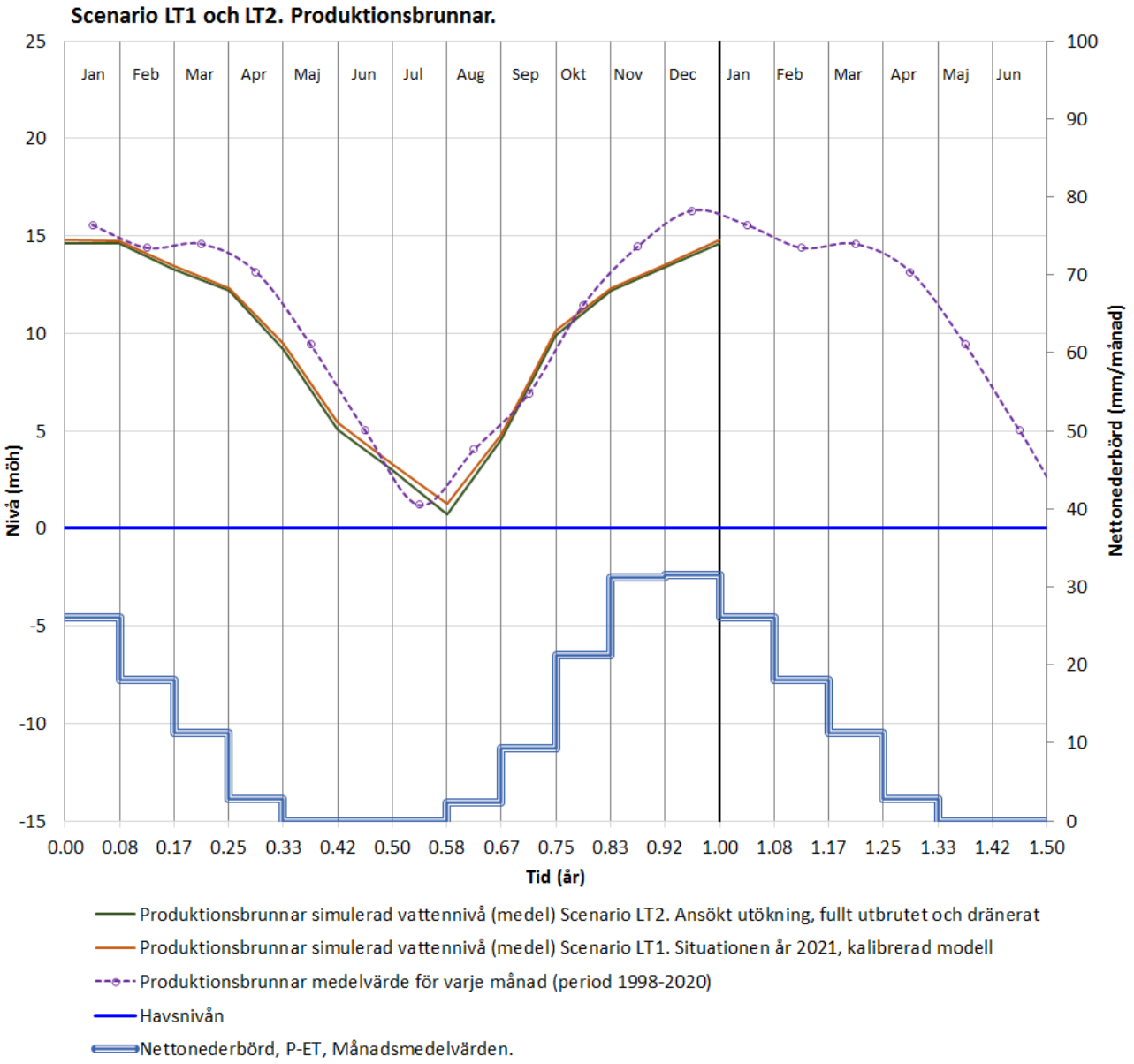
Figur 69: Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg. ***Lågvattensituationen*** *(juli). Figuren visar det påverkansområde som erhålls med vattenfyllda dagbrott i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0,3 m. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda. Denna situation bedöms kunna uppnås ca 40 år in i framtiden.*



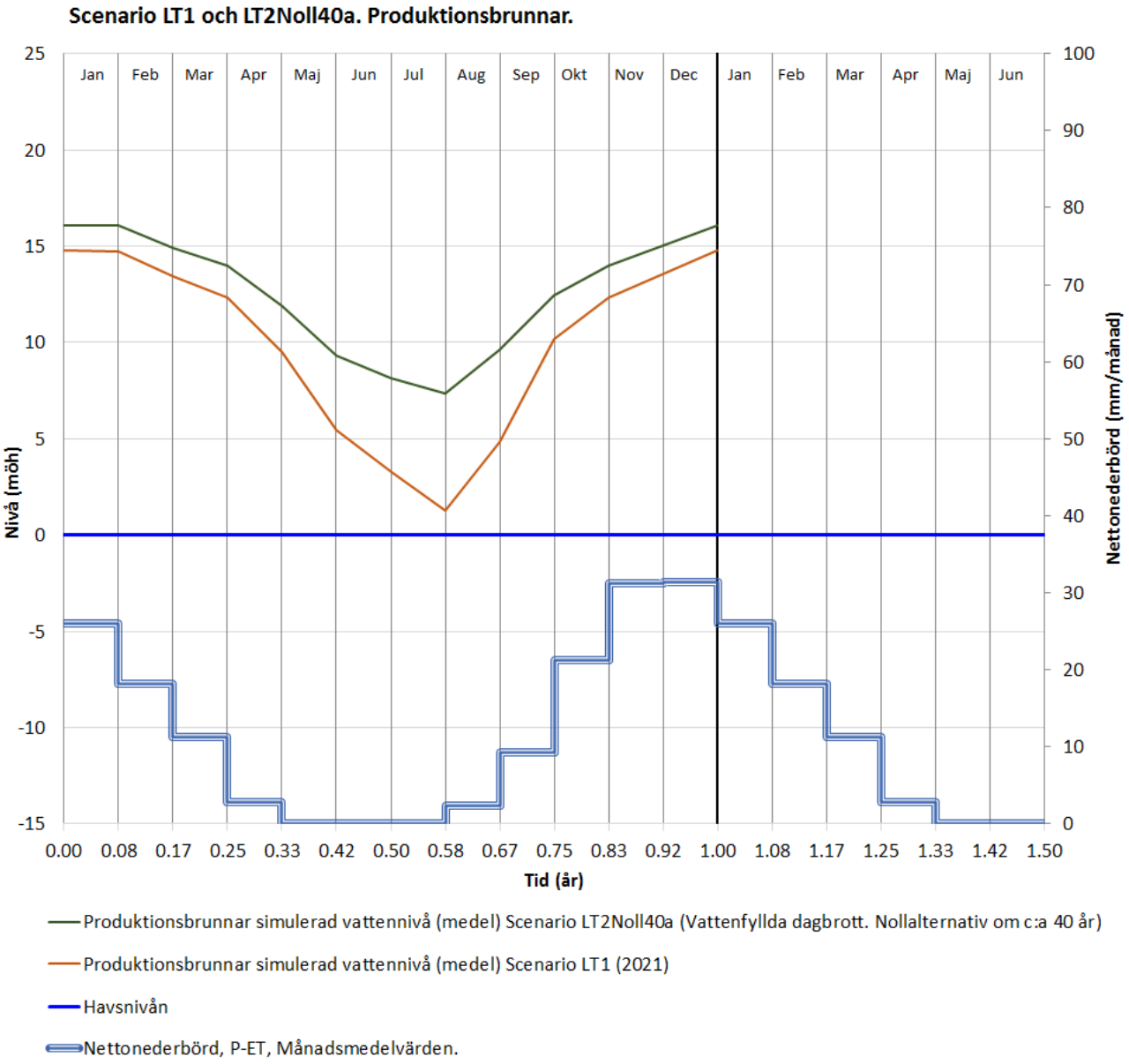
Figur 70: Scenario LT2 fall T: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från nuvarande situationen (2021) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek succesivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3,75.



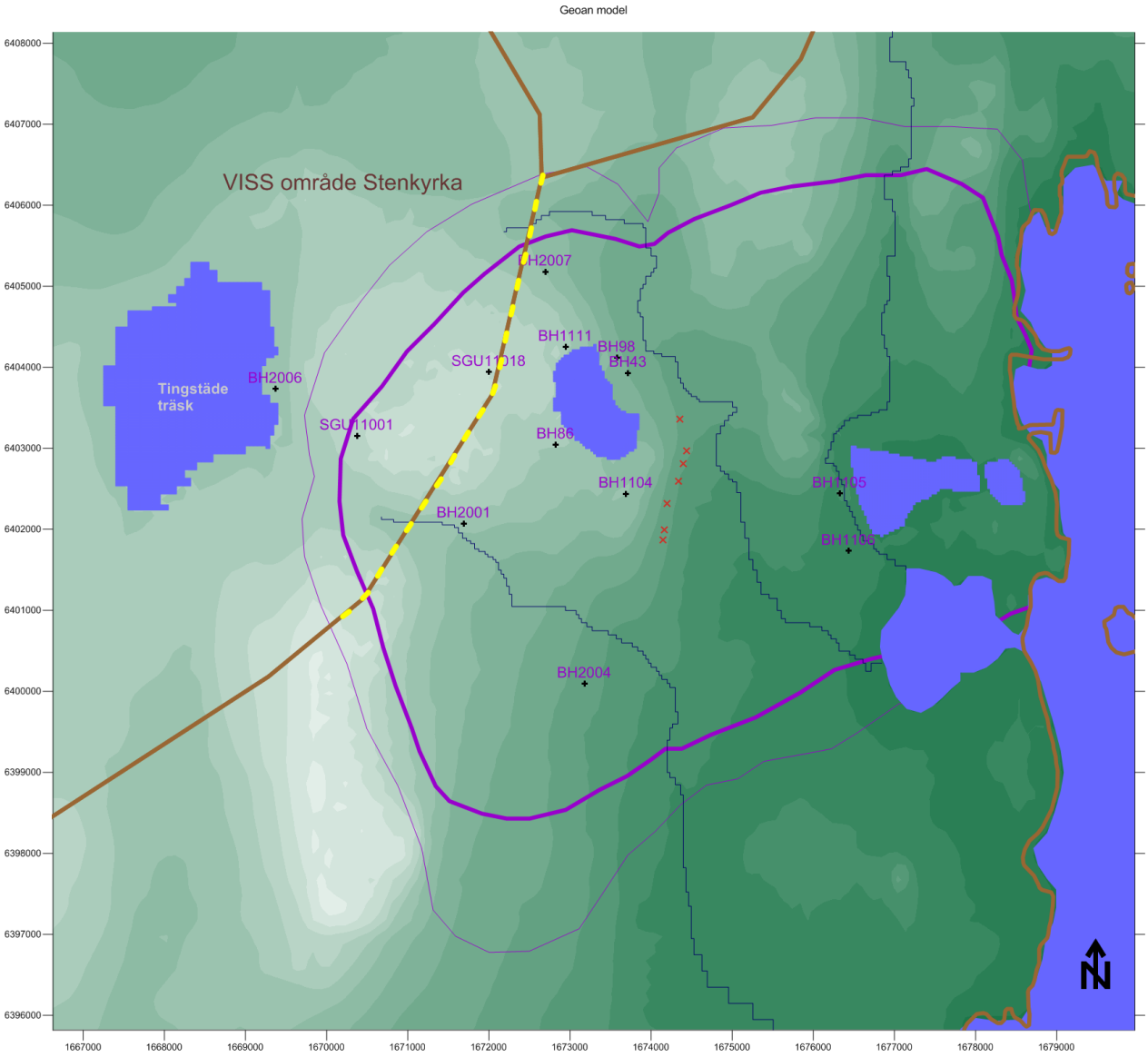
Figur 71: Scenario LT1noll4a (T), succesiv vattenfyllning av dagbrotten. Nollalternativet om ca 5 år. Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten succesivt vattenfylls.



Figur 72: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Nuvarande situation 2021 (LT1) och Ansökt utökning, fullt utbrutet och dränerat (LT2).



Figur 73: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Nuvarande situation 2021 (LT1) och Nollalternativ om 40 år med helt vattenfyllda dagbrott (LT2Noll40a)



Figur 74: Det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för VISS-området Stenkyrka är markerat med en brun linje. Det största påverkansområdet (Lågvattensituationen för Nollalternativet) är markerat med lila linjer. Förändringen i utflöde från VISS-området Stenkyrka har beräknats längs med den gula punktstrejkade linjen.

14.0 REFERENSER

Ali, S., & Patel, K., 2021. Time-series Analysis Using a Transfer Function Noise Model Interpolation of Groundwater Levels from File Hajdar, Gotland. Chalmers Tekniska Högskola/Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. https://hdl.handle.net/20.500.12380/302911

Alm, P.-G., 2016: Loggingrapport. Borrhålsloggning Gotland, diarienummer: 423-2454/2016. Sveriges geologiska undersökning (SGU). 79 sid.

Andersson, Olof, Andersson, Anna-Carin, och Gustafson, Gunnar. 1984. BRUNNAR Undersökning - Dimensionering - Borrning - Drift. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.

Arla, 2020. Hur mycket vatten dricker en ko? Hur mycket vatten dricker en ko? - Arla Forum Konsumentkontakt - Arla (2022-03-10).

Freeze, R.A & Cherry, J.A (1979): Groundwater.

GeoVista AB, 2021. Slite, resistivitetskampanj 2. GeoVista, Luleå. BILAGA E

Golder, 2016. Bottenförhållanden i Tingstäde träsk, Gotland. Golder, Göteborg BILAGA E

Golder, 2017. Hydrogeologiska fältundersökningar på File Hajdar. Golder, Göteborg. BILAGA E

Golder, 2019. Spillingsmagasinet. Golder, Göteborg. BILAGA E

Golder, 2020a. Dämning vid Ancylusvallen vid Orghagarområdet vid Slite. Golder, Göteborg. BILAGA E

Golder, 2020b. Strukturgeologiska observation Filehajdar. Golder, Stockholm. BILAGA E

Golder, 2020c. Undersökning av bergets hydrauliska egenskaper med flowlogger. Golder, Stockholm. BILAGA E

Golder, 2020d. Tekniskt PM, Jämförelse mellan uppmätta resultat från flowlogging och grundvattenmodell. Golder, Göteborg. BILAGA E

Jones, W., K., 2013. Physical Structure of the epikarst. *Acta Carsologica 42,* 311 – 314.

Lundin, L., 1977: Grundvattnets vägar i moränmark. Vannet i Norden, Nr 2.

Länsstyrelsen Västra Götaland, 2020: Vatten i lantbruket. Tips och råd för djurhållare.

NVV, 2007. HÅLLBAR SANERING Rapport 5692 – Modeller för transport och spridning av föroreningar fas 2

Region Gotland, 2019. Visbys vattenförsörjning. Visbys vattenförsörjning - Region Gotland (2022-03-25).

SCB, 2021. Antal personer per hushåll efter boendeform och år. Antal personer per hushåll efter region och boendeform. År 2012 - 2020. PxWeb (scb.se) (2022-03-10).

SGI, (2008). Jords egenskaper. SGI, Linköping.

SGU, 1977. Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File hajdar. SGU-rapport 1977-10-31. SGU, Uppsala. BILAGA E

SGU, 2009. K221 Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län SGU, Uppsala.

SGU, 2014. SkyTEM-undersökningar på Gotland. Rapporter och Meddelanden 136. SGU, Uppsala.

SGU, 2017a. SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2. Rapporter och Meddelanden 140. SGU, Uppsala.

SGU, 2017b. Våtmarker och grundvattenbildning – om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland. SGU-rapport 2017:01. SGU, Uppsala.

SGU, 2022. Karaktärisering av karst på Gotland – en pilotstudie på mellersta Gotland, SGU-rapport 2022:04.

SMHI, 2013. Svenskt vattenarkiv. https://www.smhi.se/data/hydrologi/svenskt-vattenarkiv (2022-03-25).

Sveriges Skogsvårdsförbund, 2000. Vissningsgräns, permanent vissningsgräns. https://www.skogen.se/glossary/vissningsgrans-permanent-vissningsgrans. (2022-03-22).

Svenskt Vatten, 2021. Vattenförbrukning i hushåll. Vattenförbrukning i hushåll - Svenskt Vatten (2022-03-10).

Tullström, H., 1955. Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland. SGU, Stockholm.

VIAK AB, 1974. PM. Ang utökat vattenuttag från grundvattentäkter vid Filehajdar och Klints. Slite, Gotlands kommun. BILAGA E

VIAK AB, 1981. Redogörelse för undersökningar vid grundvattentäkten Klints i Slite samt förslag till åtgärder. Gotlands kommun. BILAGA E

Williams, P., W., 2008. The role of epikarst and cave hydrogeology – a review. *International journal of speleology 37,* 1 – 10.

Signatur sida

Golder Associates AB

Jakob Eng
fil. mag.

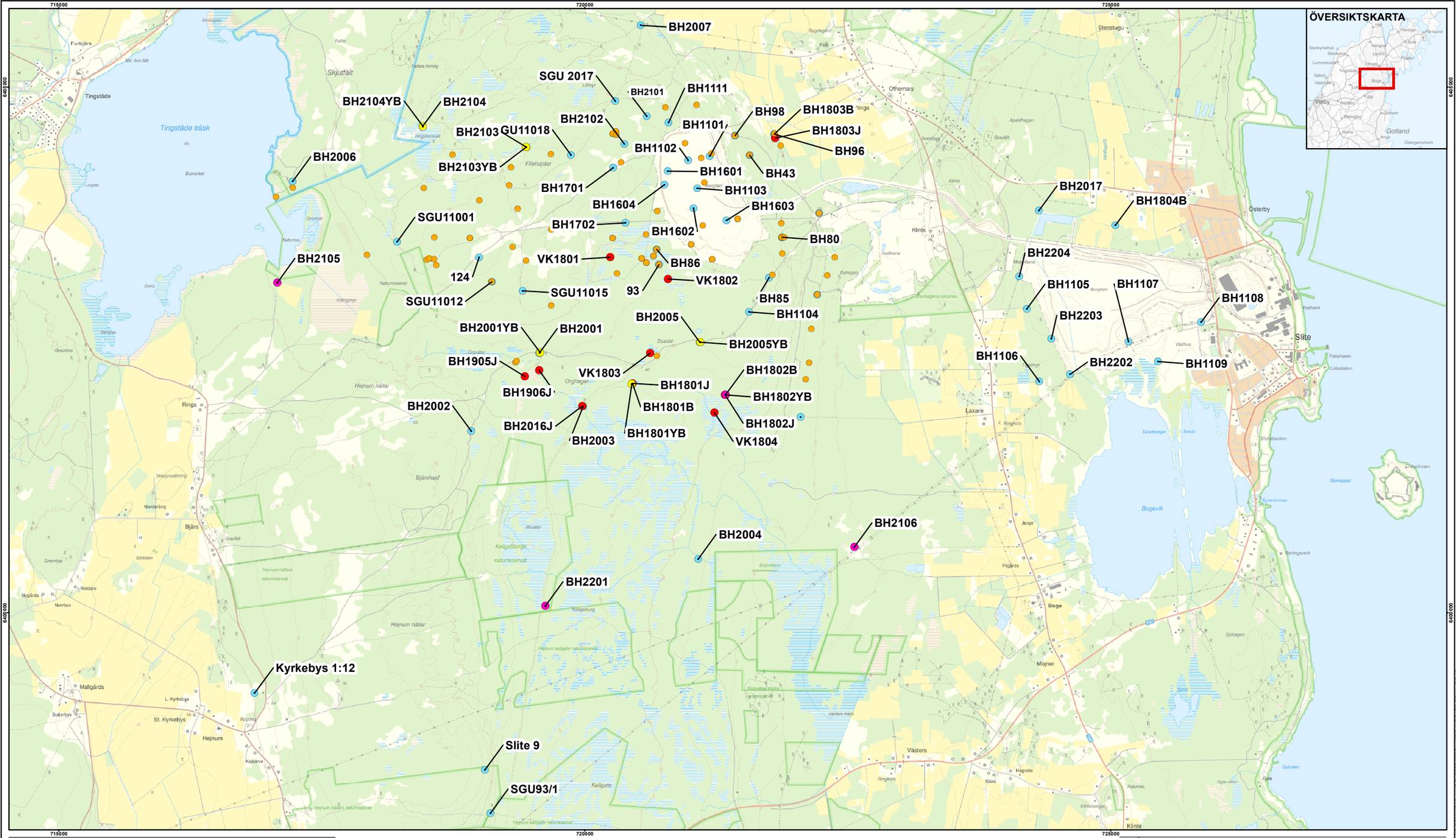
Johan Holmén
fil. dr.

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte:Stockholm

https://golderassociates.sharepoint.com/sites/109485/project files/5 technical work/samrådssynpunkter myndigheter/grundvattenförhållandena vid cementas dagbrott i slite_korta tillståndet_draft9.docx

BILAGA A

Översiktskarta med undersökningspunkter



TECKENFÖRKLARING

- Planerade borrhål (4)
- Borrhål (54)
- Grundvattenrör (10)
- Ytbergpunkter (5)
- Historiska borrningar (80)

0 0,4 0,8 Km

Skala 1:35 000 (A3)

N

ANMÄRKNINGAR

UNDERLAG
© LANTMÄTERIET

BESTÄLLARE
CEMENTA AB

PROJEKT
CEMENTA SLITE FÄLTUNDERSÖKNING

KONSULT

wsp GOLDER

ÅÅÅÅ-MM-DD	2022-03-21
RITAD AV	I. JONSSON
HANDLÄGGARE	G. TENNBY
UPPDRAGSLEDARE	J. ENG

TITEL
ÖVERSIKT UNDERSÖKNINGSPUNKTER

PROJEKTNR.
10330449

BILAGA
A

O:\Projekt\2016\16501 42 fältundersökningar Cementa Slite\IM\GIS\MXD\Bilaga_A3_liggande_Alla_borrhal_Sammanstallning.mxd EXPORTERAD: 2022-03-21

OM DETTA MATT INTE STAMMER MED VAD SOM VISAS, HAR PAPPERSFORMATET ANDRATS FRAN: ISO A3

25mm

BILAGA B

Geofysiska undersökningar 2021

Kund
Golder Associates AB
Projekt
Slite, resistivitet och georadar
Författare
Nils Perttu

Datum
2021-10-13
GeoVista Nr
GVR21026
Projekt Nr
100495

Slite, geofysiska mätningar

GeoVista AB
P.O. BOX 276
SE-971 08 LULEÅ
+46(0)920 603 60
info@geovista.se
www.geovista.se

Sammanfattning

Golder undersöker geologin runt kalktäkten i Filehajdar, Slite på Gotland (Figur 1, infälld karta) där man i första hand letar efter karst, sprickor och andra strukturer med hög hydraulisk konduktivitet som skulle kunna påverka en framtida kalkbrytning i området. GeoVista har på uppdrag av Golder utfört geofysiska undersökningar med metoderna elektrisk resistivitet och georadar. Syftet med mätningarna är att (1) öka den generella kunskapen om geologin i området, samt (2) kartlägga eventuell förekomst av karst, dvs större sprick/grottsystem i berg (transportvägar för vatten). Resultatet ska ligga till grund för (3) vidare undersökningar/borrningar samt en förbättrad geohydrologisk modell över området. Radarundersökningarna utfördes med Guideline Geos Proex system tillsammans med en 30 MHz RTA-antenn.

Fyra resistivitetsprofiler på sammanlagt 4 km mätts in kring kalktäkten i Slite. Guideline Geos multielektrodsystem LS2 och kablar med ett minsta elektrodavstånd på 5 m har använts. Resistivitetsmodellerna är av mycket god kvalité med lågt anpassningsfel (<5%; Figur 11-14). Data från radarundersökningen har visat sig vara av sådan dålig kvalité att mätningarna inte har kunnat utvärderats och har därmed utelämnats från rapporten.

Litologin i Filehajdar är förhållandevis komplex med stora resistivitetsvariationer i kalkstenen. Det antyder att kalkstenen är förhållandevis heterogen, med olika inblandning av lera. Mer generellt sett, återfinns mer lerfri kalksten tämligen ytligt till ett djup av ca 10-20 m som övergår till mer lerig kalksten som i sin tur övergår till märgel på ett djup av 30-40 m. Övergången till märgel är sällan distinkt, utan mer gradvis. Den norra och den västra profilen indikerar en mer resistiv berggrund jämfört med den södra och östra profilen, vilket kan bero på att södra och östra delarna av är blötare och /eller har större lerinblandning. Tre till fyra lågresistiva anomalier har identifierats i kalkstenen, i den norra och västra samt i den östra profilen. I den västra profilen förekommer en anomali som utgörs av en domliknande struktur i profilavsnittet 160-250 m, på ca 40 m djup med förhållandevis låg resistivitet (medelresistiviteten på ca 200 Ωm). Den sammanfaller med en vattenförande spricka i täkten och bör därmed undersökas vidare. I den norra profilen återfinns en mer horisontell/subhorisontell struktur på ca 10 m djup med en mäktighet på ca 10-15 m som sträcker sig från profilkoordinat 350 m och framåt. I den östra profilen finns två tydliga lågresistiva strukturer; En brant, tunn struktur i profilavsnittet 70-125 m som stupar mot ONO. I profilavsnittet 350-410 finns en tjockare, flackare struktur från markytan ner till ca 20 m djup som stupar mot VSV. Denna sista är mindre intressant i sammanhanget. I den östra profilen, från profilkoordinat 350 m och framåt, på ca 40 till 50 m djup, blir sektionen tydligt mer lågresistiv (<200 Ωm), vilket indikerar högre halter salt/lermineral.

För att få bättre förståelse för de uppmätta lågresistiva anomalierna i undersökningsområdet bör dessa avvikande strukturer undersökas vidare med borrning, och/eller med magnetisk resonanssondering (MRS). MRS fungerar enligt samma princip som en magnetkamera och mäter det fria vattnet i marken och kan även avgöra om grundvattnet uppehåller sig i ett poröst material (kalksten) eller fritt (karst). MRS-mätningar längs med norra, västra och södra profilerna kan även visa vilka delar som är mer vattenförande. Fortsatta resistivitetsmätningar parallellt med tidigare mätningar kan ge svar på hur identifierade strukturer fortsätter i olika riktningar. Framför allt bör en mätlinje placeras vinkelrätt mot den västra profilen, i anomalin (domen) för att avgränsa den i öst-västlig riktning.

Innehållsförteckning

1 Inledning 4
1.1 Osäkerheter....4
1.2 Avvikelser....4

2 Områdesbeskrivning 10

3 Metodik och utförande 12
3.1 Resistivitet....12

4 Resultat och tolkningar 14
4.1 Kommentarer och tolkning till modellsektioner....14
Karststrukturer och sprickor....14

5 Diskussion, slutsatser och rekommendationer 23
5.1 Rekommendationer....24

6 Leverans 26

7 Appendix A 27

1 Inledning

Golder undersöker geologin runt kalktäkten i Slite på Gotland (Figur 1, infälld karta) där man i första hand letar efter karst, sprickor och andra strukturer med hög hydraulisk konduktivitet och som skulle kunna påverka en framtida kalkbrytning i området. GeoVista har på uppdrag av Golder utfört geofysiska undersökningar med metoderna elektrisk resistivitet och georadar.

Syftet med mätningarna är att (1) öka den generella kunskapen om geologin i området; (2) kartlägga eventuell förekomst av karst, dvs större sprick/grottsystem i berg (transportvägar för vatten). Resultatet ska ligga till grund för (3) vidare undersökningar/borrningar samt en förbättrad geohydrologisk modell över området. Georadarundersökningarna utfördes främst i täkten, längre söder ut vid Orgvätar/Orghagar samt vid Tingsstäde träsk (Figur 1b). Syftet med mätningarna var främst att identifiera vattenförande strukturer. Resistivitetsmätningarna har utförts runt täkten i Filehajdar (Figur 1a). Sammanlagt mättes 4 resistivitetsprofiler på totalt 4 km under första halvan av september, 2021.

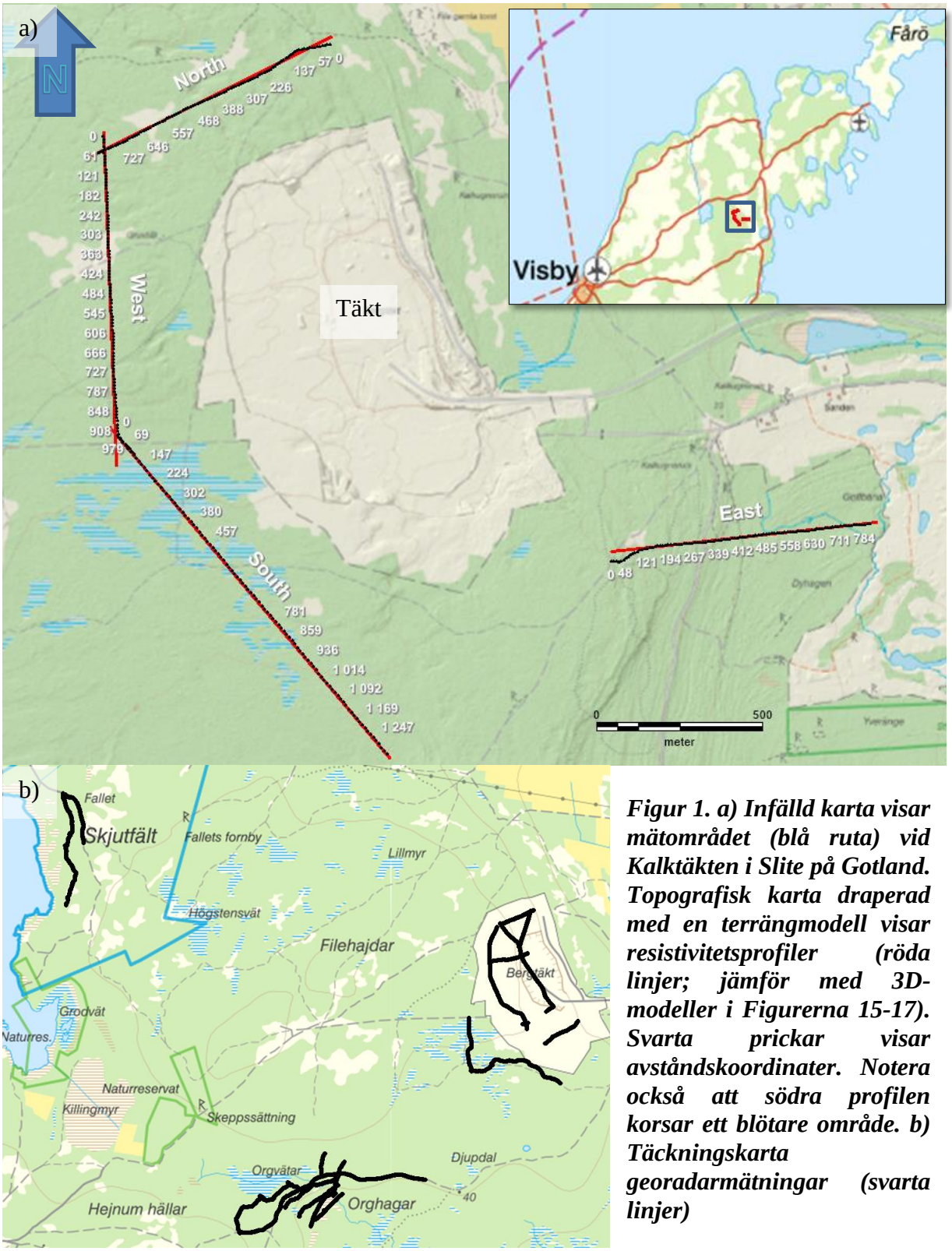
Resistivitets- och radarmetoden är känslig för markens vatten, ler- och saltinnehåll och är därför lämplig att identifiera vattenförande lager/strukturer (tex. karst) samt finare impermeabla sediment (märgel).

1.1 Osäkerheter

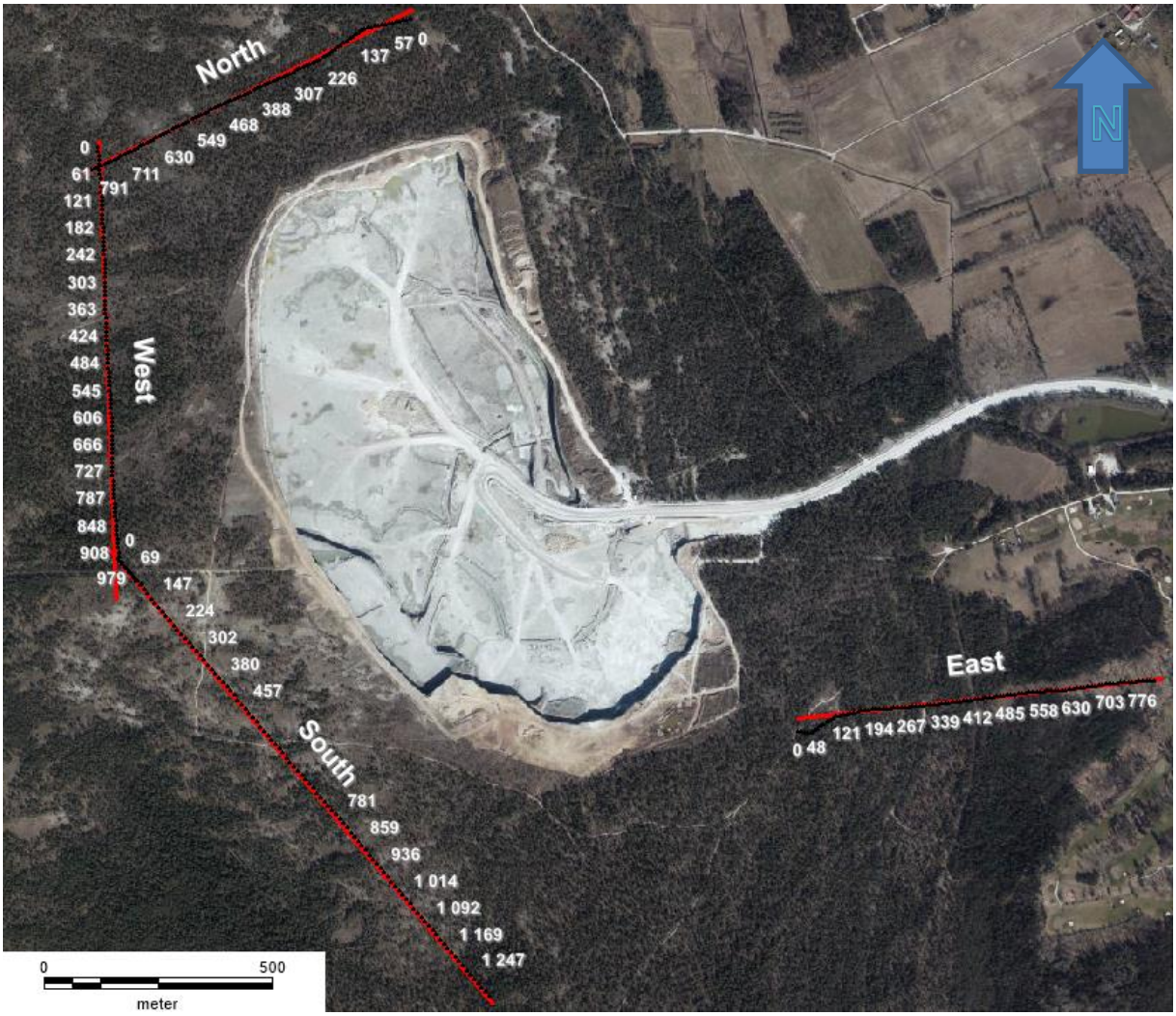
I denna rapport presenteras bearbetade mätdata där korrektioner, kalibreringssamband och empiriska relationer har applicerats på ursprungliga mätdata. GeoVista tar inte ansvar för eventuella beslut som fattas utifrån de resultat som levererats och som presenteras i denna rapport. Det åligger därmed kunden att noga kontrollera och godkänna data och resultat som levererats och snarast meddela eventuella anmärkningar och synpunkter.

1.2 Avvikelser

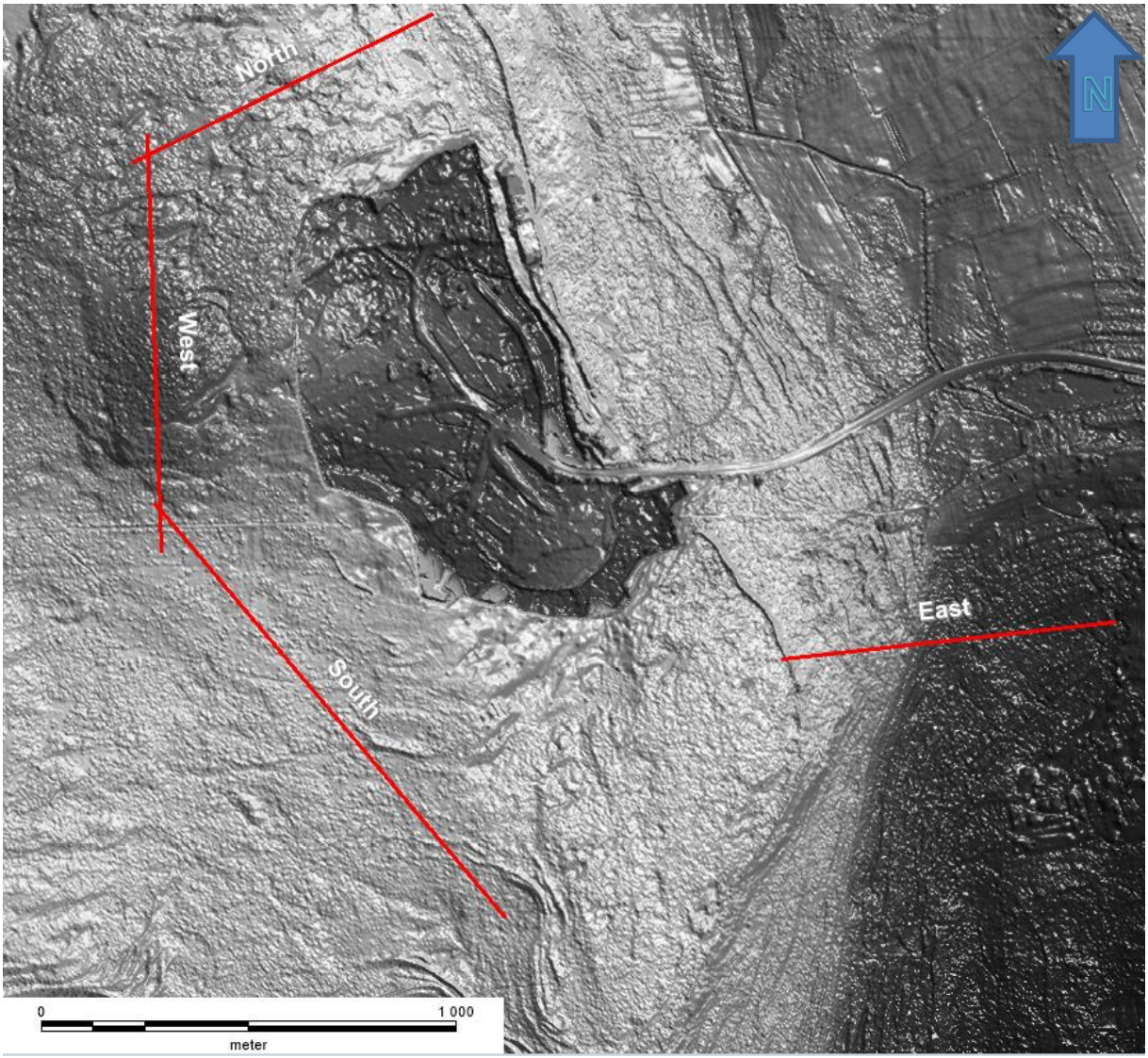
Radarundersökningarna utfördes med Guideline Geos Proex system tillsammans med en 30 MHz RTA-antenn. Data har visat sig vara av sådan dålig kvalité, att mätningarna inte har kunnat utvärderats och har därmed lämnats utanför rapporten. Exempel på radargram från mätningarna redovisas i Appendix A. Den dåliga datakvalitén beror sannolikt på en ogynnsam geologi för radarundersökningar.



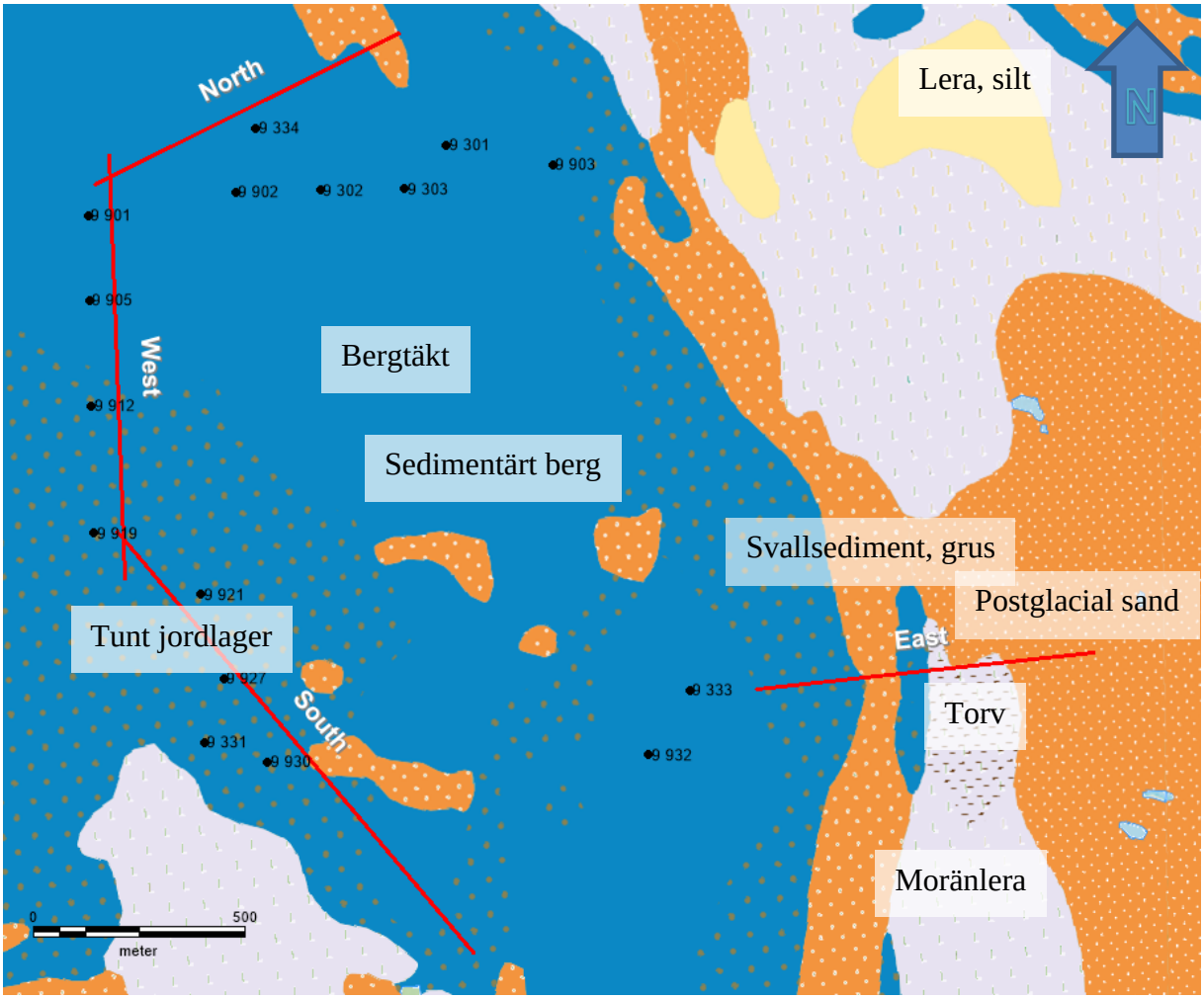
Figur 1. a) Infälld karta visar mätområdet (blå ruta) vid Kalktäkten i Slite på Gotland. Topografisk karta draperad med en terrängmodell visar resistivitetsprofiler (röda linjer; jämför med 3D-modeller i Figurerna 15-17). Svarta prickar visar avståndskoordinater. Notera också att södra profilen korsar ett blötare område. b) Täckningskarta georadarmätningar (svarta linjer)



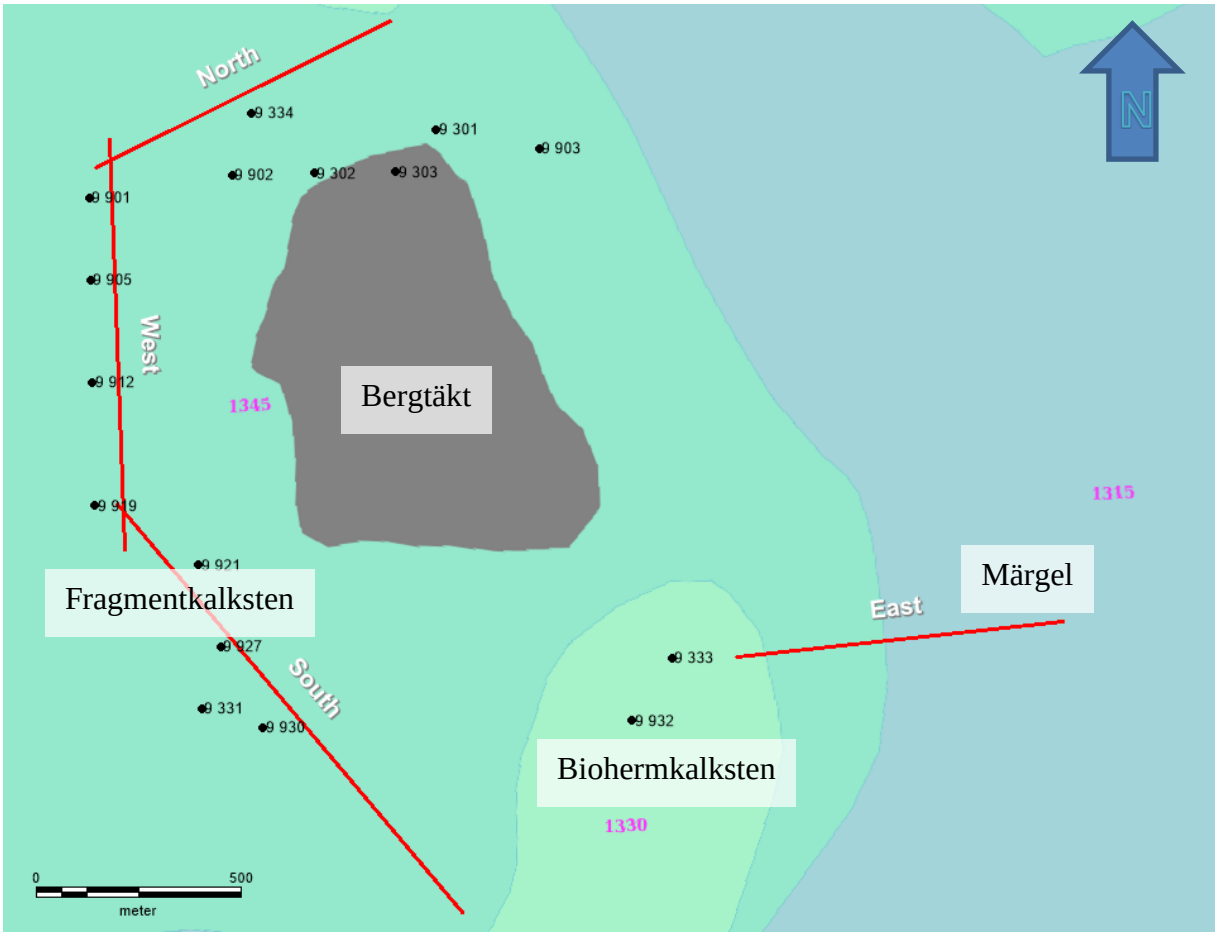
Figur 2. Ortofoto som visar profilernas läge.



Figur 3. Terrängmodell som visar profilernas läge.



Figur 4. Jordartskartan (SGU:s WMS-tjänst) tillsammans med borrhål och profilernas läge.



Figur 5. Berggrundskartan (Från SGU:s WMS tjänst) tillsammans med borrhål och profilernas läge.

2 Områdesbeskrivning

Mätområdet ligger i Filehajdar, Slite och omgärdar nuvarande bergtäkt (Figur 1). Området är förhållandevis platt, men stora delar av området runt norra och västra profilen är mer upphöjd. Jordtäcket är relativt tunt inom undersökningsområdet och saknas helt längs delar av norra och västra profilen (Figur 6). Jorddjupet ökar dock något i området kring slutet på den södra och den östra profilen (Figur 7). Östra profilen visar tydliga nivåförändringar vid profilkoordinat 180 m, vilket är spår efter tidigare kalkbrytning och ska inte förväxlas med en eventuell förkastning (Figur 8).

Enligt SGU:s jordartskarta domineras mätområdet i norr, väst och söder av kalksten med tunna jordtäcken, medan området i öster korsar stråk av svallsediment (grus och sand) samt lerig morän (Figur 4). Berggrundsgeologin domineras av Fragmentkalksten som i öster övergår till märgel (Figur 5). Inga deformationzoner har identifierats av SGU inom mätområdet (SGU:s WMS-tjänst; Figur 2b). Där kalkstenen är blottad finns en tydligt dominerande horisontell sprickighet (Figur 5; infälld bild). Det finns även tydliga karstsprickor i de blottade hällarna (Figur 6, infälld bild).

Borrhål med litologisk information finns tillgängligt och tangerar framför allt den västra och södra profilen (se modellfigurerna 11-14). Litologin är förhållandevis komplex, men mer generellt sett, återfinns mer lerfri (ren; Röd) kalksten tämligen ytligt till ett djup av ca 10-20 m som övergår till mer lerig kalksten (25-50 % lera; Gul) som i sin tur övergår till märgel (50-100 % lera; Grön) på ett djup av 30-40 m. Övergången till märgel är sällan distinkt, utan mer gradvis.

Figur 6. Äldre kalkstensbrott (västra profilen, profilavsnitt 360-380 m) med vattenspegel som visar att kalkstenen här är förhållandevis tät mot djupet. Här har kalkstenen en tydligt föredragen horisontell sprickighet (infälld bild).

Figur 7. Bild tagen längs den västra profilen och visar att jordtäcket är näst intill obefintligt längs delar av de norra och västra profilerna. Instrument och kablar i bakgrunden. Infälld bild visar ytliga sprickor i kalkstenen.

Figur 8. Bild tagen vid den östra profilen. En tydlig topografisk nivåskillnad blottar kalkstenen och löper i nord-sydlig riktning. Strukturen korsar profilen ungefär vid profilkoordinat 180 m och är en rest från tidigare kalkbrytning.

3 Metodik och utförande

Resistivitetsmätningarna i Slite (Tabell 1) har positionsbestämts med handhållen GPS (SWEREF99TM; RH2000; Figur 1) vid start och slutpunkt, vid varje mätstation (noggrannhet ±2-5 m i planet).

Tabell 1. Resistivitetsprofiler från Slite. Koordinater i Sweref99TM. Jämför med projicerade sektioner i 3D (Figur 15-17).

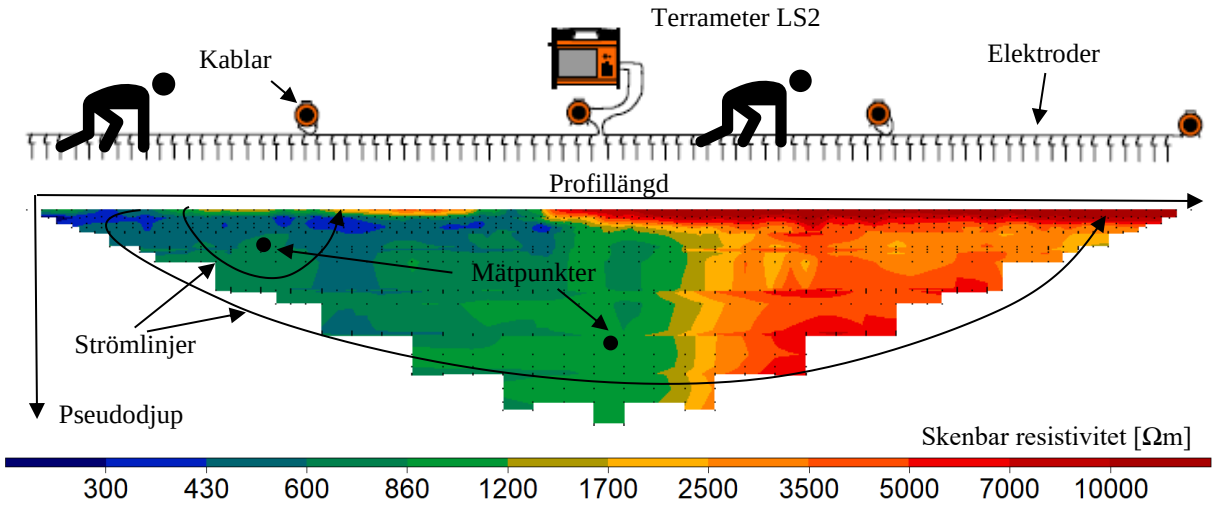
Profil	Kablar	Orientering	Längd [m]	Start Öst	Start Norr	Slut Öst	Slut Norr
Norr	5 m	NO-SV	900	721053	6404952	720334	6404594
Väst	5 m	N-S	1000	720369	6404661	720404	6403660
Syd	5 m	NV-SO	1300	720387	6403773	721228	6402777
Öst	5 m	VSV-ONO	800	721897	6403398	722695	6403486

3.1 Resistivitet

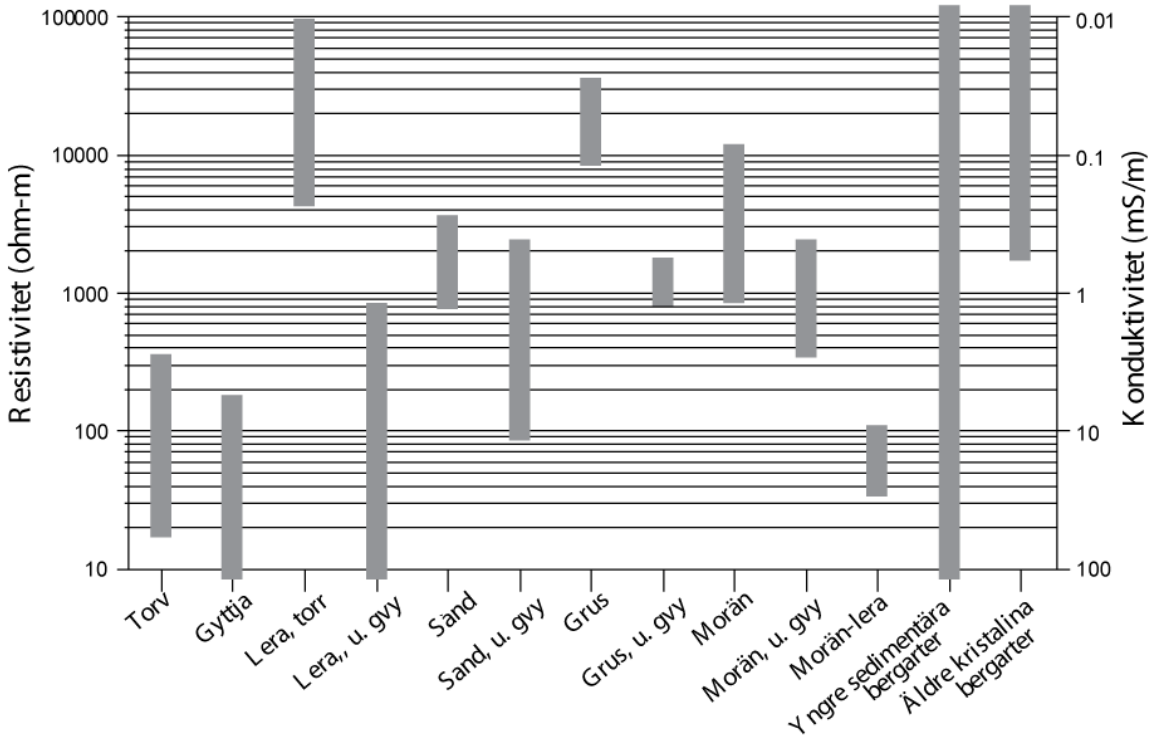
Resistiviteten i ett material beskriver dess ”oförmåga” att leda ström (Figur 9). Resistiviteten hos geologiska material styrs till stora delar av materialets vattenhalt, lermineral och lösta salter (Figur 10). Elektriska resistivitetsmätningar utförs vanligtvis genom att ström skickas mellan två elektroder och potentialskillnaden (resistansen) simultant mäts mellan två och/eller flera andra elektroder (Figur 9). Är avståndet mellan elektroderna känt kan markens ”skenbara” resistivitet beräknas (skenbar resistivitet = en sammanvägning av flera geologiska lagers resistivitet). Genom att flytta mätstation och variera avståndet mellan elektroder kan information om variationer i markens skenbara resistivitet fås mot djupet och i profilens riktning, en s.k. pseudosektion bestående av ibland flera 1000 mätpunkter. Större avstånd mellan strömelektroderna medför ett större nedträngningsdjup.

I en efterföljande data-processering, genereras en eller flera resistivitetsmodeller genom att de ”sanna” resistiviteterna uppskattas med hjälp av ett datorprogram (se Figurerna 11-14). Med kännedom om olika materials elektriska egenskaper (Figur 10) kan en geologisk modell skapas där det är möjligt att i det här fallet identifiera olika jordlager, grundvattenytan, bergnivåer och sprickzoner. En osäkerhet som återfinns i de beräknade modellerna härrör från att det inte finns någon unik lösning, dvs. att en och samma uppsättning mätdata kan beskrivas med flera olika modeller. Olika geologiska material kan även ha överlappande resistiviteter. Det kan tex. vara svårt att särskilja en lerlins från vattenförande karstspricka. Ytterligare osäkerheter kan komma från brus från tex. elektriska installationer och ledningar mm. Dessutom minskar både den vertikala och laterala upplösningen mot djupet. Undersökningarna i Slite har utförts med multielektrodsystemet Terrameter LS2 (Guideline Geo; Figur 7 och 9). Mätningarna har utförts med gradientkonfiguration, vilket medger en hög känslighet för både laterala och vertikala strukturer. Kablar med ett minsta elektrodavstånd på 5 m har använts. Detta medför ett största nedträngningsdjup på ca 70-80 m för de långa (5 m). Kortare elektrodavstånd medför bättre upplösning på bekostnad av sämre nedträngningsdjup.

Processering av data har gjorts med programmet Res2Dinv (Geotomo software) med höjder från ett 1 m höjdgrid (Lantmäteriet) genom en L1-normsrutin, vilket skapar modeller med förhållandevis skarpa övergångar.



Figur 9. Illustration av resistivitetsmätning längs en profil där kablar rullas ut och stålelektroder slås ner i marken. I multielektrodmätningar används 4 kablar med 81 elektroder i en automatiserad mätprocedur. Pseudosektionen visar hur den skenbara resistiviteten varierar längs med profilen.



Figur 10. Elektriska resistiviteter/konduktiviteter för olika geologiska material över och under grundvattenytan (u. gvy).

4 Resultat och tolkningar

Fyra resistivitetsprofiler mättes in på sammanlagt 4 km kring kalktäkten i Slite. Data har filtrerats med avseende på data med höga standardavvikelser (>2 %), samt datapunkter som avviker stort från beräknade skenbara resistiviteter. Resistivitetsmodellerna är av mycket god kvalité med lågt anpassningsfel (<5%; Figur 11-14). Färgskalan i modellerna har optimerats för att framhäva avvikande strukturer i kalkstenen. Kraftiga färgväxlingar (stora resistivitetsförändringar) i modellerna indikerar förändringar i geologin. Tolkningen har fokuserats på att identifiera och särskilja kalksten (högre resistivitet; röd-gul kontur; >1500 Ωm) från märgel (gul till blå kontur; <1500 Ωm), samt identifiera möjliga karst-/sprickstrukturer i kalkstenen, dvs mer lågresistiva strukturer (blå-gröna konturer). Grundvattenytan (blåa upp-och-nervända trianglar; Figur 11-14) från nivåmätare i borrhål sammanfaller inte med mer lågresistiva sektioner i resistivitetsmodellerna, vilket troligtvis beror på att flera vattenförande lager existerar i kalkstenen samt att resistiviteten också påverkas av koncentrationen av lermineral.

De geofysiska modellerna har tolkats i Figurerna 11-14, och även plottats i 3D (Figurerna 15-17) för att lättare identifiera sammanhängande lågresistiva strukturer som kan vara vattenförande. I 3D-vyerna (Figur 15-17) är resistivitetsmodellerna förhållandevis överensstämmande, vilket antyder att modellerna är tillförlitliga. Borrhål (Figur 4) med litologisk information har grovt delats in i ren kalksten (röd; 0% lera), lerig kalksten (gul; <50% lera) och märgel (grön; >50% lera) och plottats tillsammans med de inverterade modellerna. Det finns ingen skarp och tydlig korrelation mellan resistivitetssektioner och litologiloggar, men kalksten med lägre lerinblandning är generellt mer högresistiv och modellerna blir mer lågresistiva mot djupet (högre lerinbladning).

4.1 Kommentarer och tolkning till modellsektioner

Norra och större delen av den västra profilen uppvisar generellt en mer högresistiv berggrund (Figur 11 & 12). Berget i den södra profilen är mer lågresistiv (Figur 13). Detta kan bero på högre lerinblandning alternativt högre vattenhalter eller en kombination av båda. Södra profilen är ytligt vattenmättad (se Figur 1) och ligger topografiskt lägre än norra och västra profilen. Detta medför att kalkstenen har förhållandevis skilda elektriska egenskaper mellan de olika profilerna. Jorddjupet är förhållandevis tunt, vilket medför att det inte kan upplösas med denna elektrodkonfiguration förutom i vissa delar på den södra och östra sektionen. Här uppgår jorddjupet till några meter som mest. Underliggande kalksten är heterogen med kraftigt växlande resistiviteter. Detta påverkas troligtvis av inblandningen av lera samt mängden vatten. Det finns ingen tydlig övergång till underliggande märgel, utan detta sker mer gradvis. Däremot finns det i den östra profilen (Figur 14) en tydlig lateral gräns till den mer lågresistiva märgeln vid ca 400 m. Från profilkoordinat 350 m och framåt, på ca 40 till 50 m djup, blir sektionen också tydligt mer lågresistiv (<200 Ωm), vilket indikerar högre halter salt/lermineral.

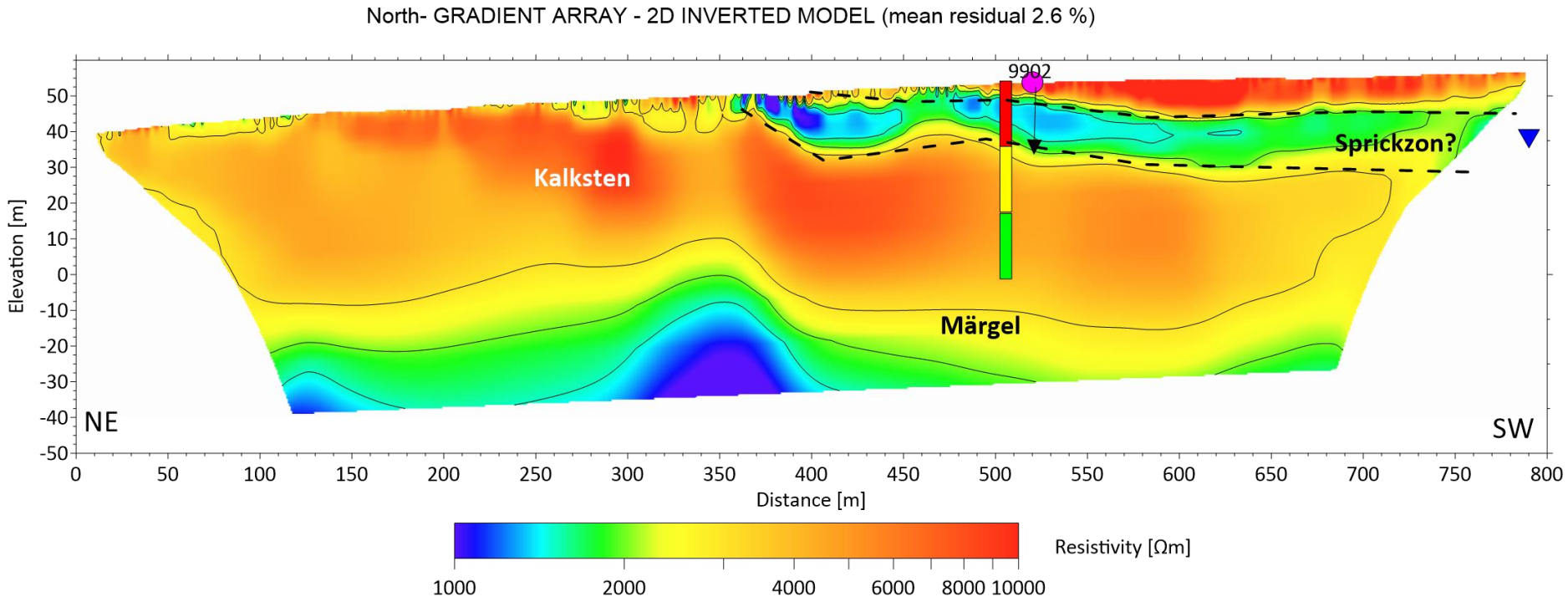
Karststrukturer och sprickor

Två tydligt avvikande strukturer återfinns i den norra och västra profilen. I den norra profilen löper en horisontell till sub-horisontell lågresistiv struktur (1000-2000 Ωm) från markytan vid profilkoordinat 400 m till profilens slut (NO-SV) på ca 10-12 m djup med en mäktighet på ca . 10-15 m (Figur 11). I den västra profilen, i profilavsnittet 160-260 m, återfinns en domliknande struktur på ca 40 m djup med en medelresistivitet på ca 200 Ωm, vilket är signifikant lägre än

omgivande kalksten (Figur 12a). Detta område sammanfaller med en topografisk linsformad anomali som stryker i VSV-ONO (Figur 12b).

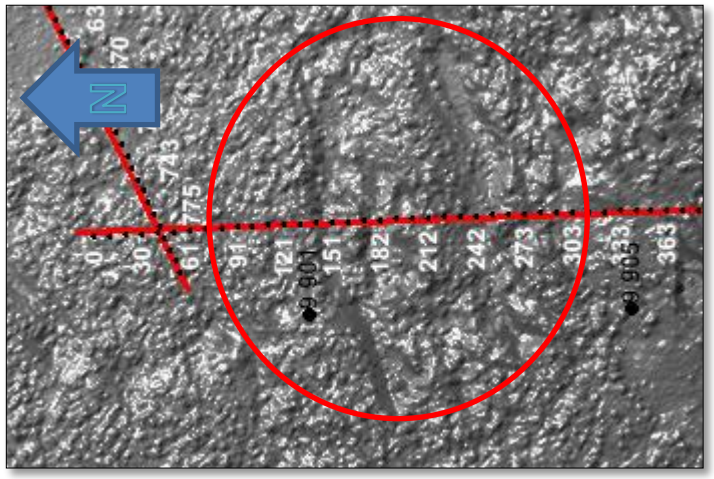
Den östra profilen (Figur 14a) ser ut att börja på en strandvall (Figur 14b). Här finns två tydliga lågresistiva strukturer i kalkstenen. Dels, en brant, tunn struktur i profilavsnittet 70-125 m som stupar mot ONO. Anomalin syns tydligt från ca 20 m djup, men kan ses ända upp mot markytan. Dessutom i profilavsnittet 350-410 finns en tjockare, flackare struktur från markytan ner till ca 20 m djup som stupar mot VSV.

.



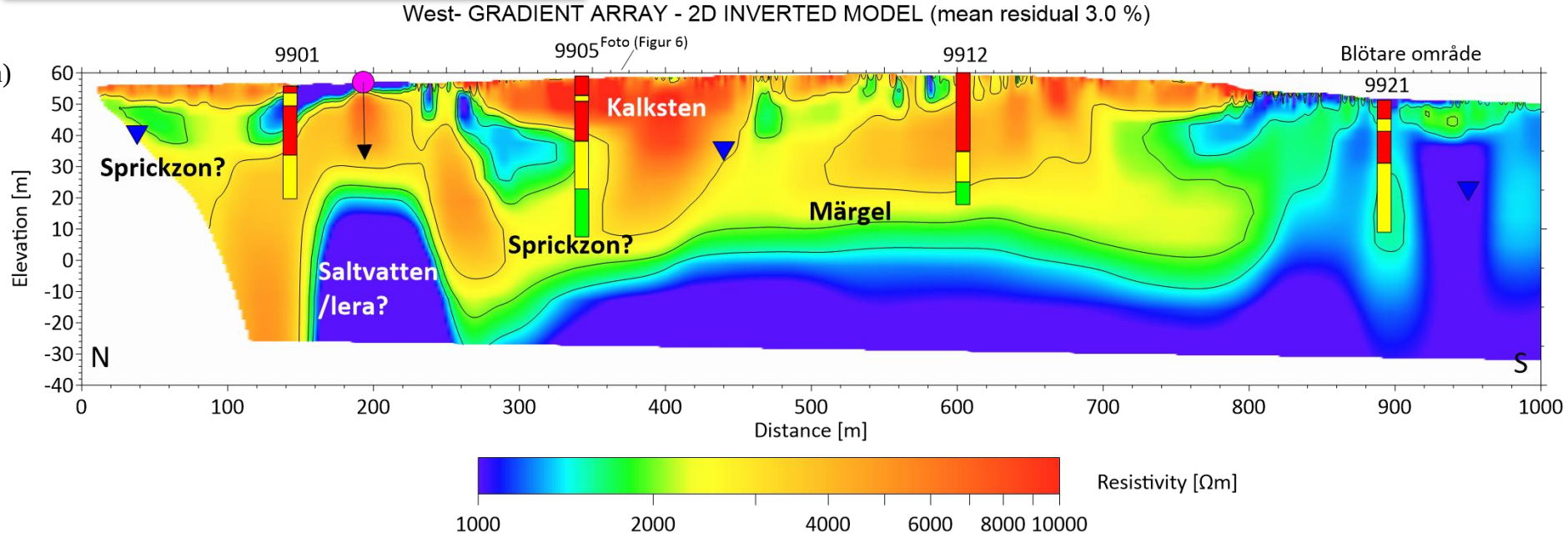
Figur 11. Vertikal modellsektion (RH2000) från norra profilen med tolkning. Förslag på borrpunkt (Lila punkt) samt aktuella grundvattennivåer (upp-och-nervända blåa trianglar) vid mättillfället. Borrhål 9902 med litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön).

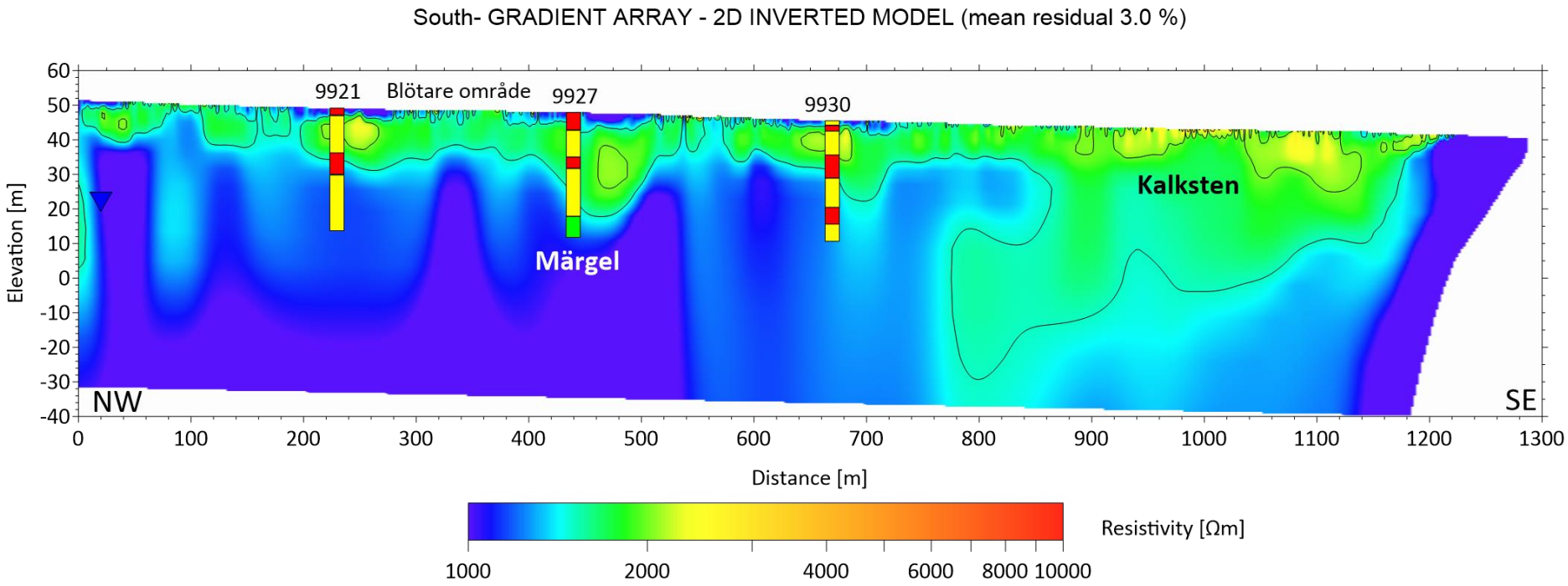
b)



Figur 12. Vertikal modellsektion (RH2000) från västra profilen med tolkning. Förslag på borrpunkt (Lila punkt) samt aktuella grundvattennivåer (upp-och-nervända blåa trianglar) vid mättillfället. b) Infälld bild visar terrängmodell över samma den domlikande anomalin vid profilkoordinat 200 m. Borrhål 9901, 9905, 9912 och 9921 med litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön).

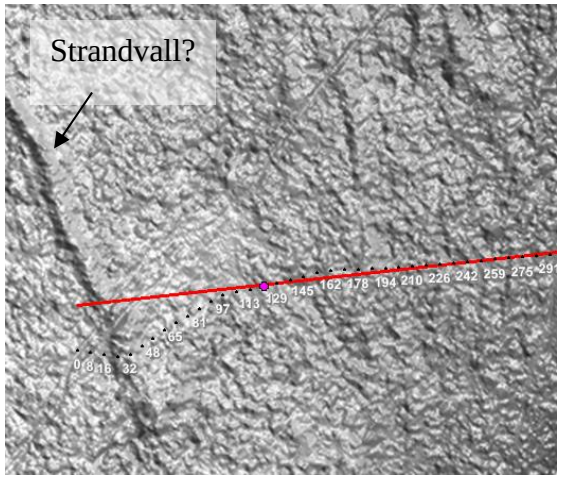
a)





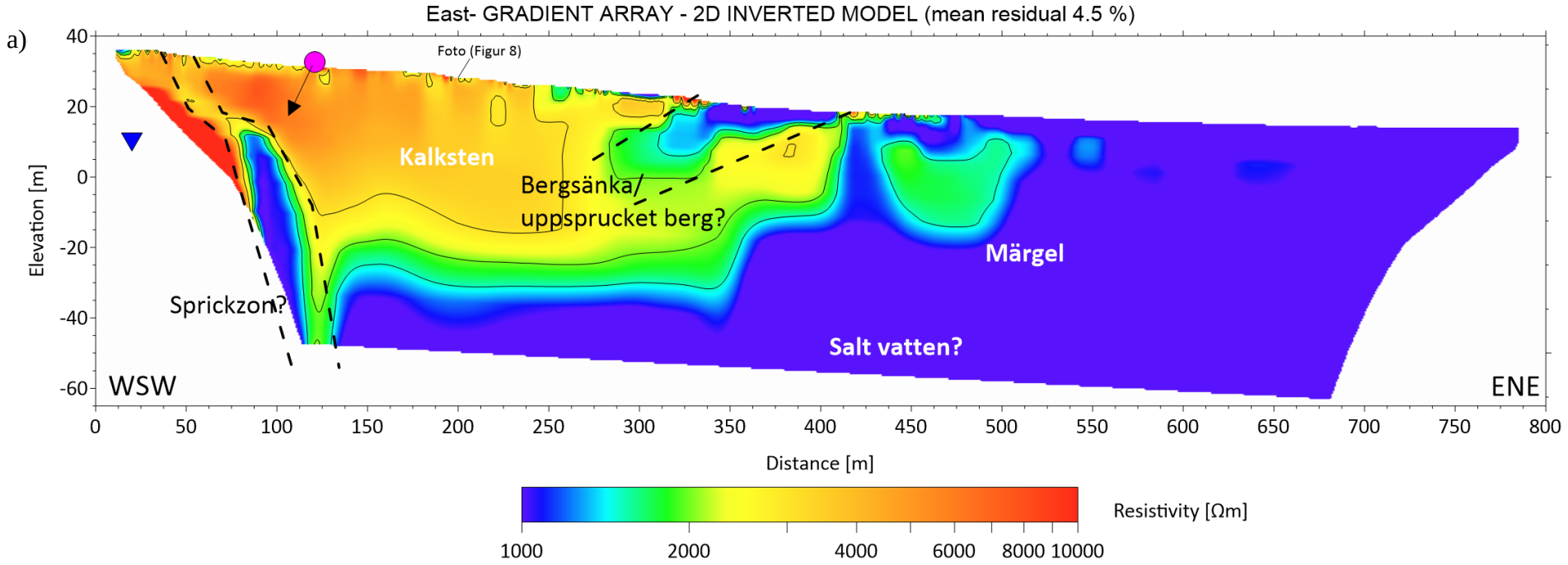
Figur 13. Vertikal modellsektion (RH2000) från södra profilen med tolkning. Aktuella grundvattennivåer (upp-och-nervända blåa trianglar) vid mättillfället. Borrhål 9921, 9927, 9912 och 9930 med litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön).

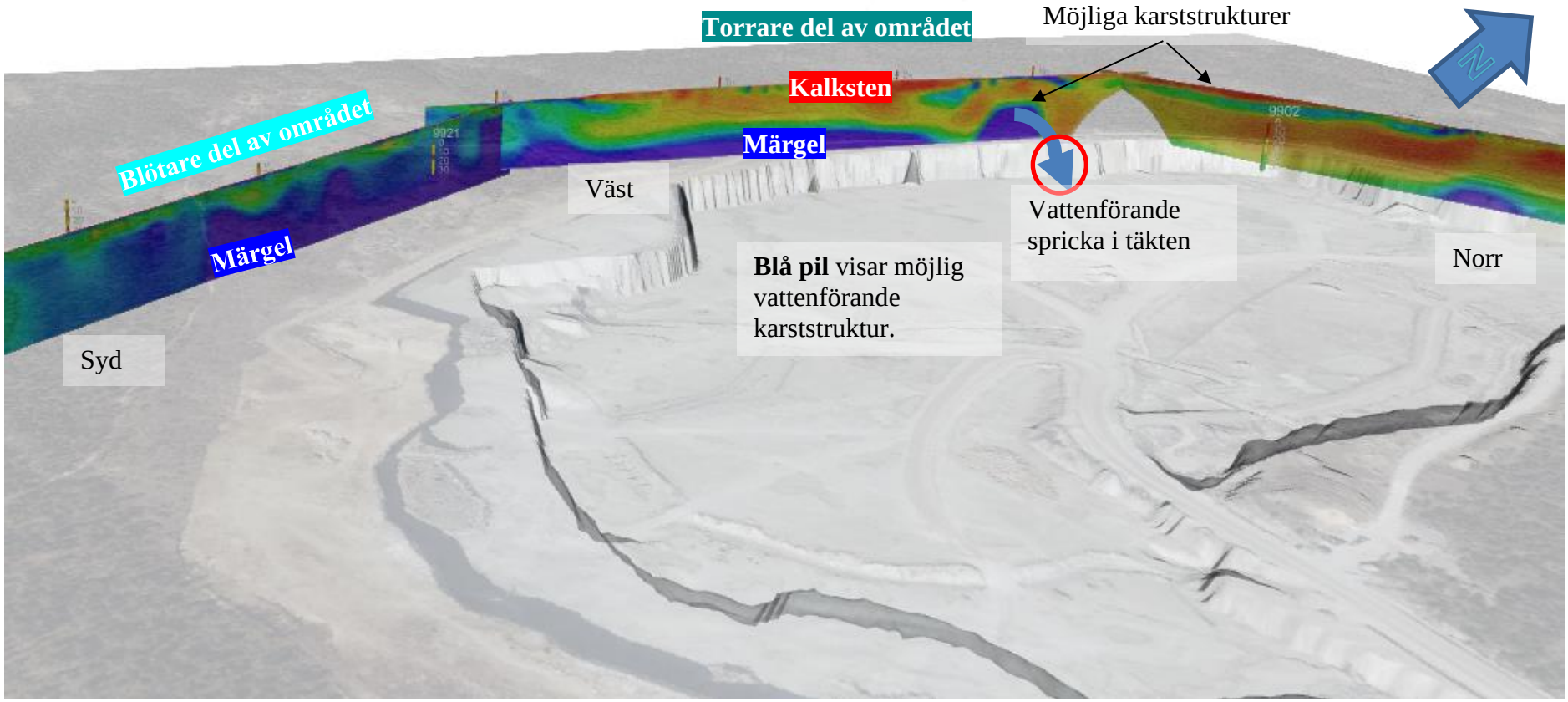
b)



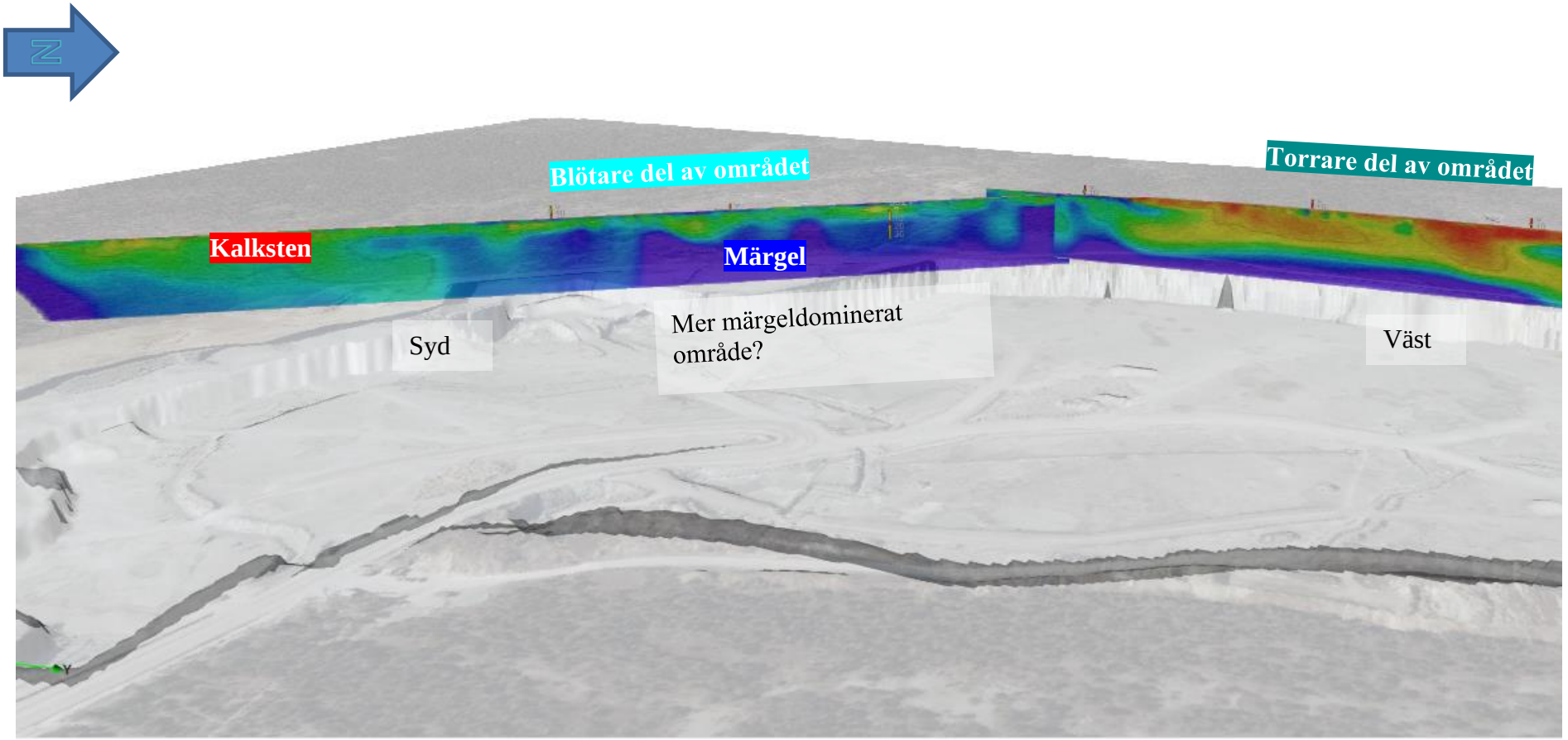
Figur 14. Vertikal modellsektion (RH2000) från östra profilen med tolkning. Förslag på borrpunkter (Lila punkt) samt aktuella grundvattennivåer (upp-och-nervända blåa trianglar). b) Infälld bild visar strandvallstruktur (i terrrängmodell) i början på profilen.

a)

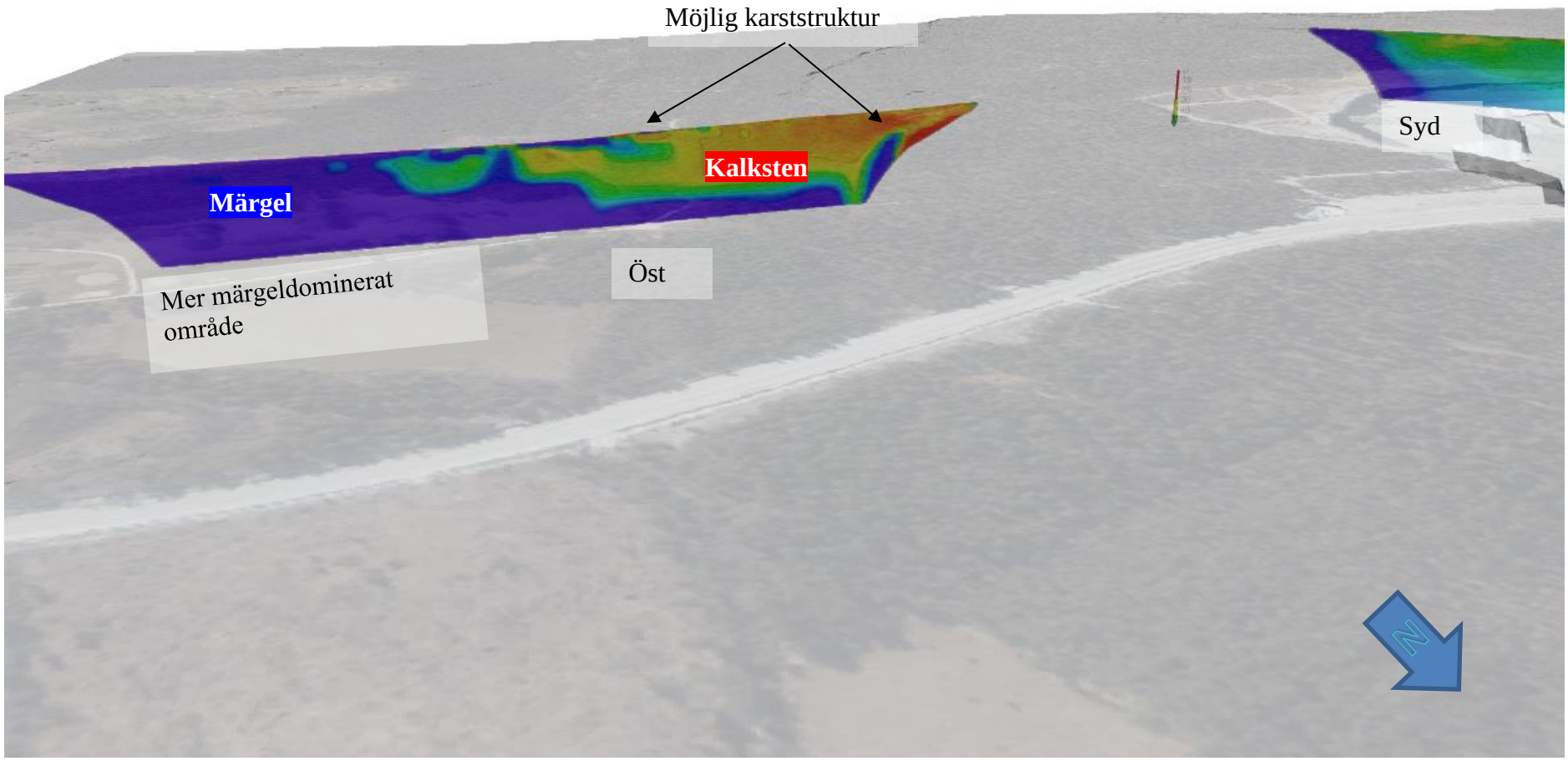




Figur 15. 3D-vy över modellerna, borrhål och tolkning med ortofoto draperad på en terrängmodell.



Figur 16. 3D-vy över modellerna, borrhål och tolkning med ortofoto draperad på en terrängmodell.



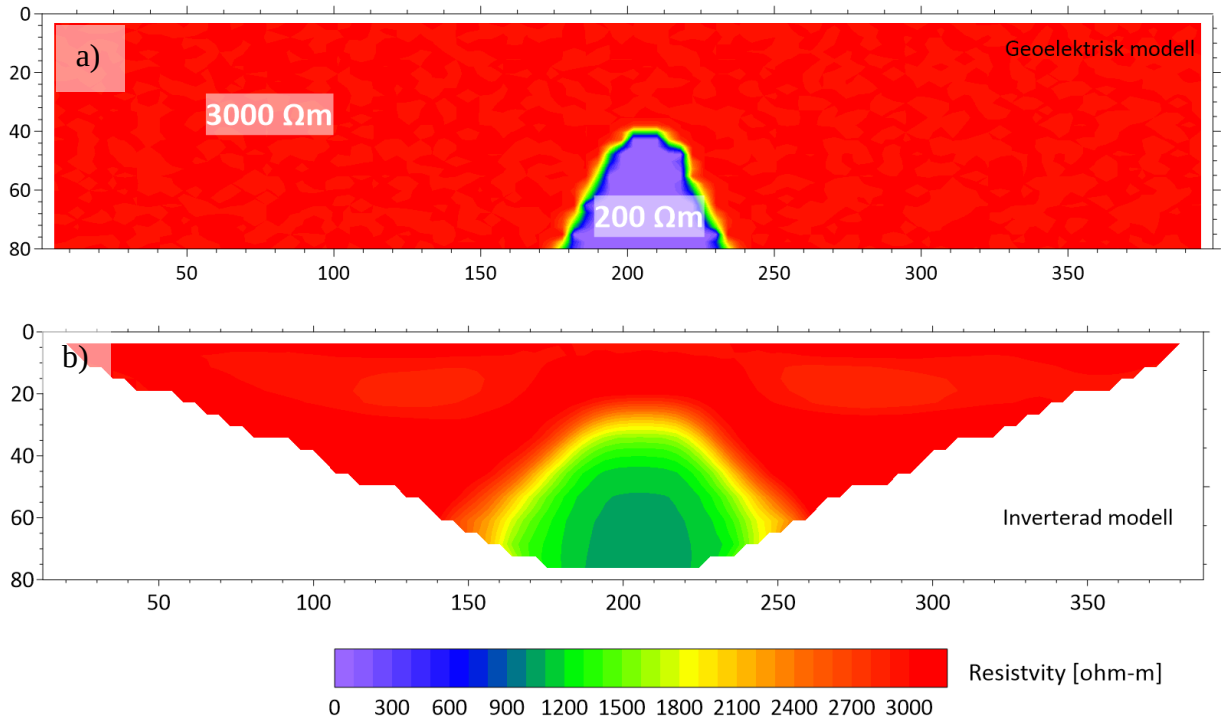
Figur 17. 3D-vy över modellerna, borrhål och tolkning draperad på ett ortofoto.

5 Diskussion, slutsatser och rekommendationer

Fyra resistivitetsprofiler på sammanlagt 4 km har mätts in kring kalktäkten i Slite. Resistivitetsmodellerna är av mycket god kvalité med lågt anpassningsfel (<5%; Figur 11-14). Tolkningen har fokuserats på att identifiera och särskilja kalksten (högre resistivitet; röd-grön kontur; >1500 Ωm) från märgel (grön till blå kontur; <1500 Ωm), samt identifiera möjliga karst-/sprickstrukturer i kalkstenen, dvs mer lågresistiva strukturer (blå-gröna konturer). Valet av färgkonturer medför att lågresistiva lager blir visualiserade som mer homogena (enfärgade) än de egentligen är. Berggrunden längs den norra och större delen av den västra profilen är generellt sett mer högresistiv än den södra och östra profilen, vilket kan bero på att denna del av Filehajdar är blötare och/eller innehåller högre halter av lermineral.

Tre till fyra potentiella lågresistiva anomalier har identifierats i resistivitetsmodellerna i den norra och västra samt i den östra profilen. Anomalin i den västra profilen utgörs av en domliknande struktur på ca 40 m djup med en förhållandevis låg resistivitet (medelresistiviteten är ca 200 Ωm). Den sammanfaller med en vattenförande spricka i täkten och bör därmed undersökas vidare. I den norra profilen återfinns en mer horisontell/subhorisontell struktur på ca 10 m djup med en mäktighet på ca 10-15 m. I den östra profilen finns två tydliga lågresistiva strukturer i kalkstenen. En brant, tunn struktur i profilavsnittet 70-125 m som stupar mot ONO. Anomalin är tydlig från ca 20 m djup, men kan ses ända upp mot markytan. I profilavsnittet 350-410 finns en tjockare, flackare struktur från markytan ner till ca 20 m djup som stupar mot VSV. Den sista är mindre intressant i sammanhanget.

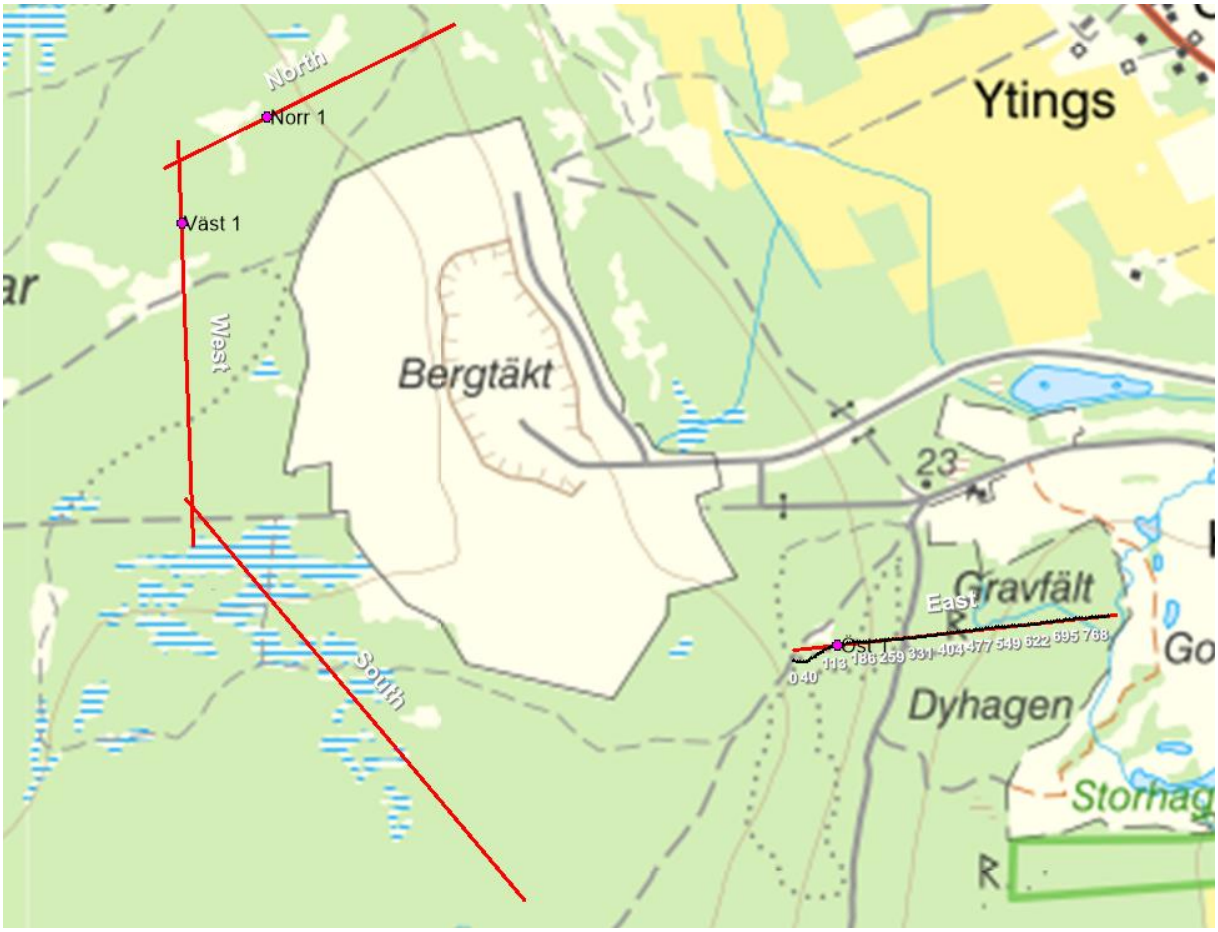
Så kallad forward modellering kan användas för att testa och optimera olika mätkonfigurationer eller undersöka om en anomali är realistisk. Tester med forward modellering har utförts för att ge bättre kunskap om vad som kan ge upphov till djupanomalin vid 200 m på västra profilen. Modellresponsen av den lågresistiva domen (Figur 18. Jämför med Figur 12; vid 200 m) visar att anomalin troligtvis härrör från en djupare belägen elektriskt ledande avvikelse. Den uppmätta resistiviteten är dock troligtvis underskattad. Den inverterade modellanomalin (Figur 18b) har en resistivitet på ca 1000 Ωm i stället för den uppmätta 200 Ωm. Den ”sanna” resistiviteten är därmed troligtvis mycket lägre än den uppmätta och det geologiska materialet utgör därmed troligtvis relikt (salt) vatten eller lera, eller en kombination av båda. Detta bör dock undersökas närmare.



Figur 18. Resultatet av s.k. forward modellering av anomalin i den västra profilen Figur 12. Modellen visar att resistiviteten i denna anomali troligtvis är mycket mer lågresistiv än vad metoden klarar av att upplösa.

5.1 Rekommendationer

För att få bättre förståelse för de lågresistiva strukturerna längs med profilerna bör dessa undersökas vidare med borrning, och/eller med magnetisk resonanssondering (MRS) (se Tabell 2 och Figur 19, samt lila punkter i modellsektionerna i Figurerna 11-14). MRS fungerar enligt samma princip som en magnetkamera och mäter det fria vattnet i marken och kan även avgöra om grundvattnet uppehåller sig i ett poröst material (kalksten) eller fritt (karst). MRS-mätningar längs med norra, västra och södra profilerna kan även visa vilka delar som är mer vattenförande än andra i området. Fortsatta resistivitetsmätningar parallellt med tidigare mätningar kan ge svar på hur identifierade strukturer fortsätter i olika riktningar. Framför allt bör en mätlinje placeras vinkelrätt mot den västra profilen, i anomalin (domen) för att avgränsa anomalin i öst-västlig riktning.



Figur 19. Förslag på provpunkter (Lila cirklar) för vidare undersökningar.

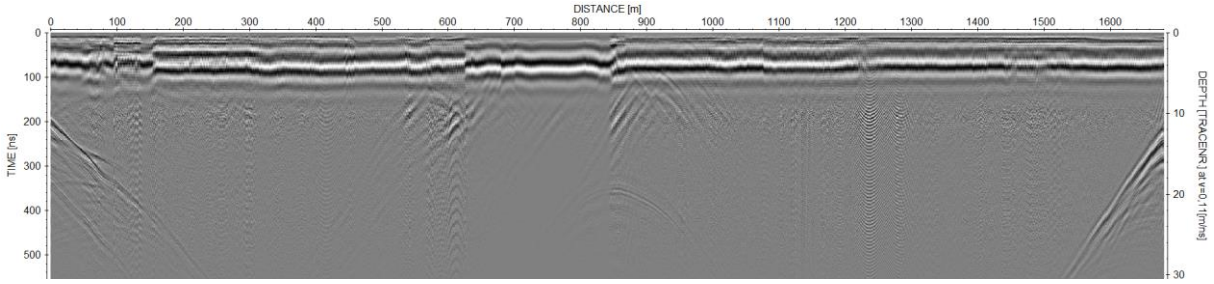
Tabell 2. Förslag på provpunkter (Sweref99TM) utifrån lila punkter/cirklar i Figur 11-14. Koordinater är ungefärliga och beror på graderingen på borrhålet.

Profil	*Punkt*	*Profillängd [m]*	*Öst [m]*	*Norr [m]*
Norr	1	520	720589	6404720
Väst	1	200	720 376	6 404 457
Öst	1	120	722 006	6 403 409

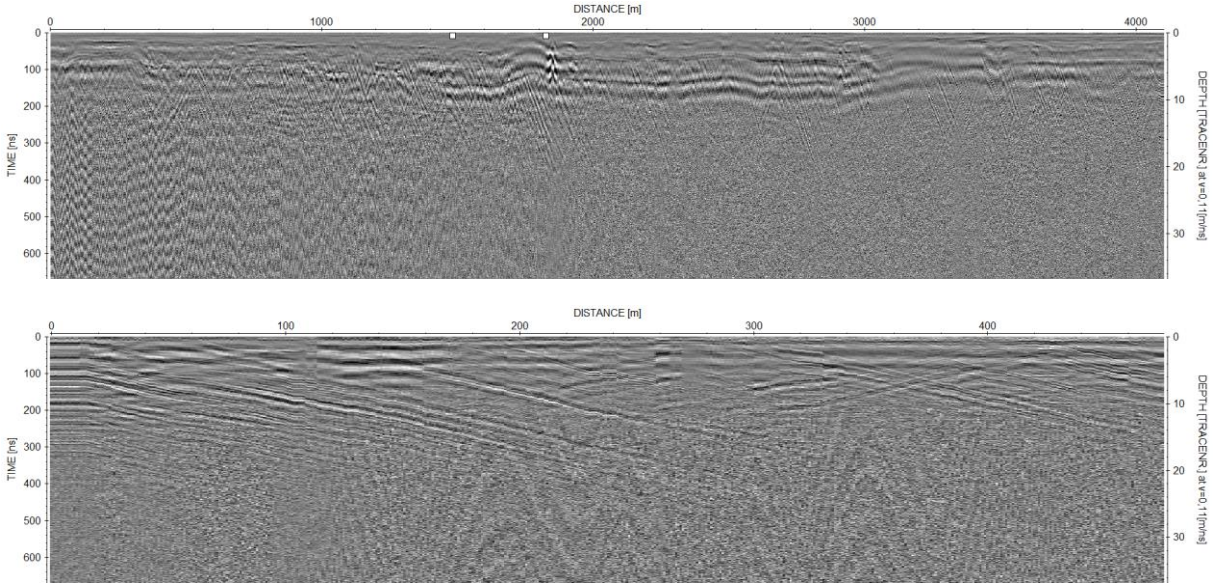
6 Leverans

- ✓ Rapport med karta över mätprofiler, modellerade sektioner, resultat och kortfattad utvärdering.
- ✓ GIS-lager med utmärkta profiler/profilkoordinater levereras som shapefiler (*.shp, *.klm; Sweref99TM).

7 Appendix A



Figur 20. Radargram från täkten visar att det finns väldigt lite information under markytan. De skarpa, kraftigt sluttande reflexerna i början och slutet av profilen härrör från luftvågen från täktväggen.



Figur 21. Radargram från Orgvätar som är förhållandevis störda pga. elstängslet. En grövre undulerande horisontell reflektor tillsammans med mer skarpa subhorisontella reflexer utgör mest troligtvis brus och inte reella lager/strukturer.

Kund
Golder Associates AB
Projekt
Slite, resistivitet
Författare
Nils Perttu

Datum
2021-11-17
GeoVista Nr
GVR21027
Projekt Nr
100495

Slite, resistivitetskampanj 2

GeoVista AB
P.O. BOX 276
SE-971 08 LULEÅ
+46(0)920 603 60
info@geovista.se
www.geovista.se

Sammanfattning

GeoVista har på uppdrag av Golder utfört geofysiska undersökningar med metoden elektrisk resistivitet i två kampanjer på totalt 8 km i september och november 2021. Syftet med mätningarna är att (1) öka den generella kunskapen om geologin i området och (2) kartlägga eventuell förekomst av karst, dvs större sprick/grottsystem i berg (transportvägar för vatten). Resultatet ska öka förståelsen om den komplexa geologin och ligga till grund en förbättrad geohydrologisk modell över området. Resistivitetsmätningarna har utförts runt täkten i Filehajdar. Sammanlagt mättes 4 resistivitetsprofiler under första halvan av september, 2021. Två av de identifierade anomalierna/avvikelserna har undersökts med borrning och har inkorporerats i denna tolkning. I en andra kampanj, i början på november, mättes 4 resistivitetsprofiler. Tre parallella profiler på Filehajdar (norr, väst och söder), samt en tvärprofil över den domliknande lågresistiva struktur som identifierades i den första kampanjen i den västra profilen (Figur 1). Målet med den andra kampanjen var att avgränsa och följa identifierade strukturer från den första kampanjen samt få en bättre förståelse för vad som gett upphov till de uppmätta anomalierna.

Data och modeller är av god kvalité och har förhållandevis god samstämmighet i parallella profiler, samt i skärningspunkter i korsande profiler. Detta medför att modellerna är geologiskt trovärdiga. Tolkningen har fokuserats på att identifiera och särskilja kalksten från märgel, samt identifiera möjliga karst-/sprickstrukturer i kalkstenen, dvs lågresistiva strukturer. Berggrunden längs den norra och större delen av den västra profilen är generellt sett mer högresistiv än den södra profilen, vilket kan bero på att de norra/västra delarna av Filehajdar är torrare och/eller innehåller lägre halter av lermineral. Detta medför att det i modellsektionerna inte finns någon entydig gräns mellan kalksten och märgel. Flera karstliknande strukturer har identifierats i profilerna. Anomalierna i den västra profilen utgörs av tre domliknande strukturer på >40 m djup med en förhållandevis låg resistivitet. Den tydligaste domen (Figur 13; West 1) har undersökts med borrning (FH21002), där en lägre resistivitet tydligt sammanfaller med ökad ler-, salt- och vattenhalt i borrhålet. I de norra och västra profilerna återfinns en eller flera mer ytliga, tunna, horisontella/subhorisontella struktur från markytan till ca 20-30 m djup. Denna typ av struktur sammanfaller ofta vid markytan med topografiska lågpunkter. Resultatet från borrning i den norra profilen (FH21001; Figur 12), visar att den 10 m mäktiga strukturen består av grovkornig kalksten med något förhöjd fukthalt. Dessa strukturer skulle kunna utgöra dräneringsvägar för ytligt grundvatten. I den östra profilen finns två tydliga lågresistiva strukturer i kalkstenen. En brant, tunn struktur i början av profilen som stupar mot ONO och en tjockare, flackare i mitten av profilen som stupar mot VSV. De södra profilerna består av flertalet mer lågresistiva strukturer. Dessa strukturer ser inte ut att sammanfalla med varandra, utan verkar vara mer isolerade företeelser. Skillnaden i resistivitet mellan dessa zoner och omgivande berg är liten.

I den södra delen finns en tydlig generell sänkning av resistiviteten i syd 2 jämfört med syd 1. Detta kan bero på spatiala skillnader (de parallella profilerna är ca 100 m ifrån varandra), men kan också ha sin grund i olika mättnadsgrader i magasinet. Genom tidserier (upprepade mätningar) av resistivitetsundersökningar (på samma plats eller längs med samma profil) skulle årstidsvariationer i magasineringsgraden i kalkstenen kunna estimeras. Borrning längs med norra (FH2101) och västra (FH2102) profilerna har gett ökad förståelse av de lågresistiva strukturernas ursprung. Det är med stor sannolikhet att dessa strukturer inte utgör större sprick/grottsystem, men kan likväl ha hydraulisk betydelse i grundvattnets rörelser i Filehajdar.

Innehållsförteckning

1 Inledning 4
1.1 Osäkerheter....4

2 Områdesbeskrivning 10

3 Metodik och utförande 12
3.1 Resistivitet och inducerad polarisation (IP) 12

4 Resultat och tolkningar 16
4.1 Kommentarer och tolkning till modellsektioner....16
Karststrukturer och sprickor 16

5 Diskussion, slutsatser och rekommendationer 27
5.1 Rekommendationer....28

6 Leverans 29

1 Inledning

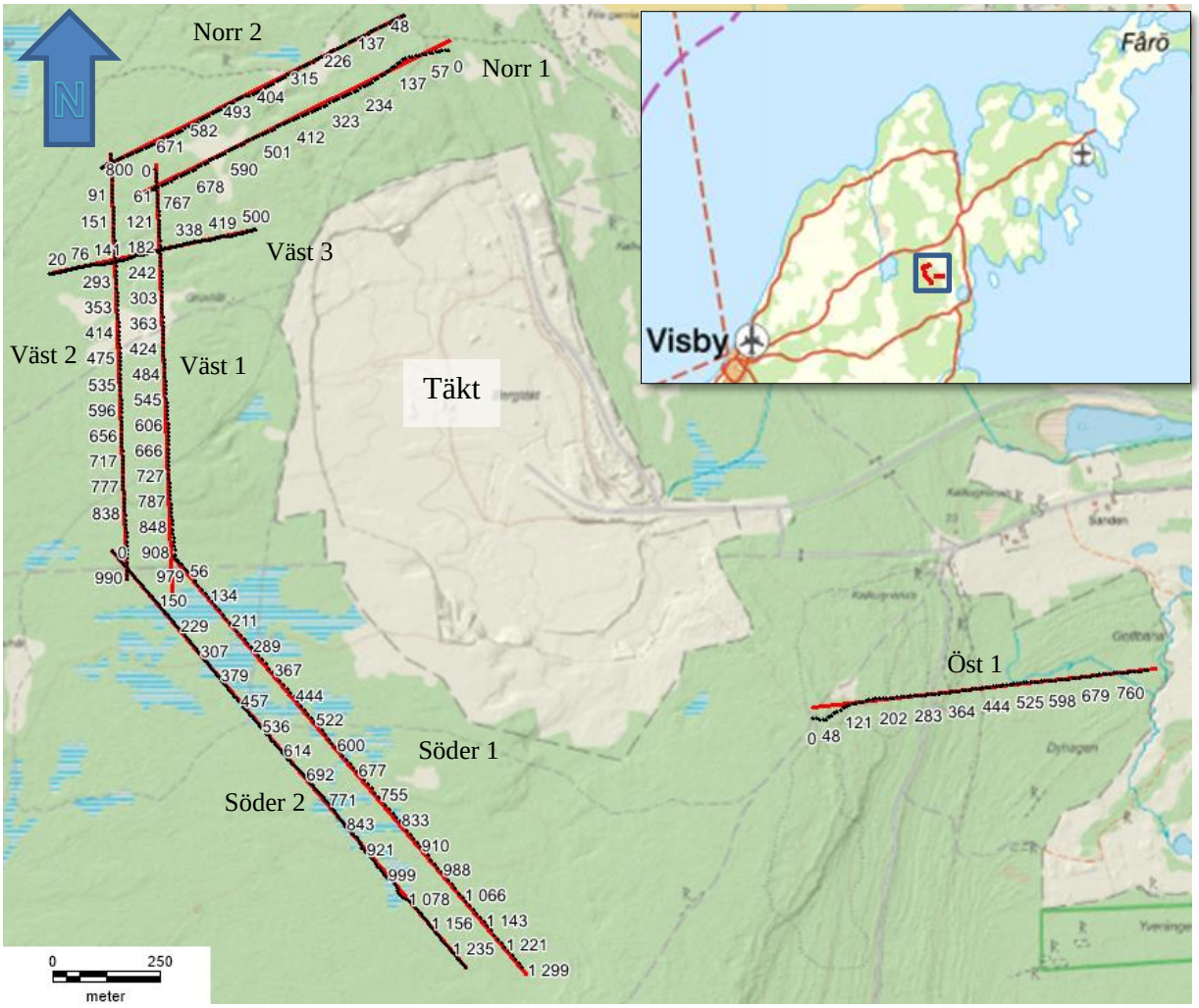
Golder undersöker geologin runt kalktäkten i Slite på Gotland (Figur 1, infälld karta) där man i första hand letar efter karst, sprickor och andra strukturer med hög hydraulisk konduktivitet och som skulle kunna påverka en framtida kalkbrytning i området. GeoVista har på uppdrag av Golder utfört geofysiska undersökningar med metoden elektrisk resistivitet i två kampanjer.

Syftet med mätningarna är att (1) öka den generella kunskapen om geologin i området och (2) kartlägga eventuell förekomst av karst, dvs större sprick/grottsystem i berg (transportvägar för vatten). Resultatet ska öka förståelsen om den komplexa geologin och ligga till grund en förbättrad geohydrologisk modell över området. Resistivitetsmätningarna har utförts runt täkten i Filehajdar (norra, västra, södra och östra; Figur 1a). Sammanlagt mättes 4 resistivitetsprofiler på totalt 4 km under första halvan av september, 2021. Två av de identifierade anomalierna/avvikelserna har undersökts med borrning och inkorporerats i denna tolkning. I en andra kampanj, i början på november, mättes 4 resistivitetsprofiler. Tre parallella profiler på Filehajdar (norr, väst och söder), samt en tvärprofil över en domliknande lågresistiv struktur som identifierades i den första kampanjen i den västra profilen (Figur 1). Målet med den andra kampanjen var att avgränsa och följa identifierade strukturer från den första kampanjen samt få en bättre förståelse för vad som gett upphov till de uppmätta anomalierna.

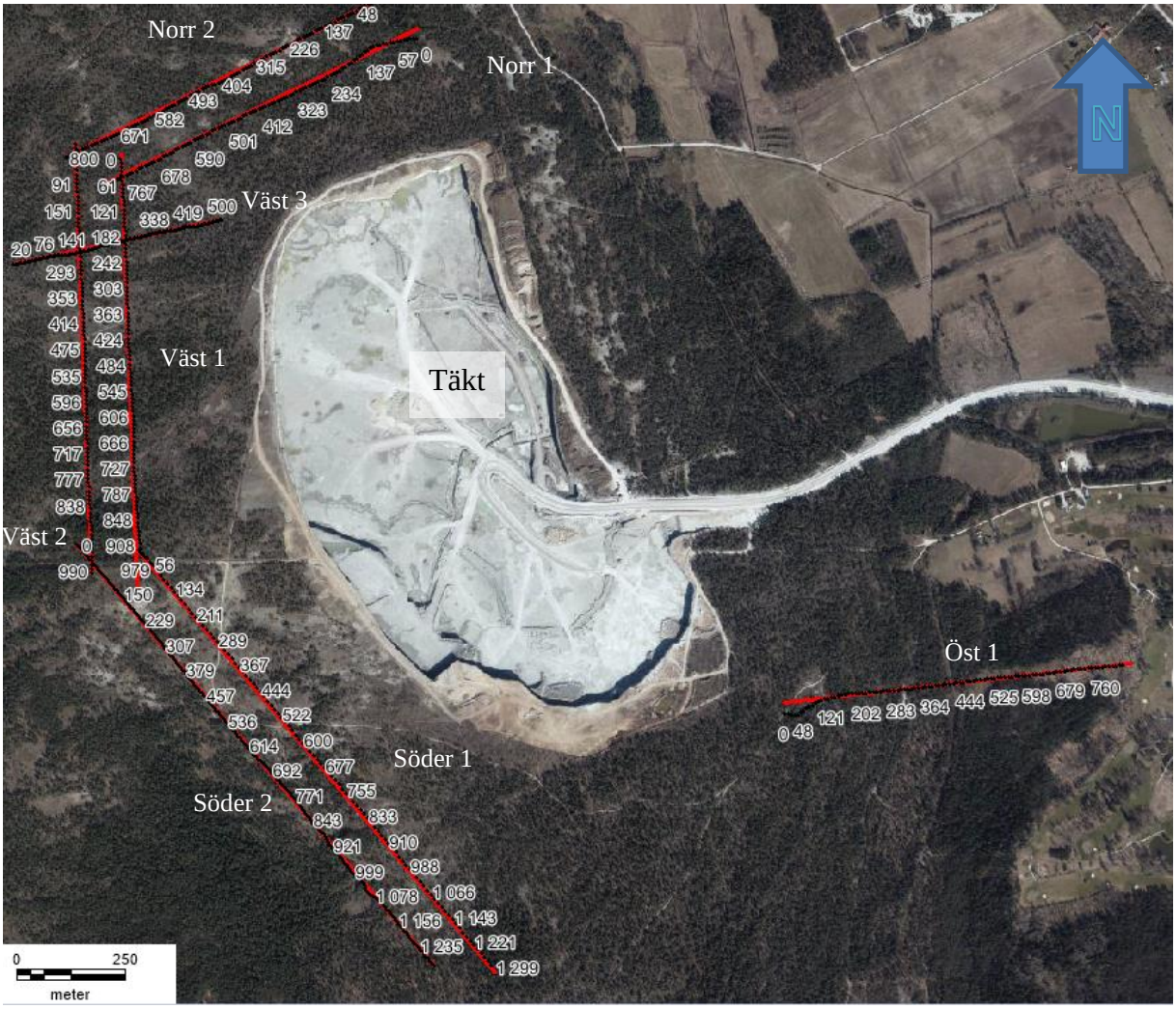
Resistivitetsmetoden är känslig för markens vatten, ler- och saltinnehåll och är därför lämplig att identifiera vattenförande lager/strukturer (tex. karst) samt finkornigare impermeabla lager (märgel). I den andra kampanjen utfördes simultant med resistivitetsmätningen även en inducerad polarisation (IP) mätning på den tvärgående västra profilen (Väst 3). IP är känslig för lerinnehållet i marken och kan i vissa fall visa om identifierade avvikande strukturer är orsakade av ökade lerhalter istället för ökade vattenhalter.

1.1 Osäkerheter

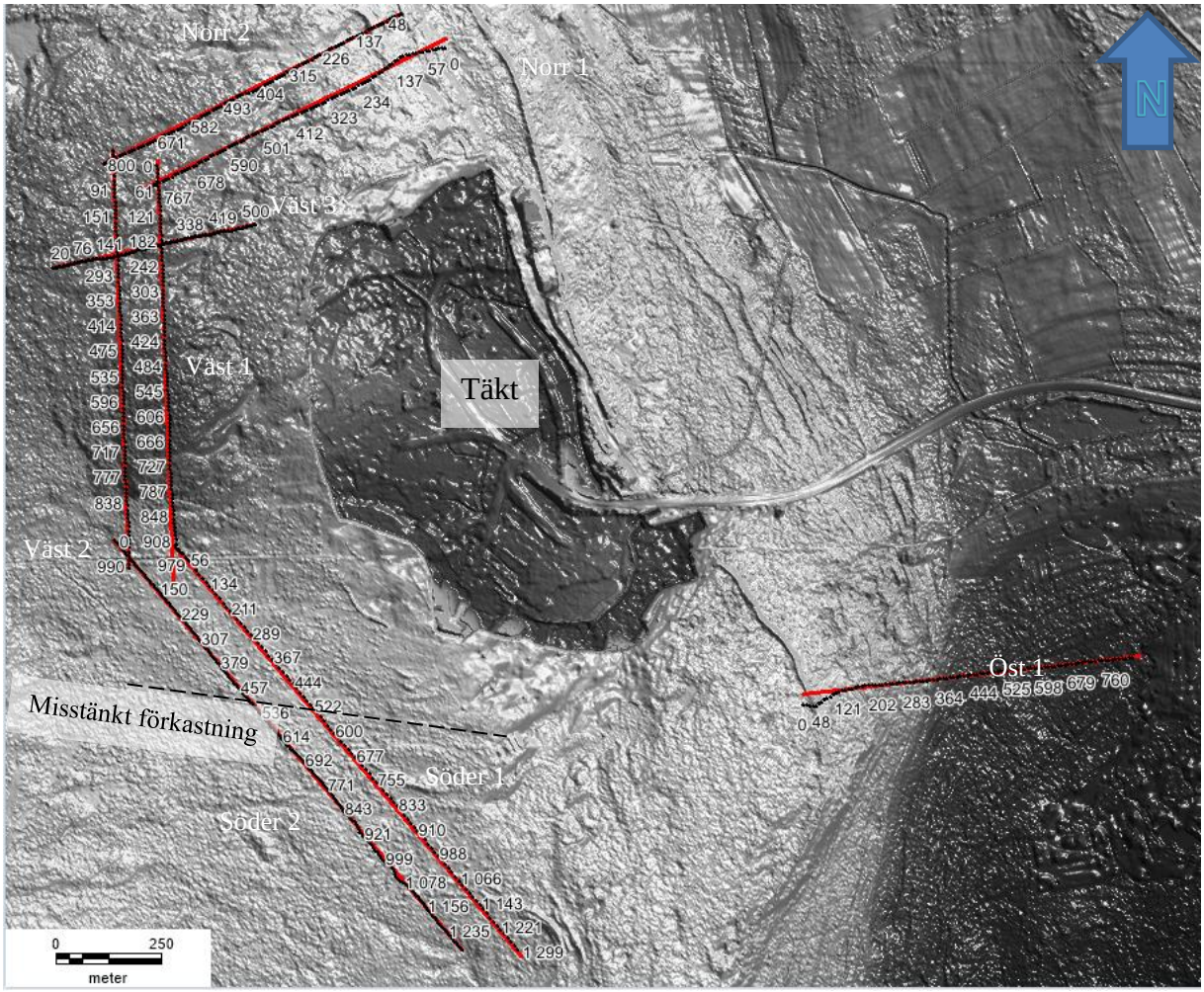
I denna rapport presenteras bearbetade mätdata där korrektioner, kalibreringssamband och empiriska relationer har applicerats på ursprungliga mätdata. GeoVista tar inte ansvar för eventuella beslut som fattas utifrån de resultat som levererats och som presenteras i denna rapport. Det åligger därmed kunden att noga kontrollera och godkänna data och resultat som levererats och snarast meddela eventuella anmärkningar och synpunkter.



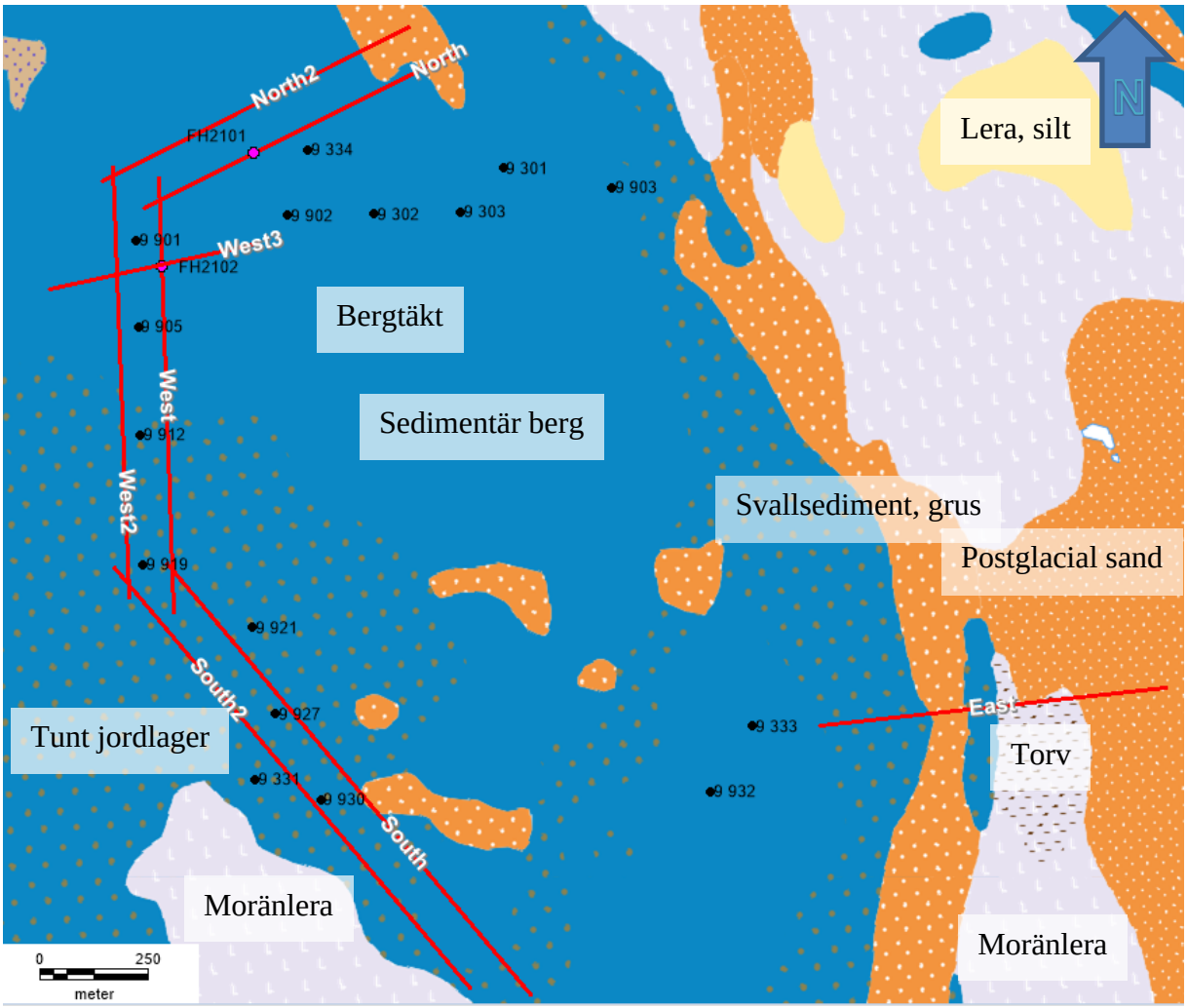
Figur 1. a) Infälld karta visar mätområdet (blå ruta) vid Kalktäkten i Slite på Gotland. Topografisk karta draperad med en terrängmodell visar resistivitetsprofiler (röda linjer; jämför med 3D-modeller i Figurerna 17-20). Svarta prickar visar avståndet i meter längs med profilen. Notera också att södra profilen korsar ett blötare område. I den första kampanjen mättes Norr 1, Väst 1, Söder 1 och Öst 1 och i den andra Norr 2, Väst 2 och 3, samt Söder 2.



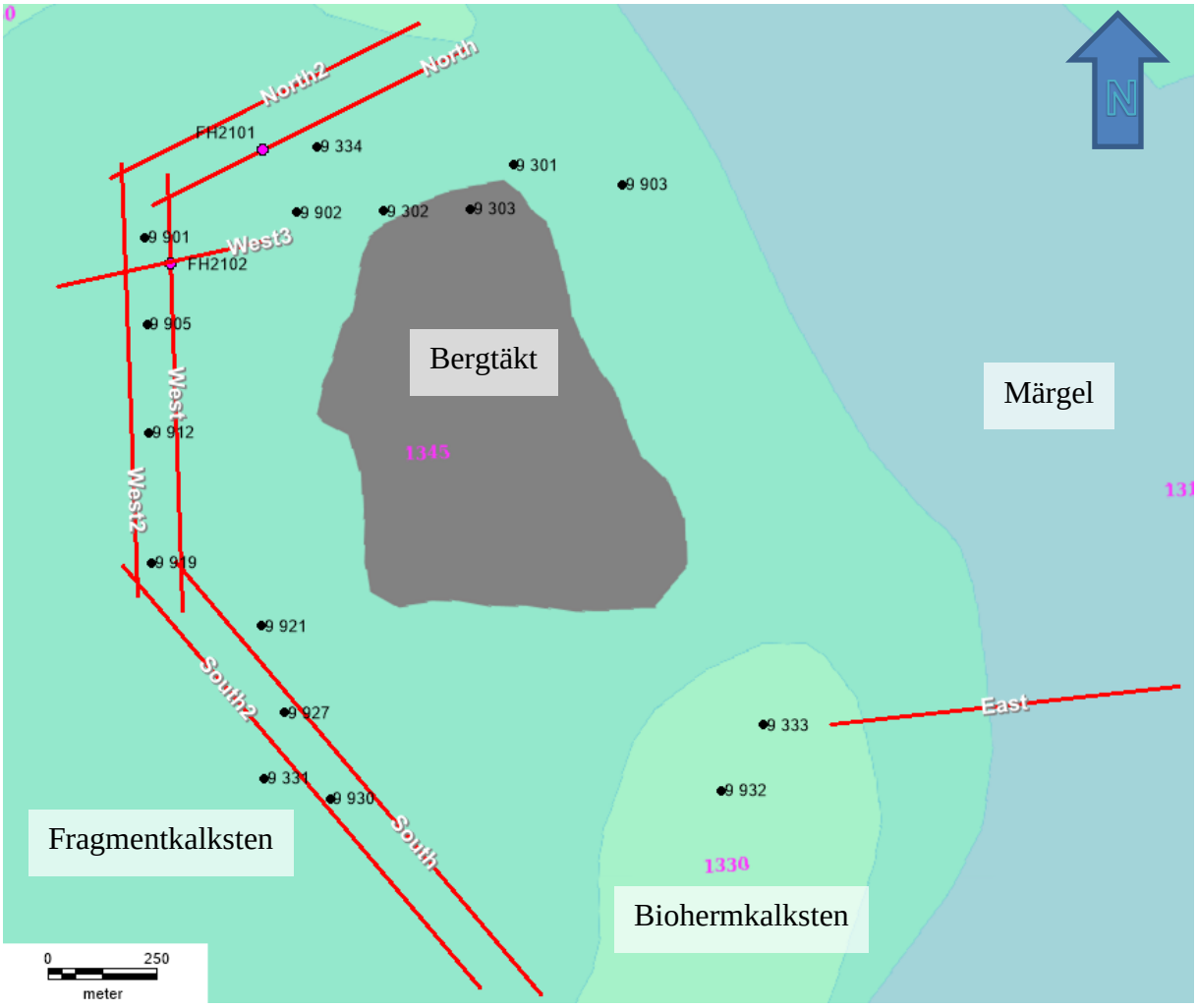
Figur 2. Ortofoto som visar profilernas läge. Svarta prickar visar längd i meter längs med profilen.



Figur 3. Terrängmodell som visar profilernas läge. Ett topografiskt lineament, som även visar sig i vegetationen på ortofotot korsar profilerna i väst 2 vid 500 m och väst 1 i 540 m (se Figur . Svarta prickar visar längd i meter längs med profilen.



Figur 4. Jordartskartan (SGU:s WMS-tjänst) tillsammans med borrhål (svarta punkter) och profilernas läge (röda linjer). Notera nya borrhål (lila-fyllda cirklar) placerade utifrån identifierade anomalier från den första kampanjen.



Figur 5. Berggrundskartan (Från SGU:s WMS tjänst) tillsammans med borrhål (svarta punkter) och profilernas läge. Notera nya borrhål (lila-fyllda cirklar) placerade utifrån identifierade anomalier i den första kampanjen.

2 Områdesbeskrivning

Mätområdet ligger i Filehajdar, Slite och omgärdar nuvarande bergtäkt (Figur 1). Området är förhållandevis platt, men stora delar av området runt norra och västra profilen är mer upphöjda. Jordtäcket är relativt tunt inom undersökningsområdet och saknas helt längs delar av norra och västra profilen (Figur 6). Jorddjupet ökar dock något i området kring slutet på den södra och den östra profilen (Figur 7). Östra profilen visar tydliga nivåförändringar vid profilkoordinat 180 m, vilket är spår efter tidigare kalkbrytning och ska inte förväxlas med en eventuell förkastning (Figur 8).

Enligt SGU:s jordartskarta domineras mätområdet i norr, väst och söder av kalksten med tunna jordtäcken, medan området i öster korsar stråk av svallsediment (grus och sand) samt lerig morän (Figur 4). Berggrundsgeologin domineras av Fragmentkalksten som i öster övergår till märgel (Figur 5). Inga deformationzoner har identifierats av SGU inom mätområdet (SGU:s WMS-tjänst; Figur 2b), däremot finns ett (topografiskt) lineament identifierat i den södra delen som skulle kunna utgöra en förkastning/sprickzon (Figur 3). Där kalkstenen är blottad (i den västra delen) finns en tydligt dominerande horisontell sprickighet (Figur 5; infälld bild). Det finns även tydliga karstsprickor i de blottade hällarna (Figur 6, infälld bild) i norra och västra delen.Borrhål med litologisk information finns tillgängligt och tangerar framför allt den västra och södra profilen (se modellfigurerna 12-16). Litologin (bestämd från borrhål) är förhållandevis komplex, men mer generellt sett, återfinns mer lerfri (ren; Röd) kalksten tämligen ytligt till ett djup av ca 10-20 m som övergår till mer lerig kalksten (25-50 % lera; Gul) som i sin tur övergår till märgel (50-100 % lera; Grön) på ett djup av 30-40 m. Övergången till märgel är sällan distinkt, utan mer gradvis.

Figur 6. Äldre kalkstensbrott (västra profilen, profilavsnitt 360-380 m) med vattenspegel som visar att kalkstenen här är förhållandevis tät mot djupet. Här har kalkstenen en tydligt föredragen horisontell sprickighet (infälld bild).

Figur 7. Bild tagen längs den västra profilen och visar att jordtäcket är näst intill obefintligt längs delar av de norra och västra profilerna. Instrument och kablar i bakgrunden. Infälld bild visar ytliga sprickor i kalkstenen, som är vanligt förekommande i den norra och västra delen.

Figur 8. Bild tagen vid den östra profilen. En tydlig topografisk nivåskillnad blottar kalkstenen och löper i nord-sydlig riktning. Strukturen korsar profilen ungefär vid profilkoordinat 180 m och är en rest från tidigare kalkbrytning.

3 Metodik och utförande

Resistivitetsmätningarna i Slite (Tabell 1) har positionsbestämts med handhållen GPS (SWEREF99TM; RH2000; Figur 1) vid start och slutpunkt och vid varje mätstation (noggrannhet ±2-5 m i planet).

Tabell 1. Resistivitetsprofiler från Slite. Koordinater i Sweref99TM. Jämför med projicerade sektioner i 3D (Figur 15-17).

Profil	Kablar	Orientering	Längd [m]	Start Öst	Start Norr	Slut Öst	Slut Norr
Norr	5 m	NO-SV	800	721053	6404952	720334	6404594
Väst	5 m	N-S	1000	720369	6404661	720404	6403660
Syd	5 m	NV-SO	1300	720387	6403773	721228	6402777
Öst	5 m	VSV-ONO	800	721897	6403398	722695	6403486
Norr 2	5 m	NO-SV	800	720946	6405010	720240	6404656
Väst 2	5 m	N-S	1000	720262	6404686	720300	6403695
Syd 2	5 m	NV-SO	1300	720265	6403763	721088	6402792
Väst 3	5 m	VSV-ONO	500	720118	6404407	720600	6404512

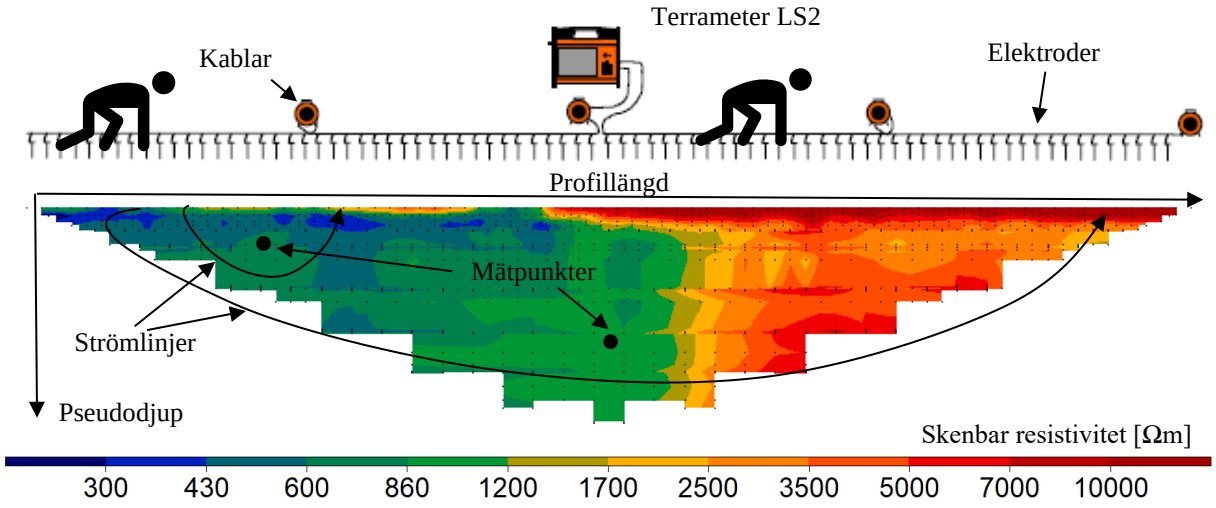
3.1 Resistivitet och inducerad polarisation (IP)

Resistiviteten i ett material beskriver dess ”oförmåga” att leda ström (Figur 9). Resistiviteten hos geologiska material styrs till stora delar av materialets vattenhalt, lermineral och lösta salter (Figur 10). Elektriska resistivitetsmätningar utförs vanligtvis genom att ström skickas mellan två elektroder och potentialskillnaden (resistansen) simultant mäts mellan två och/eller flera andra elektroder (Figur 9). Är avståndet mellan elektroderna känt kan markens ”skenbara” resistivitet beräknas (skenbar resistivitet = en sammanvägning av flera geologiska lagers resistivitet). Genom att flytta mätstation och variera avståndet mellan elektroder kan information om variationer i markens skenbara resistivitet fås mot djupet och i profilens riktning, en s.k. pseudosektion bestående av ibland flera 1000 mätpunkter. Större avstånd mellan strömelektroderna medför ett större nedträngningsdjup.

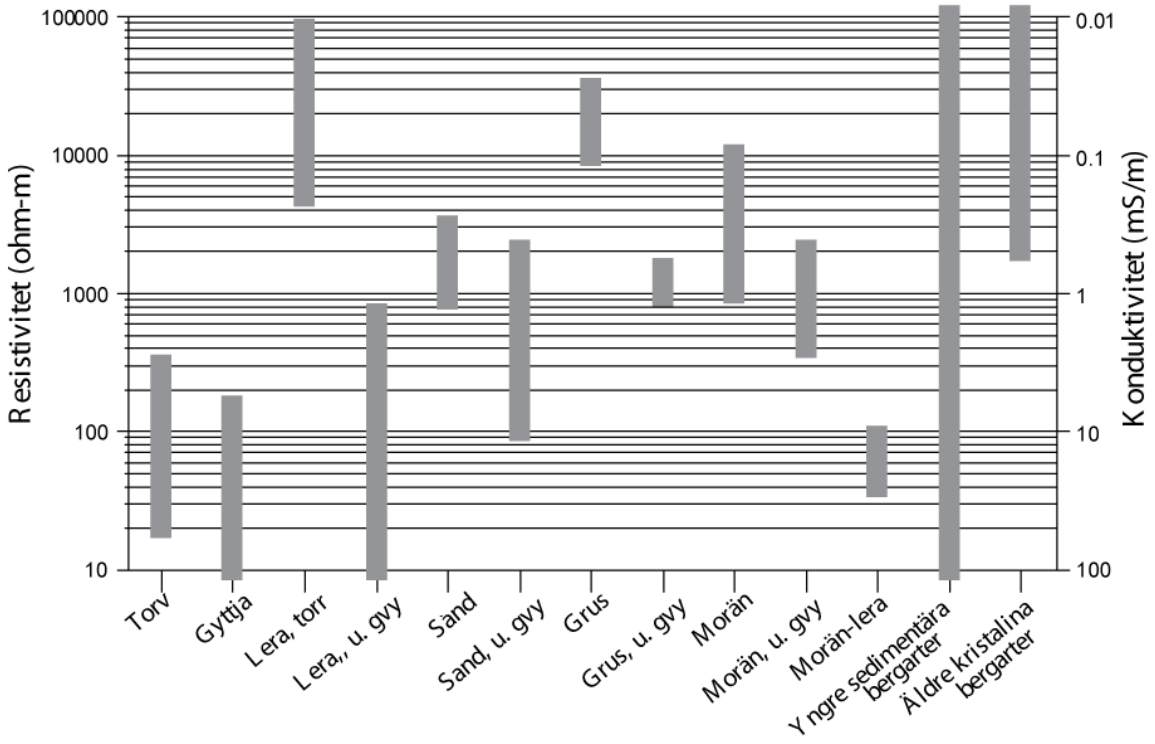
I en efterföljande data-processering, genereras en eller flera resistivitetsmodeller genom att de ”sanna” resistiviteterna uppskattas med hjälp av ett datorprogram (se Figurerna 12-16). Med kännedom om olika materials elektriska egenskaper (Figur 10) kan en geologisk modell skapas där det är möjligt att i det här fallet identifiera jordlager, kalksten, märgel och eventuella karststrukturer. En osäkerhet som återfinns i de beräknade modellerna härrör från att det inte finns någon unik lösning, dvs. att en och samma uppsättning mätdata kan beskrivas med flera olika modeller. Olika geologiska material kan även ha överlappande resistiviteter. Det kan tex. vara svårt att särskilja en lerlins från vattenförande karstspricka. Ytterligare osäkerheter kan komma från brus från tex. elektriska installationer och ledningar mm. Dessutom minskar både den vertikala och laterala upplösningen mot djupet. Undersökningarna i Slite har utförts med multielektrodsystemet Terrameter LS2 (Guideline Geo; Figur 7 och 9). Mätningarna har utförts med gradientkonfiguration, vilket medger en hög känslighet för både laterala och vertikala

strukturer. Kablar med ett minsta elektrodavstånd på 5 m har använts. Detta medför ett största nedträngningsdjup på ca 70-80 m för de långa (5 m). Kortare elektrodavstånd medför bättre upplösning på bekostnad av sämre nedträngningsdjup.

Processering av data har gjorts med programmet Res2Dinv (Geotomo software) med höjder från ett 1 m höjdgrid (Lantmäteriet) genom en L1-normsrutin, vilket skapar modeller med förhållandevis skarpa övergångar.

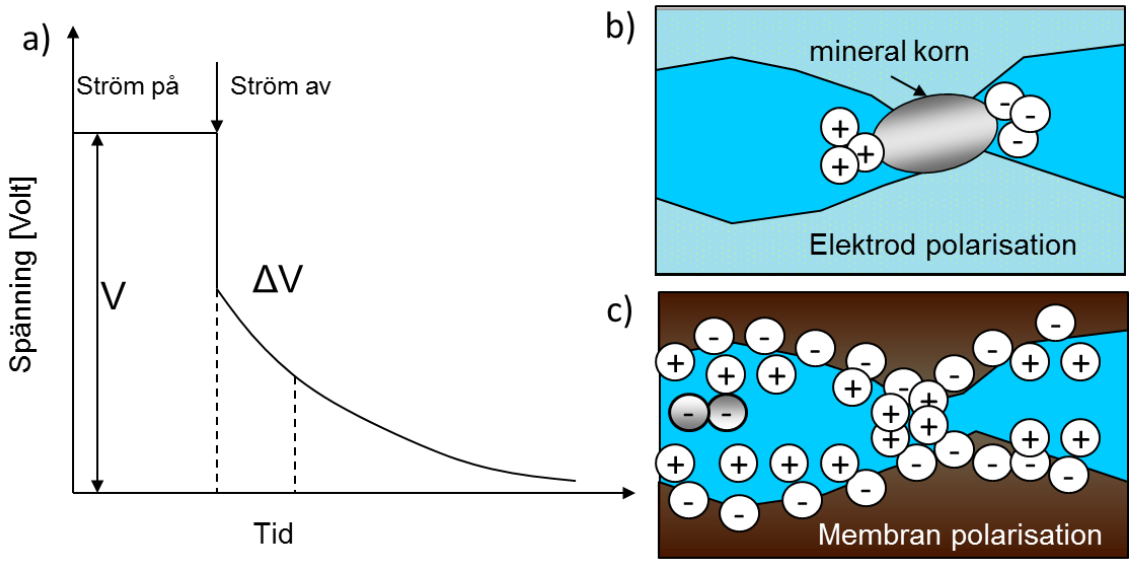


Figur 9. Illustration av resistivitetsmätning längs en profil där kablar rullas ut och stålelektroder slås ner i marken. I multielektrodmätningar används 4 kablar med 81 elektroder i en automatiserad mätprocedur. Pseudosektionen visar hur den skenbara resistiviteten varierar längs med profilen.



Figur 10. Elektriska resistiviteter/konduktiviteter för olika geologiska material över och under grundvattenytan (u. gvy).

Inducerad polarisation (IP; markens uppladdningsförmåga) är en elektrisk metod som mäts simultant med resistivitet med samma instrument men med större tidsåtgång. Mätningen består av en uppladdningsfas då ström skickas ner i marken och en mätfas där den uppladdade spänningen avtar med tiden. Principen bygger på att vissa material, likt en kondensator laddas upp för att under en tid behålla spänningen. Instrumentet mäter urladdningen under ett antal jämnt fördelade tidsintervall och registrerar en s.k. avklingningskurva (Figur 11a). IP baseras på två fenomen; (1) Elektrodpolarisation (Figur 11b) sker runt ledare med hög konduktivitet, tex. mineraler, metallskrot. När en ström går igenom marken blir det konduktiva materialet polariserat och positiva/negativa joner dras till respektive yta på den konduktiva kroppen. När strömmen bryts avtar spänningen mot noll igen; (2) Membranpolarisation (Figur 11c) sker i geologiska material med trånga porer, tex. silt och lera. Porväggen är negativt laddad på ytan, vilket medför att positiva joner attraheras, ansamlas och blockerar porerna. En lokal spänningsskillnad uppstår när strömmen är på och när den stängs av diffunderar jonerna bort igen och spänningen upphör. IP kan därför i denna undersökning användas för att karakterisera och främst identifiera lermineral eller material med liknande egenskaper. Storheten som används för att kvantifiera IP-effekten kallas för ”chargeability” eller laddbarhet.



Figur 11. a) Illustration av den IP relaterade avklingningen. Olika fenomen bidrar till IP-effekten: b) Elektrodpolarisation och c) Membranpolarisation.

4 Resultat och tolkningar

Åtta resistivitetsprofiler mättes in på sammanlagt 8 km kring kalktäkten i Slite under två kampanjer i September och i November. Data har filtrerats med avseende på data med höga standardavvikelser (>2 %), samt datapunkter som avviker stort från beräknade skenbara resistiviteter. Resistivitetsmodellerna är av mycket god kvalité och har lågt anpassningsfel (<5%; Figur 12-16).

Färgskalan i modellerna har optimerats för att framhäva avvikande strukturer i kalkstenen. Kraftiga färgväxlingar (stora resistivitetsförändringar) i modellerna indikerar förändringar i geologin. Tolkningen har fokuserats på att identifiera och särskilja kalksten (högre resistivitet; röd-grön kontur; >900 Ωm) från märgel (gul till blå kontur; <1500 Ωm), samt identifiera möjliga karst-/sprickstrukturer i kalkstenen, dvs mer lågresistiva strukturer. Grundvattenytan (blåa upp-och-nervända trianglar; Figur 11-14) från nivåmätare i borrhål sammanfaller inte med mer lågresistiva sektioner i resistivitetsmodellerna (i den första kampanjen), vilket troligtvis beror på att flera vattenförande lager existerar i kalkstenen samt att resistiviteten också påverkas av koncentrationen av lermineral.

De geofysiska modellerna har tolkats i Figurerna 12-16, och även plottats i 3D (Figurerna 17-20) för att lättare identifiera sammanhängande lågresistiva strukturer som kan vara vattenförande. I 3D-vyerna är resistivitetsmodellerna förhållandevis överensstämmande, vilket antyder att modellerna är tillförlitliga. Borrhål (Figur 4 och 5) med litologisk information har grovt delats in i ren kalksten (röd; 0% lera), lerig kalksten (gul; <50% lera) och märgel (grön; >50% lera) och plottats tillsammans med de inverterade modellerna. Det finns ingen skarp och tydlig korrelation mellan resistivitetssektioner och litologiloggar, men kalksten med lägre lerinblandning är generellt mer högresistiv och modellerna blir mer lågresistiva mot djupet (högre lerinbladning).

4.1 Kommentarer och tolkning till modellsektioner

De norra och större delen av de västra profilerna uppvisar generellt en mer högresistiv berggrund (Figur 12 & 13), jämfört med den södra (Figur 15). Detta kan bero på högre lerinblandning alternativt högre vattenhalter eller en kombination av båda. Den tunna jordmånen i de södra profilerna är många gånger ytligt vattenmättad (se Figur 1) och ligger topografiskt lägre än de norra och västra profilerna. Detta indikerar att det i dessa områden inte finns lika mycket ytliga sprickor där ytvatten kan dräneras. Detta medför att kalkstenen har förhållandevis skilda elektriska egenskaper mellan de olika profilerna. Kalkstenen är även förhållandevis heterogen med kraftigt växlande resistiviteter. Detta påverkas troligtvis av inblandningen av lera samt mängden vatten. Det finns ingen tydlig övergång till underliggande märgel, utan detta sker mer gradvis. Däremot finns det i den östra profilen (Figur 16) en tydlig lateral gräns till den mer lågresistiva märgeln vid ca 400 m. Från profilkoordinat 350 m och framåt, på ca 40 till 50 m djup, blir sektionen också tydligt mer lågresistiv (<200 Ωm), vilket indikerar högre halter salt/lermineral.

Karststrukturer och sprickor

I de norra och västra profilerna återfinns en eller flera mer ytliga, horisontella/subhorisontella struktur från markytan till ca 20-30 m djup, ofta med en mäktighet på ca 10-15 m. Denna typ av struktur sammanfaller ofta vid markytan med topografiska lågpunkter. Efter den första kampanjen har en av dessa strukturer blivit borrad i den norra profilen (FH21001; Figur 12 och

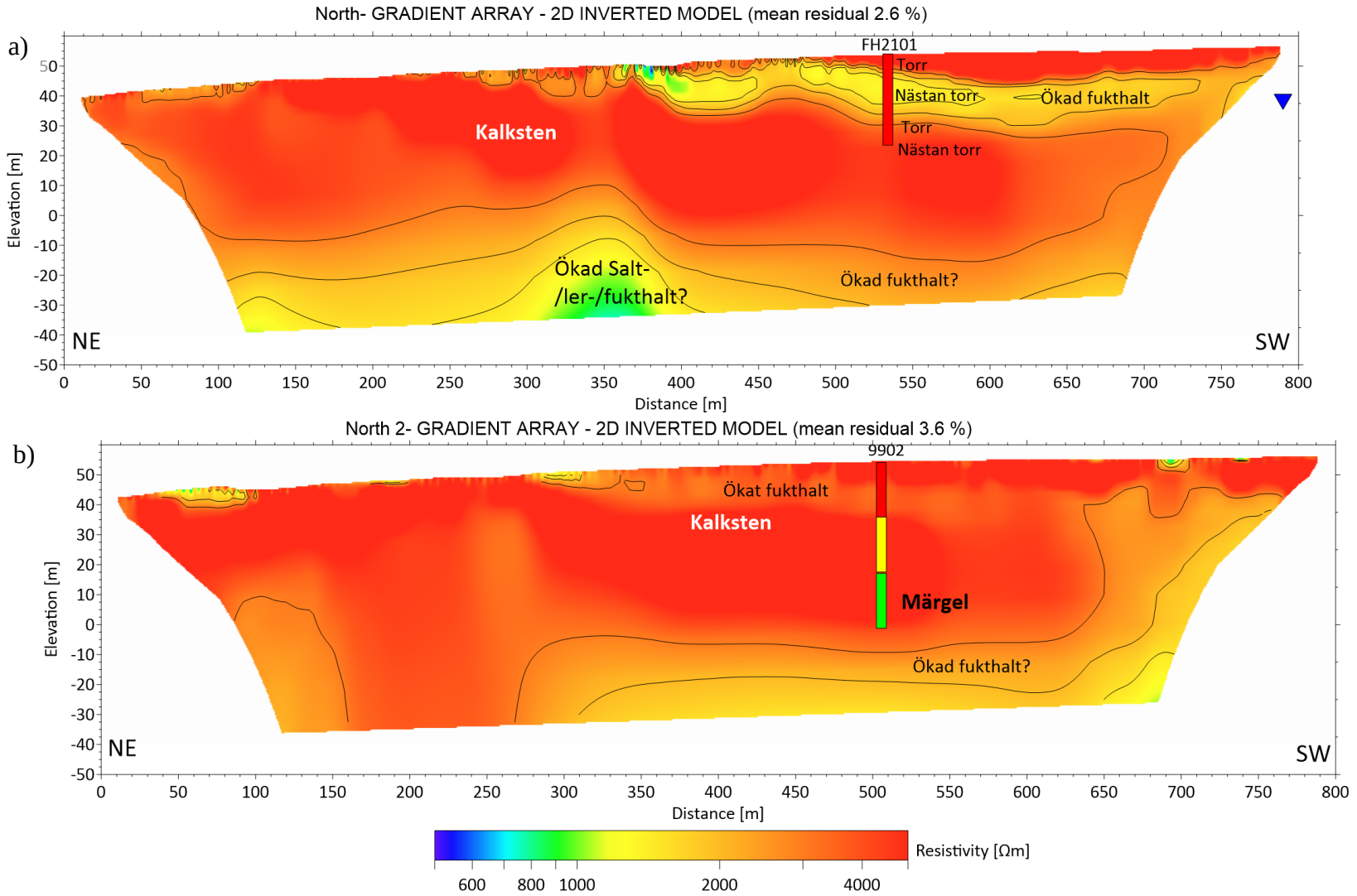
13). Den visar sig bestå av förhållandevis torr, grovkornig kalksten med något förhöjd fukthalt jämfört med borrsektionerna ovan och under anomalin. Resistiviteten varierar dock kraftigt (600-3000 Ωm) i olika delar i de västra och norra profilerna. I west 3 mättes förutom resistivitet, även simultant IP-effekten. De subhorisontella strukturerna saknar IP-effekt (west 3; Figur 14), vilket bekräftar att strukturerna består av liten eller ringa lermineral och resistivitetsanomalin utgörs av ökad vattenhalt i kalkstenen.

Anomalierna i den västra profilen utgörs av tre domliknande strukturer på mellan ca 40 till 60 m djup med en förhållandevis låg resistivitet (200-500 Ωm; Figur 13). Den tydligaste domen (vid profilavsnittet 160-250 m (Figur 13; West 1) har blivit borrad (FH21002; Figur 13 och 14) efter den första resistivitetskampanjen, där en lägre resistivitet tydligt sammanfaller med ökad ler-, salt- och vattenhalt i borrhålet. I den andra kampanjen mättes förutom en parallell profil (west 2), en tvärprofil för att avgränsa strukturen i väst-östlig riktning. Det visar sig att anomalin sammanfaller med en topografisk, linsformad struktur i terrängskuggningskartan (se Figur 21). Det är därför tydligt att denna anomali är förhållandevis välavgränsad i modellsektionerna och utifrån resistivitetsmodeller och borrningsresultat utgör denna struktur inte karst, utan snarare märgel med förhöjda ler och salthalter. Vissa leror har IP-effekt, men högre salt och vattenhalter kan även minska IP-effekten. Domen i den västra profilen saknar signifikant IP-effekt, däremot har den medelresistiva kalkstenen, väster om domen, en liten men signifikant IP-effekt (west 3; Figur 14b).

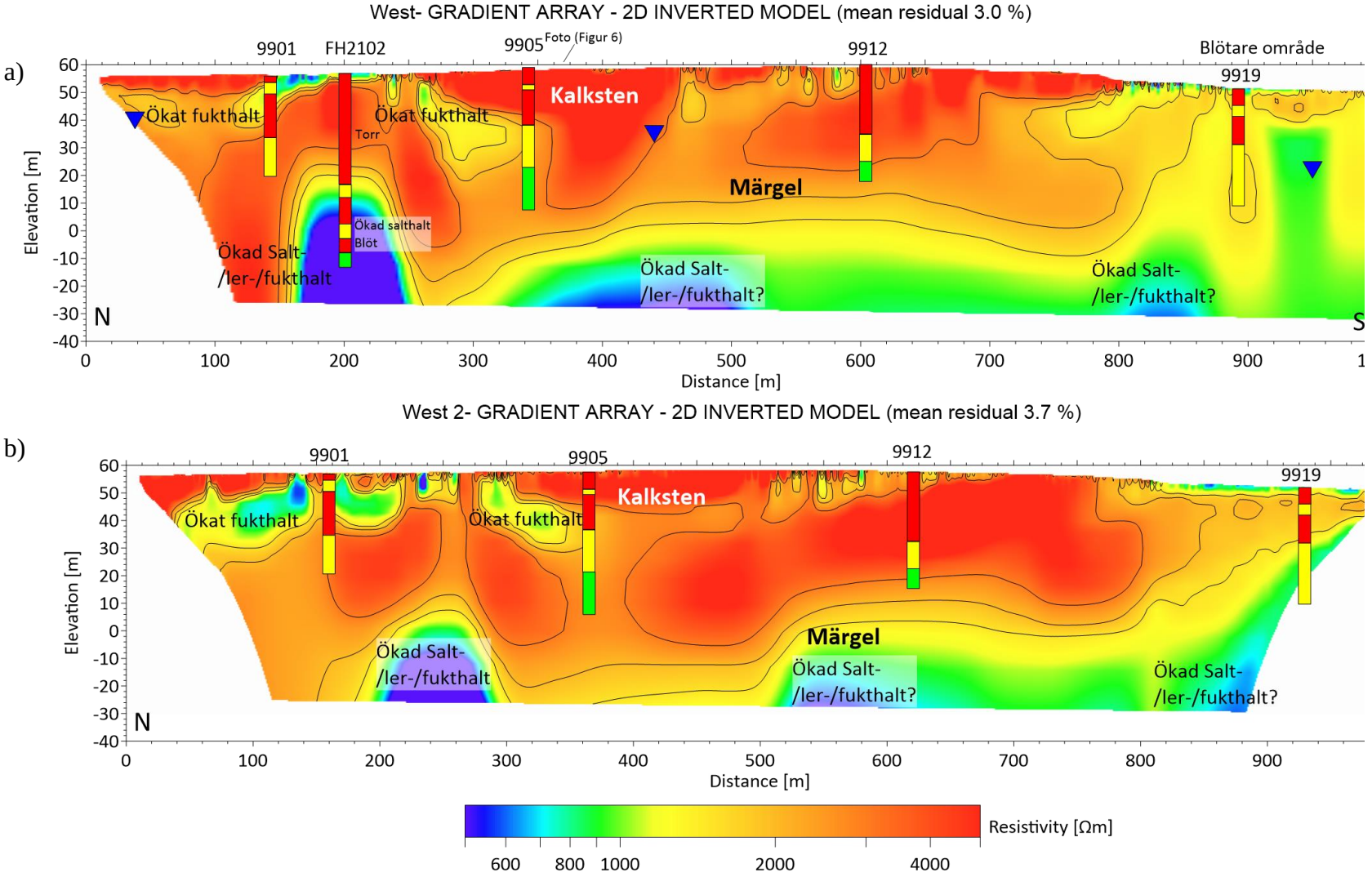
Modellerna för de södra profilerna är från profilstart till ca 900-1000 m generellt lågresistiva. De uppvisar flertalet mer lågresistiva strukturer. I syd 1 består dessa till stor del av tunnare, vertikala zoner, som uppstår på ett djup av ca 15-20 m som fortsätter mot djupet. Syd 2 är genomgående mer lågresistiv och består av mer ellipsformade zoner på ca 20 m djup. Strukturerna i de båda profilerna ser inte ut att sammanfalla med varandra, utan verkar vara mer isolerade företeelser. I öster blir båda modellsektionerna åter mer resistiva, vilket antyder lägre ler- och/eller vattenhalter. Allra längs i öster på Syd 1 skönjs en ytligt lågresistiv (<500 Ωm) struktur. Den tycks i modellen fortsätta mot djupet, vilket mest troligt är en inversionsartefakt. Profilslutet tangerar ett område med tydliga strandvallsstrukturer (Figur 3), men anomalin kan också ha sitt ursprung i ett stråk av moränlera som även den angränsar till området (Figur 4). Den identifierade topografiska strukturen/lineamentet i terrängskuggningskartan har ritats in i modellsektionerna (vertikal streckad linje; Figur 3) där den korsar de södra profilerna. Det finns ingen tydligt reducerad resistivitet i dessa delar av modellsektionerna och lineamentet utgör därmed mest troligt ingen vattenförande struktur (tex. sprickzon eller karstgång).

Den östra profilen (Figur 16a) ser ut att börja på en strandvall (Figur 16b). I den östra profilen finns två tydliga lågresistiva strukturer i kalkstenen. En brant, tunn struktur i profilavsnittet 70-125 m som stupar mot ONO. Anomalin är tydlig från ca 20 m djup, men kan ses ända upp mot markytan. I profilavsnittet 350-410 finns en tjockare, flackare struktur från markytan ner till ca 20 m djup som stupar mot VSV.

.

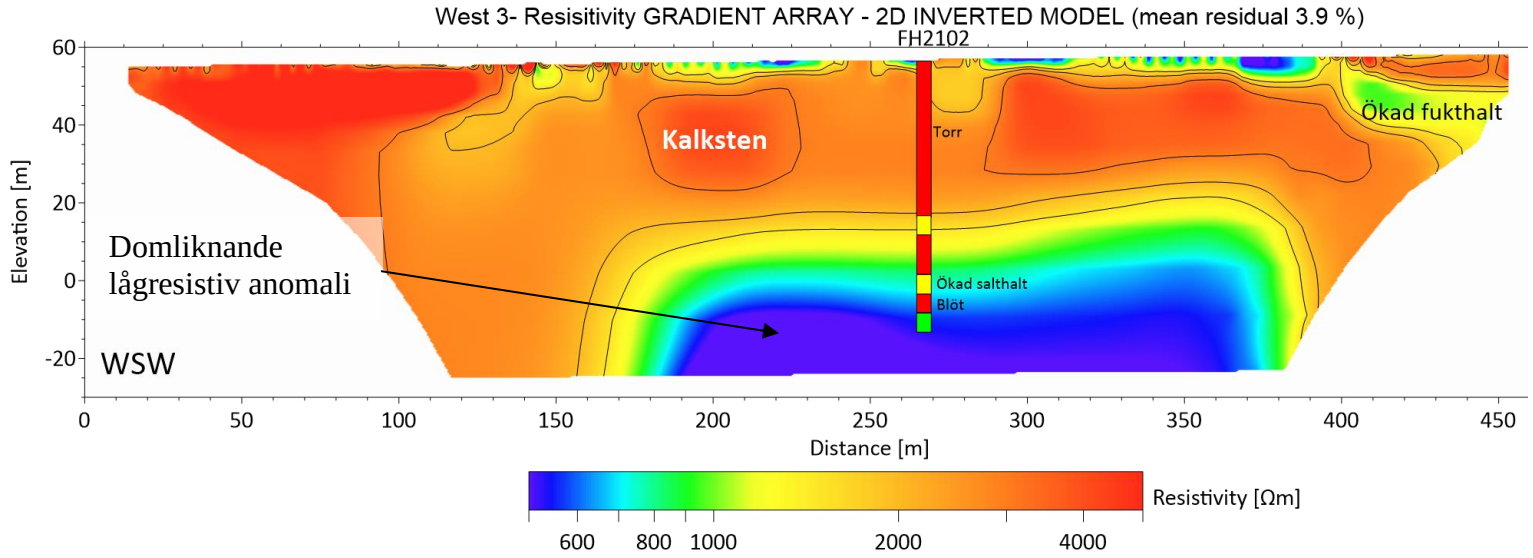


Figur 12. Vertikal modellsektion (RH2000) från de norra profilerna med tolkning. a) Den subhorisontella strukturen har blivit borrad sedan den första mätningen (FH2101). Den lågresistiva strukturen sammanfaller med ngt ökad fukthalt i denna sektion av borrhålet. b) Ny mätning i november (North 2). Sektionen är mer högresistiv. Borrhål 9902 med litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön).

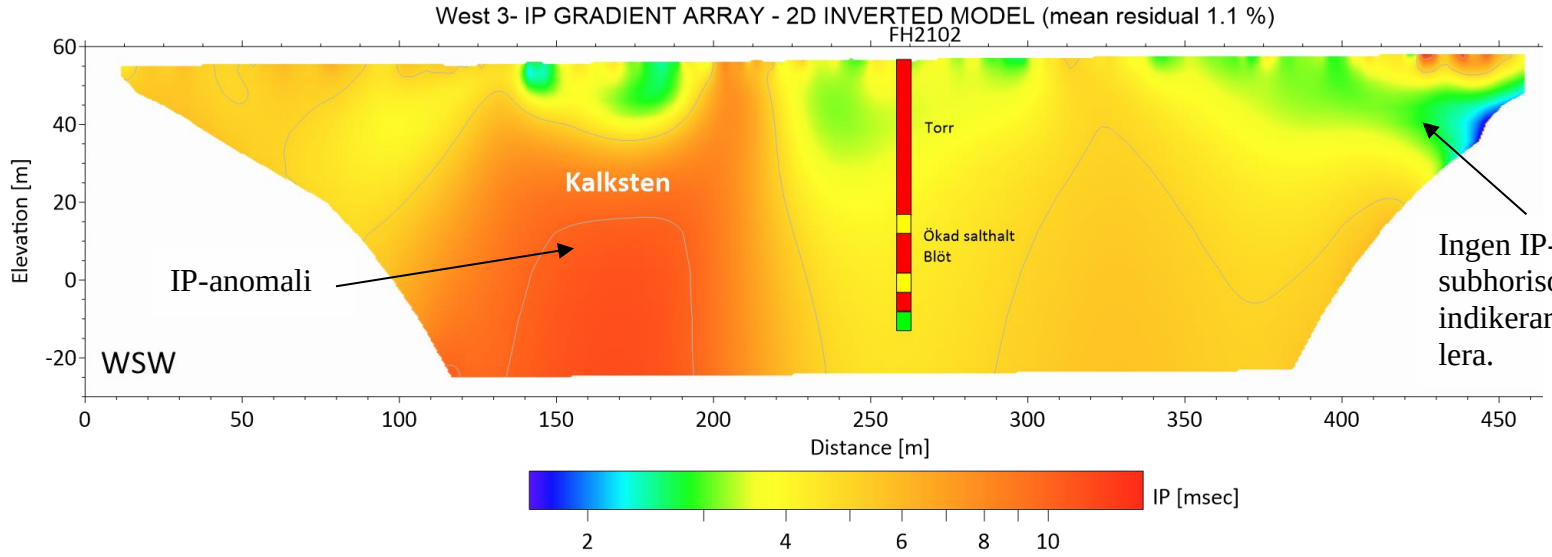


Figur 13. Vertikal modellsektion (RH2000) från a) Väst 1 och b) Väst 2 med tolkning. Borrpunkt FH2102 har borrats efter första kampanjen och tangerar väst 1 i profilkoordinat 200 m. Tidigare borrade borrhål 9901, 9905, 9912 och 9921 tangerar profilerna med litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön).

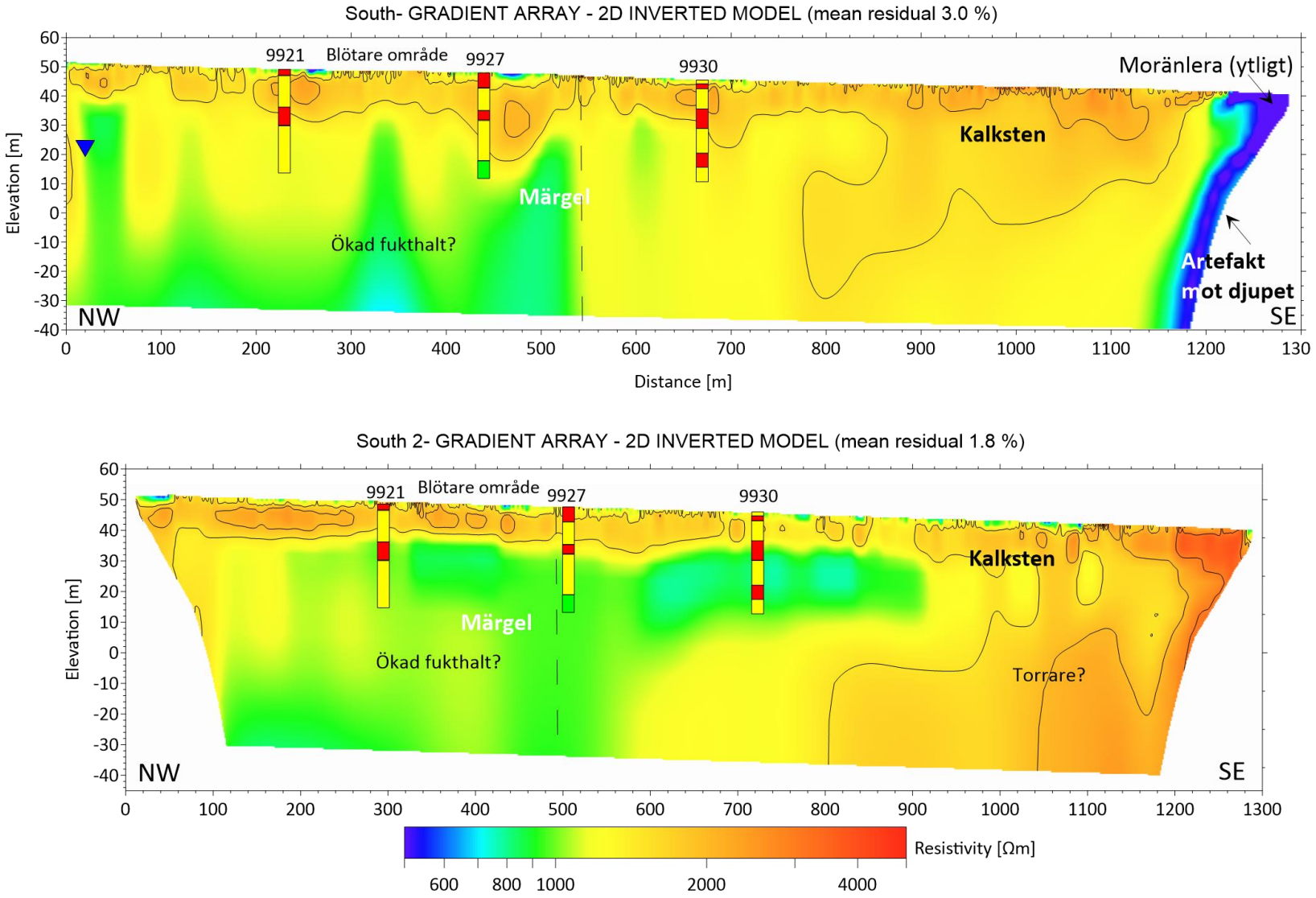
a)



b)

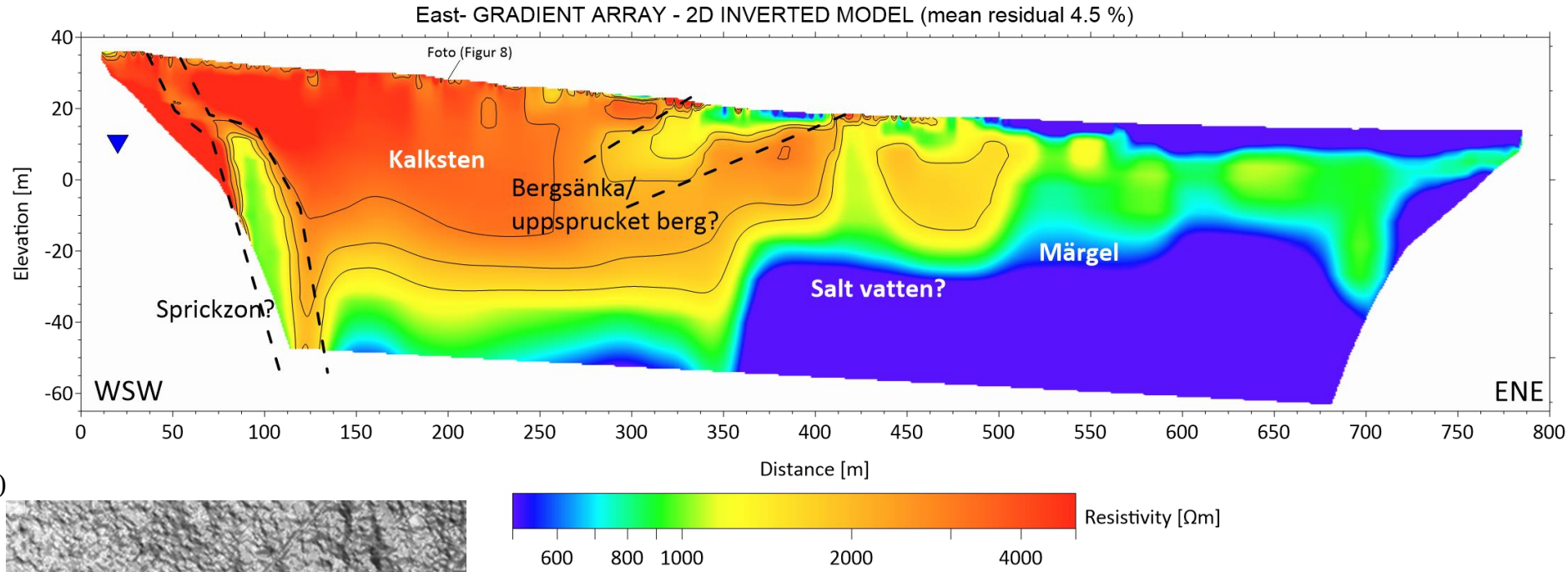


Figur 14. Vertikal modellsektion a) resistivitetsmodell. b) IP-modell. (RH2000) från West 3 profilen med tolkning. Borrpunkt FH2102 har borrats efter första kampanjen och tangerar profilen i koordinat 260 m. litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön).

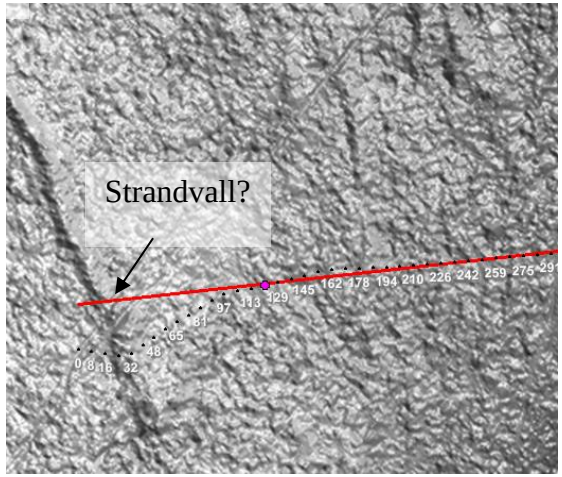


Figur 15. Vertikal modellsektion (RH2000) från profilerna a) södra 1 och b) södra 2 med tolkning. Borrhål 9921, 9927, och 9930 med litologisk information: Ren kalksten (0% lera; röd); lerig kalksten (25-50 % lera; gul) och märgel (50-100% lera; grön). Vertikal streckad linje visar identifierad topografiskt lineament i terrängskuggningskartan (Figur 3)

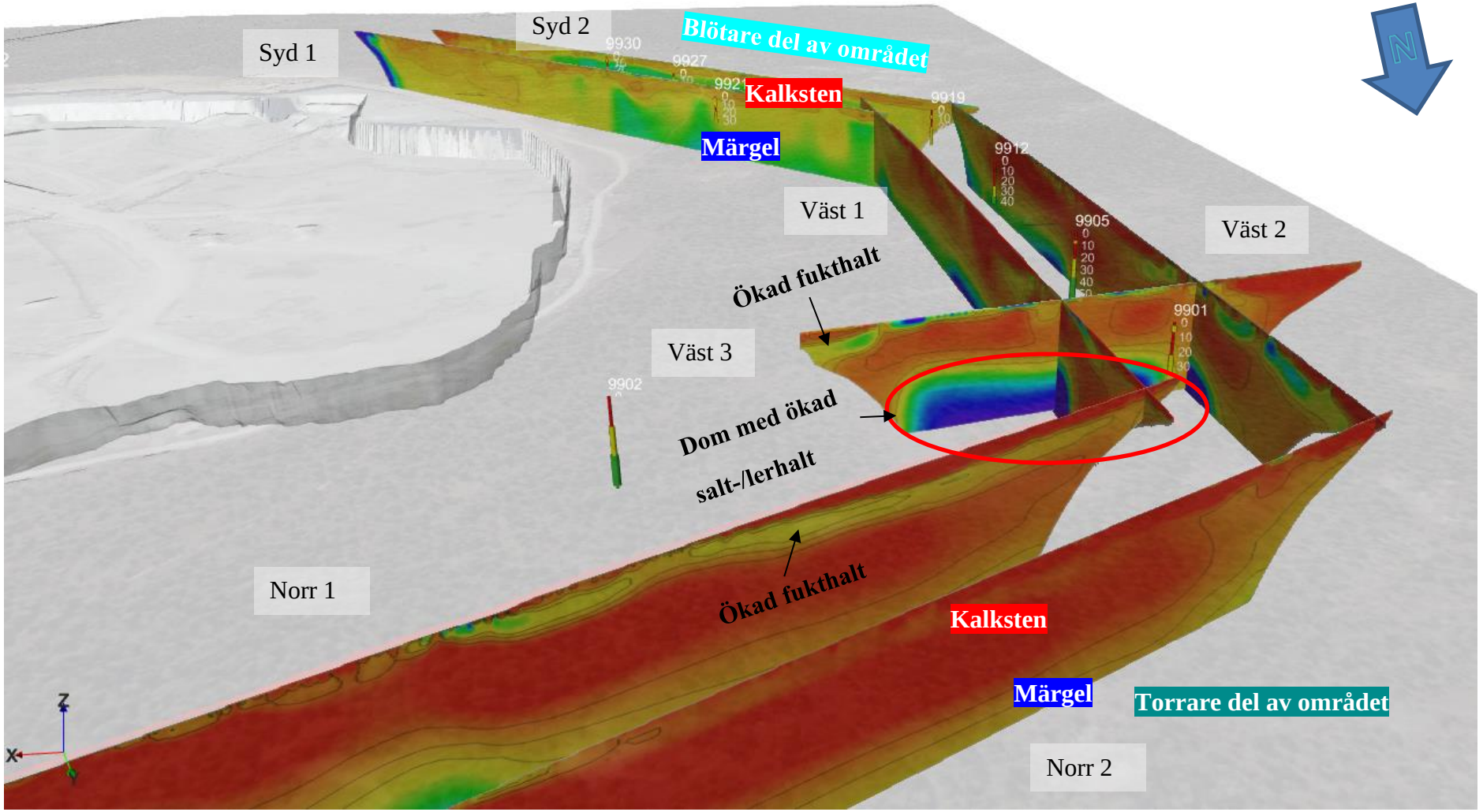
a)



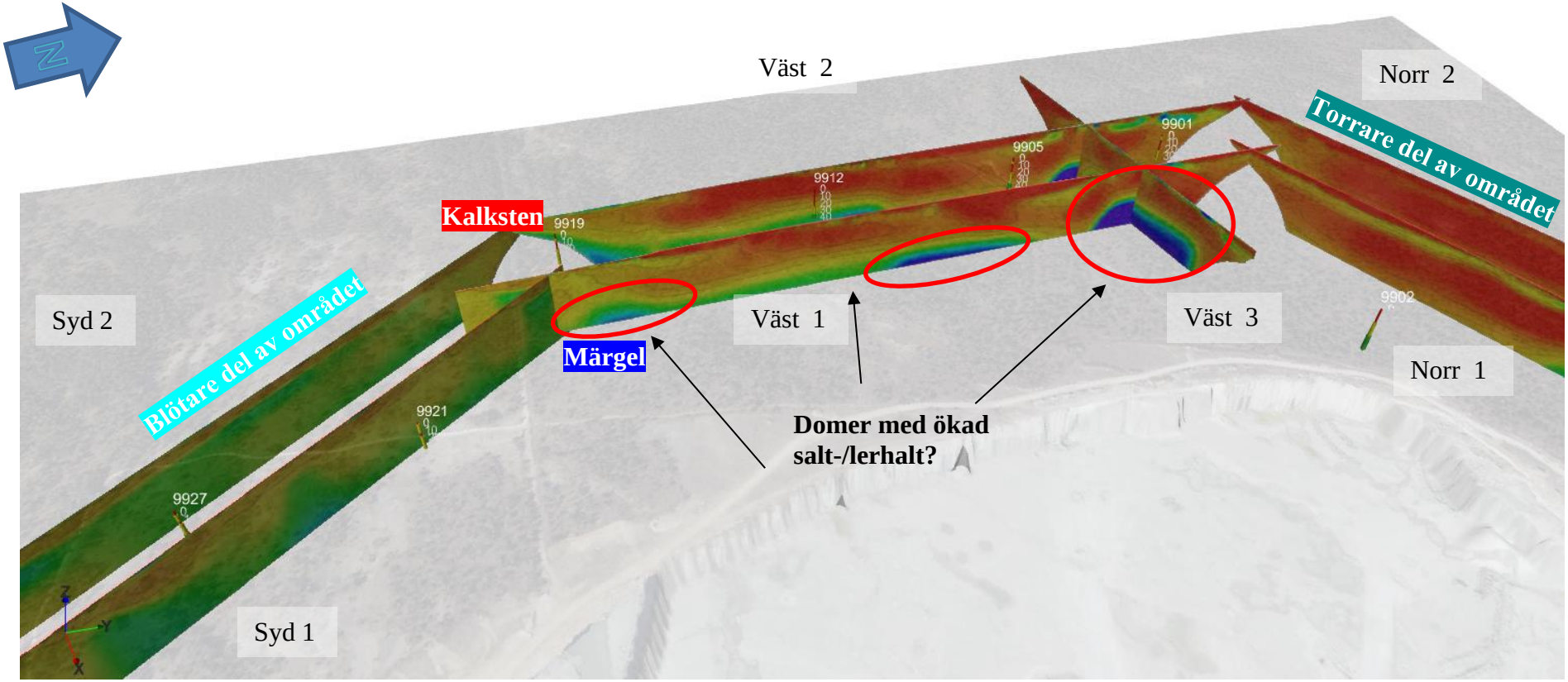
b)



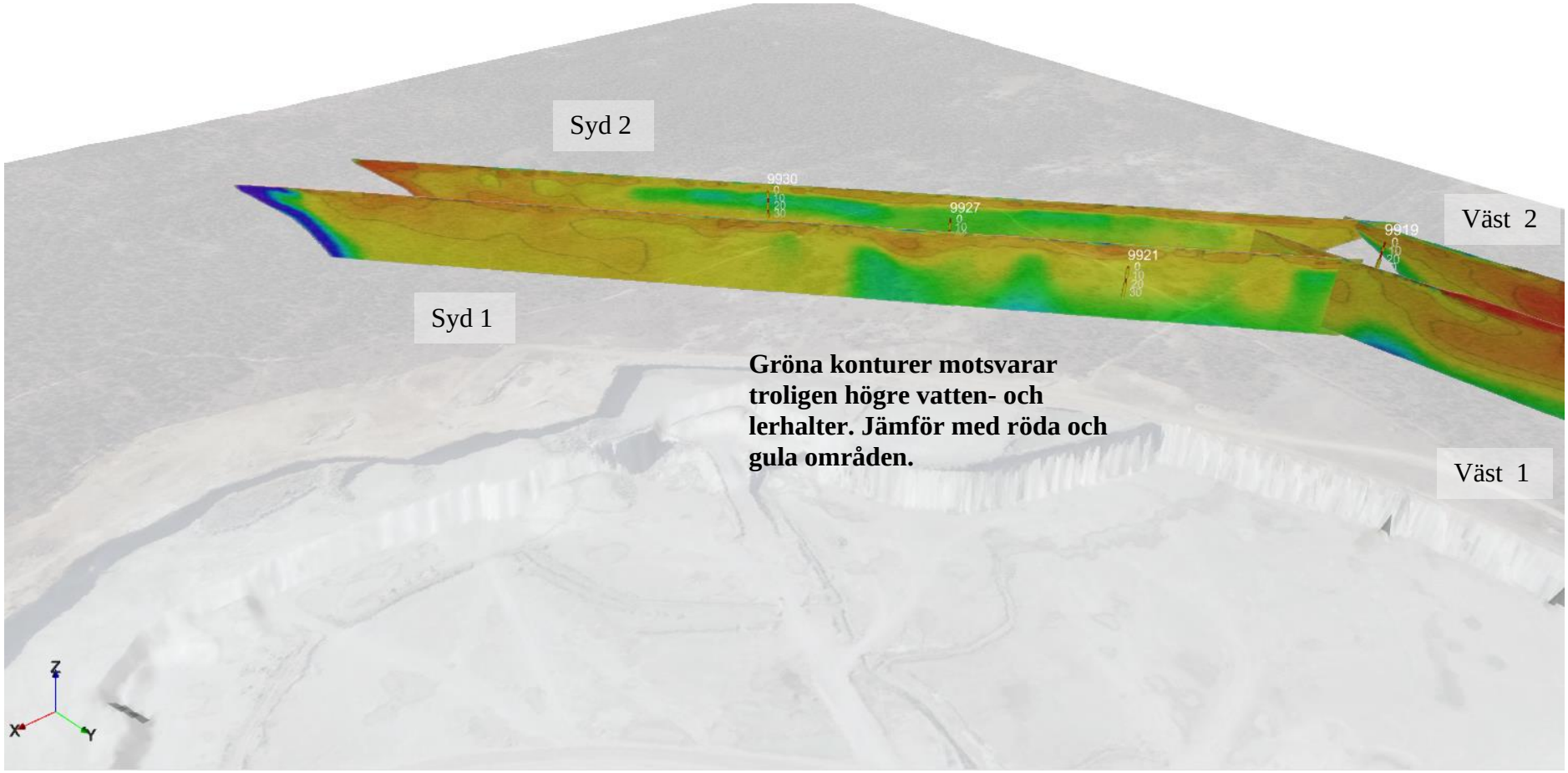
Figur 16. Vertikal modellsektion (RH2000) från östra profilen med tolkning. Aktuella grundvattennivåer (upp-och-nervända blåa trianglar) vid mättillfället. b) Infälld bild visar strandvallstruktur (i terrrängmodell) i början på profilen.



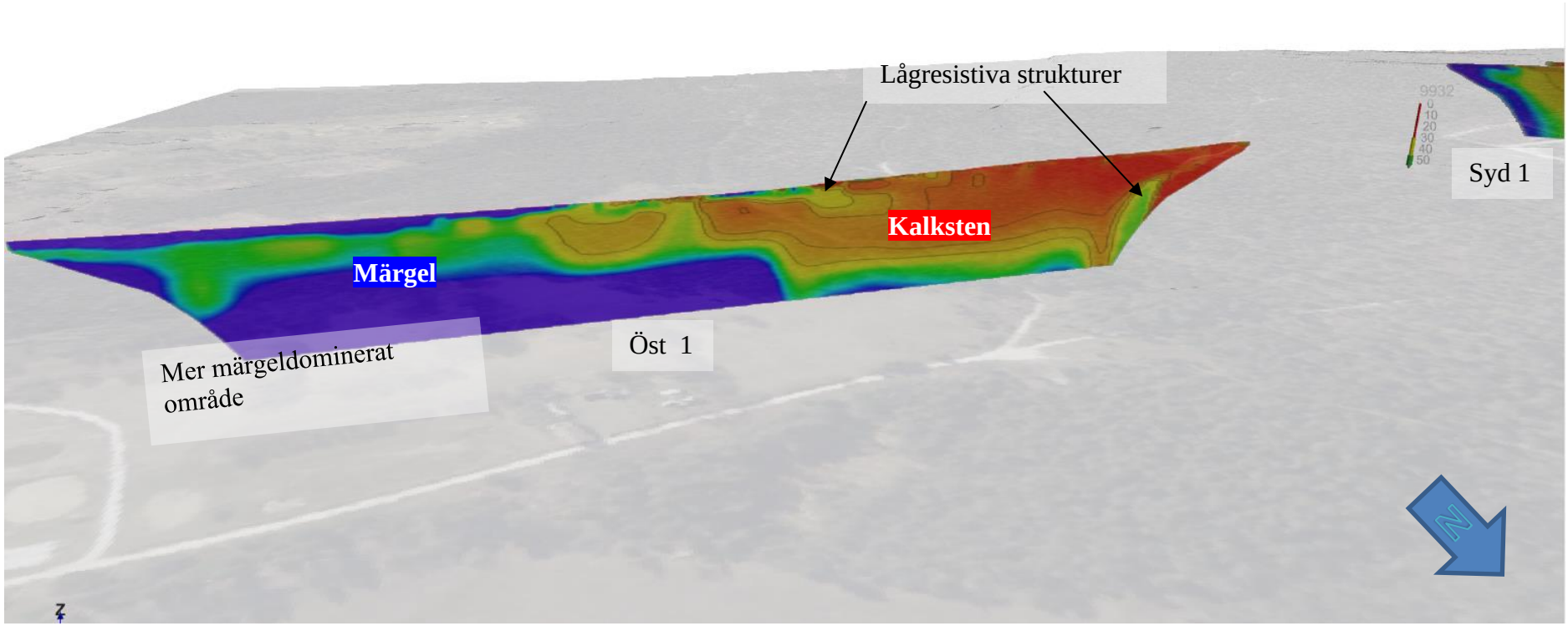
Figur 17. 3D-vy över modellerna, borrhål och tolkning med ortofoto draperad på en terrängmodell med samma färgskala som i figur 12-16.



Figur 18. 3D-vy över modellerna, borrhål och tolkning med ortofoto draperad på en terrängmodell.



Figur 19. Södra profilerna är genomgående mer lågresistiva än de västra och norra profilerna.



Figur 20. 3D-vy över modellerna, borrhål och tolkning draperad på ett ortofoto. Den östra delen av sektionen karakteriseras av mer lågresistiv märgel.

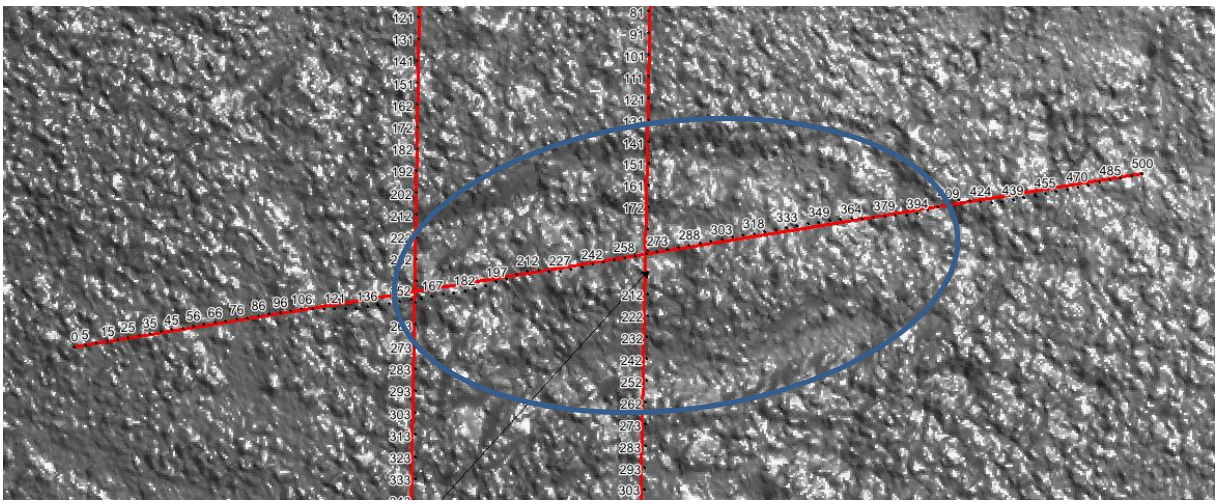
5 Diskussion, slutsatser och rekommendationer

Åtta resistivitetsprofiler på nästan 8 km har mätts in kring kalktäkten i Slite under två kampanjer i september och november 2021. Mätvärden är av god kvalité med låga standardavvikelser och inverterade resistivitetsmodellerna har ett lågt anpassningsfel (<5%; Figur 12-16) och har förhållandevis god samstämmighet i parallella profiler samt i skärningspunkter i korsande profiler, vilket medför att de är geologiskt trovärdiga.

Tolkningen har fokuserats på att identifiera och särskilja kalksten (högre resistivitet; röd-grön kontur; >900 Ωm) från märgel (orange till blå kontur; <1500 Ωm), samt identifiera möjliga karst-/sprickstrukturer i kalkstenen, dvs mer lågresistiva strukturer. Valet av färgkonturer medför att lågresistiva lager blir visualiserade som mer homogena (enfärgade) än de egentligen är. Berggrunden längs den norra och större delen av den västra profilen är generellt sett mer högresistiv än den södra profilen, vilket kan bero på att denna del av Filehajdar är torrare och/eller innehåller lägre halter av lermineral. Detta medför att det i modellsektionerna inte finns någon entydig gräns mellan kalksten och underliggande märgel och därmed ingen tydlig korrelation mot närliggande borrhål heller. Alla sektioner blir dock mer lågresistiva mot djupet.

Fem till sex tydliga lågresistiva anomalier har identifierats i resistivitetsmodellerna i den norra, västra och i den östra profilen, samt ett flertal mindre distinkta anomalier i de södra profilerna.

Anomalierna i den västra profilen utgörs av tre domliknande strukturer på mellan ca 40 till 60 m djup med en förhållandevis låg resistivitet (200-500 Ωm; Figur 13 och 18). Den tydligaste domen (vid profilavsnittet 160-250 m (Figur 13; West 1) har blivit borrad (FH21002; Figur 13 och 14) efter den första resistivitetskampanjen, där en lägre resistivitet tydligt sammanfaller med ökad ler-, salt- och vattenhalt i borrhålet. I den andra kampanjen mättes förutom en parallell profil (west 2), en tvärprofil för att avgränsa strukturen i väst-östlig riktning. Det visar sig att anomalin sammanfaller med en topografisk, linsformad struktur i terrängskuggningskartan (se Figur 21). Det är därför tydligt att denna anomali är förhållandevis välavgränsad i modellsektionerna och utifrån resistivitetsmodeller och borrningsresultat utgör denna struktur inte karst, utan snarare märgel med förhöjda ler och salthalter.



Figur 21. Förstoring av terrängskuggningskartan (med profilkoordinater) i området kring den lågresistiva domen i den västra profilen. Blå ellips sammanfaller med utbredningen av den lågresistiva domen.

I de norra och västra profilerna återfinns en eller flera mer ytliga, horisontella/subhorisontella struktur från markytan till ca 20-30 m djup, ofta med en mäktighet på ca 10-15 m. Denna typ av struktur sammanfaller många gånger vid markytan med topografiska lågpunkter. Efter den första kampanjen har en av dessa strukturer undersökts med borrning i den norra profilen (FH21001; Figur 12 och 13). Den visar sig bestå av förhållandevis torr, grovkornig kalksten med något förhöjd fukthalt jämfört med borrsektionerna ovan och under anomalin. Dessa strukturer skulle dock kunna utgöra dräneringsvägar för ytligt grundvatten.

I den östra profilen finns två tydliga lågresistiva strukturer i kalkstenen. En brant, tunn struktur i profilavsnittet 70-125 m som stupar mot ONO. Anomalin är tydlig från ca 20 m djup, men kan ses ända upp mot markytan. I profilavsnittet 350-410 finns en tjockare, flackare struktur från markytan ner till ca 20 m djup som stupar mot VSV.

Modellerna för de södra profilerna karakteriseras av flertalet mer lågresistiva strukturer. I syd 1 består dessa till stor del av tunna, vertikala zoner på ett djup av ca 15-20 m som fortsätter mot djupet. Syd 2 är genomgående mer lågresistiv och består av mer ellipsformade zoner på ca 20 m djup. Dessa strukturer ser inte ut att sammanfalla med varandra, utan verkar vara mer isolerade företeelser. Skillnaden i resistivitet mellan dessa zoner och omgivande berg är nästan försumbar (några hundra Ωm), dvs dessa anomalier bör inte utgöra några större karst-/sprickformationer. Den generella skillnaden i resistivitet mellan Syd 1 och Syd 2 skulle kunna spegla magasineringsgraden i kalkstenen. Detta måste dock verifieras med återkommande mätningar på samma plats och längs med samma profil.

5.1 Rekommendationer

Resistivitetsundersökningarna under två kampanjer (i september och i november) visar på samstämmiga modellsektioner i de norra och västra profilerna. I den södra delen finns dock en tydlig generell sänkning av resistiviteten i syd 2 jämfört med syd 1. Detta kan bero på platsspecifika skillnader (de parallella profilerna är ca 100 m ifrån varandra), men kan också ha sin grund i olika mättnadsgrader i magasinet. Genom tidserier (upprepade mätningar) av resistivitetsundersökningar (på samma plats eller längs med samma profil) kan årstidsvariationer i magasineringsgraden i kalkstenen estimeras.

Borrning längs med norra (FH2101) och västra (FH2102) profilerna har gett ökad förståelse av de lågresistiva strukturernas ursprung. Det står klart att dessa strukturer inte utgör större sprick/grottsystem, men kan likväl ha hydraulisk betydelse i grundvattnets rörelser i Filehajdar. Magnetisk resonanssondering (MRS) fungerar enligt samma princip som en magnetkamera och mäter det fria vattnet i marken och kan även avgöra om grundvattnet uppehåller sig i ett poröst material (kalksten) eller fritt (karst). MRS-mätningar på väl valda delar längs med norra, västra och södra profilerna kan även visa vilka delar som är mer vattenförande än andra i området.

6 Leverans

- ✓ Rapport med karta över mätprofiler, modellerade sektioner, resultat och kortfattad utvärdering.
- ✓ GIS-lager med utmärkta profiler/profilkoordinater levereras som shapefiler (*.shp, *.klm; Sweref99TM).

BILAGA C

Hydrogeologisk fältrapport mars 2022

RAPPORT

Fältrapport 2022

Hydrauliska undersökningar runt File Hajdar kalkstenstäkt

Framställd för:

Cementa AB

Insänd av:

Golder Associates AB

Lilla Bommen 6

SE-411 04, Gothenburg, Sweden

+46 31 700 82 30

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND OCH SYFTE 1

2.0 METODIK 1

2.1 Nya borrhål 1

2.2 Undersökningspunkter 2

2.3 Borrhålsloggning 3

2.3.1 Processen för borrhålsloggning 4

2.3.2 Kalibrering och tolkning av data 4

2.3.3 Beräkning av transmissivitet 4

2.3.4 Högfrekvenstemperatur, elektrisk konduktivitet och beräkning av salthalt 5

2.4 Enhålspumptest 6

2.5 Slugtester 6

2.6 Temperaturobservationer 6

2.7 Jordprover och hydraulisk konduktivitet 7

2.8 Borrhålsprovtagning 8

2.9 Grundvattennivåer 9

3.0 RESULTAT 9

3.1 Borrhålsloggning 9

3.1.1 Kalibrering av spinner flödeslogger 10

3.1.2 Beräkning av transmissivitet 10

3.1.3 Beskrivning av borrhålsloggar 12

3.1.4 Temperatur och elektrisk konduktivitet 14

3.1.5 Beskrivning av temperatur, elektrisk konduktivitet och beräknad salthalt 15

3.2 Pumptester 16

3.3 Slugtester 17

3.4 Temperaturobservationer 18

3.5 Jordprover och hydraulisk konduktivitet 21

3.6 Borrhålsprovtagning 22

4.0 SLUTSATS 23

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1: Data för testade borrhål. Koordinater i Sweref 99 TM och RH2000. 2

Tabell 2: Tabellen visar djup för sektioner loggade under steg 2 samt 3 och flöden under steg 3. 9

Tabell 3: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och beräknade flöden (% av totalflödet samt L/min) vid opåverkade (steg 2) och pumpade (steg 3) förhållanden 11

Tabell 4: Beräknade totala transmissiviteter för borrhål baserat på Ekvation 1 & ekvation 2. 11

Tabell 5: Transmissivitet för enskilda sprickor eller sprickzoner identifierade med flödesloggning och beräknade med Ekvation 3 12

Tabell 6: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och deras uppmätta temperatur och elektriska konduktivitet i opåverkade och pumpade förhållanden. Viktigt att notera är att SGU2017 och Kyrkebys 1:12 loggades med CTD-diver och inte med en FTC-sond. Värden inom parentes är elektrisk konduktivitet vid 25˚C. 14

Tabell 7: Utvärderad transmissivitet och magasinskoefficient från pumptester. 17

Tabell 8: Utvärderad hydraulisk konduktivitet från enhålstester. 18

Tabell 9: Utvärderade hydrauliska konduktiviteter för tagna jordprover enligt Gustafsons metod. 22

Tabell 10: analysresultat av kloridinnehåll av tagna vattenprover. 22

Tabell 11: Resultat av borrkaxprover tagna var femte meter i BH2101. 22

Tabell 12: Resultat av borrkaxprover tagna var femte meter i BH2102. 23

Tabell 13: Transmissivitet för enskilda sprickor eller sprickzoner identifierade med Spinner flödesloggning och beräknade med Ekvation 1, 2 & 3 och utvärderat med AQTESOLV. 24

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1: Översikt över aktuella borrhål som undersöktes hösten 2021 och vintern 2022 och de planerade borrhål som ska borras under 2022. 2

Figur 2: Till vänster: utströmmande grundvatten syntes tydligt på istäckta vätar med ett tunt snötäcke. Mitten: temperaturlogger placerades i punkter med tydlig grundvattenutströmning. Till höger: vid utströmning ur jordlager gjordes en liten grop innan mätning. 7

Figur 3: Visar var jordproverna är tagna i anslutning till natura 2000 området. 8

Figur 4: Grafen visar hur ”Counts per second” (CPS), på x-axeln varierar med nedsänkningshastighet. I textrutan framgår R^2 samt kalibreringskoefficienter som användes för utvärdering av flödesloggning i samtliga borrhål. 10

Figur 5: Temperatur i BH1801B, SGU1101, BH1801–03J, BH1905+06J och VK1802. 19

Figur 6: Uppmätta vattentemperaturer den 1–3 februari 2022. 20

Figur 7: siktkurvor för tagna jordprover. Proverna GA03 och GA04 har analyserats med sedimentationsanalys för kornstorlek>0,065mm. 21

BILAGOR

BILAGA A
Utvärderade borrhålsloggar

BILAGA B
Fältprotokoll Flödesloggning

BILAGA C
Diverkurvor och utvärdering i AQTESOLV

BILAGA D
Borrprotokoll

BILAGA E
Nivåobservationer

1.0 BAKGRUND OCH SYFTE

Inför Cementa AB:s (Cementa) ansökan om tillstånd till fortsatt och utökad täkt- och vattenverksamhet i Västra brottet, Östra brottet och File hajdar-täkten har Golder Associates (Golder) genomfört hydrogeologiska undersökningar. Golder är sedan februari 2022 en del av WSP men som förtydligande är det är alltså samma projektorganisation som arbetat vidare. Undersökningarna har genomförts som ett komplement till de undersökningar som tidigare genomförts inför dels 2017 års ansökan om tillstånd, dels 2021 års ansökan om tillstånd.

Syftet med de hydrogeologiska undersökningarna var att stärka den konceptuella geologiska modellen och ytterligare minska osäkerheterna i områdets hydrogeologiska funktion. Denna fältrapport beskriver hur de hydrogeologiska fältundersökningarna har genomförts under hösten 2021 och vintern 2022. Rapporten redovisar resultatet av de utförda hydrogeologiska undersökningarna och är ämnad som en bilagerapport till *Hydrogeologisk utredning inför ansökan om tillstånd till täktverksamhet, WSP 2022*.

2.0 METODIK

2.1 Nya borrhål

Sammanlagt 11 nya borrhål har borrats under perioden oktober 2021 – februari 2022 för att ytterligare öka den hydrogeologiska kunskapen om området, varav 9 av dem har testats. Samtliga borrningar är utförda av Ahlqvists brunnsborrning med 115 mm hammarborrning.

Flera geofysiska undersökningar genomfördes under hösten 2021 utav GeoVista (GeoVista, 2021). Efter den första omgången av geofysiska undersökningar borrades två nya borrhål (BH2101 och BH2102) längst profilernas sträckning mot identifierade lågresistiva anomalier.

Två nya 60 m djupa borrhål (BH2103 och BH2104) borrades längre västerut på File hajdar inom områden där borrhål historiskt sett har saknats och där SGU:s geofysiska modell (SGU, 2017a) indikerar revkalksten. Syftet med dessa hål är därmed att undersöka om den hydrauliska konduktiviteten och dess fördelning skiljer sig åt i revkalkstenen och i märgelstenen samt att erhålla ytterligare mätpunkter för nivå i dessa geologiska förhållanden. I båda dessa borrhål installerades permanentmanschetter på ca 40 m djup för att kunna mäta vattennivåer både i bergets övre del (3–39 m u my) och på djupet (40–60 m u my).

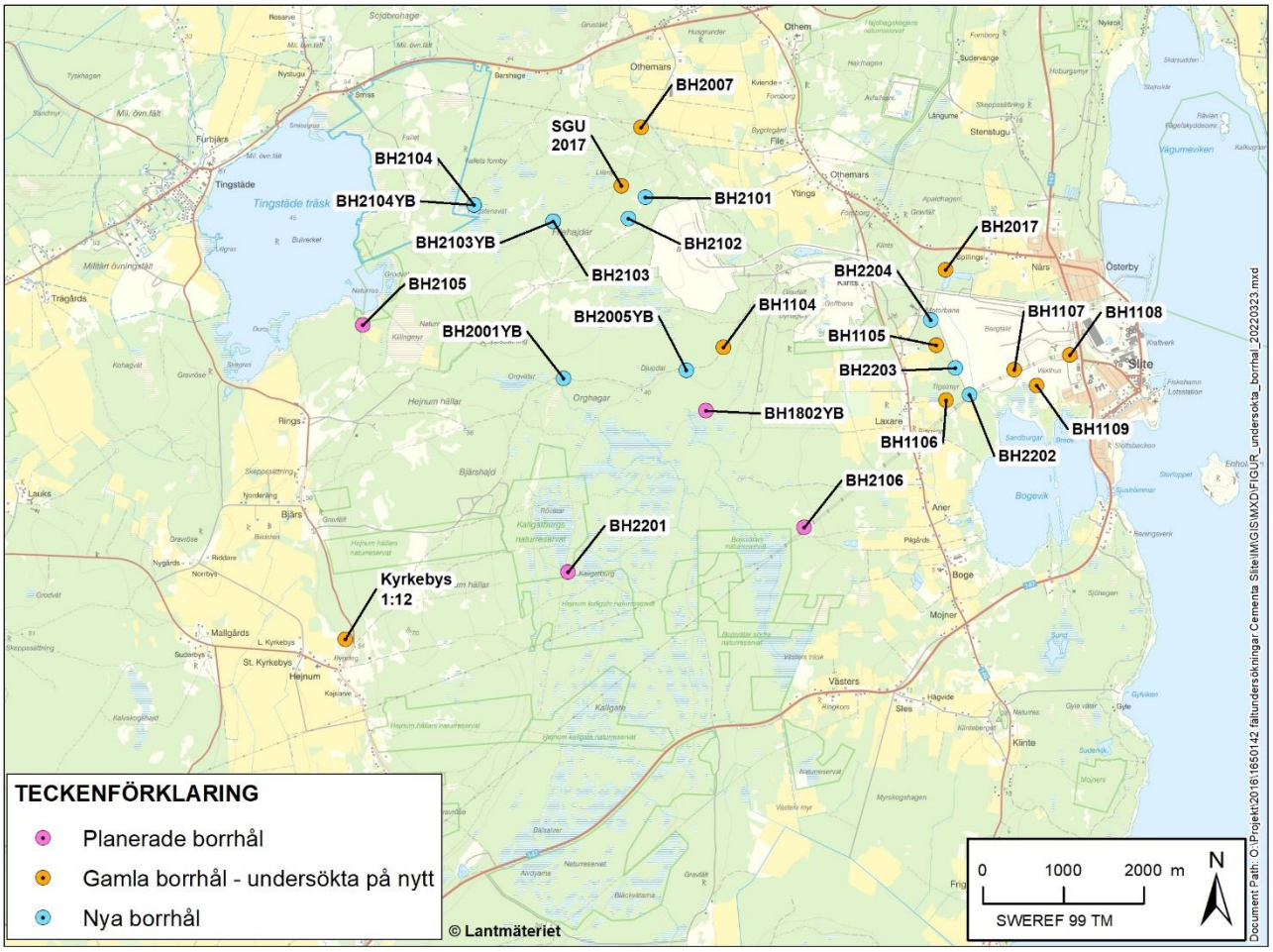
Det har konstaterats att ytberget ställvis är påtagligt ytuppsprucket. Baserat på tolkningar från fältobservationer är detta framförallt är kopplat till områden med ren kalksten eller revkalksten och förekommer inte i samma grad i märgelstenen. Även SGU har i sitt arbete noterat förekomsten av ytuppsprucket berg och framförde önskemål om borrhål för undersökning av detta under samrådsprocessen. I anslutning till 4 andra borrhål borrades därför ytliga bergborrhål för att studera bergets översta ca 2 meter. Befintliga djupa bergborrhål är som standard installerade med ca 3 m foderrör. De ytliga bergborrhålen är benämnda utifrån vid vilket borrhål de är placerade, men med ett YB som suffix. Borrhålen BH2103YB och BH2104YB är placerade i revkalkstenen i nordväst. Borrhålen BH2001YB och BH2005YB är placerade längs den södra kanten av File hajdar höjdparti. Borrhål BH2001YB sitter i märgelsten, men borrhålets geologi kan inte tydligt avgöras då SGU:s geofysiska modell (SGU, 2017a) indikerar att röret sitter i kanten av en revstruktur som sträcker sig från markytan ner till ca 0 m.ö.h. och ett jordlager täcker berget på platsen.

Vid borrhål BH2007, som borrades 2020 indikerar SGU:s geofysiska modell att revkalkstenen når ner till ca -10 m.ö.h. Röret har även uppvisat ett nivåmönster som tydligt avviker från rör som har borrats ner i märgelstenen runt File hajdar-täkten. Av denna anledning fördjupades BH2007 med 20 m, till nivån -22 m.ö.h. för att undersöka underliggande märgelsten. Efter ytterligare borrhålsloggning installerades permanentmanschett på ca 40 m djup för att kunna mäta vattennivåer både i bergets övre del (3–39 m u my) och på djupet (40–60 m u my).

Längs Västra brottets västra kant planeras en ridåinjektering på en sträcka av ca 1,5 km för att minska inläckaget av grundvatten. För att följa upp effekten på grundvattennivån bakom injekteringsridån har ytterligare 3 kontrollborrhål utöver de två som redan finns längst sträckan borrats. På grund av pandemin var endast ett borrhål (BH2202) borrat vid tidpunkten för övriga tester. De två andra (BH2203 och BH2204) har kunnat borras efter tidpunkten för de övriga testerna. Samtliga hål har dock instrumenterats för nivåövervakning.

2.2 Undersökningspunkter

Undersökningar har genomförts i flera borrhål, båda gamla och nya borrhål, runt File hajdar-täkten och Västra brottet. De borrhål som har testats redovisas i Figur 1.



Figur 1: Översikt över aktuella borrhål som undersöktes hösten 2021 och vintern 2022 och de planerade borrhål som ska borras under 2022.

Tabell 1: Data för testade borrhål. Koordinater i Sweref 99 TM och RH2000.

ID	Northing	Easting	Nivå (markyta, m)	Uppstick (m)	Borrat djup (m)
SGU2017	6404865	720288	56,03	0,15	80,0
Kyrkebys 1:12	6399236	716861	54,02	0,05	48,0

ID	Northing	Easting	Nivå (markyta, m)	Uppstick (m)	Borrat djup (m)
BH1104	6402861	721561	43,47	44,04	63
BH1105	6402890	724202,8	10,83*	11,13*	38
BH1106	6402201	724321,3	4,82*	5,12*	36
BH1107	6402579,79	725169,27	6,0*	6,4*	25
BH1108	6402762,882	725859,305	5,0*	5,4*	32
BH1109	6402388,76	725448,671	6,0*	6,4*	36,7
BH2001YB	6402474,65	719575,238	42,66*	43,26*	3,1
BH2005	6402575	721094,7	39,22	39,4	40
BH2005YB	6402573,206	721099,902	39,22*	39,82	3,3
BH2007	6405588,79	720532,56	40,27	0,22	60
BH2017	6403826	724318,4	7,55	0,25	20
BH2101	6404720,9	720589,7	54,79	0,27	30,0
BH2102	6404457,28	720376,49	58,11	0,22	70,0
BH2103	6404427,55	719444,47	59,0*	59,3*	60,0
BH2103YB	6404427,54	719442,47	59,0*	59,5*	2,98
BH2104	6404627,577	718458,63	53,0*	59,3*	60,0
BH2104YB	6404627,57	718460,63	53,0*	53,4*	2,74
BH2202	6402269,364	724614,207	5,29	5,68	54
BH2203	6402604,853	724435,624	8,33	8,56	50
BH2204	6403198,103	724132,4	7,82	8,17	63

*uppskattade nivåer.

2.3 Borrhålsloggning

Om ett borrhål borrats i en heterogen bergmassa förekommer ofta flöden mellan olika vattenförande strukturer i kontakt med borrhålet. Genom att mäta vattentemperatur, elektrisk konduktivitet och strömning genom spinner-flödesloggning (SFL) kan en bättre bild av borrhålet erhållas under opåverkade (ej pumpade) och påverkade (pumpade) förhållanden. Loggning i opåverkade förhållanden identifierar de huvudsakliga in- och utflödeszoner i borrhålet och ger en bild av hur vattnet flödar naturligt i borrhålet. Genom att logga under pågående pumptest kan därmed transmissiviteten för respektive vattenförande struktur kvantifieras.

En mer ingående metodbeskrivning finns att läsa i rapporten ”undersökning av bergets hydrauliska egenskaper med flowlogger” (Golder, 2020a).

2.3.1 Processen för borrhålsloggning

Proceduren för att genom föra en borrhålsloggning kan summeras enligt följande:

- Steg 1 – Innan borrhålsloggningen genomförs testas om eller hur stor del av borrhålets djup är åtkomligt. Detta görs genom att en så kallad ”dummy probe” sänks ned i borrhålet.
- Steg 2 – Mätning av vattnets parametrar, konduktivitet och temperatur (FTC) genomförs samt spinner-flödesloggning (SFL) genomförs under opåverkade (opumpade) förhållanden. Nivåer för huvudsakliga in- och utflöden längs borrhålsprofilen identifieras.
- Steg 3 – Mätning av vattnets parametrar: konduktivitet och temperatur (FTC) genomförs. Spinner-flödesloggning (SFL) genomförs under påverkade (pumpade) förhållanden, genom att pumpa ut vatten ur borrhålet skapas ett inflöde till borrhålet. På så sätt kan transmissiviteten (genomsläppligheten) för olika sprickor/zoner kvantifieras.

2.3.2 Kalibrering och tolkning av data

Värden uppmätta med flödesloggning påverkas av borrhålsgeometri såväl som av viskositet och densitet för borrhålsvätskan.

För att ta fram flödesloggerns responskurva sänks och hissas den med 3 olika konstanta hastigheter ned och upp i grundvatten i foderrör med känd diameter. Ett genomsnittligt värde för varv per sekund och faktisk hastighet beräknas för varje vald hastighet och plottas mot varandra. Genom enkel linjär regression tas funktionen för hur sondens hastighet påverkar det uppmätta CPS (counts per second) fram.

För att utvärdera borrhålsloggningsdata användes mjukvaran WellCAD 5.4.

2.3.3 Beräkning av transmissivitet

Transmissiviteten för hela borrhålet T_{bh} kan beräknas med hjälp av data från de pumpade förhållandena (steg 3). Transmissiviteten beräknades med hjälp av två olika formler. Thiems (eller Depuits) formel (Thiem 1906, Marsily 1986) and Moyes formel (Moye 1967). Båda dessa formler bygger på antagandet att radiellt (cylindriskt) flöde råder samt att flöden kring ”brunnen” (borrhålet) är konstanta för den avsedda perioden (steady-state). Thiems formel (Ekvation 1) skrivs:

$$T_{bh} = \frac{Q}{2\pi(h_0 - h_{1)}} ln\left(\frac{R}{r_0}\right)$$

Där:
Q är det flöde som pumpas ur borrhålet (m^3/s)
h_0 är grundvattentrycknivån före pumpning påbörjas (meter över havet)
h_1 är grundvattentrycknivån vid stabila (steady state) pumpade förhållanden (meter över havet).
R är radien för borrhålets influensarea (m).
r_0 är brunnens (borrhålets) radie (m).

Kvoten (R/r_0) valdes till 500, vilket innebär ett värde för R på cirka 30 m och att specifik kapacitet $Q/(h_0 - h_1)$ kan användas som proxy för transmissiviteten.

För Moyes formel antas cylindriskt flöde nära borrhålet (till avståndet $r = L/2$, där L är längden för testsektionen) och sfäriskt längre bort. Med testsektionen avses här avståndet från grundvattentrycknivån vid opåverkade förhållanden ner till botten på borrhålet. Moyes formel (Ekvation 2) skrivs:

$$T_{bh} = \frac{Q}{2\pi(h_0 - h_{1)}}\left[1 + ln\left(\frac{L}{2r_0}\right)\right]$$

Där:
L är testsektionen (m).

Transmissiviteten för en individuell vattenförande spricka eller sprickzon kan beräknas givet att flödet från sprickan eller sprickzonen är känt. Flödet (liter per minut) från varje identifierad transmissiv vattenförande spricka eller sprickzon, Q_i beräknades baserat på flödes loggningsresultaten. Beräkningar av vattenförande sprickor och sprickzoners transmissivitet baseras på Thiems (eller Depuits) formel (Ekvation 3):

$$T_i = T_{bh}\left(\frac{Q_i}{Q_{bh}}\right)$$

Där:
T_i är transmissiviteten för en individuell spricka eller sprickzon (m^2/s).
Q_i är flödet från en individuell spricka eller sprickzon.

För beräkning av flöden görs ett antagande om konstant borrhålsdiameter.

Beräkning av transmissivitet för helhåls-pumptester görs även med programvaran AQTESOLV 4.50 Professional genom passning av typkurvor mot teoretiska modeller. Metoden som har använts vid utvärdering är enligt Dougherty-Babu (1984) för tester med konstant flöde för en anisotropisk sluten akvifer med antagande om eventuellt ”skin” i brunnen. Som en första kontroll och rimlighetsbedömning har testerna även utvärderats genom en beräkning av specifik kapacitet (Q/dh).

2.3.4 Högfrekvenstemperatur, elektrisk konduktivitet och beräkning av salthalt

För att identifiera potentiella in- och utflöden söks efter plötsliga avvikelser i temperatur. För att finna dessa medelvärdesfiltreras data med ett (2.00 m) löpande medelvärdesfilter. Därefter subtraheras medelvärdet för aktuell djupsektion från uppmätt temperatur och avvikelsen återstår och kan utvärderas. Ekvation 4:

$$HFT = T_L - T_{ML}$$

Där:
HFT (°C) är högfrekvenstemperatur (High Frequency Temp)
T_L (°C) är temperaturen på djupet L (m)
T_{ML} (°C) är medelvärdet för temperatur för det intervall som sträcker sig från djupet L − 1 till L + 1.

Den översta metern under grundvattennivån i borrhålet kommer HFT att innehålla temperaturvärden från ovan vattenytan och kommer därför att bli missvisande.

Genom att mäta elektrisk konduktivitet kan mängden salt i vattnet beräknas genom en linjär regressionsanalys (Lundmark, 2007), enligt ekvation 5.

$$Y = 2.51X - 3.75$$

Där:
Y är halten klorid i mg/l.
X är aktuell elektrisk konduktivitet i mS/m (25 ˚C).

2.4 Enhålspumptest

Mindre pumptester utfördes i BH1104, BH2005 och samtliga bergborrhål som spinnerflödesloggades 2021–2022, samtliga utvärderingar av transmissiviteter redovisas i Tabell 7. Vid tre av brunnarna (BH2005, BH2103 och BH2104) som pumptestades hade ytliga bergborrhål installerats för att undersöka om det finns en koppling mellan vattenförande zoner på djupet och i ytberget. Avsänkningen av grundvattenytan har loggats med en automatisk tryckgivare av modell TD-diver och med manuella nedmätningar. Pumpflödet mättes manuellt med en hink och klocka eller med digital flödesmätare.

Ingen barometerkompensation har gjorts av testdata, då tester med en varaktighet minuter – fåtal timmar knappast påverkas av lufttrycksförändringar, d.v.s. lufttrycksförändringar kan anses vara en försumbar felkälla i dessa sammanhang. Pumpningarna har varierat i omfattning mellan ca 15 minuter och 3 timmar. Återhämtningsfaserna har studerats minst lika länge.

I BH2005 gjordes en tidigare pumpning och spinner-flödesloggning sommaren 2000 (Golder, 2020a). Vid detta tillfälle var grundvattennivåerna låga medan nu i februari 2022 stod grundvattenytan nära marknivån.

BH1104 undersöktes med geofysiska undersökningar 2016 och har haft kontinuerliga nivåmätningar sedan 2014 men har aldrig pumptestats. Vid kalibrering av den numeriska modellen krävdes en hög hydraulisk konduktivitet i området runt BH1104 för att uppnå en god passning mot uppmätta nivåer. För att bekräfta denna bild utfördes detta kompletterande pumptest.

Testerna har utvärderats i programvaran AQTESOLV 4.50 Professional genom passning av typkurva mot observerad data. Passning av typkurva har gjorts enligt metoden Dougherty-Babu (1984) för tester med konstant flöde för en anisotropisk sluten akvifer med antagande om ”skin” i brunnen. Som en första kontroll och rimlighetsbedömning har testerna även utvärderats genom en beräkning av specifik kapacitet (Q/dh).

2.5 Slugtester

I ytligt borrade borrhål har den hydrauliska konduktiviteten testats genom att tillsätta en volym vatten i brunnen, genom att toppfylla borrhålet för att skapa en hydraulisk puls. Nivåförändringen i borrhålen har registrerats med hjälp av en tryckgivare och manuella mätningar med ljuslod. Som nämnt ovan kunde BH2101 ej testas med spinner-flödesloggning då borrhålet i stor sett saknade vatten. Borrhålet testades därför genom att tillföra vatten och utvärderades som ett slugtest.

Utvärderingar av hydrauliska parametrar från enhålstester har gjorts i AQTESOLV 4.50 Professional för att matcha observerad data till kurvor från teoretiska modeller. Den teoretiska utvärderingsmetoden som användes för att matcha nivådata var Hvorslev (1951) vilket bedöms som en lämplig metod för att utvärdera enhålstester för både slutna och öppna akviferer.

2.6 Temperaturobservationer

Under några kalla (0 – -4ºC) februaridagar (1:a – 3:e) 2022 mättes temperaturen på 15 platser (Figur 6) där grundvatten kunde iakttas strömma fram. Temperaturen mättes med en CTD-diver med mätning varje sekund vilken fick ligga i det utströmmande vattnet i ca 5 minuter för att säkerställa stabila mätvärden.

Väderförhållandena var idealiska för den här typen av kartläggning: ingen nederbörd precis före eller under perioden, en tunn rimfrosttäckt is täckte stillastående vatten vilket tydligt avslöjade punkter med utströmmande varmare vatten under vattenytan. En orienteringskarta i skala 1:10 000 användes som underlagsmaterial. I de punkter där vatten strömmar ut ur ett jordlager (tex ur en strandvall) gjordes en liten grop för att samla vattnet och därigenom säkerställa att det var vattentemperatur och ej lufttemperatur som mättes.

Under samma dagar mättes temperaturen på 7 platser i ytvattendrag, även där med CTD-diver. I de 4 relativt nya borrhålen borrade i bergets översta två metrar (BH2001YB, BH2005YB, BH2103 och BH2104YB) mättes temperaturen med TD-diver.

Temperaturmätningar har inte genomförts på alla platser där utströmning konstaterats utan detta har fokuserats på punkter med tydlig utströmning. Mindre tid har även spenderats på de flacka delarna på södra File hajdar. Undersökningen kan inte ses som en fullständig kartläggning av alla utströmningspunkter för grundvatten inom File hajdar-området men får anses att återspegla de generella mönstren väl.

Utöver dessa riktade temperaturmätningar i utströmmande grundvatten mäts temperaturen varje timme i alla de instrumenterade borrhål och grundvattenrör där mätningar görs kontinuerligt med tryckgivare av typen Diver (43 st).

Figur 2: Till vänster: utströmmande grundvatten syntes tydligt på istäckta vätar med ett tunt snötäcke. Mitten: temperaturlogger placerades i punkter med tydlig grundvattenutströmning. Till höger: vid utströmning ur jordlager gjordes en liten grop innan mätning.

2.7 Jordprover och hydraulisk konduktivitet

Flera jordprover togs vid strandvallarna i anslutning till Natura 2000-området Hejnum Kallgate (se Figur 3), dessa skickades sedan till kornstorleksanalys för att få fram siktkurvor för respektive prov. När kornstorleken för proverna har fastställts kan den hydrauliska konduktiviteten räknas fram enligt Gustafsons metod (ekvation 6, Andersson, Andersson, Gustafson, 1984).

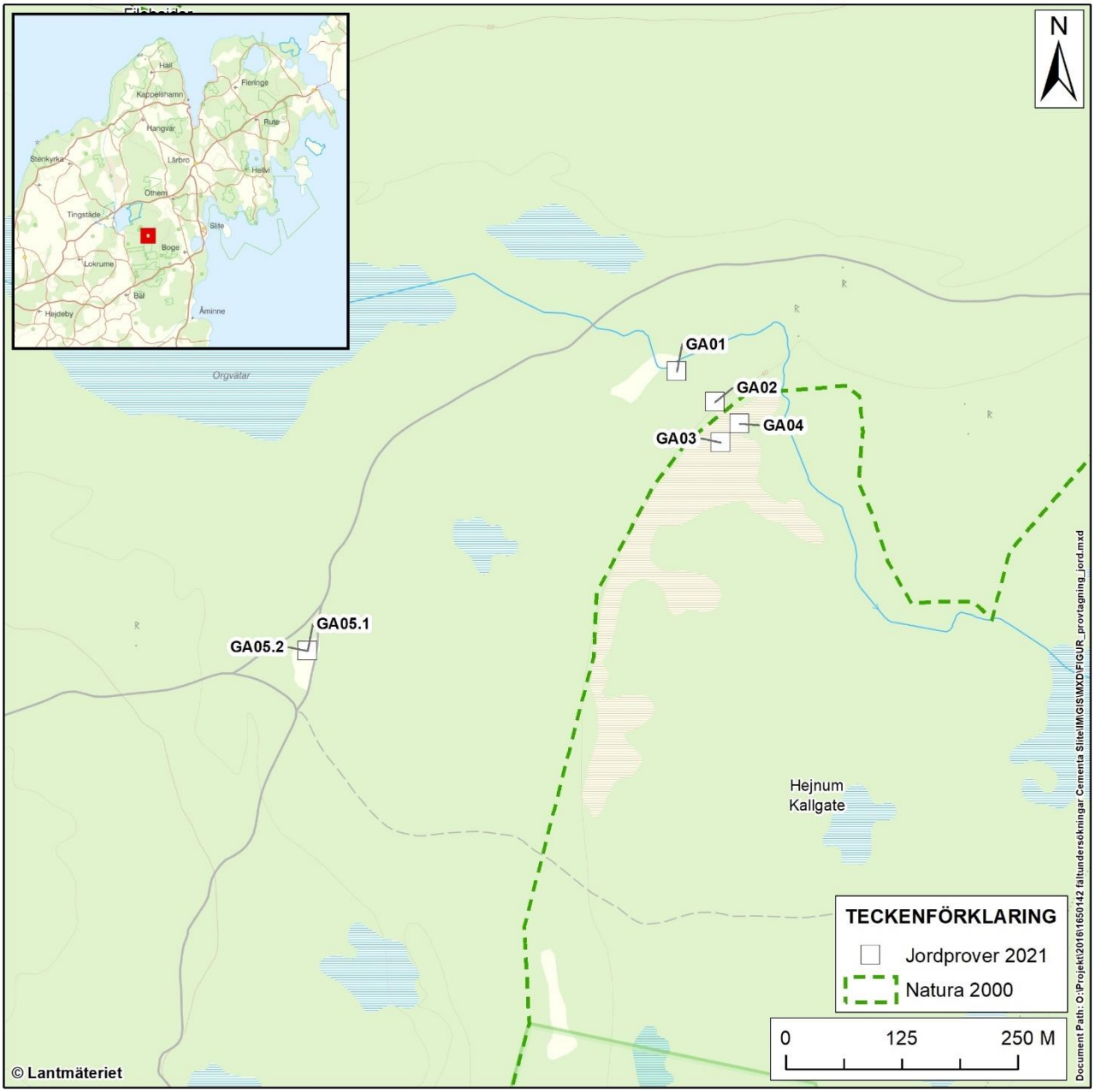
$$K = E(U) * d_{10}^2$$

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$E(U) = 10{,}2 * 10^6 * \frac{E^3}{1+E} - \frac{1}{g^2(U)}$$

$$E = 0{,}8 * (\frac{1}{2\ln(U)} - \frac{1}{U^2 - 1})$$

$$g(U) = \frac{1{,}3}{log_{10}(U)} * \frac{U^2 - 1}{U^{1{,}8}}$$



Figur 3: Visar var jordproverna är tagna i anslutning till natura 2000 området.

2.8 Borrhålsprovtagning

Då borrhålen BH2101 och BH2102 borrades för att förstå de lågresistiva zonerna som identifierades i de geofysiska undersökningarna under hösten 2021 fanns det avsikt att provta borrkaxet och även ta vattenprover i borrhålen.

I samband med flödesloggning i borrhål BH2102, SGU2017 och Kyrkebys 1:12 uttogs grundvattenprov i slutet av oktober för kemisk analys av NaCl. Proverna uttogs strax under grundvattenytan och ca 50m under markytan med en pump vilket kan göra att provet blir stört. Proverna filtrerades ej i fält. Proverna analyserades på Cementa Research Laboratorium.

Vid borrning av BH2101 och BH2102 togs provhinkar av borrkaxet var femte meter för analys av bergart och fuktinnehåll. Analysen och kartering av provmaterialet gjordes på Cementa Research Laboratorium.

2.9 Grundvattennivåer

Runt Cementas kalkstenstäkter övervakas grundvattennivåerna kontinuerligt med tryckgivare och manuella nedmätningar i ett 50-tal brunnar/jordrör, varav 6 loggar automatiskt med loggrar anslutna till GSM-sändare som kontinuerligt skickar data. Övervakningen med loggrar har pågått sedan 2014. Vissa punkter har en tidsserie som sträcker sig tillbaka till slutet av 1960-talet men har som regel ett uppehåll under slutet av 90-talet och början av 2000-talet. Allt eftersom nya borrhål borras läggs övervakningspunkter till och fler tidsserier skapas.

Alla nivåobservationer räknas sedan om till absolutnivåer och laddas upp i databasen GAUDI. Borrhålen och observationsdata för borrhålen som loggas redovisas i BILAGA E. För närvarande (april 2022) uppgår antalet mätpunkter med nivåövervakning i GAUDI till 43 st. Ytterligare en handfull mätpunkter har instrumenterats under vintern men ännu inte levererat data till databasen.

3.0 RESULTAT

3.1 Borrhålsloggning

I Tabell 2 nedan redovisas de loggade sektionerna i djup under markytan för flödesloggning, även om djupet av borrhålet skiljer sig från det djup som är rapporterat från borrning.

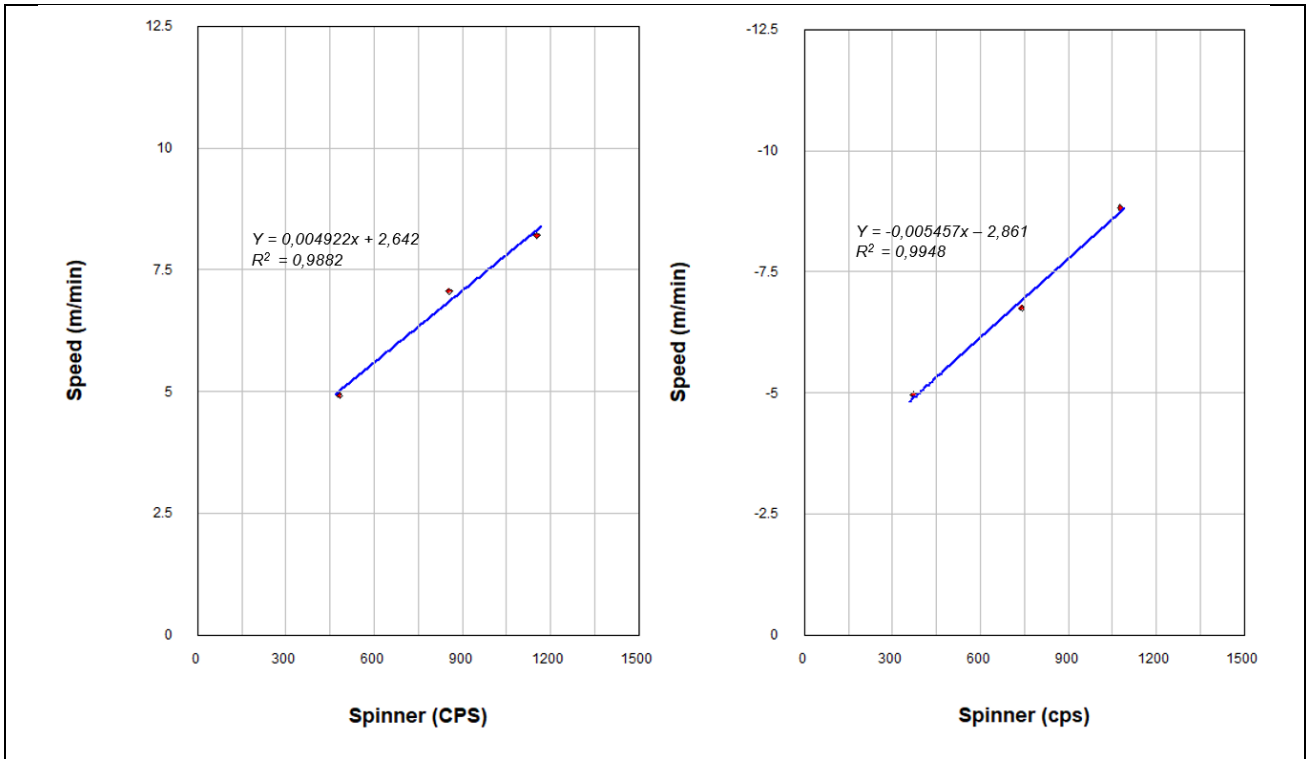
Tabell 2: Tabellen visar djup för sektioner loggade under steg 2 samt 3 och flöden under steg 3.

ID	Opåverkad djupsektion testad under steg 2 (m under markytan)	Pumpad djupsektion testad under steg 3 (m under markytan)	Flöde under steg 3 (L/min)	MPD (m)	Avsänkning (m)	Kommentar
SGU2017	32,5 – 75,0	37,0 – 75,0	10,0	79,87	1,0	CTD diver användes för temp och konduktivitet
Kyrkebys 1:12	10,86 – 46,0	15,0 – 46,0	13,0	47,19	0,1	CTD diver användes för temp och konduktivitet
BH2007	6,9 – 60,8	15,0 – 60,8	8,0	62,2	5,34	
BH2101	-	5,0 – 28,0	+3,0	30	+26,0	Infiltrerade vatten istället för att pumpa ur p.g.a. låg grundvatten-nivå.
BH2102	23,6 – 65,0	28,0 – 66,0	53	67,07	0,45	
BH2103	4,0 – 59,0	10,0 – 59,0	6,0	59,91	2,84	

ID	Opåverkad djupsektion testad under steg 2 (m under markytan)	Pumpad djupsektion testad under steg 3 (m under markytan)	Flöde under steg 3 (L/min)	MPD (m)	Avsänkning (m)	Kommentar
BH2104	5,0 – 57,0	7,0 – 57,0	4,0	58,2	1,73	Enbart FTC-sonden användes vid pumpning innan pumpen gick sönder.

3.1.1 Kalibrering av spinner flödeslogger

För dessa undersökningar användes hastigheterna 5, 7 och 9 m/min för att ta fram flödesloggerns responskurva. Kalibreringskurvorna för nedmätning respektive uppmätning redovisas i Figur 4 nedan.



Figur 4: Grafen visar hur ”Counts per second” (CPS), på x-axeln varierar med nedsänkningshastighet. I textrutan framgår R^2 samt kalibreringskoefficienter som användes för utvärdering av flödesloggning i samtliga borrhål.

3.1.2 Beräkning av transmissivitet

I utvärderingen har summan av identifierade sprickors flöden antagits vara lika med det totala pumpade flödet. Detta är en förenklad modell med hänsyn till framför allt till att inte hela det vattenmättade djupet har loggats i pumpade förhållanden. Pumpen är placerad några meter under vattennivån i borrhålen och sonden nedanför denna, som mest ca 5 meter under vattennivån. Detta medför att flödesloggning under pumpade förhållanden

ej mäter in- eller utflöden som sker ovanför sondens startposition. Sannolikt finns det också små, icke identifierade sprickor som står för en mindre del av flödet. Även om grafen visar att de kan utgöra en liten del av flödet är det de stora vattenförande sprickzonerna som är huvudsyftet med undersökningen och kvantifieras. Med hänsyn till detta skall redovisade transmissiviteter för individuella sprickor och sprickzoner tolkas i jämförande syfte snarare än som exakta värden. Utvärderad helhålstransmissivitet redovisas i Tabell 4 och transmissivitet för individuella sprickor redovisas i Tabell 5.

Tabell 3: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och beräknade flöden (% av totalflödet samt L/min) vid opåverkade (steg 2) och pumpade (steg 3) förhållanden.

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2 [m under markyta]	Flödesriktningar under steg 2	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 3 [m under markyta]	Beräknade flöden i steg 3
SGU2017	76,8 – 76,9*	Inflöde*	76,8 – 76,9*	100%*
Kyrkebys 1:12	10,5 – 11,3 11,4 – 12,6 13,7 – 21,0 33,4 – 34,7 42,1 – 44,0	Inflöde Utflöde Inflöde Utflöde Inflöde	15,1 – 22,0 28,5 – 31,2 43,3 – 46,2	50% 10% 40%
BH2007	27,8 – 28,4 29,2 – 29,6 29,9 – 31,2 52,3 – 52,9	Inflöde Inflöde Utflöde Utflöde	14,9 – 16,1 21,5 – 31,2 51,9 – 52,8	45% 55% -20%
BH2101	n/a	n/a	n/a	n/a
BH2102	23,9 – 24,9 37,1 – 38,6 39,3 – 40,4 42,1 – 42,4 49,5 – 51,2 51,2 – 55,1 57,5 – 59,7	Utflöde Inflöde Utflöde Utflöde Utflöde Inflöde Inflöde	52,6 – 54,0 62,6 – 63,6 68,5 – 68,9	10% 15% 75%
BH2103	3,6 – 5,0	Utflöde	43,7 – 45,4 46,6 – 53,3	20% 45%
BH2104	13,0 – 13,2 26,8 – 27,1 51,8 – 52,1	Utflöde Inflöde Utflöde	56,9 – 57,1**	-**

*Antagande att 100% av flödet kommer från denna spricka.

** Indikation enbart på konduktivitetskurva. Flödesloggning med pumpning gick inte att genomföra.

Tabell 4: Beräknade totala transmissiviteter för borrhål baserat på Ekvation 1 & ekvation 2.

ID	Transmissivitet (Ekv 1) (m^2/s)	Transmissivitet (Ekv 2) (m^2/s)
SGU2017	1,7E-04	1,5E-04
Kyrkebys 1:12	2,1E-03	2,2E-03
BH2007	2,5E-05	2,9E-05

ID	Transmissivitet (Ekv 1) (m^2/s)	Transmissivitet (Ekv 2) (m^2/s)
BH2101	-	-
BH2102	1,9E-03	2,2E-03
BH2103	3,5E-05	4,0E-05
BH2104	-*	-*

*Inget steady-state gick att uppnå.

Tabell 5: Transmissivitet för enskilda sprickor eller sprickzoner identifierade med flödesloggning och beräknade med Ekvation 3.

ID	Djupintervall (m under markytan)	Transmissivitet (m^2/s)
BH2007	14,9 – 16,1	1,0E-05
	21,5 – 31,2	1,4E-05
	51,9 – 52,8	4,4E-06
BH2102	52,6 – 54,0	2,9E-04
	62,6 – 63,6	1,9E-04
	68,5 – 68,9	1,5E-03
BH2103	43,7 – 45,4	1,9E-05
	46,6 – 53,3	4,4E-05
BH2104	n/a	n/a
Lilla Kyrkebys 1:12	17,8 – 18,4	2,7E-04
	33,4 – 34,7	2,7E-04
	42,1 – 44,0	1,1E-03
SGU2017	76,8 – 76,9	1,6E-04

3.1.3 Beskrivning av borrhålsloggar

Under perioden 2021 – 2022 genomfördes spinner-flödesloggning i totalt 6 borrhål. Dessa beskrivs i text nedan, fullständiga loggar redovisas i BILAGA A.

BH2007 borrades djupare under vintern 2021–2022 från 40 till 62 m under markytan för att få kontakt med underliggande märgelsten, efter borrning sjönk grundvattenytan från artesiskt tryck till ca 7m under rör-överkant. Borrhålet loggades tidigare under sommaren 2020 och finns beskrivet i Golders rapport (Golder, 2020a), då borrhålet borrats djupare loggades det på nytt. Vid loggning av opåverkat vattenflöde identifieras tydligt en inflödesspricka och en utflödesspricka. Vid 30 m under markytan finns en tydlig inflödesspricka som sträcker sig till toppen av borrhålet där den hydrauliska gradienten är riktad uppåt. Vid 52 m under markytan identifieras en utflödesspricka som skapar den nedåtriktade hydrauliska gradienten i borrhålet mellan 30 – 52 m.

Vid pumpat förhållande finns det 2 tydliga zoner i borrhålet, i botten av borrhålet vid 51 m under markytan där det är tydligt att det är ett utflöde av vatten till omgivningen. Från 31–21 m under markytan är det en inflödeszon är det ett tydligt inflöde av vatten i borrhålet och en vattenförande spricka vid 15 m under markytan där loggningen börjar/slutar. Då det även finns sprickor ovanför loggern enligt borrprotokoll kan det inte uteslutas att även de sprickorna skulle kunna vara vattenförande.

Efter flödesloggning i BH2007 gjöts en permanentmanschett i borrhålet vid ca 40 m under markytan för att framöver logga grundvattentryck i två sektioner. Direkt efter gjutning sjönk grundvattenytan i sektionen 40 m – 62 m under markytan till ca 16 m under röröverkant. I sektionen röröverkant – 40 m höjdes grundvattenytan från 6 m under markytan till att bli artesisk.

I **SGU2017** kan inga tydliga sprickplan identifieras varken i opåverkat tillstånd eller i påverkat tillstånd ned till 75m där loggning slutade. Enligt SGU:s undersökning i borrhålet SGU2017 med en Acoustic Televiewer från 2016 noterades ett tydligt sprickplan på 76,8 m (-21 m.ö.h.) som sammanföll med förändring i naturlig gammastrålning (Alm, 2017). Då ingen anomali identifierades ovan denna nivå i borrhålet trots ett pumpflöde om 10 l/min, uppåtriktad strömning i hela hålet vid pumpning bekräftas det att den sprickan som identifierades med en akustiskt televiewer på djupet 76,8 m (-20,8 m.ö.h.) är den enda vattenförande sprickan av betydelse i borrhålet.

I **BH2101** genomfördes infiltration av vatten i borrhålet med hypotes att vattnet skulle rinna undan genom sprickor under loggning. Borrhålet fylldes med vatten från 28,22 m till 2,68 m (26,53 m.ö.h. till 52,07 m.ö.h.) med 3 l/min varpå loggningen genomfördes efter. På grund av att det infiltrerade vattnet knappt sjönk undan genom sprickor antogs brunnen vara väldigt tät. Efter loggning följdes avsänkningen upp med manuell lodning för att kunna utvärdera konduktiviteten för borrhålet som ett slugtest med AQTESOLV. Se avsnitt 3.3.

BH2102 flödesloggades under hösten 2021 men det fanns flera osäkerheter i utvärderat resultat. Pumpflödet under loggningen var 11,5 l/min vilket gav en avsänkning på ca 0,05m. På grund av otillräckligt pumpflöde och avsänkning kan det bli skalfel vid utvärdering av procentuell fördelning av flödet ur vattenförande sprickplan, om ett vattenförande sprickplan missas. Sannolikt står sprickorna vid 60,6 m (-2,5 m.ö.h.) samt 68,7 m (-10,5 m.ö.h.) för majoritet av inflödet i brunnen. Vid utvärdering noterades att BH2102 kan behöva testas med ett större pumpflöde och större avsänkning för att få en tydligare bild.

Under vintern 2022 testades BH2102 igen med ett större pumpflöde på 53 l/min vilket gav en avsänkning på 0,45 m. Trots ett större pumpflöde kan inte den största genomsläppliga zonen identifieras med SFL-sonden, vilket tillsammans med ett uppåtriktat flöde i borrhålet tyder på att majoriteten av flödet kommer under det djup som loggades i borrhålet.

En spricka med tydligt utflöde identifierades i naturligt tillstånd där grundvattenytan stod innan några tester började genomföras, ca 23,5 m under markytan (34 m.ö.h.). Vid loggning i pumpat tillstånd var SFL-sonden tvungen att sänkas ner till 30 m för att få plats med pump och skapa en avsänkning, det kan därmed inte uteslutas att denna spricka är vattenförande.

BH2103 loggades med ett flöde på 6 l/min vilket indikerar vattenförande sprickor vid ca 44,5 – 45,5 m under markytan och en vattenförande spricka vid ca 52,2 – 53,3 m under markytan. Vid loggning i naturligt tillstånd kan inga in- eller utflödeszoner identifieras.

En permanentmanschett gjöts ca 40 m under markytan för att mäta grundvattentryck i övre och undre sektion av borrhålet. Vattentrycken var likartade i övre och undre sektion efter installation.

BH2104 har få tydliga in/utflödeszoner, då vattenrörelsen i borrhålet är riktat uppåt men avtar mott toppen av borrhålet vilket tyder på att inströmmande vatten kommer från längre ner i borrhålet och strömmar ut mot ytan. I BH2104 genomfördes loggning under pumpning enbart med FTC-sonden för mätning av konduktivitet och

temperatur. Under loggning med SFL-sonden gick pumpen sönder, pumpflödet var vid tidpunkten pumpen gick sönder på ca 4 l/min, vilket inte tyder på hög genomsläpplighet. Vid utvärdering av transmissivitet i Aqtesolv mot typkurva ger det en transmissivitet på 8,4E-07 m^2/s. Detta motsvarar en hydraulisk konduktivitet 1,6E-08 m/s för detta borrhål.

Även i BH2104 gjöts en permanentmanschett ca 40 m under markytan för att mäta grundvattentryck i övre och undre sektion av borrhålet. Vattentrycken var likartade i övre och undre sektion efter installation.

Brunnen **Kyrkebys 1:12** har tydliga zoner med in- och utflöden vid loggning i naturligt tillstånd. De tydligaste identifieras 33,4 – 34,7 m under markytan och 42,1 – 44 m under markytan. Det identifieras även ett inflöde i nivå med grundvattenytan vid loggning i naturligt tillstånd, men när denna brunn sedan loggades i pumpat tillstånd så loggas inte de översta 5m av mättad brunn på grund av att sonden sänks ner under grundvattenytan med pumpen ovanför. Detta medför att transmissiviteten för sprickor som identifieras nära grundvattenytan inte kan utvärderas. Det kan inte uteslutas att detta inflöde står för en del av tillrinningen utöver de identifierade sprickorna. Det är även ovan nämnda sprickor som står för en majoritet av tillrinningen i brunnen, och till skillnad från ovan undersökta borrhål är vattenrörelsen i borrhålet naturligt riktad nedåt.

3.1.4 Temperatur och elektrisk konduktivitet

I Tabell 6 nedan redovisas uppmätta temperaturer och elektrisk konduktivitet för borrhålen. För borrhålen SGU2017 och Kyrkebys 1:12 användes en tryckgivare av modell CTD-diver som mäter elektrisk konduktivitet, tryck och temperatur, som har lägre upplösning än FTC-sonden. Därav skiljer sig upplösningen för dessa borrhål mot resterande.

Tabell 6: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och deras uppmätta temperatur och elektriska konduktivitet i opåverkade och pumpade förhållanden. Viktigt att notera är att SGU2017 och Kyrkebys 1:12 loggades med CTD-diver och inte med en FTC-sond. Värden inom parentes är elektrisk konduktivitet vid 25˚C.

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2 [m under markyta]	[˚C]	[µS/cm]	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 3 [m under markyta]	[˚C]	[µS/cm]
SGU2017	-	-	-	-	-	-
Kyrkebys 1:12	10,5 - 11,3 11,4 – 12,6 13,7 – 21,0 33,4 – 34,7 42,1 - 44,0	8,72 8,72 8,67 8,66 8,66	292 (429) 292 (441) 312 (459) 324 (471) 324 (471)	15,1 – 22,0 28,5 – 31,2 43,3 – 46,2	8,87 8,77 8,75	328 (468) 324 (469) 324 (470)
BH2007	-	-	-	27,8 – 28,4 29,2 – 29,6 29,9 – 31,2 52,3 – 52,9	7,45 7,45 7,36 7,45	308 (495) 308 (495) 309 (496) 378 (530)
BH2101	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*
BH2102	23,9 – 24,9 37,1 – 38,6 39,3 – 40,4 42,1 – 42,4 49,5 – 51,2	- 7,78 7,77 7,77 7,76	226 (371) 250 (397) 247 (393) 246 (390) 235 (374)	53,0 – 53,5 65,5 – 65,8	7,75 7,85	230 (368) 310 (461)

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2 [m under markyta]	[˚C]	[µS/cm]	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 3 [m under markyta]	[˚C]	[µS/cm]
	51,2 – 55,1 57,3 – 59,7	7,77 7,80	230 (365) 230 (362)			
BH2103	28,2 – 29,6	8,05	409 (648)	17,0 – 18,1	7,95	392 (618)
BH2104	13,0 – 13,2 26,8 – 27,1 51,8 – 52,1	9,00 8,33 8,21	714 (1088) 708 (1100) 728 (1140)	56,9 – 57,1	8,22	596 (1007)

*Infiltration av annat vatten. Mätning av kemiska parametrar är inte representativ för borrhålet.

3.1.5 Beskrivning av temperatur, elektrisk konduktivitet och beräknad salthalt

Utöver de borrhål som loggades med både spinner-flödeslogger och temperatur och konduktivitet, undersöktes flera äldre borrhål, totalt 7, med fokus enbart på temperatur och konduktivitet runt Västra brottet. Dessa borrhål var BH1105 – BH1109, BH2202 och BH2017. Dessa beskrivs i text nedan, fullständiga loggar redovisas i BILAGA A.

BH2007 ligger konduktiviteten stabilt på 500 µS/cm från toppen av borrhålsvätskan ner till 52,6 m under markytan varpå konduktiviteten ökar tydligt till ca 800 µS/cm vid 60,5 m under markytan. Omräknat till mg/l NaCl motsvarar det ca 120 mg/l som ökar till 196 mg/l som mest i botten av borrhålet. Temperaturen i borrhålet var stabil runt 7,4 ºC.

I **SGU2017** syns en gradvis ökning i temperatur- och konduktivitetskurvorna mot botten av borrhålet i både opåverkat och påverkat tillstånd. Konduktiviteten i borrhålet börjar på ca 690 µS/cm och ökar till 720 µS/cm. Omräknat till NaCl motsvarar det som mest ca 180 mg/l. Temperaturen i borrhålet var runt 8,5 ºC.

I **BH2102** ligger konduktiviteten jämnt runt ca 400 µS/cm från grundvattenytan och avtar till ca 360 µS/cm ned till ca 58 m under markytan. Därefter sker en tydlig ökning av konduktivitet upp till ca 525 µS/cm ner till djupet 65 m under markytan. Det kan indikera att under loggat djup finns ett vattenförande sprickplan som inte fångades utav spinner-flödesloggning eller temperatur- och konduktivitetsmätning. Enligt borrprotokoll borrades BH2102 till 70 m under markytan med en spricka noterat vid 68,7 m under markytan. Vid loggning kunde, däremot 67,07 m loggas. I botten av borrhålet var det mycket lerigt. Konduktiviteten omräknat till mg/l NaCl motsvarar ca 90 – 130 mg/l, med högst kloridhalt i botten av borrhålet. Temperaturen i borrhålet var stabil runt 7,8 ºC.

I **BH2103** ligger konduktiviteten på 450 µS/cm i toppen av borrhålet för att öka till 650 µS/cm ca 29 m under markytan. Därefter avtar konduktiviteten till 600 µS/cm i botten av borrhålet. Omräknat till mg/l NaCl motsvarar det 110 mg/l som ökar till 155 mg/l som avtar till 145 mg/l mot botten. Vid loggning med pumpning är högsta uppmätta konduktivitet ca 17,5m under markytan med ca 610 µS/cm vilket motsvarar 150 mg/l. Temperaturen i borrhålet var stabil runt 7,8 ºC.

I **BH2104** var den uppmätta konduktiviteten stabil i hela borrhålsloggningen, och låg på en annan nivå i jämförelse med andra borrhål som har loggats och som redovisas i denna fältrapport. Konduktiviteten låg på ca 1100 µS/cm. Omräknat till mg/l NaCl motsvarar det ca 250 mg/l. Temperaturen var stabil runt 8,2 ºC.

Konduktiviteten i **Kyrkebys 1:12** ligger jämnt runt 470 µS/cm i hela borrhålet. Omräknat till mg/l NaCl motsvarar det ca 114 mg/l NaCl som mest. Temperaturen avtar svagt mot botten av brunnen och ligger runt 8,7 ºC. Idag används brunnen för privat vattenförsörjning.

Borrhålen BH1107 – BH1109 ligger längst den sydöstra delen av Västra brottet och är de borrhål som är närmast havet. Av dessa tre borrhål ligger BH1107 närmst västra brottet av dessa tre och är grundast. Grundvattenytan i BH1107 ligger på ca 4 m.ö.h. Konduktiviteten ligger på ca 1500 µS/cm och ökar till ca 4100 µS/cm vid ca -17 m.ö.h. Kloridhalten i BH1107 ligger mellan 350 mg/l upp till 1050 mg/l på ca -18 m.ö.h. i botten av borrhålet.

I BH1108, som ligger i det sydöstra hörnet av Västra brottet, var enbart en liten del av borrhålet vattenmättad, ca 7 m på nivån -20 m.ö.h. till -27 m.ö.h. i botten av borrhålet. Konduktiviteten i BH1108 ligger på ca 2000 µS/cm och ökar till ca 4700 µS/cm vilket motsvarar en kloridhalt på 500 mg/l till 1170 mg/l som mest.

I BH1109 ligger grundvattenytan på ca -12 m.ö.h. och konduktiviteten ligger mellan 2600 – 3000 µS/cm, med högst konduktivitet vid grundvattenytan. Kloridhalten i detta borrhål motsvarar ca 650 mg/l upp till 720 mg/l vid grundvattenytan.

Borrhål BH1105, BH1106 och BH2202 är belägna vid västra kanten av Västra brottet. Längst i sydväst i BH2202 ligger vattenytan på ca -12 m.ö.h. Kloridhalten ligger jämnt strax under 300 mg/l (dvs gränsen då det brukar anses smaka salt) ner till ca -39 m.ö.h. varifrån den ökar ner mot botten (-58) till ca 500 mg/l.

I BH1106 som ligger längst från Västra brottet av de tre hålen ligger grundvattenytan på ca -4 m.ö.h. och kloridhalten på ca 350 mg/l, något ökande vid botten av borrhålet på ca -30 m.ö.h.

I BH1105 är det grundaste av de tre hålen. Grundvattenytan ligger på ca -11 m.ö.h. och kloridhalten låg jämnt på ca 250 mg/l i hela borrhålet till botten på ca -25 m.ö.h.

Norr om västra brottet i BH2017 genomfördes också loggning med avseende på konduktivitet och temperatur. Konduktiviteten ligger på en lägre nivå, som mest på 705 µS/cm och avtar mot botten av borrhålet som är ca 20m djupt. Som mest motsvarar det ca 170 mg/l NaCl.

Alla konduktiviteter redovisas i ekvivalent konduktivitet vid 25 ºC. Grundvattnet i denna geologiska miljö ligger konstant på ca 8 ºC året om.

3.2 Pumptester

Resultat från samtliga borrhål där pumptester har genomförts redovisas i Tabell 7. Högst utvärderad transmissivitet förekommer i BH2102 som ligger väster om File hajdar-täkten. Längre västerut från BH2102 minskar borrhålens transmissivitet och även antalet identifierade vattenförande sprickor i borrhålen.

Utvärderad transmissivitet i BH2005 var likartad nu som vid tidigare undersökning 2020 (Golder 2020a) vilket styrker den tidigare bilden att flödet ur BH2005 domineras av ett vattenförande lager beläget på ca +4 m.ö.h. vilket kan korreleras med uppmätta anomalier i omkringliggande borrhål i märgelstenen (Golder, 2020b).

Vid pumpning i borrhål BH2005, BH2103 och BH2104 loggades även trycknivåer i intilliggande ytliga bergborrhål (BH2005YB, BH2103YB och BH2104YB) för att undersöka om det fanns en hydraulisk koppling mellan borrhålen. Det kunde konstateras att det inte finns någon sådan hydraulisk koppling, då inga förändringar i de ytliga borrhålen kunde observeras.

Tabell 7: Utvärderad transmissivitet och magasinskoefficient från pumptester.

ID	Start/Stopp pumpning	Flöde [l/min]	Utvärderad transmissivitet [m^2/s]	Specifik kapacitet (Q/dh) [m^2/s]	Wellbore skin [-]	Magasinskoefficient [-]
BH1104	15:52/17:22	55	1,1E-03	2,1E-03	-2,7	4,0E-02
SGU2017	13:19/13:52	10	1,4E-04	1,7E-04	1,425	1,0E-02
BH2007	12:50/14:17	8	3,0E-05	5,3E-05	-3,3	4,2E-03
BH2005	16:15/17:22	60	7,0E-04	8,5E-04	-1,725	1,5E-03
BH2102	11:04/11:30	53	1,8E-03	1,9E-03	-3,725	3,6E-04
BH2103	18:26/18:44	6	4,0E-05	5,6E-05	0	3,0E-03
BH2104	13:13/13:29	4	8,4E-07	-*	0	2,3E-03
Kyrkebys 1:12	08:56/10:06	13	6,2E-04	2,2E-03	-5,0	1,9E-03

*Inget ”steady-state” gick att uppnå.

3.3 Slugtester

Utvärderade slugtester av ytligt borrade borrhål redovisas i Tabell 8 nedan. I och med att borrhålet BH2101 i stort sett saknade vatten genomfördes ett test med tillsats av vatten och inte pumpning, varpå borrhålet toppfylldes.

Den identifierade strukturen enligt de geofysiska undersökningarna var inte vattenförande i BH2101 utan mer troligt en effekt av ett högt lerinnehåll då BH2101 har en hydraulisk konduktivitet på 1,0E-08 m/s. BH2101 har utvärderats i nivåerna 52 m.ö.h. – 25 m.ö.h. till skillnad från övriga enhålstest som har ca 2 m långa testsektioner.

Utvärdering av slugtesterna visar att det ytliga berget vid BH2104YB har en hög hydraulisk konduktivitet på 1,1E-04 m/s trots en till synes relativt homogen bergöveryta. Detta styrker bilden av frekventa horisontella ytliga sprickor inom revkalksområdena. I BH2103YB och BH2005YB uppmättes vad som kan betecknas som en låg-måttlig hydraulisk konduktivitet vilket indikerar att horisontella sprickor inte förekommer överallt nära markytan inom kalkstenen. Det bör påpekas att kalkstenstypen vid BH2005 är oklar. BH2001YB uppvisar en mycket låg hydraulisk konduktivitet. Detta borrhål sitter i märgelsten. Endast de inledande 7 timmarna, vilket motsvarade ca 1,5% återhämtning användes för utvärderingen då borrhålet därefter frös vilket skapade störningar i tryckdata. Resultatet är därmed ungefärligt.

Uppmätt data överensstämmer med bilden från fältobservationer om att ytberget är mer uppsprucket inom områden med revkalksten medan i märgelstenen är ytberget sprickfattigare. Fler tester behövs och är inplanerade för att bekräfta bilden.

Passning mot typkurvor kan ses i BILAGA C.

Tabell 8: Utvärderad hydraulisk konduktivitet från enhålstester.

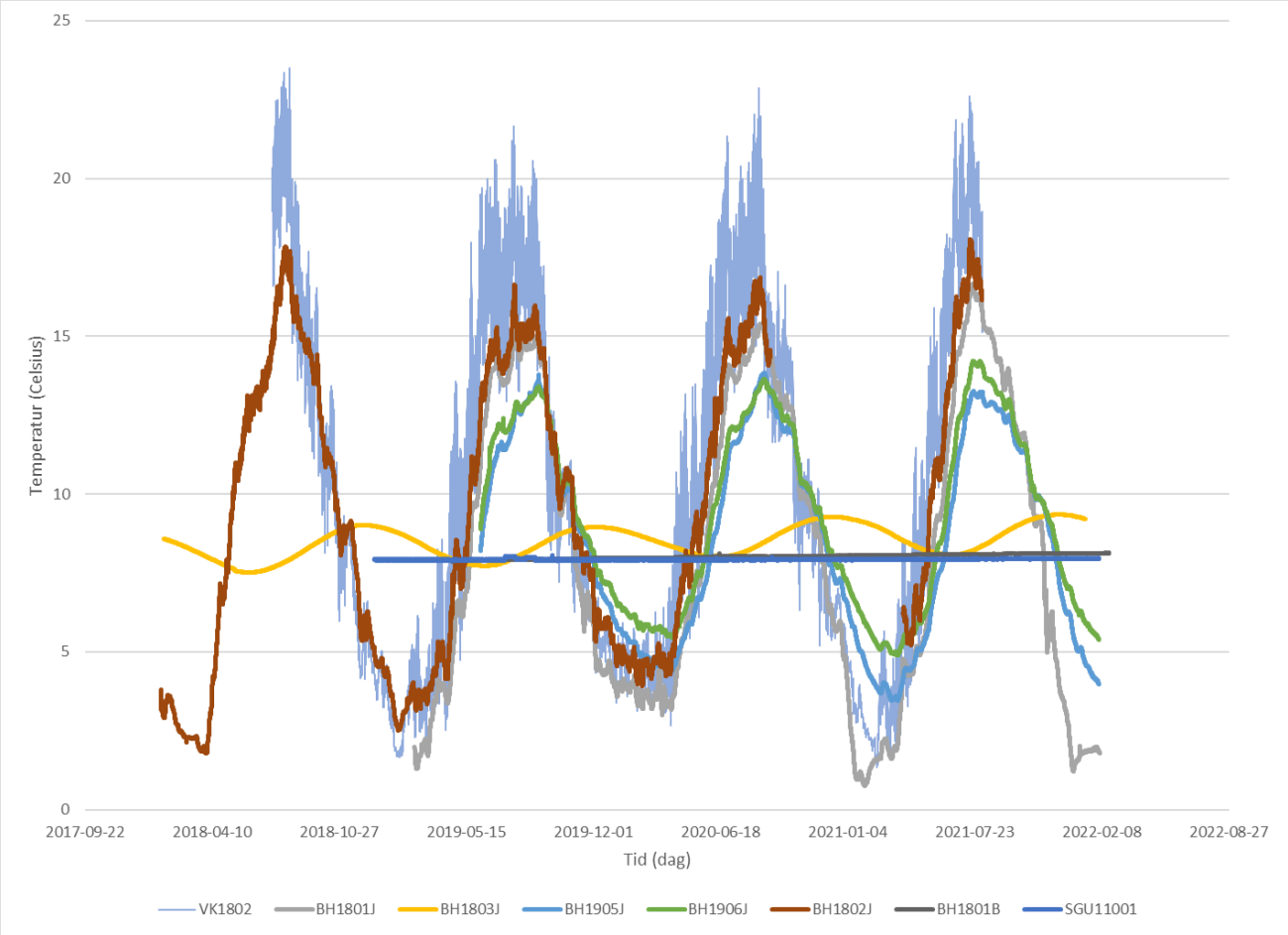
ID	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Längd testsektion (m)	Kommentar
BH2101	1,0E-08	27	Låg konduktivitet i geofysisk profil. Mycket tätt berg.
BH2001YB	1E-09	2,0	Mycket tätt berg. Utvärderat med enbart 1,5% återhämtning.
BH2005YB	6,1E-07	1,8	
BH2103YB	6,8E-08	2,4	Mycket tätt berg.
BH2104YB	1,1E-04	2,4	

3.4 Temperaturobservationer

I alla de mätpunkter där vattennivåer övervakas med loggrar mäts även temperaturen på vattnet. I samtliga mätpunkter med nivåmätningar i berg (ytberget exkluderat) ligger temperaturerna stabilt runt ca 8 ºC. I ytberget uppgmättes temperaturer i spannet 4,8–6,5 ºC. I de grundvattenrör i jord runt Hejnum Kallgate som mättes vid tillfället låg temperaturen i spannet 1,9–5,5 ºC, med den högsta temperaturen i den mäktigaste strandvallen. Dessa temperaturer kan användas för att tolka temperaturerna på utströmmande vatten i upprinnor.

Om man studerar längre mätserier är det tydligt att temperaturerna i grundvattenrören i jord har en tydlig säsongsvariation, Figur 5 nedan. I rören i de tunna jordlagren i våtmarkerna fluktuerar temperaturen mest. I rören vid strandvallarna mot Hejnum Kallgate följer vattentemperaturen lufttemperaturen med endast en mindre förskjutning (under åren 2018–2021 har årsmaximum uppmätts i slutet av juli till början av september) medan i BH1803J med mäktigare och tätare jordlager är fasförskjutningen stor med temperaturmaximum i november eller början av december. Även temperaturamplituden följer samma mönster. Störst temperaturamplitud uppmäts i våtmarksrören (VK1802 m.fl.). Även i de östliga strandvallsrören (BH1801J och BH1802J) har en stor variation över året uppmätts.

Vid de mäktiga jordlagren i strandvallen vid BH1905J och BH1906J är amplituden något mindre och grafen är således mer utjämnad men även här finns en amplitud mellan högsta och lägsta temperatur på ca 10 ºC. I BH1803J är amplituden under 2 ºC.



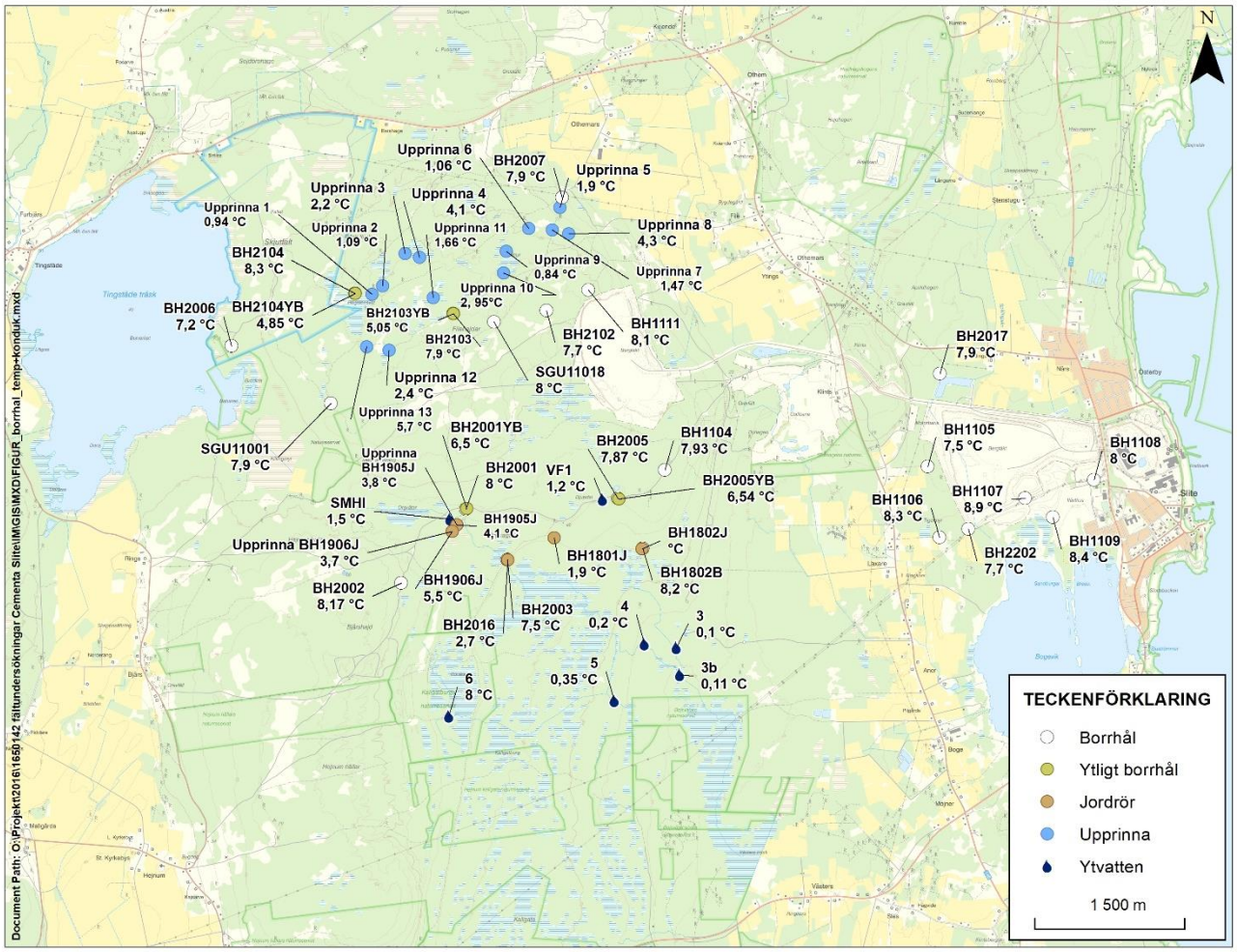
Figur 5: Temperatur i BH1801B, SGU1101, BH1801–03J, BH1905+06J och VK1802.

Resultaten från samtliga riktade temperaturmätningar, samt ett urval av uppmätta temperaturer i loggade borrhål redovisas i Figur 6 nedan. Av de mätningar som gjordes var det en punkt som stack ut. Ytvattenpunkt 6 (nedströms Prosthulet) med en vattentemperatur på 8ºC vilket tydligt visar att detta är ett vatten som strömmar upp från berget vid Hejnum hällars sluttning.

Vid de utströmningsområden som finns i Hejnum Kallgates nordvästra del (nedströms Orgvätar) var vattentemperaturen 3,7–3,8 ºC vilket är 0,3–1,8 ºC kallare än vad som samtidigt mättes upp i grundvattenrören inne i strandvallen (vattnet kyls troligen något vid den långsamma strömningen genom det ytligaste jordlagren och i kontakten med luften).

Generellt sett finns det få synliga utströmningspunkter av grundvatten i File hajdar-områdets södra delar relativt de norra. Den utströmning som återfinns i söder är vid nedansidan av strandvallar. Det finns osäkerheter i en jämförelse av denna typ med möjligt ojämnt spenderad tid inom olika delområden.

Det finns något mer jordlager i söder än i norr och uppe på File hajdar, vilket kan dölja viss grundvattenutströmning från berget. Vidare är grundvattennivåerna i berg avsänkta i de östra delarna, framför allt av den kommunala vattentäkten men även av den befintliga kalkstenstäkten, vilket leder till att grundvattennivåerna i mindre omfattning når upp över bergöverytan. Dessa faktum utgör osäkerheter i jämförelsen men tillsammans med övriga observationer bedöms huvuddelen av skillnaden vara knuten till den konceptuella geologiska modellen och de skillnader som finns mellan märgelstenen och revkalkstenen.



Figur 6: Uppmätta vattentemperaturer den 1–3 februari 2022.

Temperaturen i de ytliga bergrören (borrade 2 m ner i berg) uppe på File hajdar uppgick vid mättillfället till ca 5 ºC. Temperaturen i observerat utströmmande grundvatten är med ett undantag (Upprinna 13, 5,7 ºC) lägre än så och i de flesta fall betydligt lägre. Det relativt rikliga antalet observerade punkter med grundvattenutströmning som kan observeras på många håll på norra File hajdar, främst i anslutning någon av de många små våtmarkerna som förekommer i detta område, utgörs därmed av vatten som strömmar nära markytan. Detta styrker övriga observationer som gjorts av både Cementa och SGU, som har visat att den delar med revkalksten eller ren kalksten förekommer rikligt med ytliga horisontella sprickor och enstaka vertikala sprickor vilka kan vara kraftigt karstifierade men att djupgåendet är begränsat till en eller på sin höjd några meter.

Två talande exempel är Upprinna 10 och 9, söder respektive norr om Lillmyr. Ur en mycket flack sprickstruktur vid myrens södra kant kunde vatten ses strömma ut, vattentemperaturen var ca 3 ºC. Inga tecken på smält is observerades ute på myren. Ur en mycket distinkt upprinna med kraftigt flöde ca 50 m norr om Lillmyr strömmade vatten med en temperatur på endast 0,8 ºC, vilket visar att det är vatten från myren som avvattnas genom det ytliga berget.

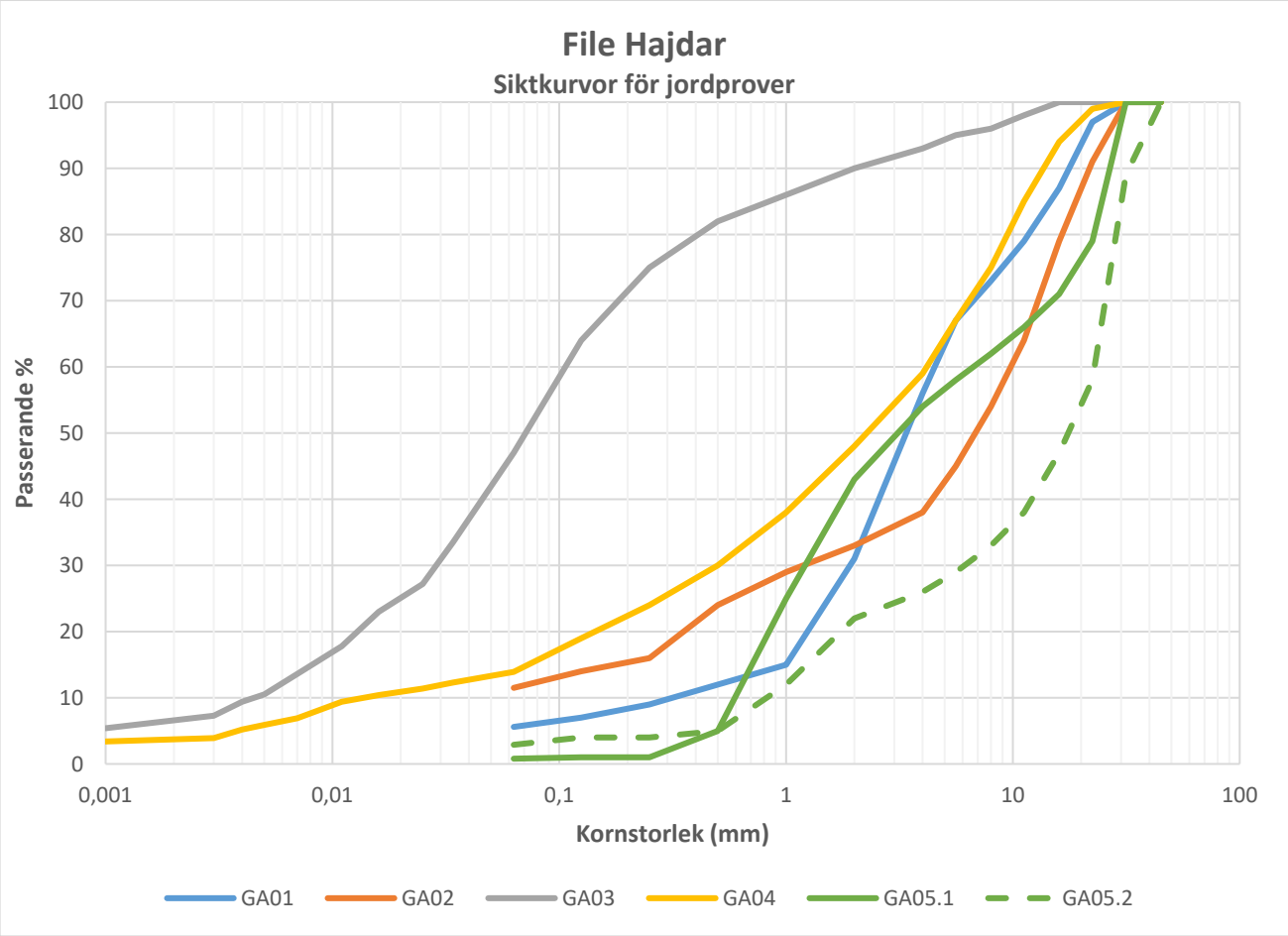
Övriga noterbara observationer från samma studie är att temperaturen i ytvatten uppströms Hejnum Kallgate är tydligt högre än temperaturen i ytvatten nedströms. Vilket tolkas som att andelen grundvatten som strömmar ut inom Natura 2000-området är liten. Detta överensstämmer med övriga observationer då nivåobservationer visar att märgelstenen är mycket tät i vertikalled och att mängden buffrande jordmagasin i

form av strandvallar är mindre inom Natura 2000-området Hejnum Kallgate än inom de uppströms liggande områdena.

Ca 1 km av den strandnära isen på Tingstäde träsk, från de centrala delarna av Grodvät och norrut observerades avseende tecken på utströmmande grundvatten. Sannolikt krävs ett större vattenflöde för att detta ska vara synligt från ytan när det blandas i en större vattenvolym med större vattendjup men inga sådana observationer gjordes. Isen var något tunnare decimetern närmast strandkanten. Tolkningen är att det inom denna del inte finns någon markant inströmning av grundvatten till sjön från berget utan endast en svag ytlig lateral inströmning.

3.5 Jordprover och hydraulisk konduktivitet

Den analyserade kornstorleken redovisas i Figur 7 nedan.



Figur 7: siktkurvor för tagna jordprover. Proverna GA03 och GA04 har analyserats med sedimentationsanalys för kornstorlek>0,065mm.

Utifrån resultatet kunde hydrauliska konduktiviteten för respektive prov beräknas enligt ekvation 6. Siktkurvorna från proverna tagna i strandvallen (GA01, GA05.1 och GA05.2) tyder på ett välsorterat grus medan GA02-GA04 har ett mer finkornigt material som siltig sand eller finkornig sand, vilket tyder på att strandvallen har eroderats av vågor då platsen var belägen i vågornas bränningszon och finmaterialet har spolats ur och sedimenterat längre ut bakom strandvallen i en lugnare miljö.

Baserat på siktkurvorna har den hydrauliska konduktiviteten räknats ut (se Tabell 9). Proverna som är tagna utanför strandvallarna har en hydraulisk konduktivitet som är flera storleksordningar lägre än vad motsvarande prover tagna i strandvallarna har.

Tabell 9: Utvärderade hydrauliska konduktiviteter för tagna jordprover enligt Gustafsons metod.

ID	Hydraulisk Konduktivitet (m/s)
GA01	6,7E-04
GA02	2,2E-06
GA03	1,1E-07
GA04	2,9E-07
GA05.1	1,9E-03
GA05.2	3,0E-03

3.6 Borrhålsprovtagning

Analysresultatet av vattenprovernas kloridinnehåll redovisas i Tabell 10.

Samtliga prover visar på ett lågt kloridinnehåll.

Tabell 10: analysresultat av kloridinnehåll av tagna vattenprover.

ID	Djup (m under markyta)	Kloridhalt (mg/l)
BH2102	35	8
	50	6
SGU2017	35	13
	50	6
Kyrkebys 1:12	13	8
	46	6

I Tabell 11 och Tabell 12 redovisas provresultaten från borrkaxproverna tagna vid borrning. Kloridhalterna i BH2102 kunde analyseras av det fria vatten som fanns i provet. Vattnet filtrerades ur och analyserades likt övriga vattenprover.

Tabell 11: Resultat av borrkaxprover tagna var femte meter i BH2101.

Djup (ner till m)	Bergart	Färg	Fukt	Anmärkning
5	kalksten	ljusgrå/beige	torr	
10	kalksten	grå mellerad	nästan torr	
15	kalksten	ljust gråvit	torr	grusig
20	kalksten	grå mellerad	torr	
25	kalksten	grå mellerad	nästan torr	grusig
30	kalksten	ljusgrå	nästan torr	borrslut

Tabell 12: Resultat av borrkaxprover tagna var femte meter i BH2102.

Djup (ner till m)	Bergart	Färg	Fukt	Anmärkning	Klorider (mg/l)
5	kalksten	gråvit	torr	inslag av gulbeige	
10	kalksten	gråvit	torr		
15	kalksten	ljust gråvit	torr		
20	kalksten	gråbeige	lätt fukt		
25	kalksten	gråbeige	lätt fukt		
30	kalksten	grå	lätt fukt		
35	kalksten	grå	lätt fukt		
40	lerig kalksten	grå	blöt		
45	kalksten	gråbeige	lätt fukt		
50	kalksten	gråbeige	lätt fukt		
55	lerig kalksten	grå	blöt	lite fritt vatten	274
60	kalksten	ljust gråbeige	lätt fukt		
65	märgelsten	grå	fuktig	siltig	
70	märgelsten	grå	blöt	fritt vatten, borrslut	87

4.0 SLUTSATS

Resultaten från samtliga metoder för att utvärdera transmissivitet för spinner-flödesloggade borrhål i denna rapport redovisas i Tabell 13 nedan. Att samtliga utvärderingsmetoder sammanfaller inom samma storleksordning i transmissiviteten för respektive borrhål tyder på tillförlitliga resultat.

I BH2007 kan delas upp i två sektioner, en övre sektion med inströmmande vatten och högt grundvattentryck och en undre sektion med lågt grundvattentryck. Sektionerna sträcker sig från 0 – 40 m och 40 – 62m under markytan respektive och kan betraktas som att vara två olika formationer. Grundvattentrycket är markant lägre i undre sektion.

Då ingen spricka identifierades i den med spinner-flödesloggningen loggade delen av SGU2017 indikerar att sprickzonen som identifierades i undersökningen 2016 (Alm, 2017) i botten av borrhålet står för nära 100% av tillrinning av vatten till borrhålet

BH2102 har mycket större uttagskapacitet än omkringliggande borrhål. Det mesta tyder det att majoritet av vattenflödet i borrhålet strömmar ut från en spricka som är beläget under maximalt loggningsdjup, ca -10 m.ö.h. Det kan dock inte uteslutas att det även finns en vattenförande zon ovan loggad sektion som inte identifieras då sonden sänktes ca 4 m och ett utflöde är tolkat precis vid grundvattenytan ca 24 m.ö.h.

I BH2103 identifieras inga tydliga in/utflöden, däremot kan mindre vattenförande zoner identifieras relativt djupt i borrhålet

I BH2104 har en låg transmissivitet och inga tydliga sprickzoner har kunnat identifieras.

Kyrkebys 1:12 har tydliga sektioner med in/utflöden. Men till skillnad från ovan undersökta borrhål är vattenrörelsen i borrhålet riktat nedåt där kapaciteten ökar mot botten av borrhålet. Brunnen används idag som privat vattenförsörjning.

Tabell 13: Transmissivitet för enskilda sprickor eller sprickzoner identifierade med Spinner flödesloggning och beräknade med Ekvation 1, 2 & 3 och utvärderat med AQTESOLV.

ID	Djupintervall (m under markytan)	Transmissivitet Sprickplan [Ekv 3] (m^2/s)	Transmissivitet Helhål [AQTESOLV] (m^2/s)	Transmissivitet Theims [Ekv 1] (m^2/s)	Transmissivitet Moyes [Ekv 2] (m^2/s)
BH2007	14,9 – 16,1	1,0E-05	3,0E-05	2,5E-05	2,9E-05
	21,5 – 31,2	1,4E-05			
	51,9 – 52,8	4,4E-06			
BH2102	52,6 – 54,0	2,9E-04	1,8E-03	1,9E-03	2,2E-03
	62,6 – 63,6	1,9E-04			
	68,5 – 68,9	1,5E-03			
BH2103	43,7 – 45,4	1,9E-05	4,0E-05	3.5E-05	4,0E-05
	46,7 – 53,3	4,4E-05			
BH2104	-*	-*	8,4E-07	-*	-*
Lilla Kyrkebys 1:12	17,8 – 18,4	2,7E-04	6,2E-03	2,1E-03	2,2E-03
	33,4 – 34,7	2,7E-04			
	42,1 – 44,0	1,1E-03			
SGU2017	76,8 – 76,9	1,6E-04	1,4E-04	1,7E-04	1,5E-04

* inget steady state vid pumpning.

Uppmätt data från slugtester i ytliga rör överenstämmer med bilden från fältobservationer om att ytberget är mer uppsprucket inom områden med revkalksten medan i märgelstenen är ytberget sprickfattigare. Antalet tester är dock få så fler tester behövs och är planerat för att bekräfta bilden.

Den identifierade strukturen enligt de geofysiska undersökningarna var inte vattenförande i BH2101 utan mer troligt en effekt av ett högt lerinnehåll då BH2101 har en hydraulisk konduktivitet på 1,0E-08 m/s.

Uppmätta konduktiviteter runt Västra brottet ger en generell bild av ökande salthalter mot djupet och markant högre koncentrationer nära havet.

Långtidsloggning av vattentemperaturer visar att vid årstider som markant avviker från medeltemperaturen är temperatur en bra indikator för att bestämma typ av vatten. Det relativt rikliga antalet observerade punkter med grundvattenutströmning som kan observeras på många håll på norra File hajdar, främst i anslutning någon av de många små våtmarkerna som förekommer, utgörs vatten som strömmar nära markytan baserat på resultatet av vattentemperaturmätningar. Det enda vattnet med en vattentemperatur på 8 ºC vilket tydligt visar att detta är ett vatten som strömmar upp från berget är från Prosthulet vid Hejnum hällars sluttning.

REFERENSER

Alm, P.-G., 2017. Loggingrapport. Borrhålsloggning Gotland, diarienummer: 423-2454/2016. Sveriges geologiska undersökning (SGU). 79 sid.

Andersson, Olof, Andersson, Anna-Carin, och Gustafson, Gunnar. 1984. BRUNNAR Undersökning - Dimensionering - Borrning - Drift. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.

Dougherty, D.E and D.K. Babu, 1984. Flow to a partially penetrating well in a double-porosity reservoir, Water Resources Research, vol. 20, no. 8, pp. 1116-1122.

GeoVista AB, 2021. Slite, resistivitetskampanj 2. GeoVista, Luleå.

Golder. 2020a. Undersökning av bergets hydrauliska egenskaper med flowlogger. Göteborg.

Golder, 2020b. Tekniskt PM, Jämförelse mellan uppmätta resultat från flowlogging och grundvattenmodell. Golder, Göteborg.

Hvorslev, M.J., 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, pp. 1-50

Lundmark. A., Envall, M., Gunnarsson, A. 2007. Vägsalt i avrinnande vägdagvatten – uppföljning av vattenskyddsåtgärd längs väd E4 Bergaåsen. Vägverket, Jönköping.

de Marsily G., 1986. Quantitative Hydrogeology, Groundwater Hydrology for Engineers. Academic Press, Inc. London

Moench, A.F., 1988. The response of partially penetrating wells to pumpage from double-porosity aquifers, Proceedings of the International Conference on Fluid Flow in Fractured Rocks, Atlanta, GA, May 16-18, 1988.

Moye D. G., 1967. Diamond drilling for foundation exploration. Civil Engineering Trans., 1967, April, pp. 95-100.

SGU, 2017a. SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2. Rapporter och Meddelanden 140.

SGU, 2017b. Våtmarker och grundvattenbildning – om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland. SGU-rapport 2017:01. SGU, Uppsala.

Svantesson, S., 1980. Geologisk dokumentation av Cementa ABs täktområde på File hajdar, Gotland. SGU-rapport januari 1980. SGU, Uppsala.

Thiem, 1906. Hydrologische Methoden: Dissertation zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs durch die Königliche Technische Hochschule zu Stuttgart. JM Gebhardt's verlag

Signatur sida

Golder Associates AB

Gustav Tennby
Hydrogeolog

Jakob Eng
Kvalitetsgranskare

GT/JE

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte:Stockholm

o:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\8.rapporter\fältrapport korta tillståndet 2022\fältrapport 2021-2022_draft4.docx

BILAGA A

Utvärderade borrhålsloggar

Brunns ID: SGU2017

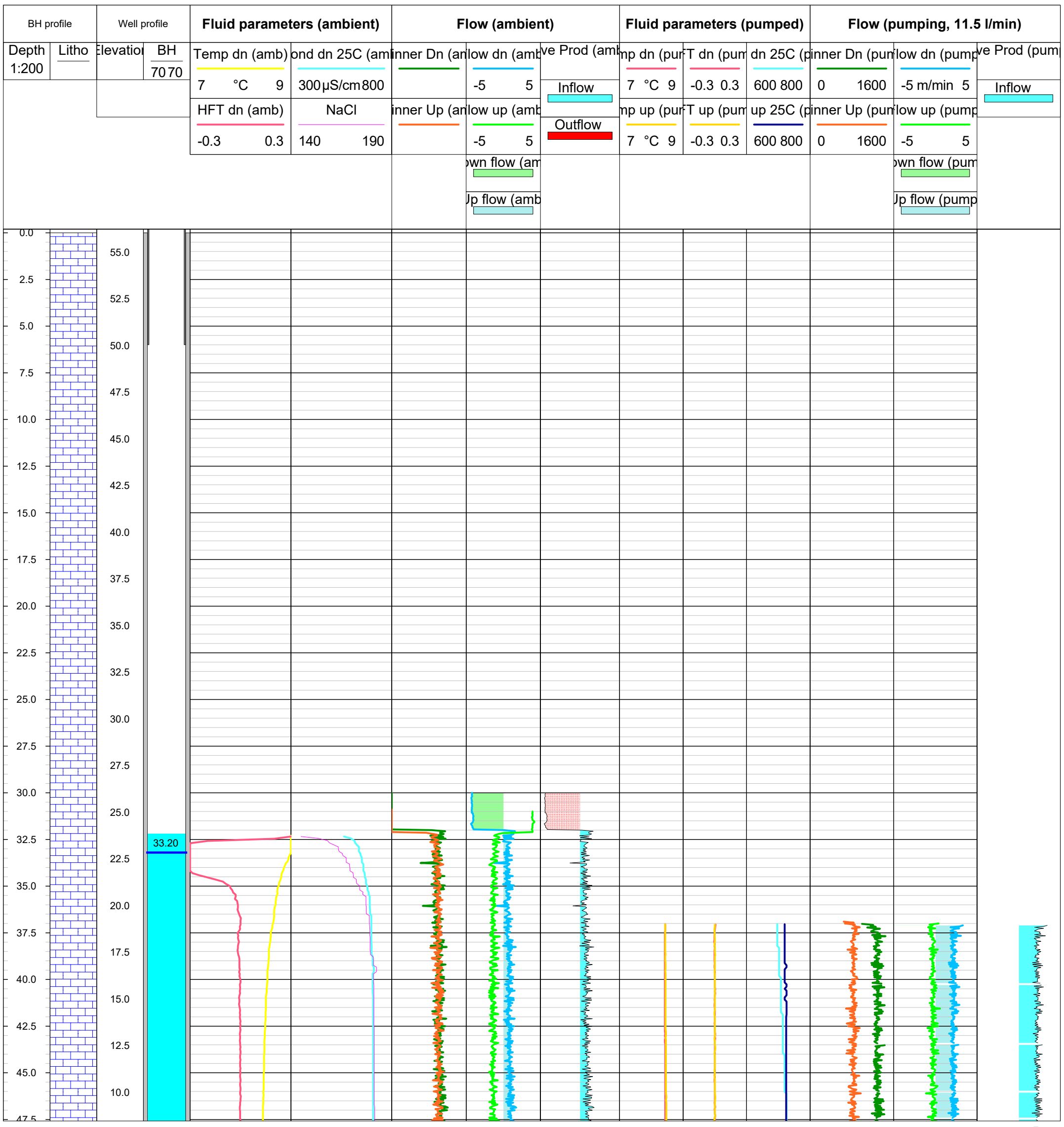
Plats: File Hajdar, Gotland

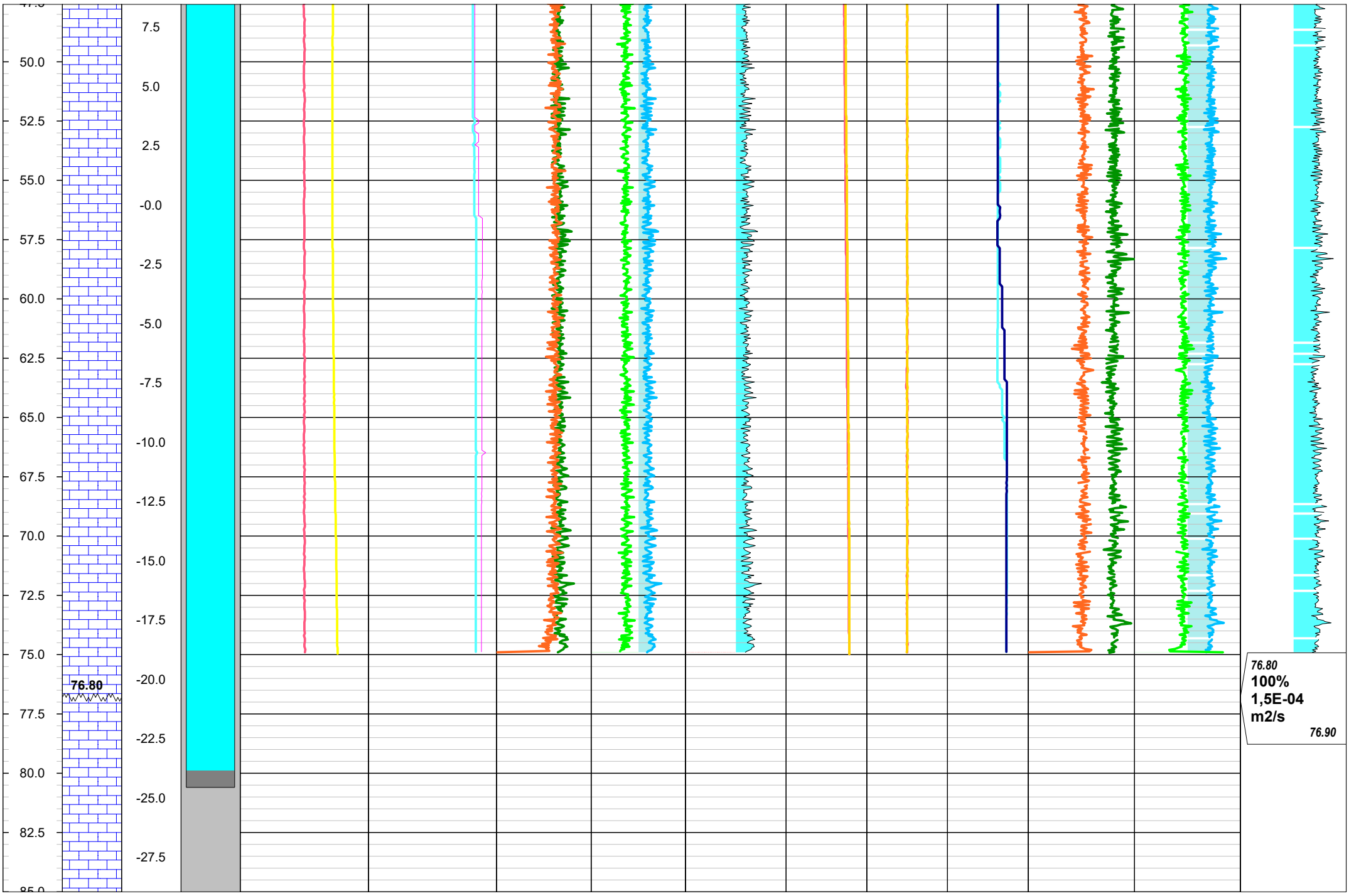
Företag: Cementa AB

GOLDER
MEMBER OF WSP

Legend

Limestone




50.0
52.5
55.0
57.5
60.0
62.5
65.0
67.5
70.0
72.5
75.0
77.5
80.0
82.5
7.5
5.0
2.5
-0.0
-2.5
-5.0
-7.5
-10.0
-12.5
-15.0
-17.5
-20.0
-22.5
-25.0
-27.5
76.80
76.80
100%
1,5E-04
m2/s
76.90

Brunns ID: Kyrkebys 1:12

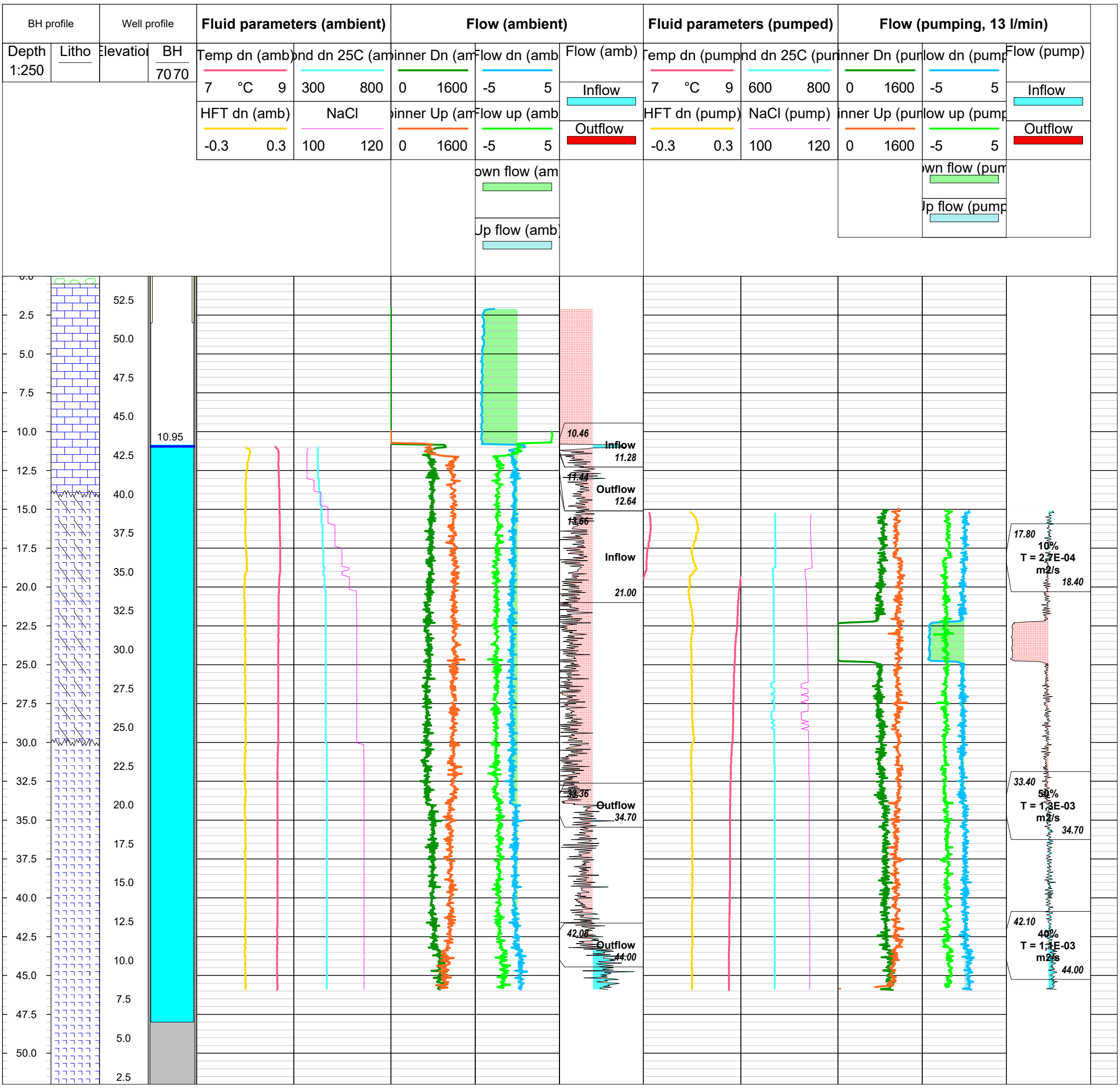
Plats: Hejnum, Gotland

Företag: Cementa AB

GOLDER
MEMBER OF WSP

Legend

Gravel
Marl
Limestone
Marl - fractured



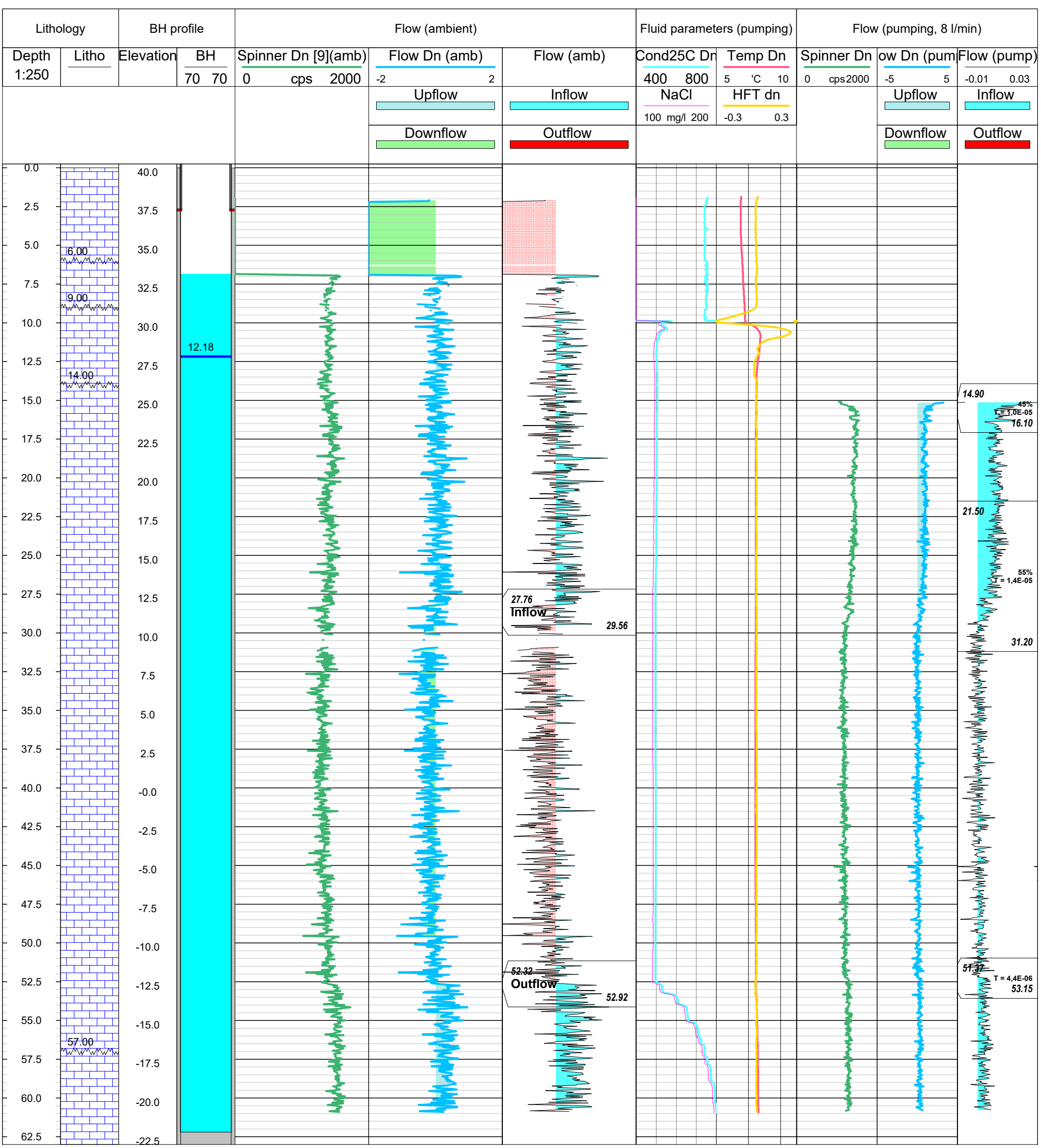
Brunns ID: BH2007

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

Limestone



Brunns ID: BH2102

Plats: Slite, Gotland

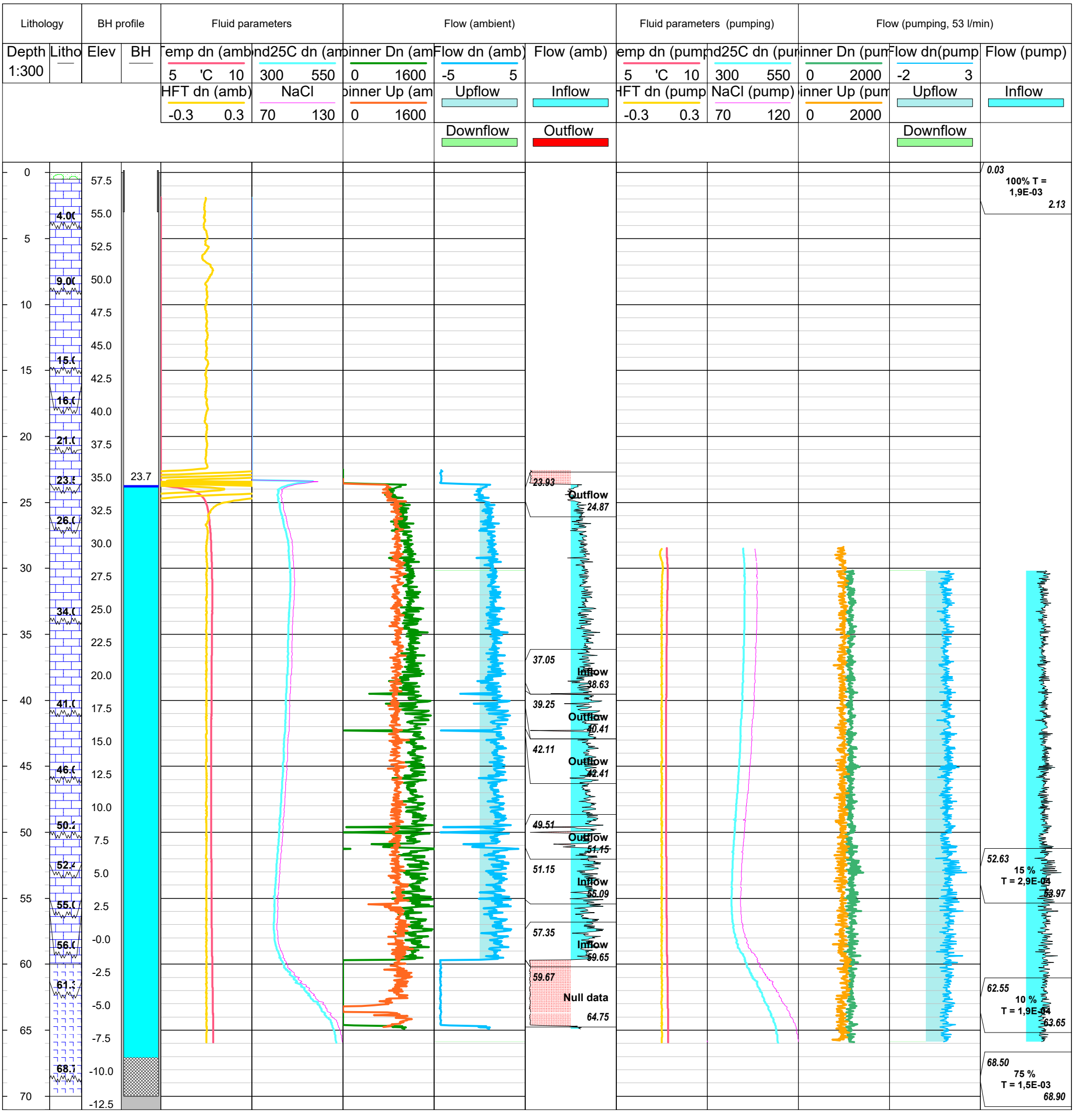
Företag: Cementa AB

Legend

Gravel

Marl

Limestone



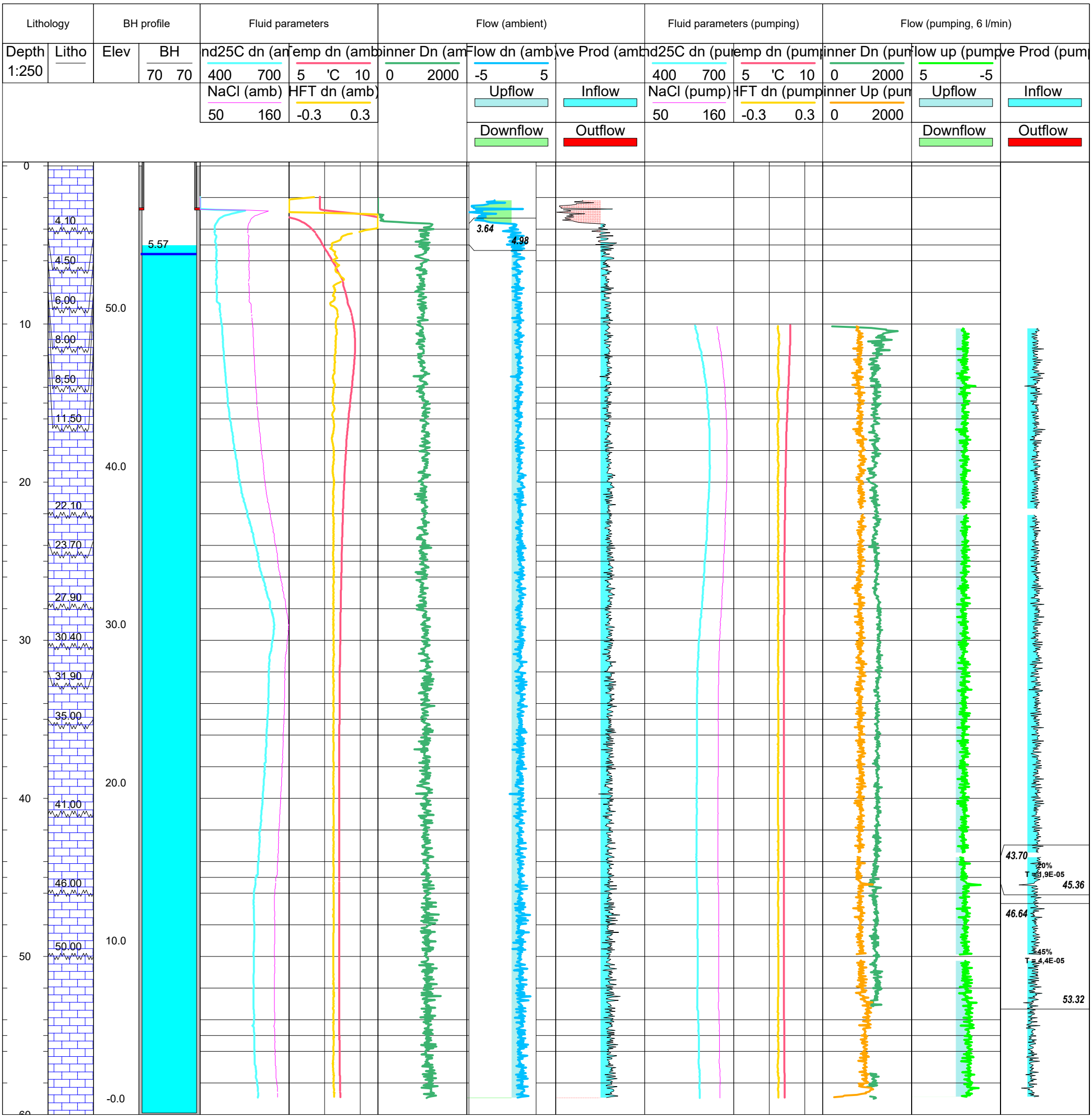
Brunns ID: BH2103

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

Limestone



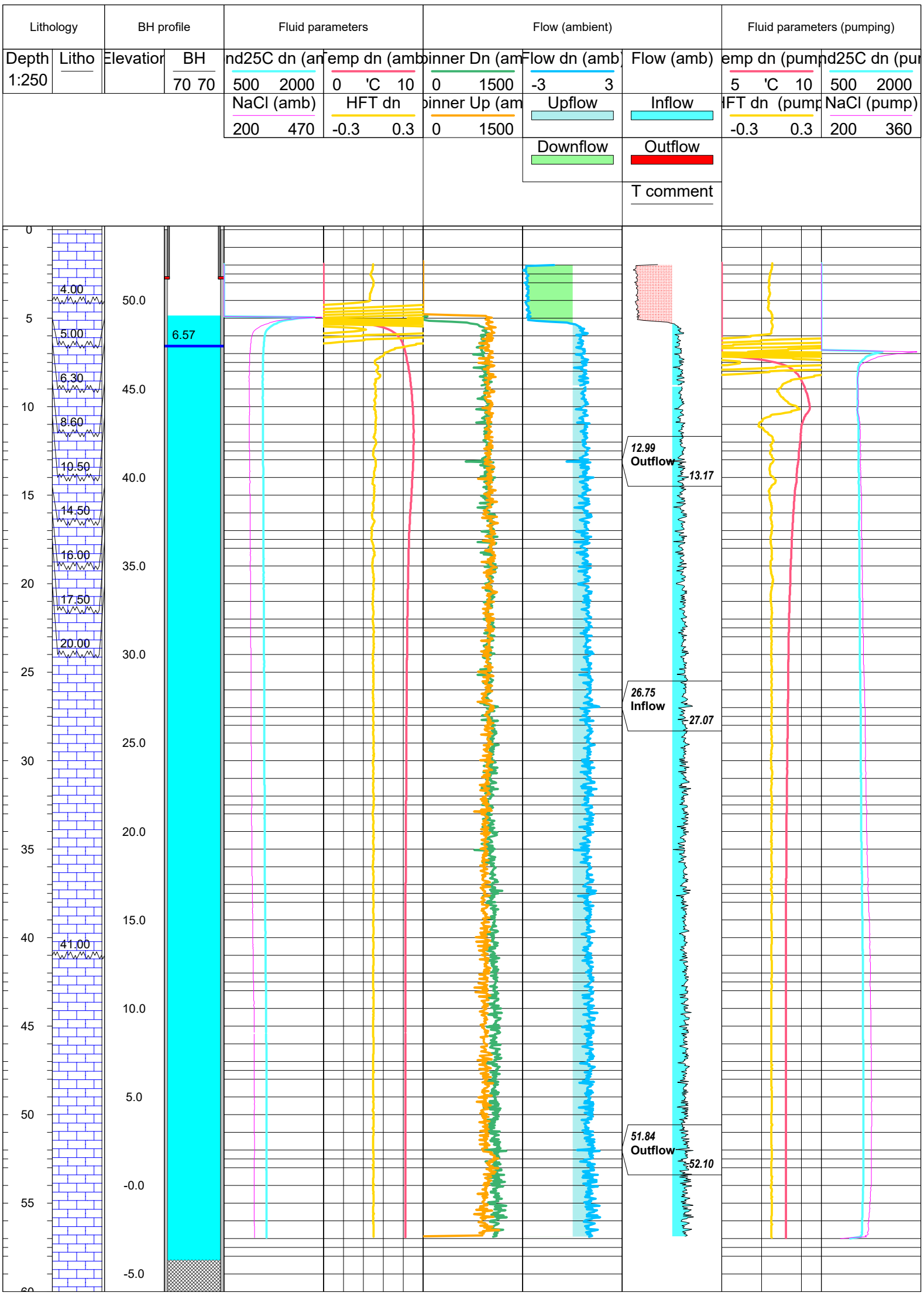
Brunns ID: BH2104

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

Limestone

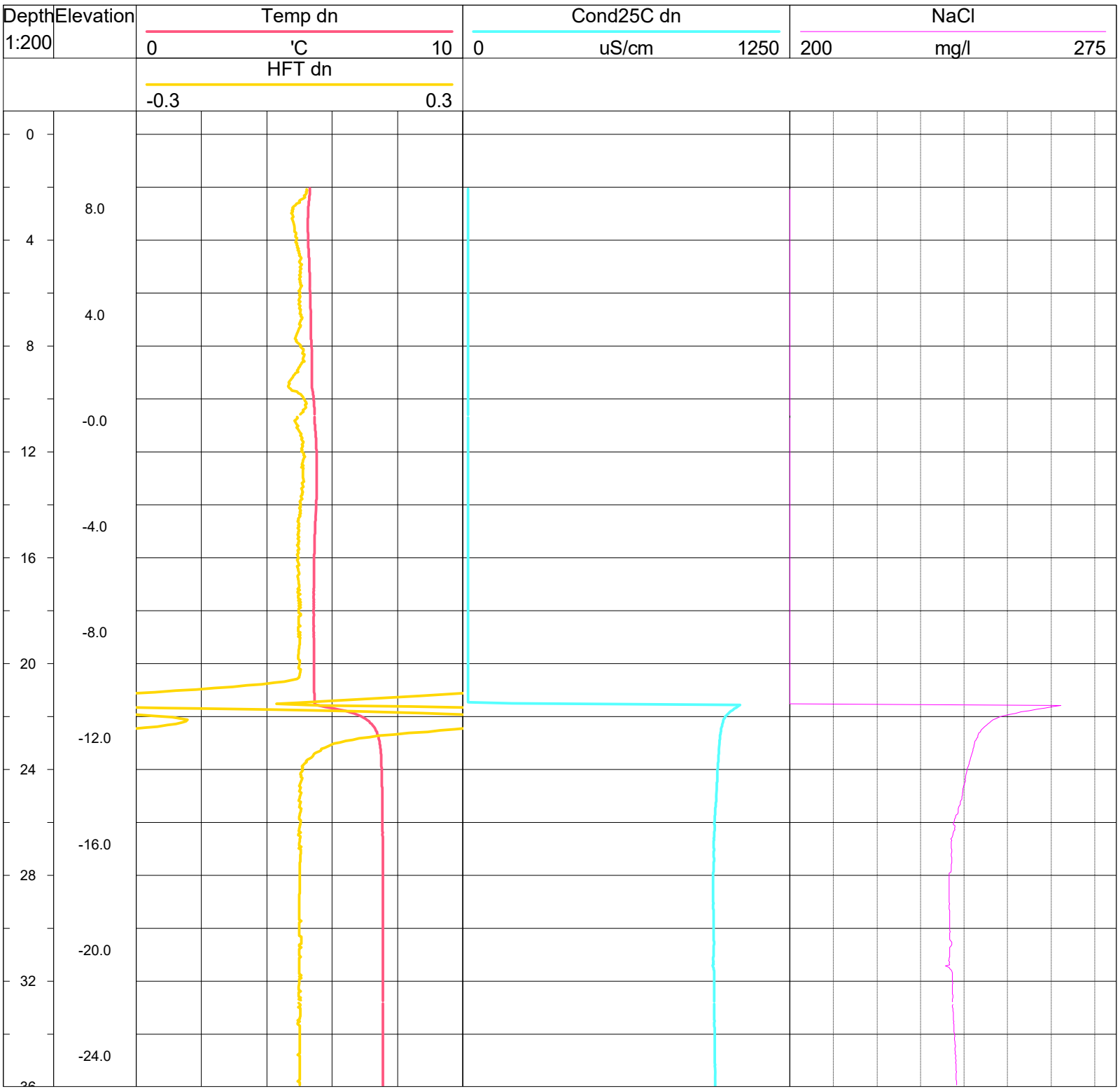


Brunns ID: BH1105

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

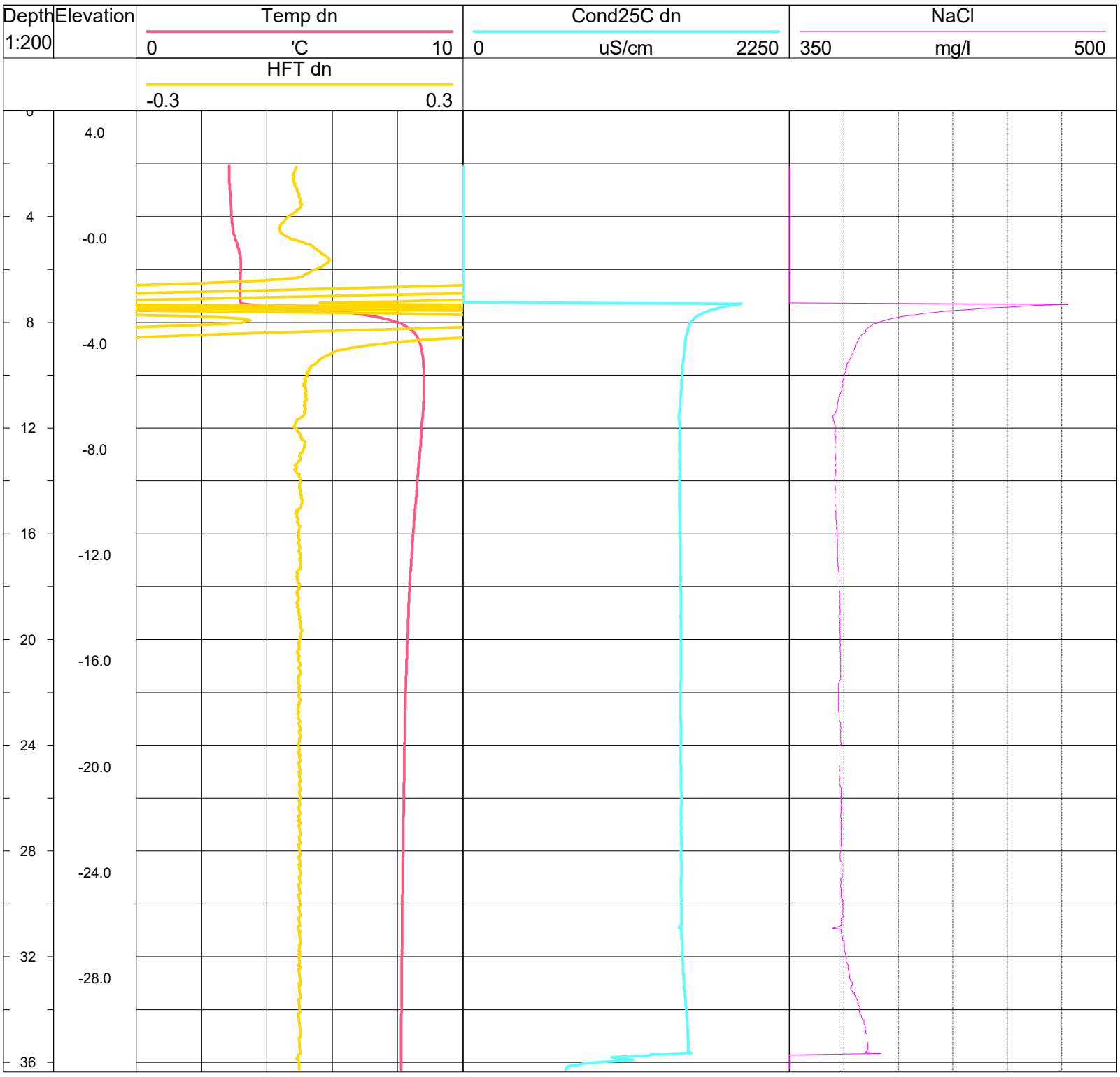


Brunns ID: BH1106

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

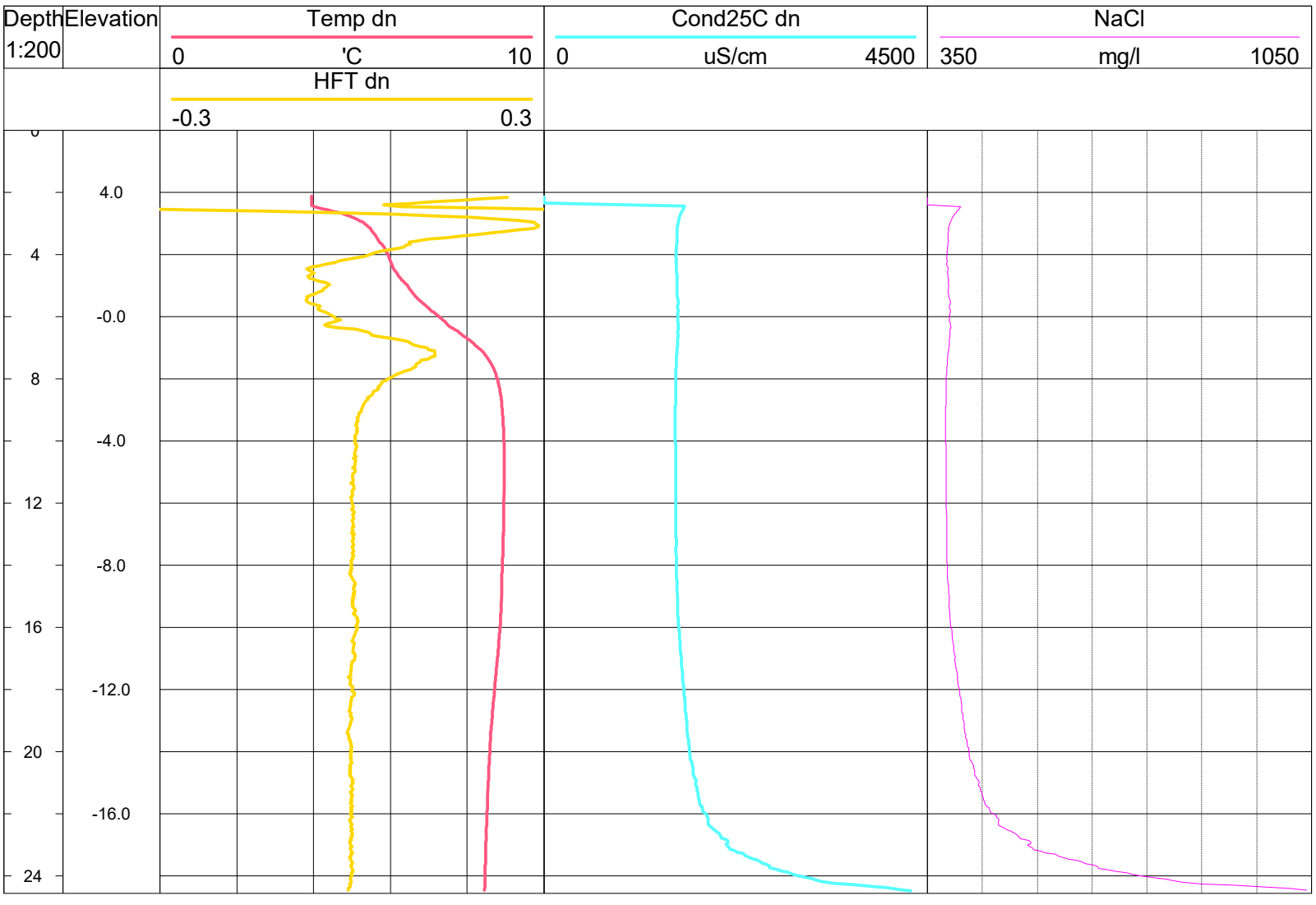


Brunns ID: BH1107

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

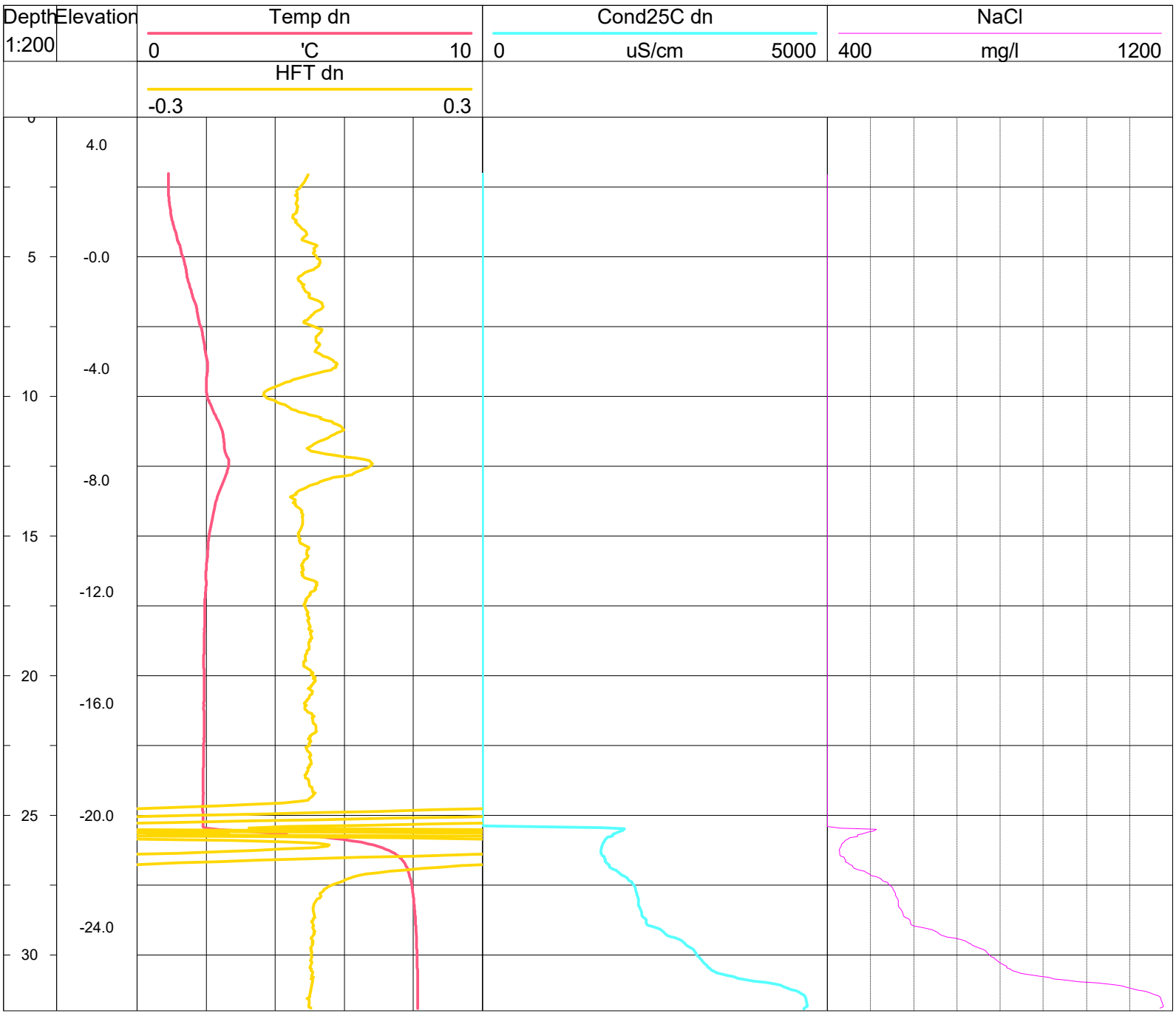


Brunns ID: BH1108

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

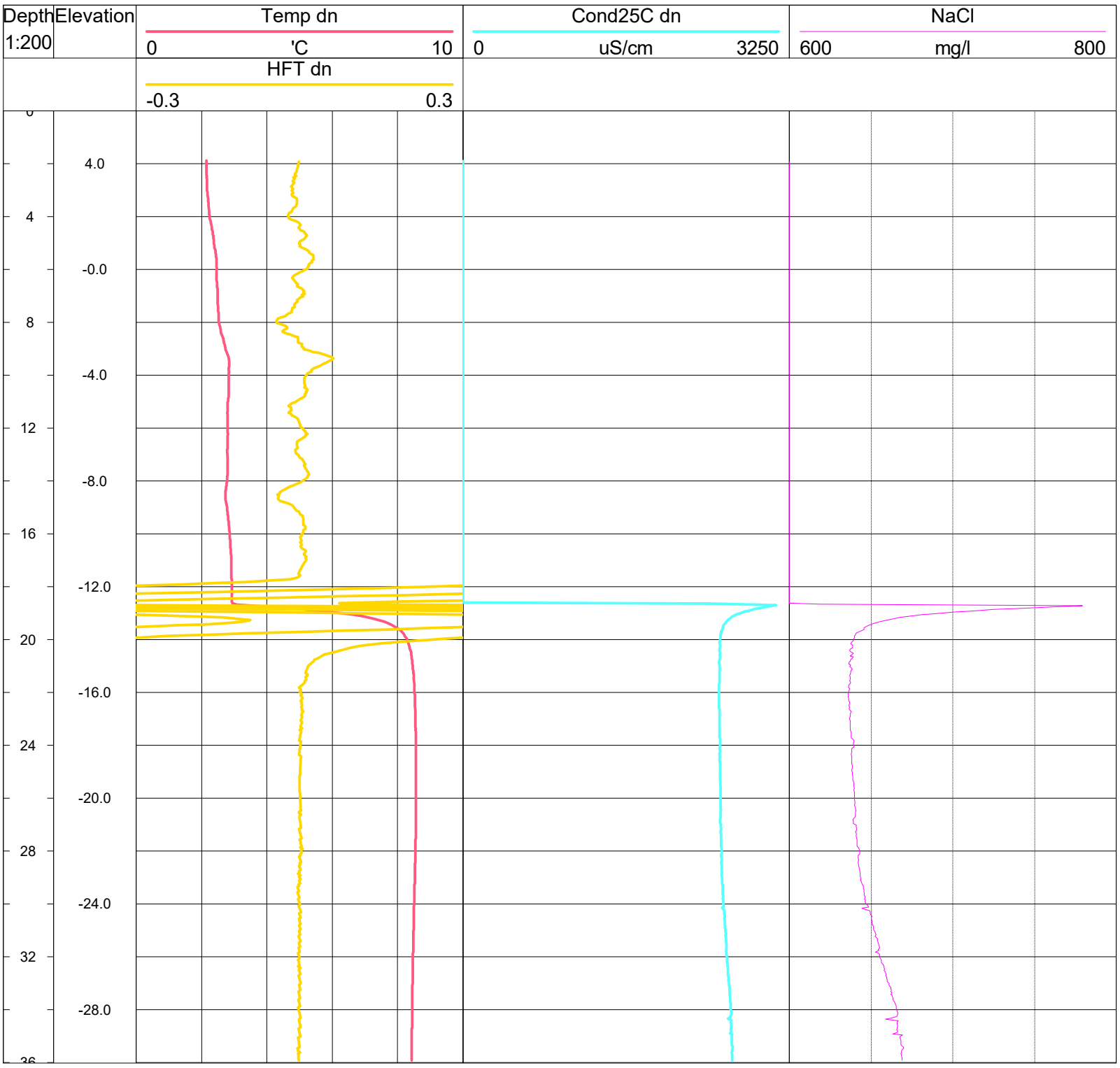


Brunns ID: BH1109

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

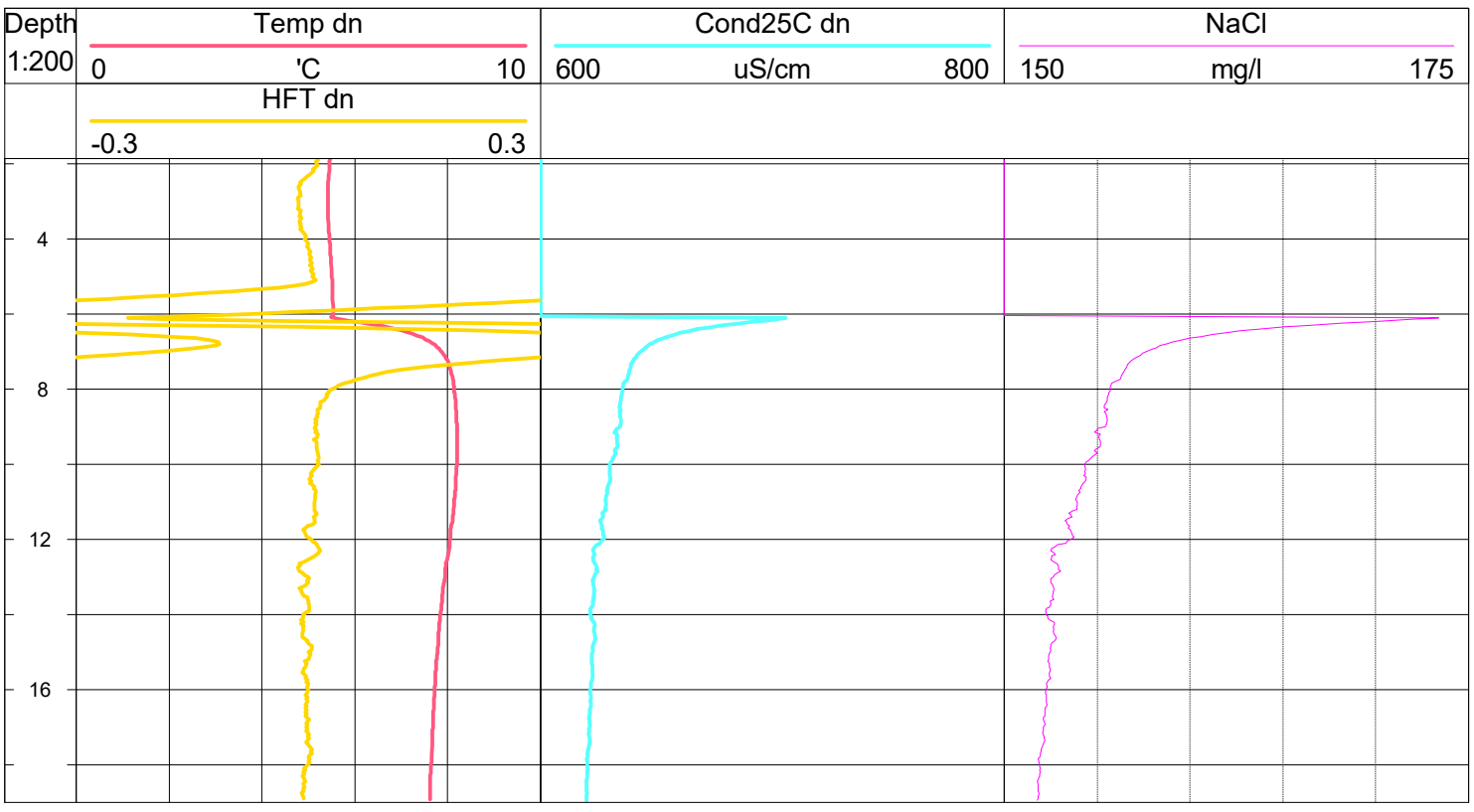


Brunns ID: BH2017

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend

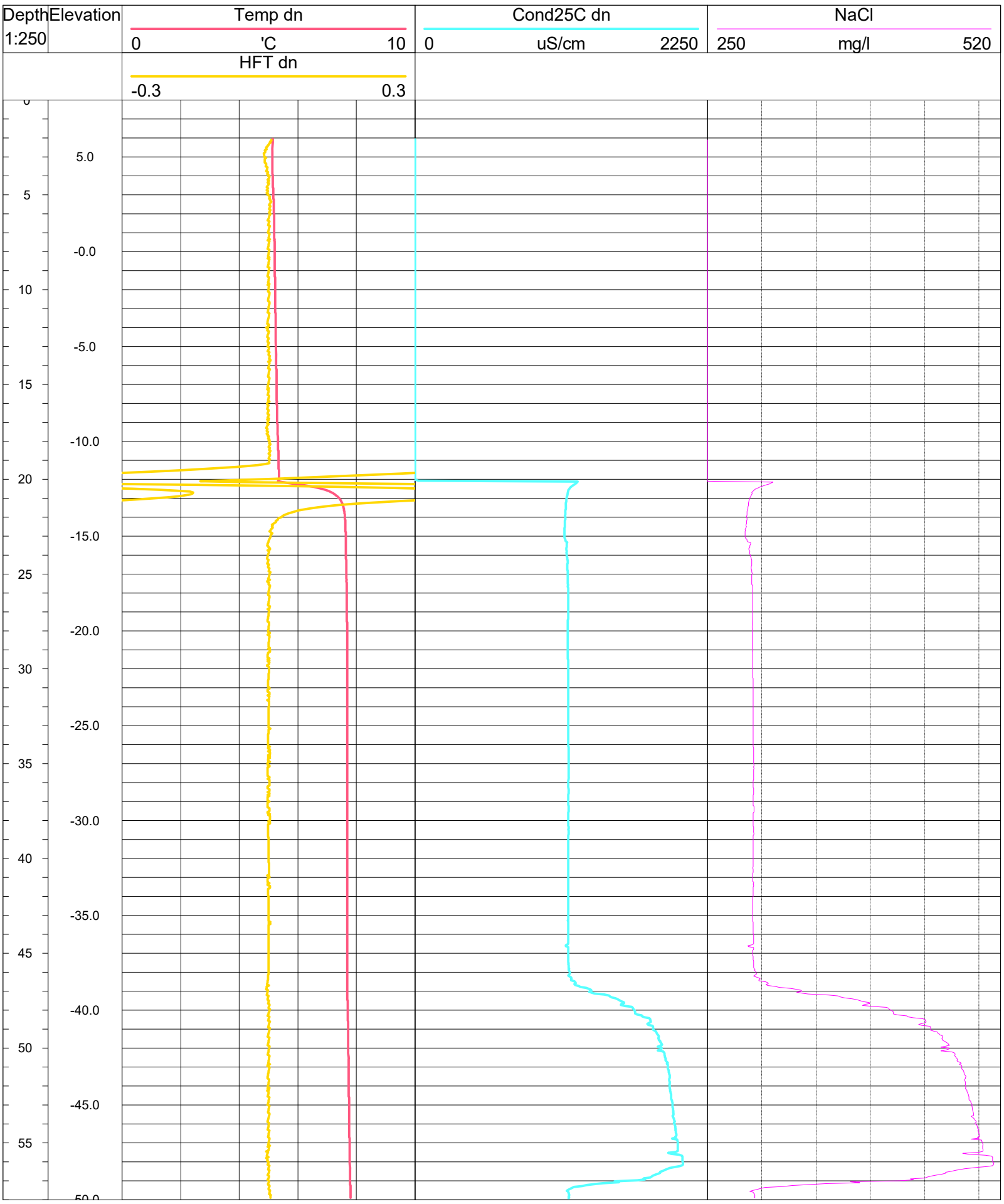


Brunns ID: BH2202

Plats: Slite, Gotland

Företag: Cementa AB

Legend



BILAGA B

Fältprotokoll Flödesloggning

WSP GOLDER
Lilla Bommen 6 * 411 04 Göteborg

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa fältundersökningar			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	2022-02-01	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	GT & SR
ID	BH2007				
Djup till vatten utan utrustning i borrhål [m]:	6,84			Foderrörslängd [m]	3
Djup till vatten med logger i borrhål [m]:				Uppstick [m]:	0,18
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter [mm]:	115
Djup till vatten vid steady state-pumpning:	12,18			MPD [m]:	62,2
Flöde vid steady state-pumpning [l/min]:	8			Tid: (steady state)	

Kommentarer:

FTC sond kördes efter pumpat Spinner Flödes loggning

WSP GOLDER
Lilla Bommen 6 * 411 04 Göteborg

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa fältundersökningar			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	2022-02-03	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	GT & SR
ID	BH2102				
Djup till vatten utan utrustning i borrhål [m]:		23,43		Foderrörslängd [m]	3
Djup till vatten med logger i borrhål [m]:		23,43		Uppstick [m]:	0,18
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		23,43		Inre diameter [mm]:	115
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		23,88		MPD [m]:	67,07
Flöde vid steady state-pumpning [l/min]:		53		Tid: (steady state)	

Kommentarer:

SFL kördes enbart pumpat då ostörd genomfördes hösten 2021.

WSP GOLDER
Lilla Bommen 6 * 411 04 Göteborg

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Fältundersökningar			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	2022-02-01	Tid (TT:MM)	16:00	Utfört av (Fullständigt namn)	GT & SR
ID	BH2103				
Djup till vatten utan utrustning i borrhål [m]:	5,02			Foderrörslängd [m]	3
Djup till vatten med logger i borrhål [m]:	5,02			Uppstick [m]:	0,25
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter [mm]:	115
Djup till vatten vid steady state-pumpning:	5.57			MPD [m]:	59,91
Flöde vid steady state-pumpning [l/min]:	6			Tid: (steady state)	18:00

Kommentarer:

WSP GOLDER
Lilla Bommen 6 * 411 04 Göteborg

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa fältundersökningar			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	2022-02-02	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	GT & SR
ID	BH2104				
Djup till vatten utan utrustning i borrhål [m]:		4,85		Foderrörslängd [m]	3
Djup till vatten med logger i borrhål [m]:				Uppstick [m]:	0,3
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter [mm]:	115
Djup till vatten vid steady state-pumpning:				MPD [m]:	58,2
Flöde vid steady state-pumpning [l/min]:		4		Tid: (steady state)	

Kommentarer:

MP1 dog
FTC efter pumpning

Lodning	14:23	6,6	
	14:36	6,6	sond ur
	14:48	6,4	

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Fältundersökningar			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	2021-10-26	Tid (TT:MM)	12:37	Utfört av (Fullständigt namn)	Gustav Tennby & Stefan Rhodin
ID	SGU2017				
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:			32.2	Foderrörslängd	3
Djup till vatten med logger i borrhål:				Uppstick:	150
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter:	115
Djup till vatten vid steady state-pumpning:			33,2	Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:			10 l/min		

Egna kommentarer:

mpd 79,87 Dummy

Loggar till 75 MYCKET skitigt

GVY uppskattat med SFL sub

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Fältundersökningar			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	2021-10-27	Tid (TT:MM)	08:25	Utfört av (Fullständigt namn)	Gustav Tennby & Stefan Rhodin
ID	Kyrkebys 1:12				
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:			10,82	Foderrörslängd	3
Djup till vatten med logger i borrhål:				Uppstick:	50
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter:	115
Djup till vatten vid steady state-pumpning:			10,95	Tid: (steady state)	10:45
Flöde vid steady state-pumpning:			13 l/min		

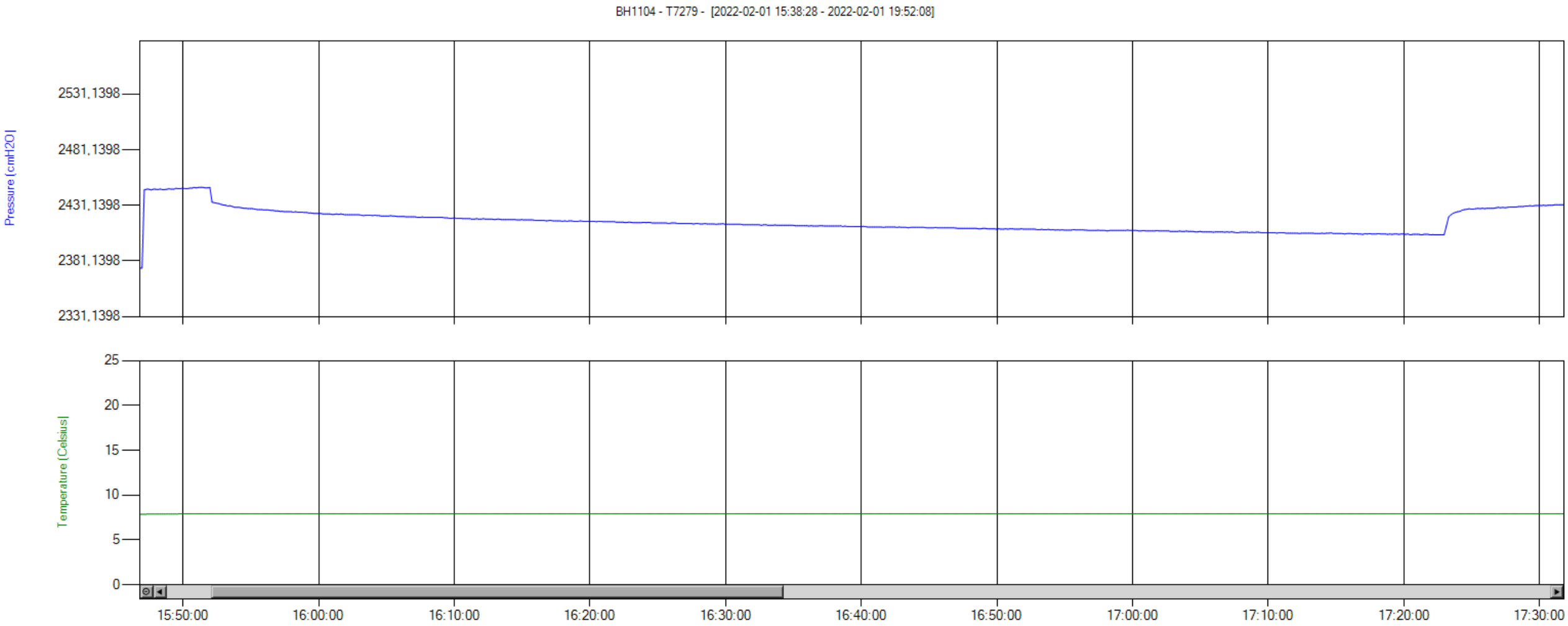
Egna kommentarer:

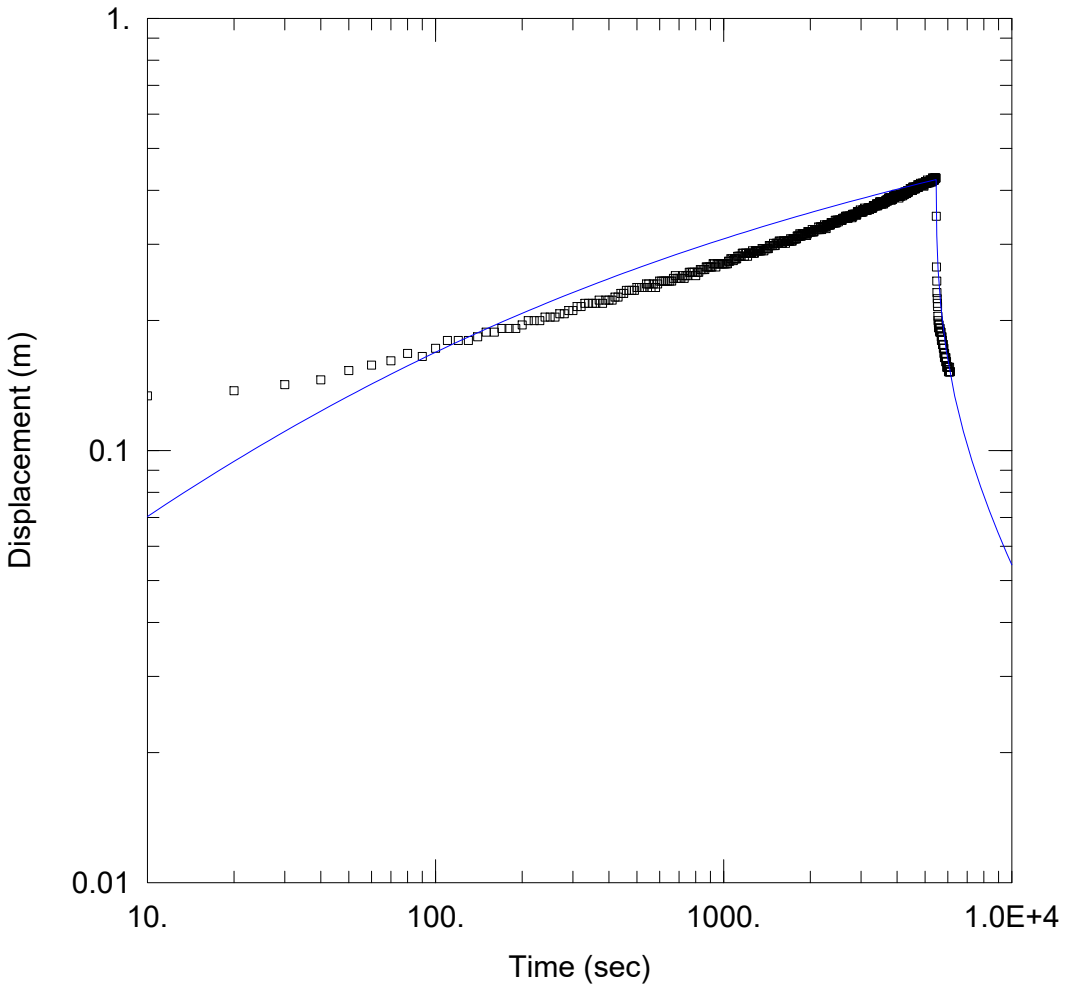
mpd 47.19 Dummy

loggar till 46

BILAGA C

Diverkurvor och utvärdering i AQTESOLV


BH1104 - T7279 - [2022-02-01 15:38:28 - 2022-02-01 19:52:08]
Pressure [cmH2O]
2531,1398
2481,1398
2431,1398
2381,1398
2331,1398
Temperature [Celsius]
25
20
15
10
5
0
15:50:00
16:00:00
16:10:00
16:20:00
16:30:00
16:40:00
16:50:00
17:00:00
17:10:00
17:20:00
17:30:00



PUMPTEST

Data Set: O:\...\BH1104.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:21:37

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH1104
Test Date: 220201

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 40.6 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1104	0	0

Observation Wells

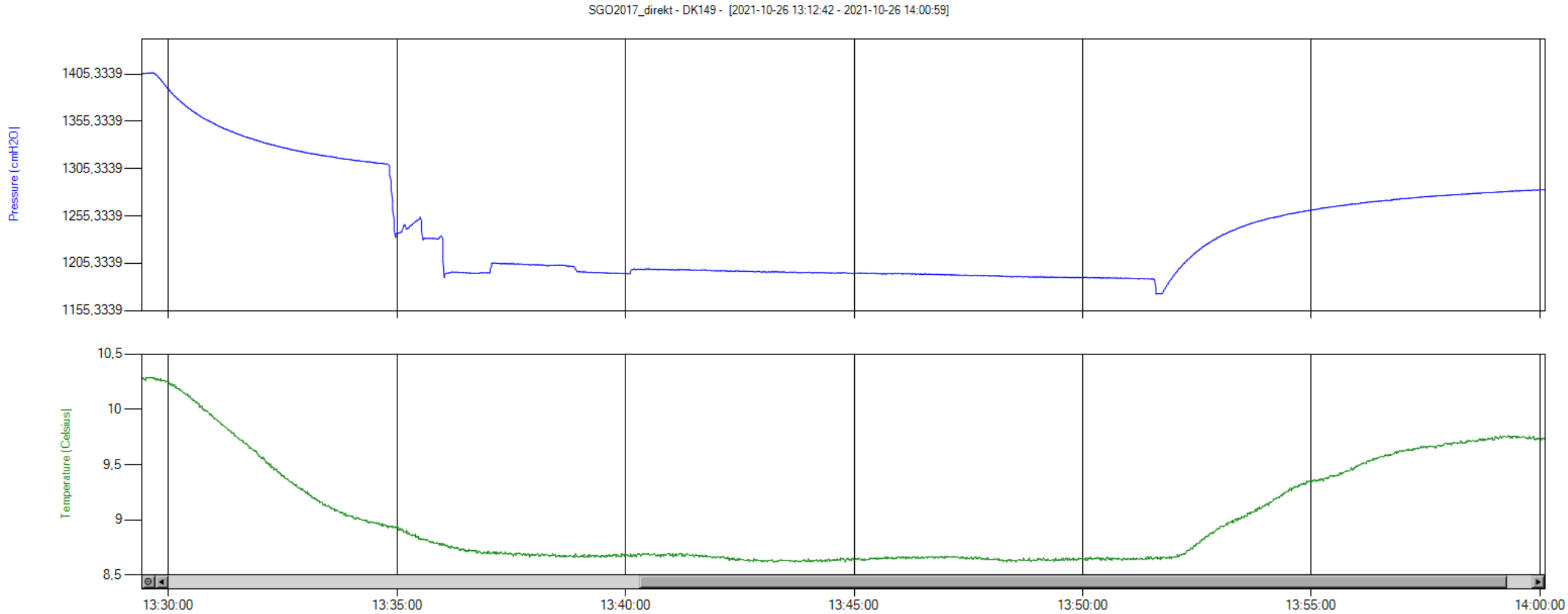
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1104	0	0

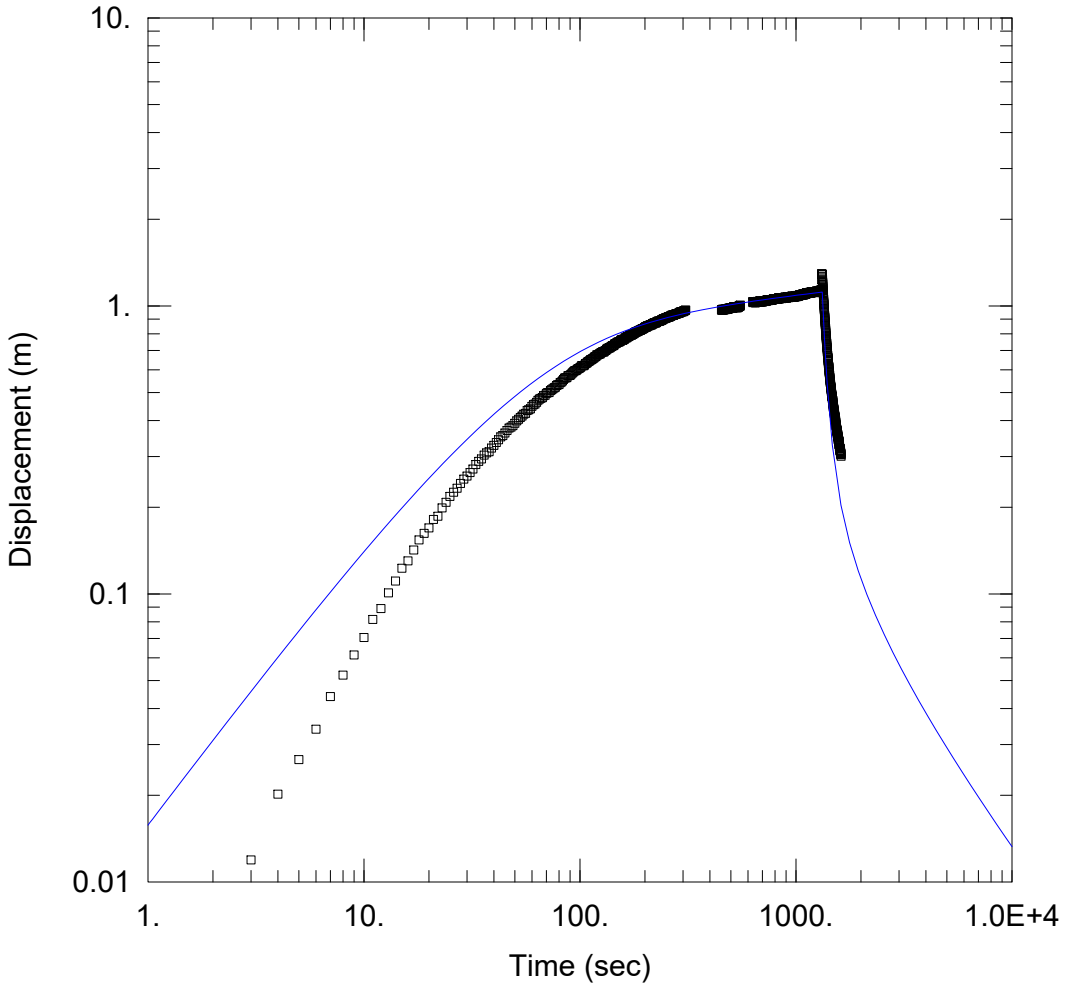
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.001047 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.04078
Sw = -2.7
r(c) = 0.0575 m


SGO2017_direkt - DK149 - [2021-10-26 13:12:42 - 2021-10-26 14:00:59]
Pressure [cmH2O]
1405,3339
1355,3339
1305,3339
1255,3339
1205,3339
1155,3339
Temperature [Celsius]
10,5
10
9,5
9
8,5
13:30:00
13:35:00
13:40:00
13:45:00
13:50:00
13:55:00
14:00:00



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: I:\...\SGU2017.aqt
Date: 11/16/21 Time: 14:54:56

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: SGU217
Test Date: 2021-10-26

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 46.67 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
SGU2017	720288	6404865

Observation Wells

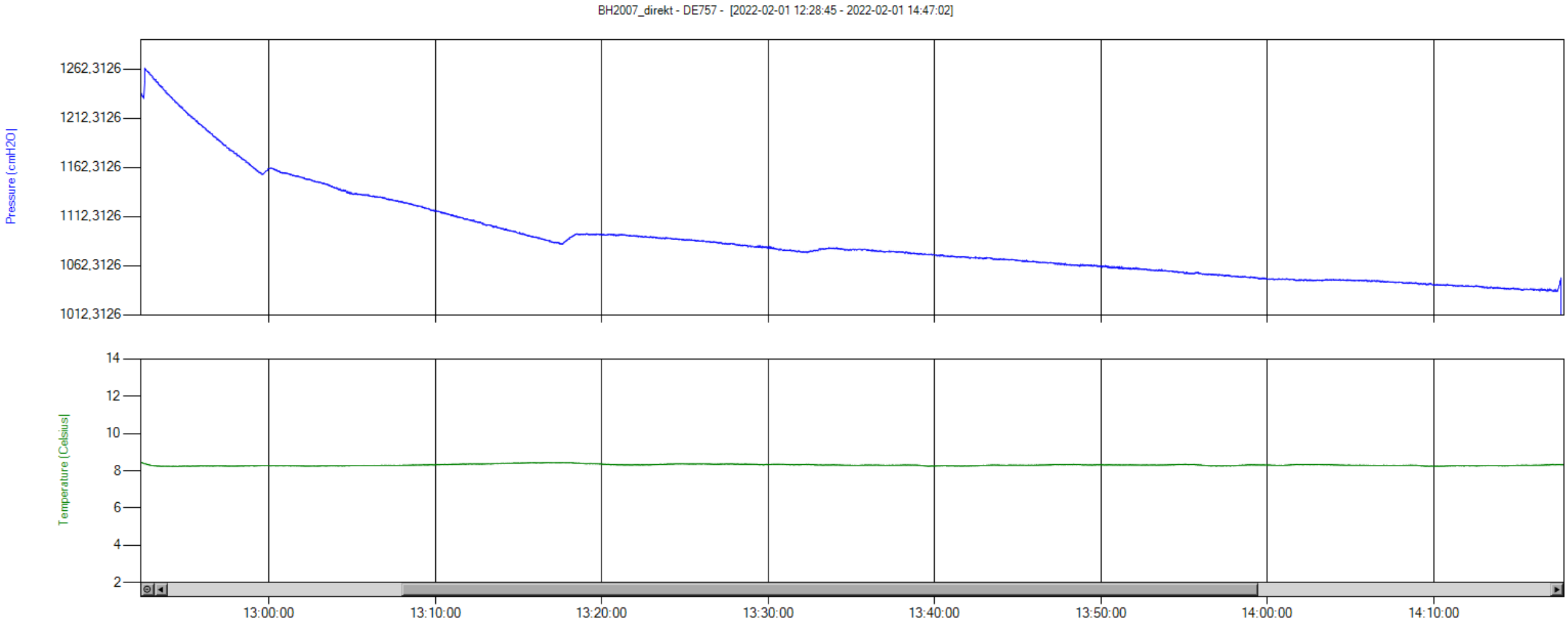
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ SGU2017	720288	6404865

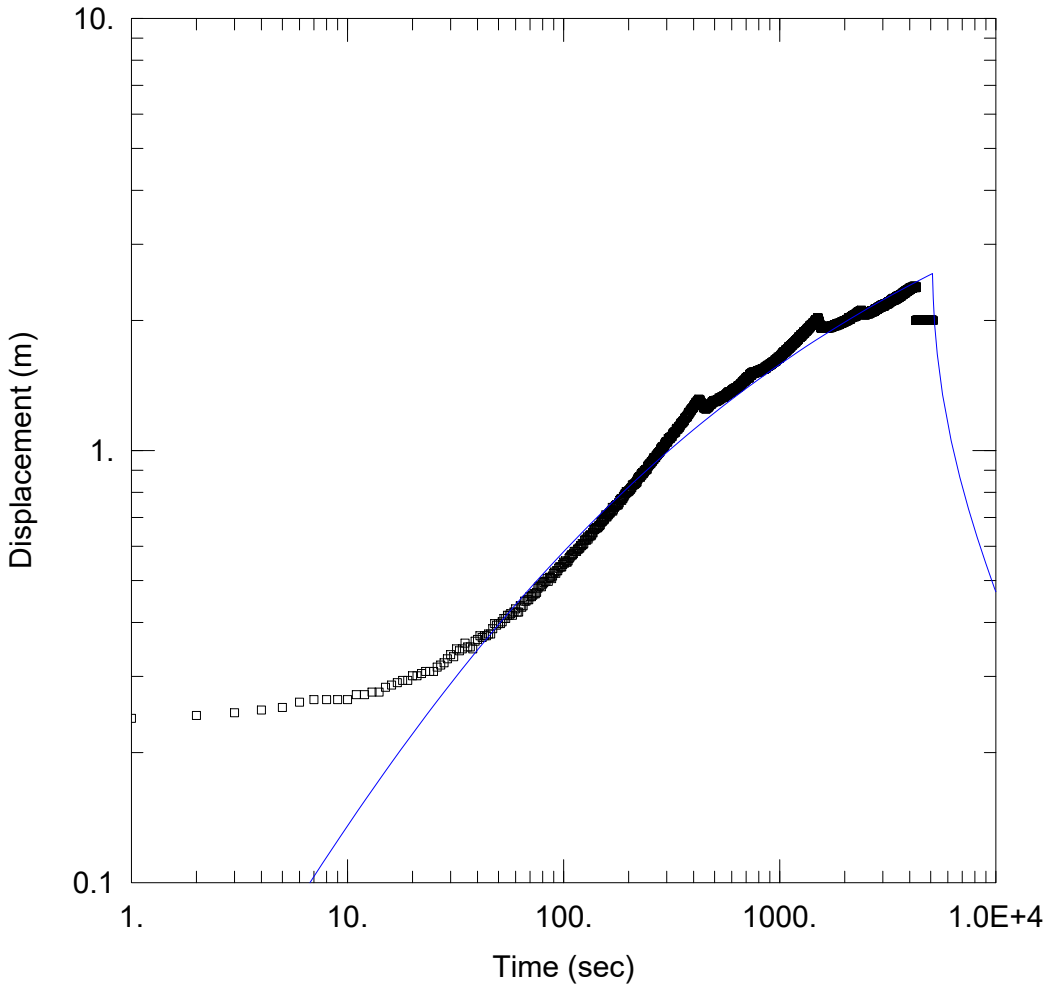
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.0001446 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.01032
Sw = 1.425
r(c) = 0.0575 m


BH2007_direkt - DE757 - [2022-02-01 12:28:45 - 2022-02-01 14:47:02]
Pressure [cmH2O]
1262,3126
1212,3126
1162,3126
1112,3126
1062,3126
1012,3126
Temperature [Celsius]
14
12
10
8
6
4
2
13:00:00
13:10:00
13:20:00
13:30:00
13:40:00
13:50:00
14:00:00
14:10:00



PUMPTEST

Data Set: I:\...\BH2007_v2.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:21:26

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2007
Test Date: 220201

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 55.36 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2007	0	0

Observation Wells

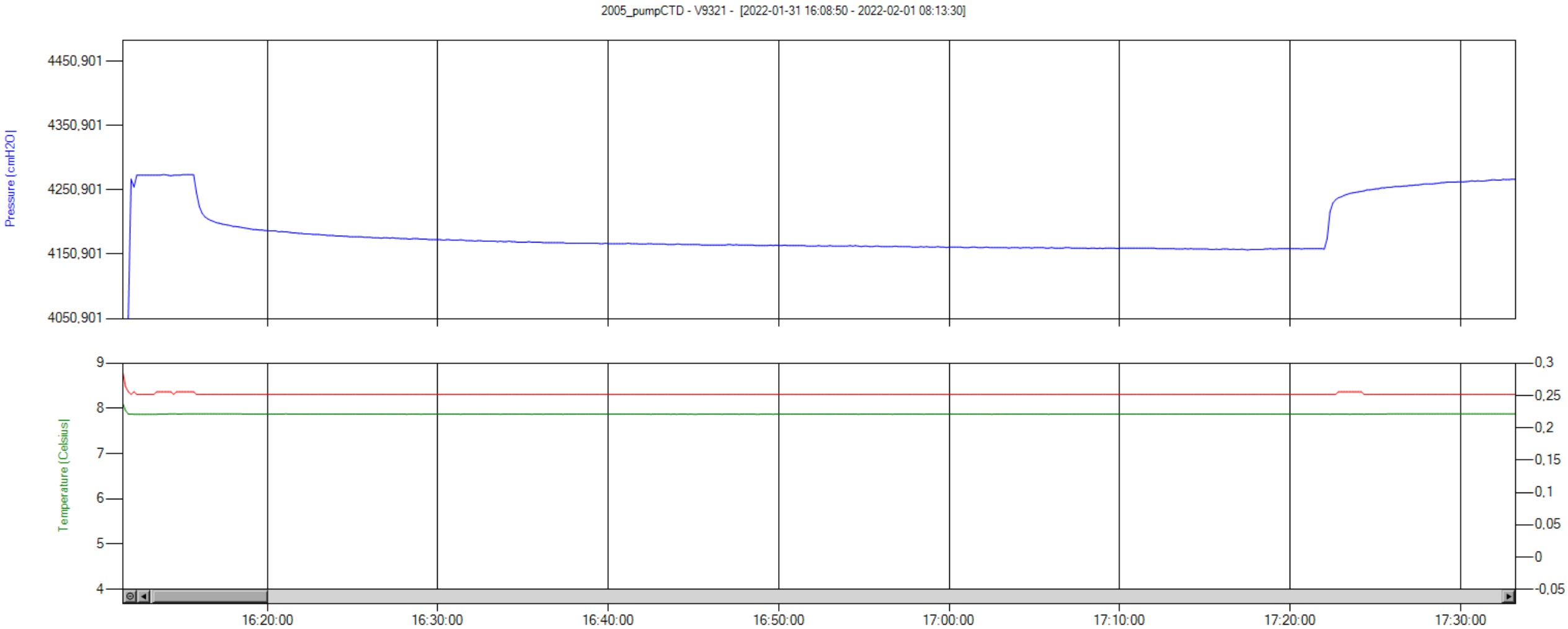
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH2007	0	0

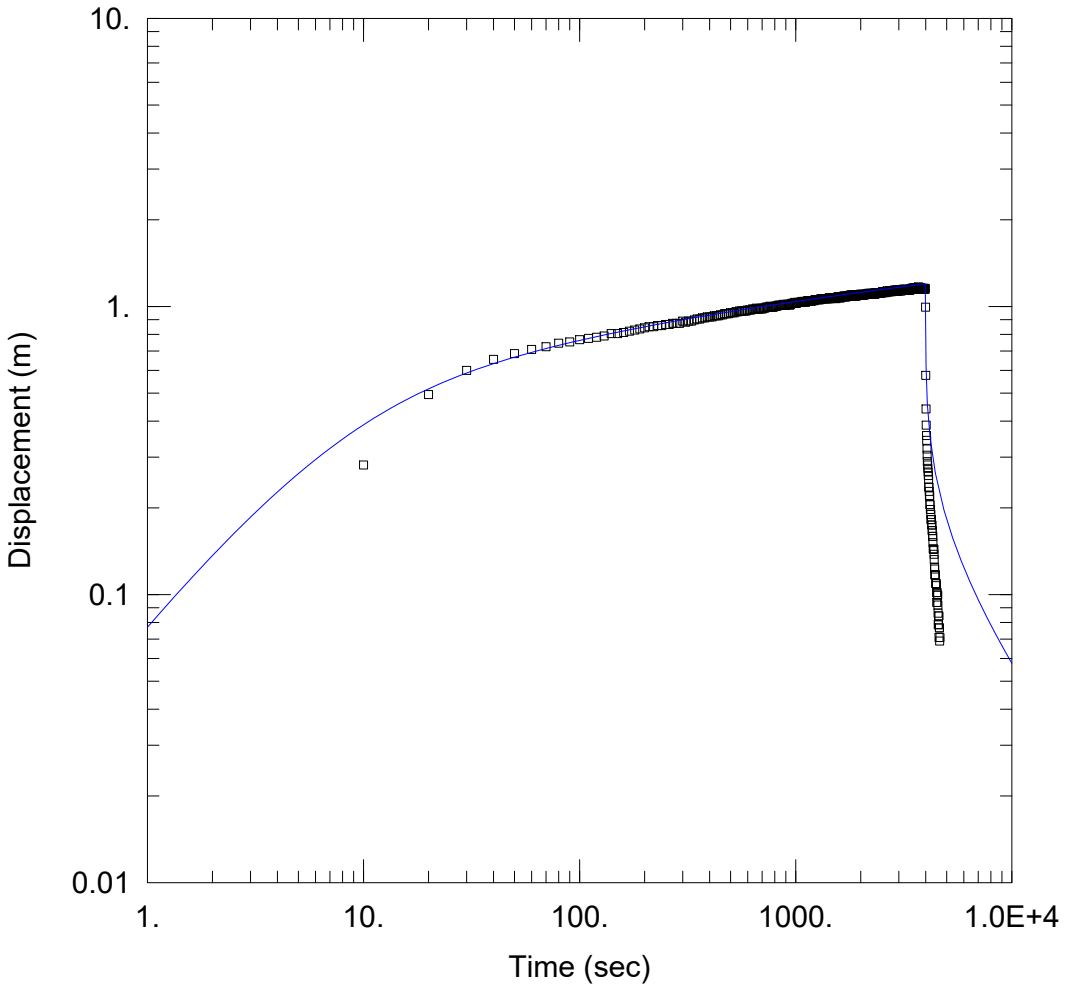
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 3.0E-5 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.004164
Sw = -3.3
r(c) = 0.0575 m


2005_pumpCTD - V9321 - [2022-01-31 16:08:50 - 2022-02-01 08:13:30]
Pressure [cmH2O]
4450,901
4350,901
4250,901
4150,901
4050,901
Temperature [Celsius]
9
8
7
6
5
4
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
-0,05
16:20:00
16:30:00
16:40:00
16:50:00
17:00:00
17:10:00
17:20:00
17:30:00



PUMPTEST

Data Set: I:\...\BH2005.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:20:59

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2005
Test Date: 220131

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 38.83 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2005	0	0

Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH2005	0	0

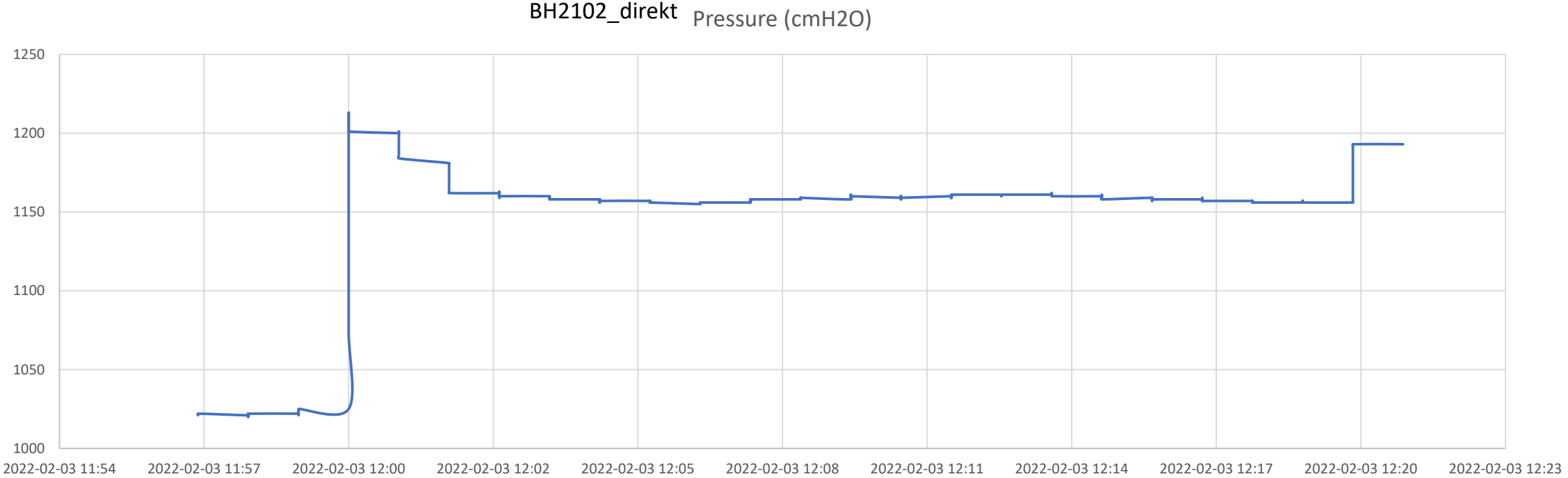
SOLUTION

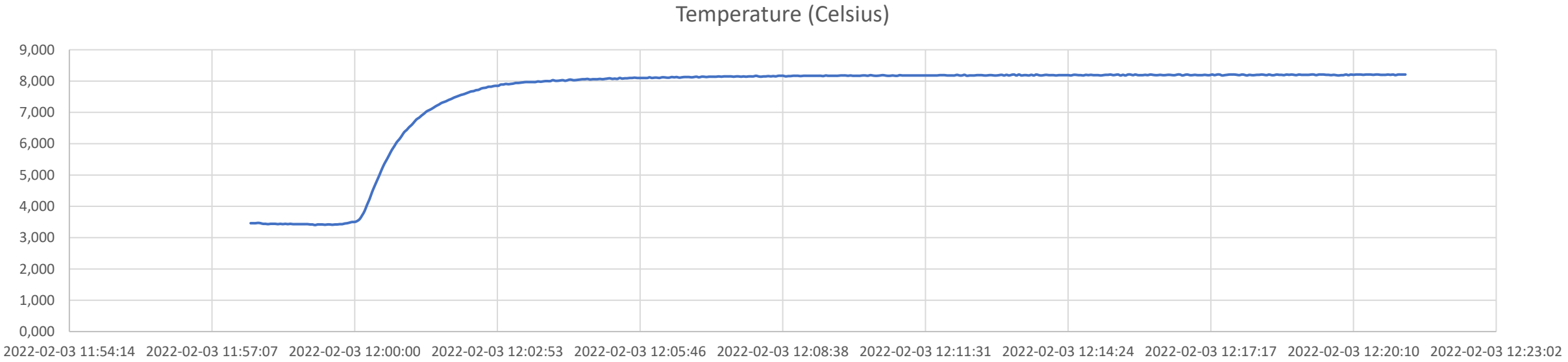
Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

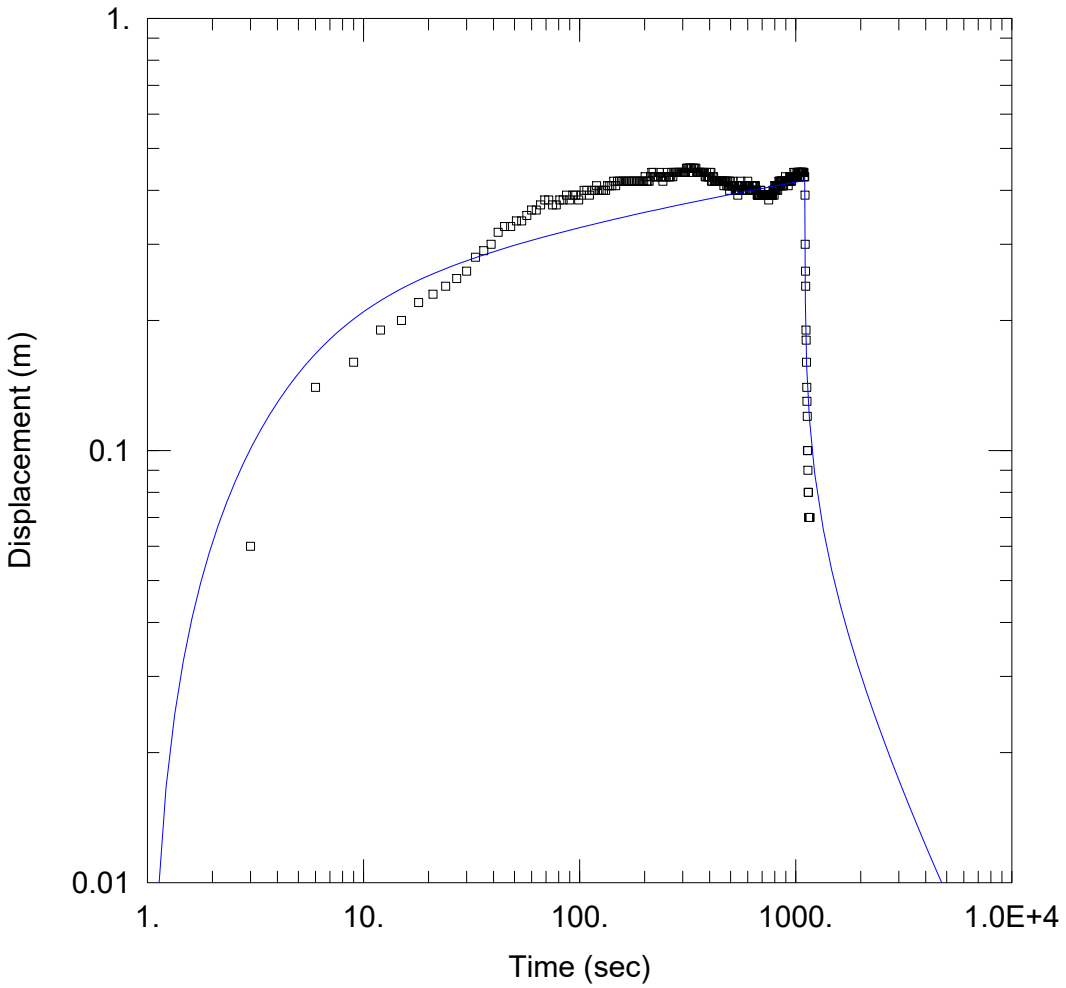
T = 0.0007018 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.001542
Sw = -1.725
r(c) = 0.0575 m

BH2102_direkt







PUMPTEST

Data Set: O:\...\SingleWell_BH2102.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:22:24

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2102
Test Date: 220203

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 43.64 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2102	0	0

Observation Wells

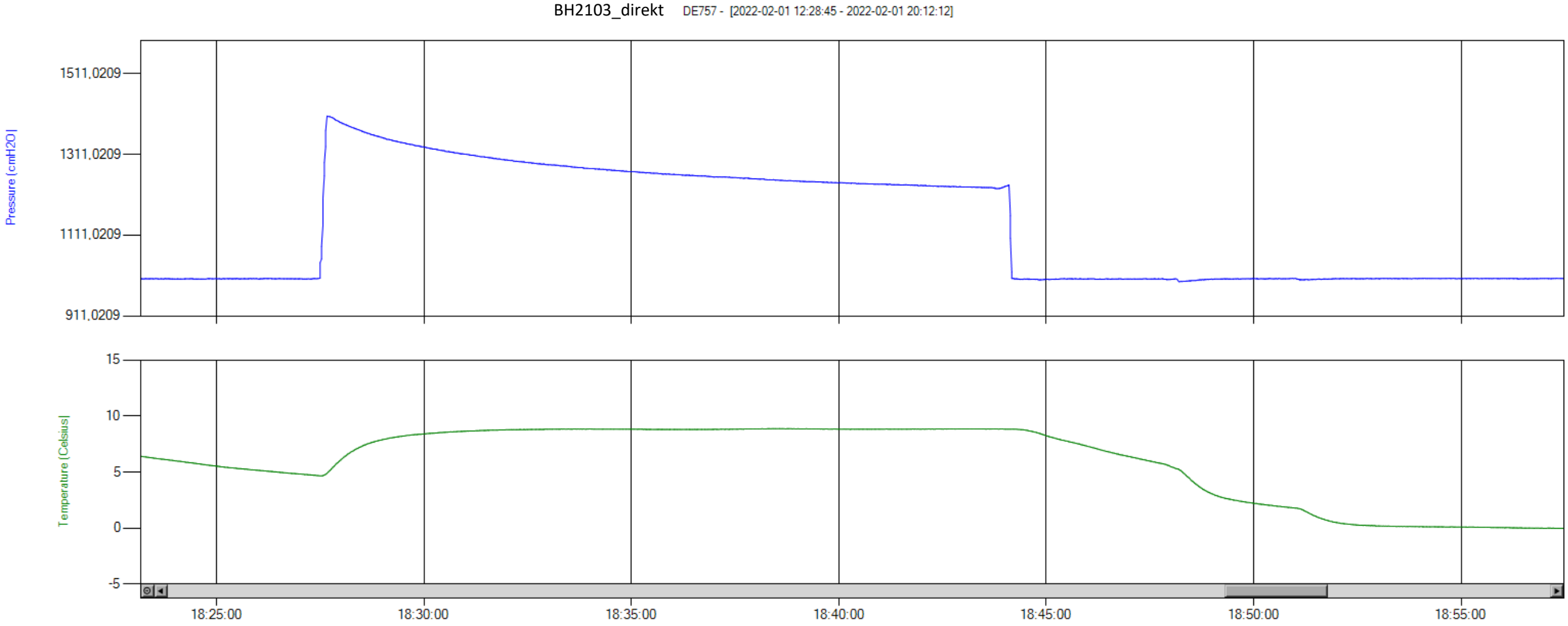
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH2102	0	0

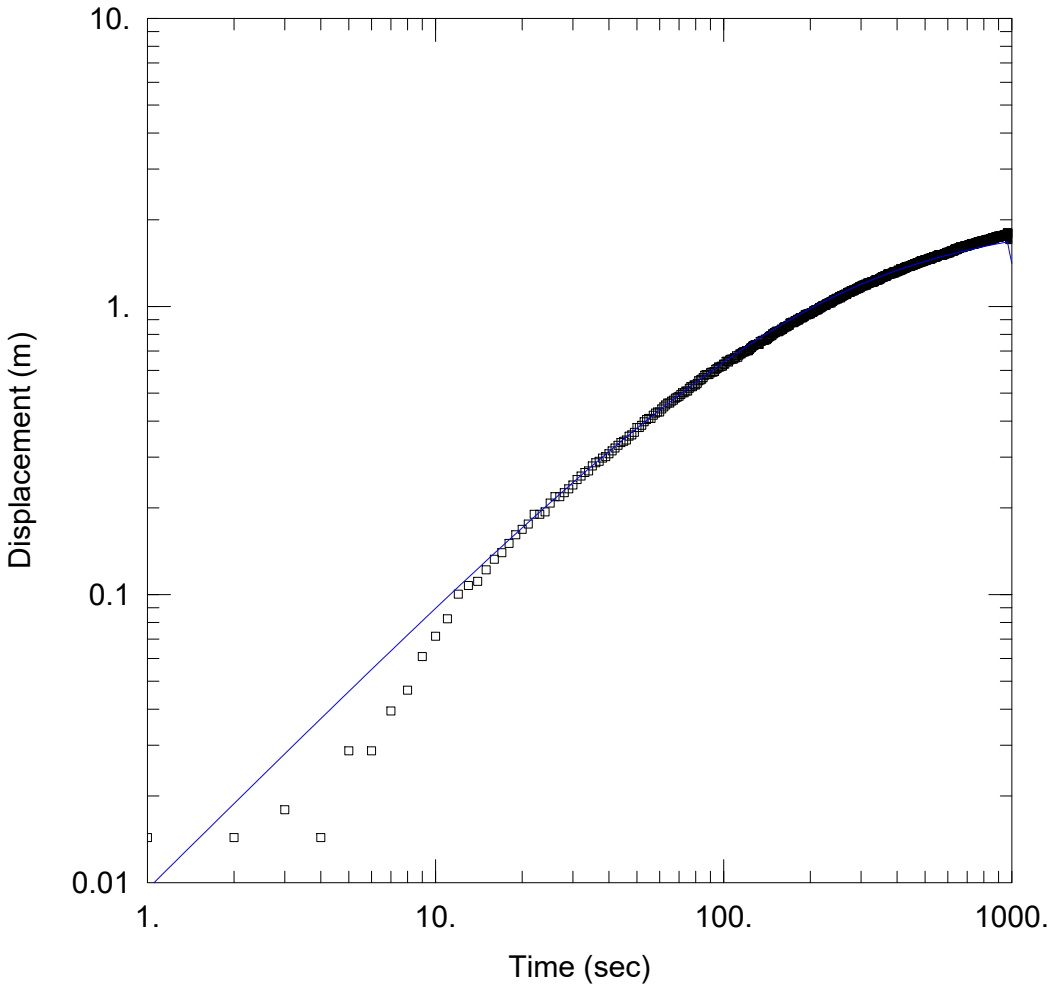
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.001862 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 1.137E-5
Sw = -3.725
r(c) = 0.0575 m


BH2103_direkt
DE757 - [2022-02-01 12:28:45 - 2022-02-01 20:12:12]
Pressure [cmH2O]
1511,0209
1311,0209
1111,0209
911,0209
Temperature [Celsius]
15
10
5
0
-5
18:25:00
18:30:00
18:35:00
18:40:00
18:45:00
18:50:00
18:55:00



PUMPTEST

Data Set: I:\...\BH2103.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:20:16

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2103
Test Date: 220201

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 57.18 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2103	0	0

Observation Wells

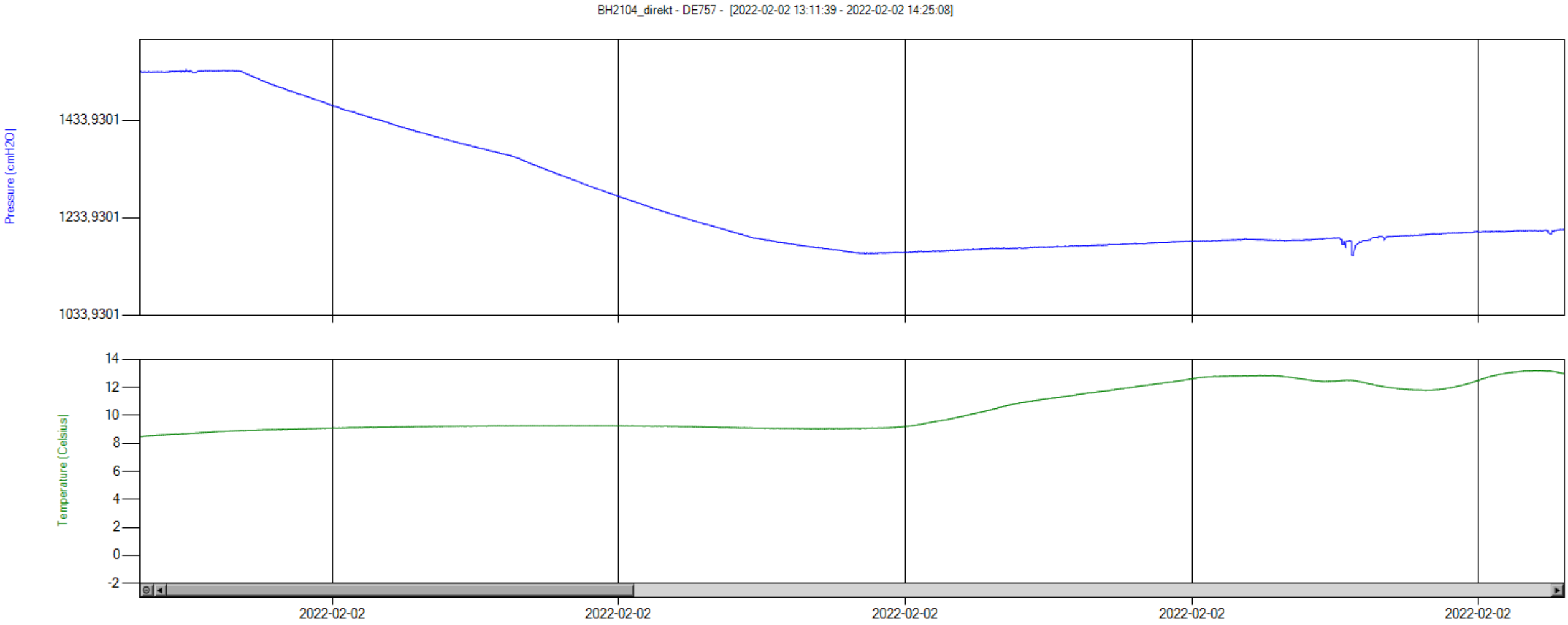
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH2103	0	0

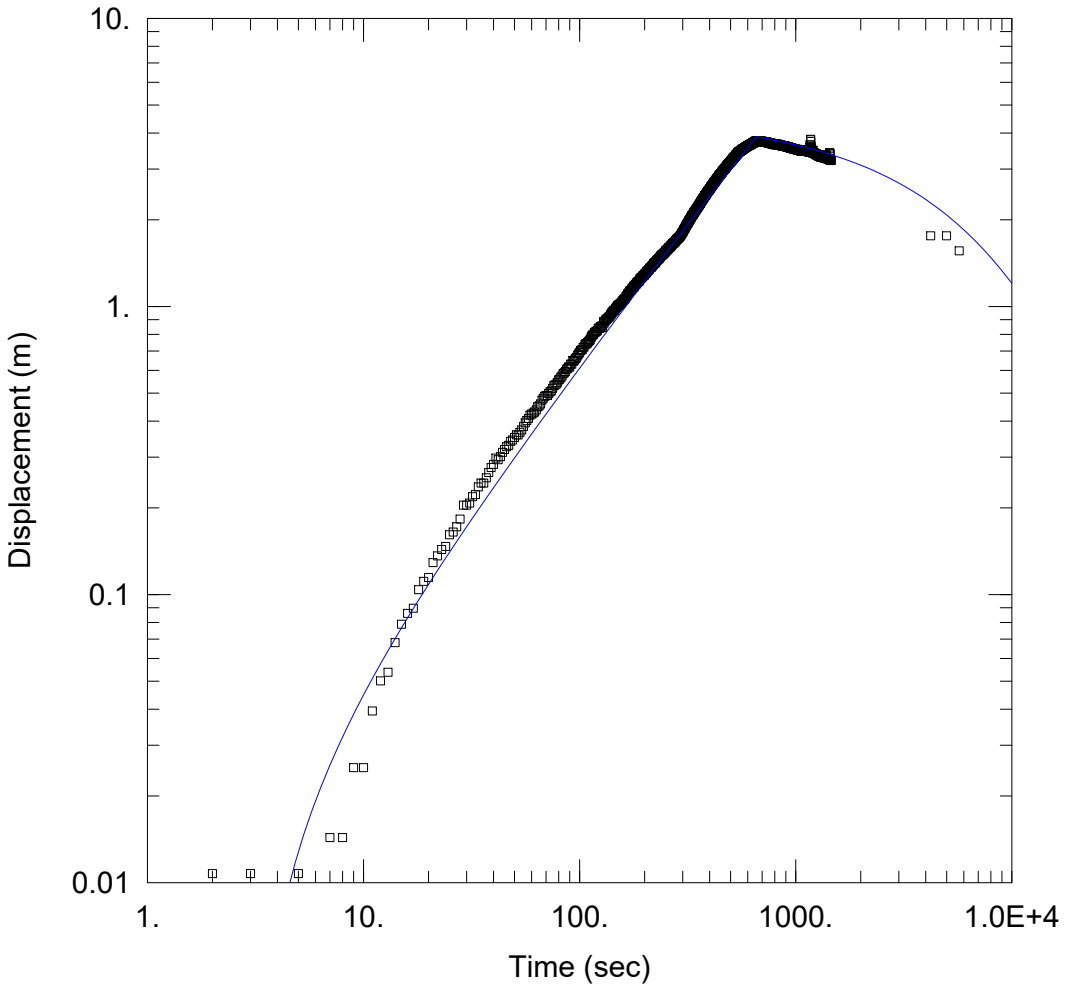
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 4.023E-5 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.003374
Sw = 0.
r(c) = 0.0575 m


BH2104_direkt - DE757 - [2022-02-02 13:11:39 - 2022-02-02 14:25:08]
Pressure [cmH2O]
1433,9301
1233,9301
1033,9301
Temperature [Celsius]
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02



PUMPTEST

Data Set: O:\...\SingleWell_BH2104.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:22:41

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2104
Test Date: 220202

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 53.36 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2104	0	0

Observation Wells

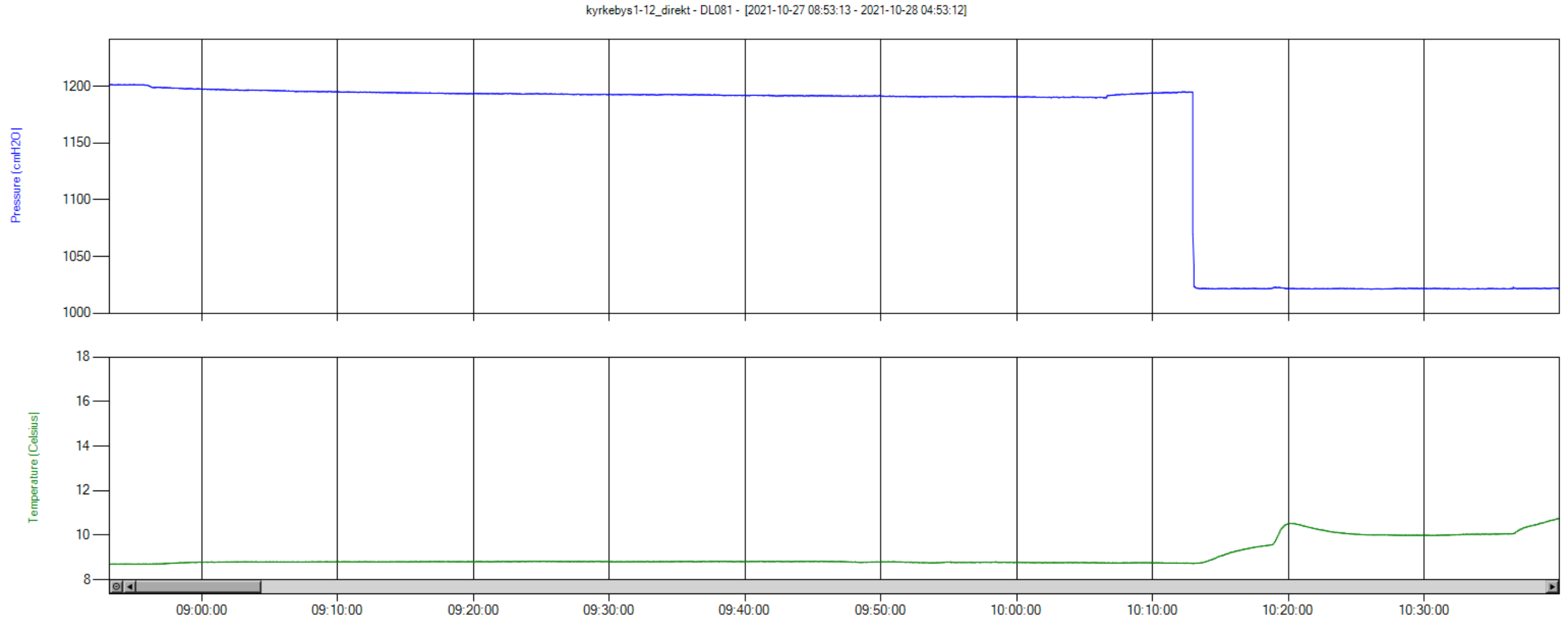
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH2104	0	0

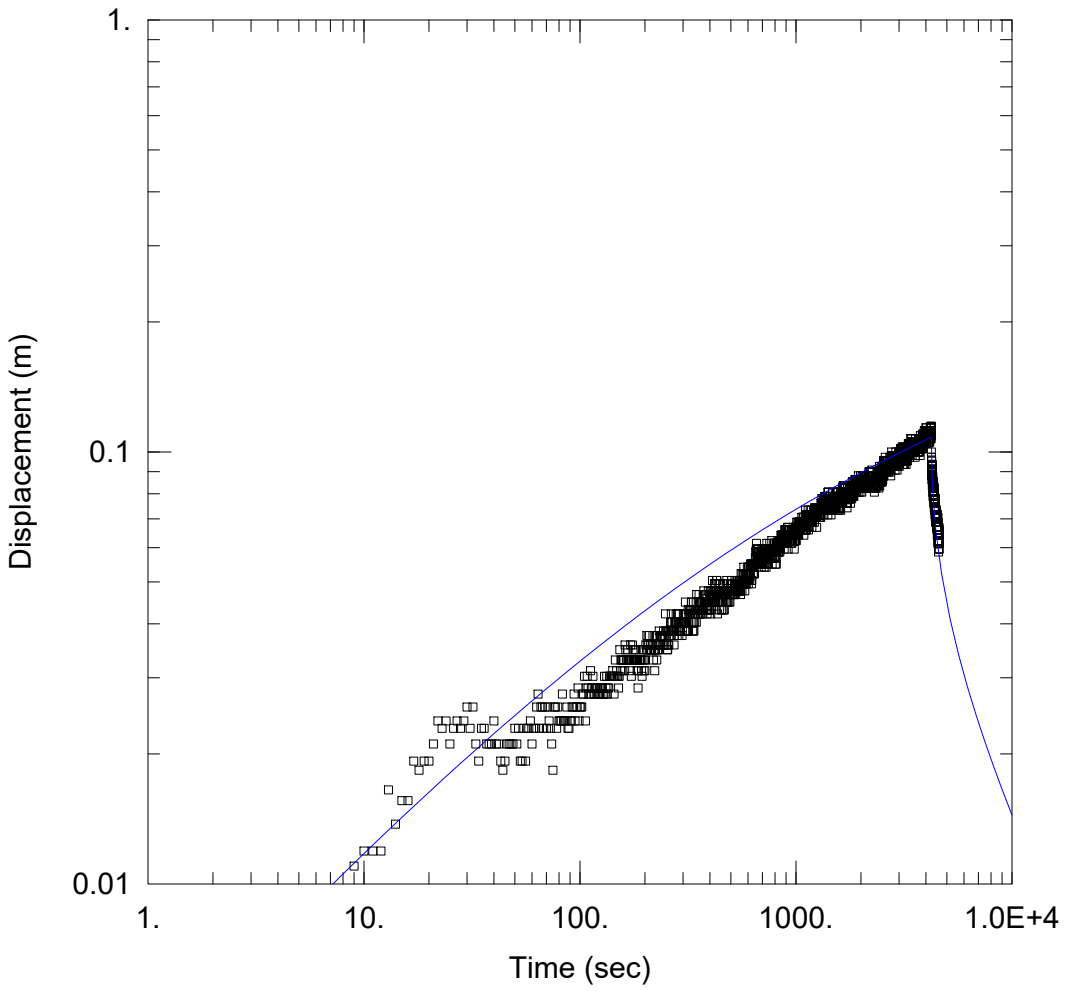
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 8.404E-7 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.002284
Sw = 0.
r(c) = 0.0575 m


kyrkebys1-12_direkt - DL081 - [2021-10-27 08:53:13 - 2021-10-28 04:53:12]
Pressure [cmH2O]
1200
1150
1100
1050
1000
Temperature [Celsius]
18
16
14
12
10
8
09:00:00
09:10:00
09:20:00
09:30:00
09:40:00
09:50:00
10:00:00
10:10:00
10:20:00
10:30:00



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: I:\...\Kyrkebys1-12.aqt
Date: 11/16/21 Time: 14:54:17

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: Kyrkebys 1:12
Test Date: 2021-10-27

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 36.37 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
Kyrkebys 1:12	716945.542	6399311.56

Observation Wells

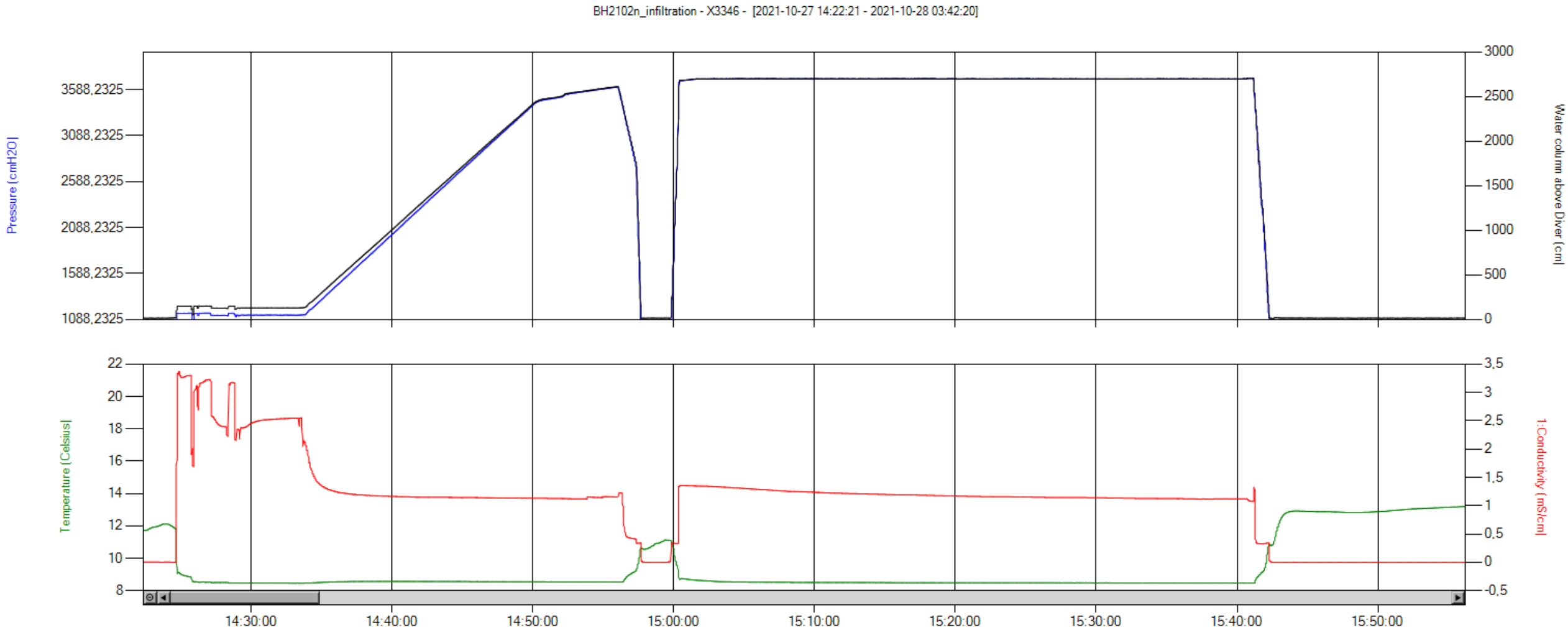
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ Kyrkebys 1:12	716945.542	6399311.56

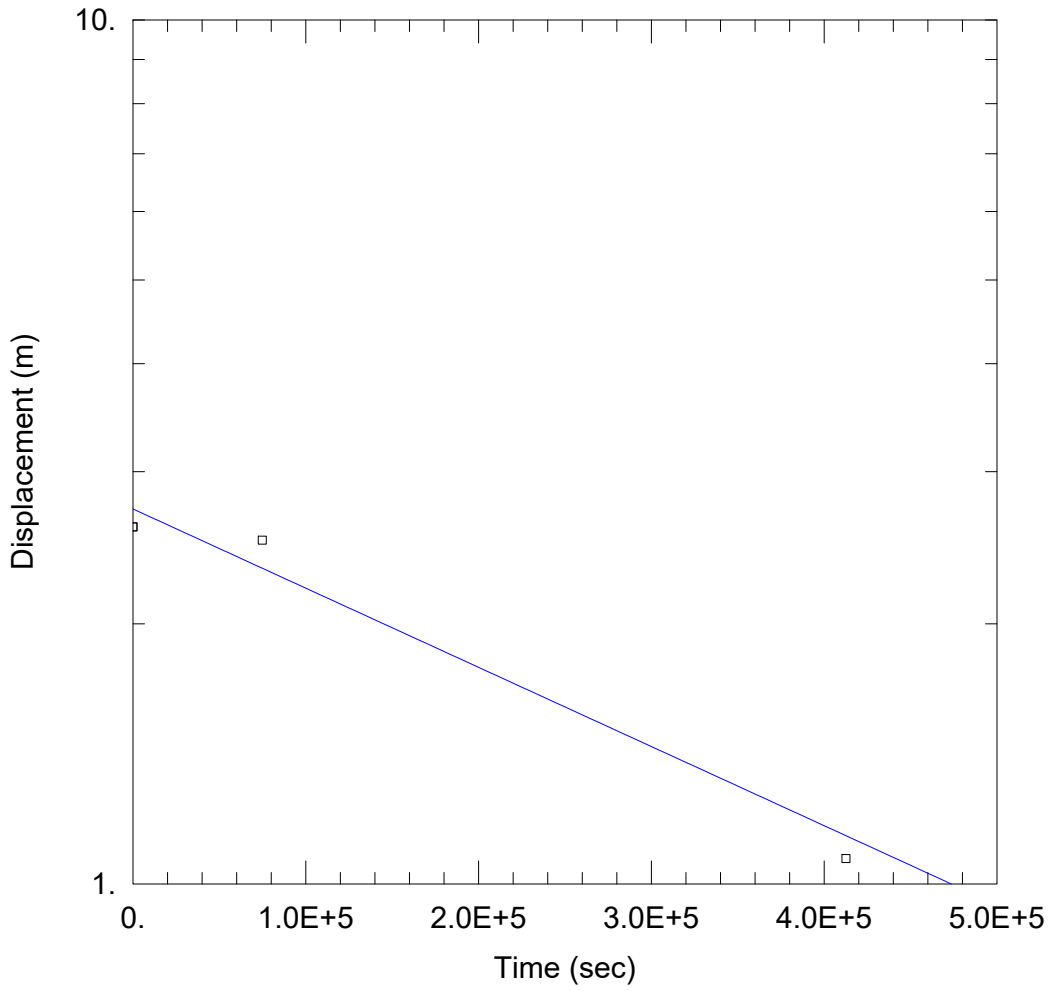
SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.0006201 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.0575 m

S = 0.001862
Sw = -5.
r(c) = 0.0575 m


BH2102n_infiltration - X3346 - [2021-10-27 14:22:21 - 2021-10-28 03:42:20]
Pressure [cmH2O]
3588,2325
3088,2325
2588,2325
2088,2325
1588,2325
1088,2325
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Water column above Diver [cm]
Temperature [Celsius]
22
20
18
16
14
12
10
8
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
1:Conductivity [mS/cm]
14:30:00
14:40:00
14:50:00
15:00:00
15:10:00
15:20:00
15:30:00
15:40:00
15:50:00



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: I:\...\FH2101N.aqt
Date: 11/16/21 Time: 14:54:46

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: FH2101N
Test Date: 2021-10-26

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 5.25 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

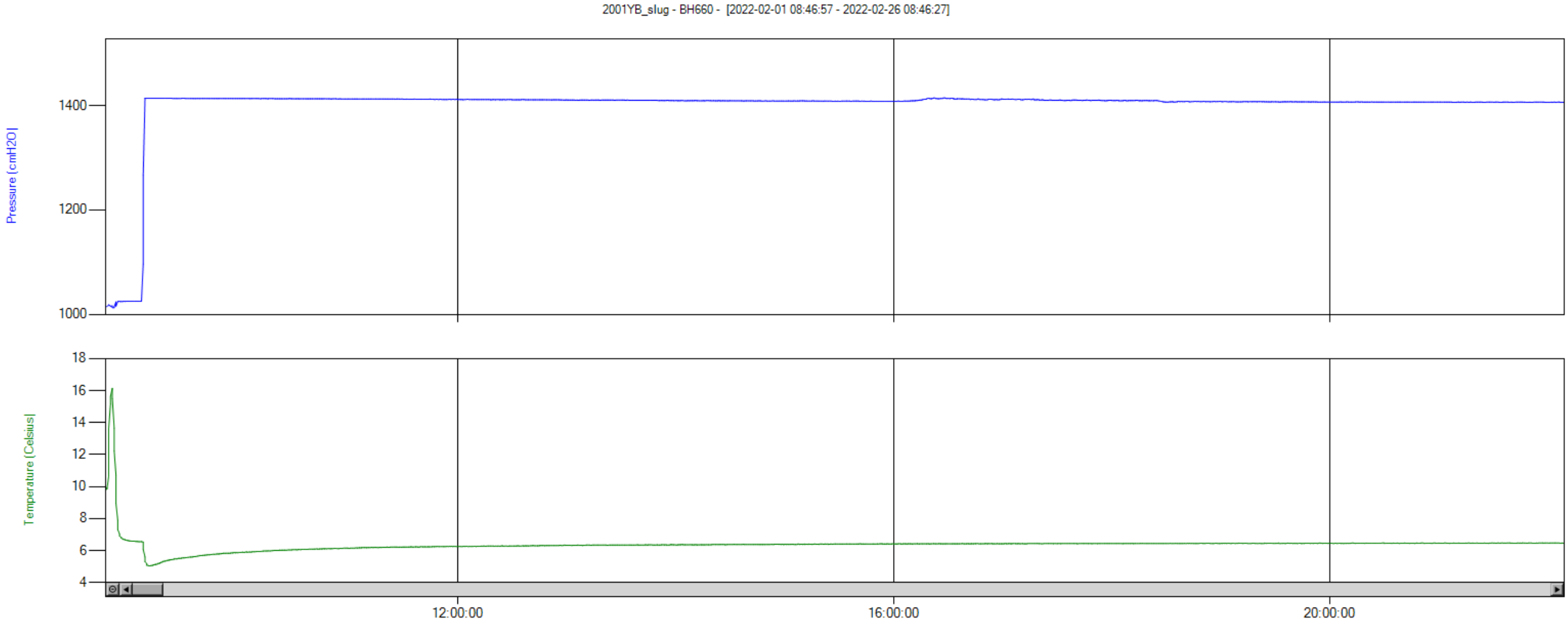
WELL DATA (FH2101N)

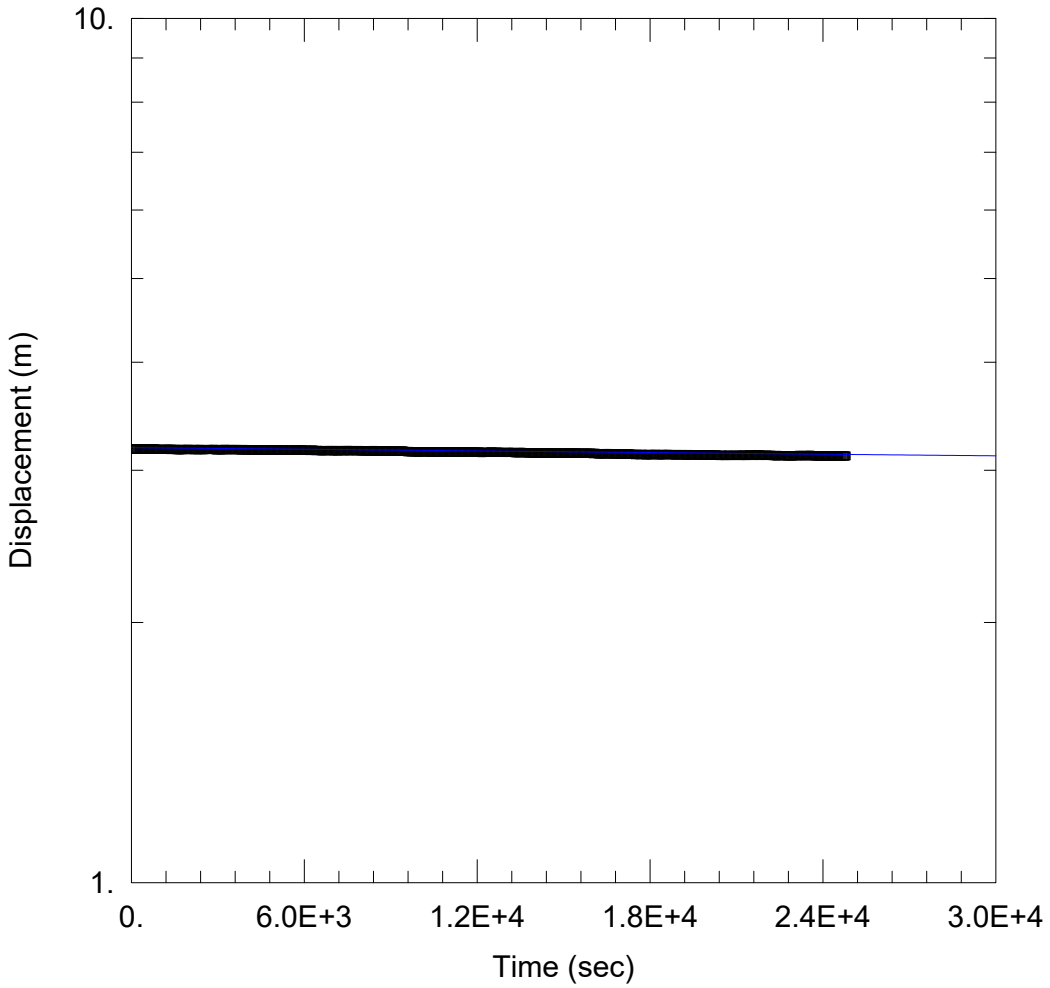
Initial Displacement: 2.59 m
Total Well Penetration Depth: 5.25 m
Casing Radius: 0.0725 m
Static Water Column Height: 5.25 m
Screen Length: 2.25 m
Well Radius: 0.0725 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.018E-8 m/sec y0 = 2.716 m


2001YB_slug - BH660 - [2022-02-01 08:46:57 - 2022-02-26 08:46:27]
Pressure [cmH2O]
1400
1200
1000
Temperature [Celsius]
18
16
14
12
10
8
6
4
12:00:00
16:00:00
20:00:00



SLUGTEST

Data Set: O:\...\BH2001YB.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:23:27

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2001YB
Test Date: 220201

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 4. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

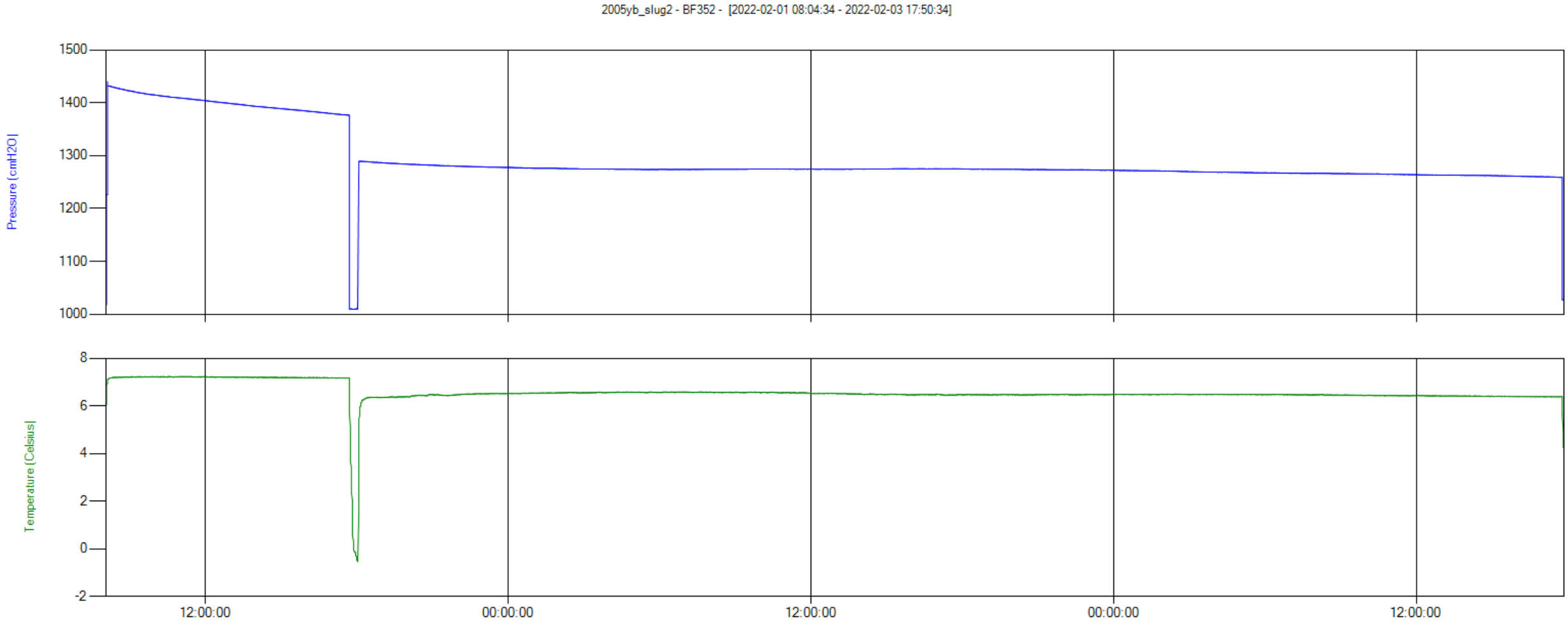
WELL DATA (BH2001YB)

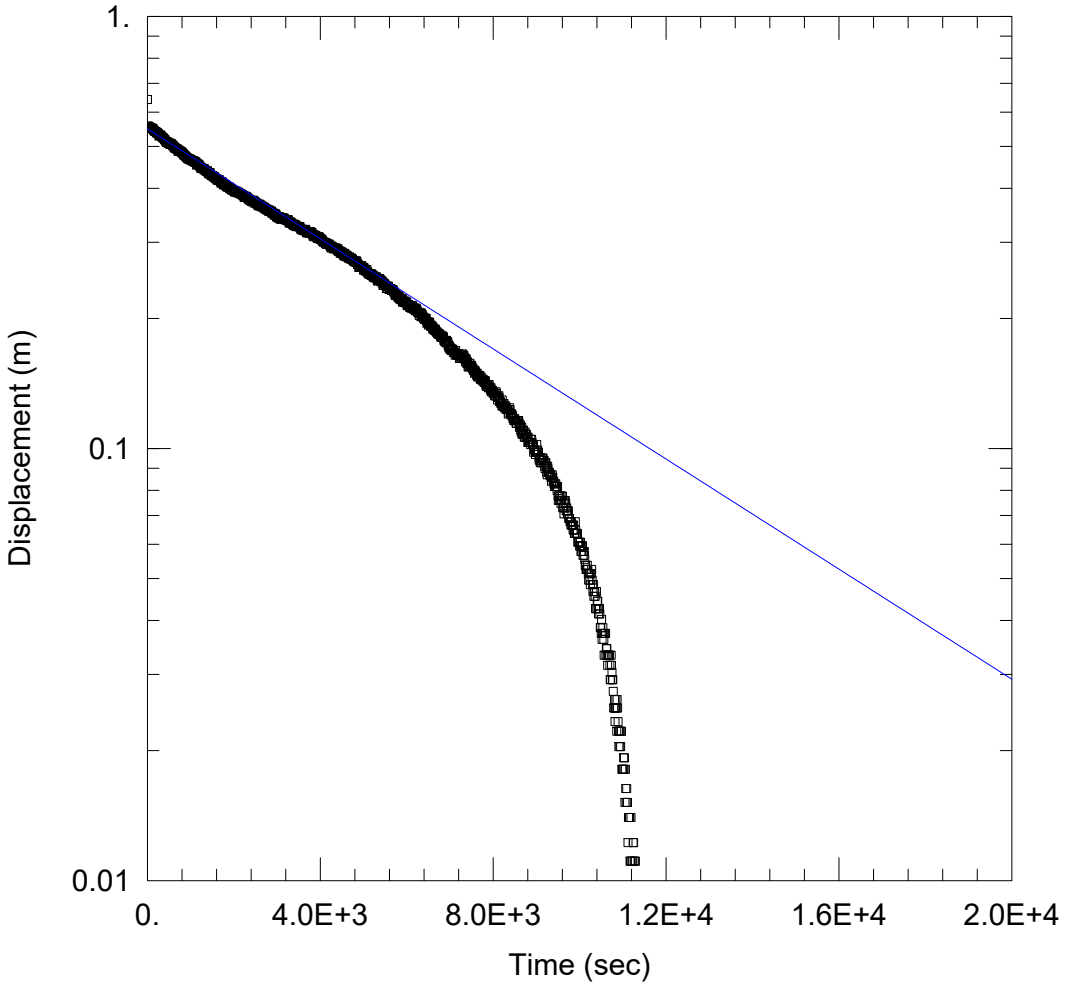
Initial Displacement: 3.176 m
Total Well Penetration Depth: 4. m
Casing Radius: 0.0575 m
Static Water Column Height: 4. m
Screen Length: 3.9 m
Well Radius: 0.0575 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.522E-9 m/sec y0 = 3.187 m


2005yb_slug2 - BF352 - [2022-02-01 08:04:34 - 2022-02-03 17:50:34]
Pressure [cmH2O]
1500
1400
1300
1200
1100
1000
Temperature [Celsius]
8
6
4
2
0
-2
12:00:00
00:00:00
12:00:00
00:00:00
12:00:00



SLUGTEST

Data Set: O:\...\BH2005YB.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:23:08

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2005YB
Test Date: 220131

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 2.11 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

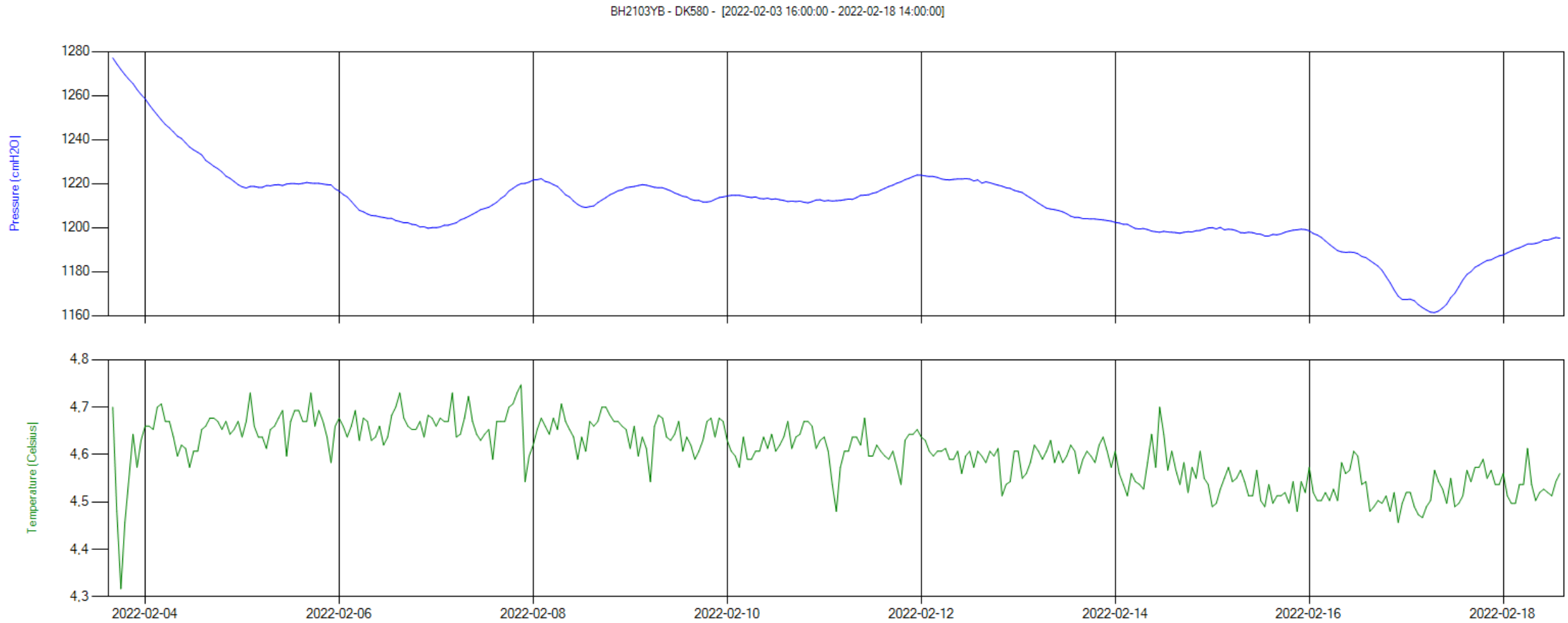
WELL DATA (BH2005YB)

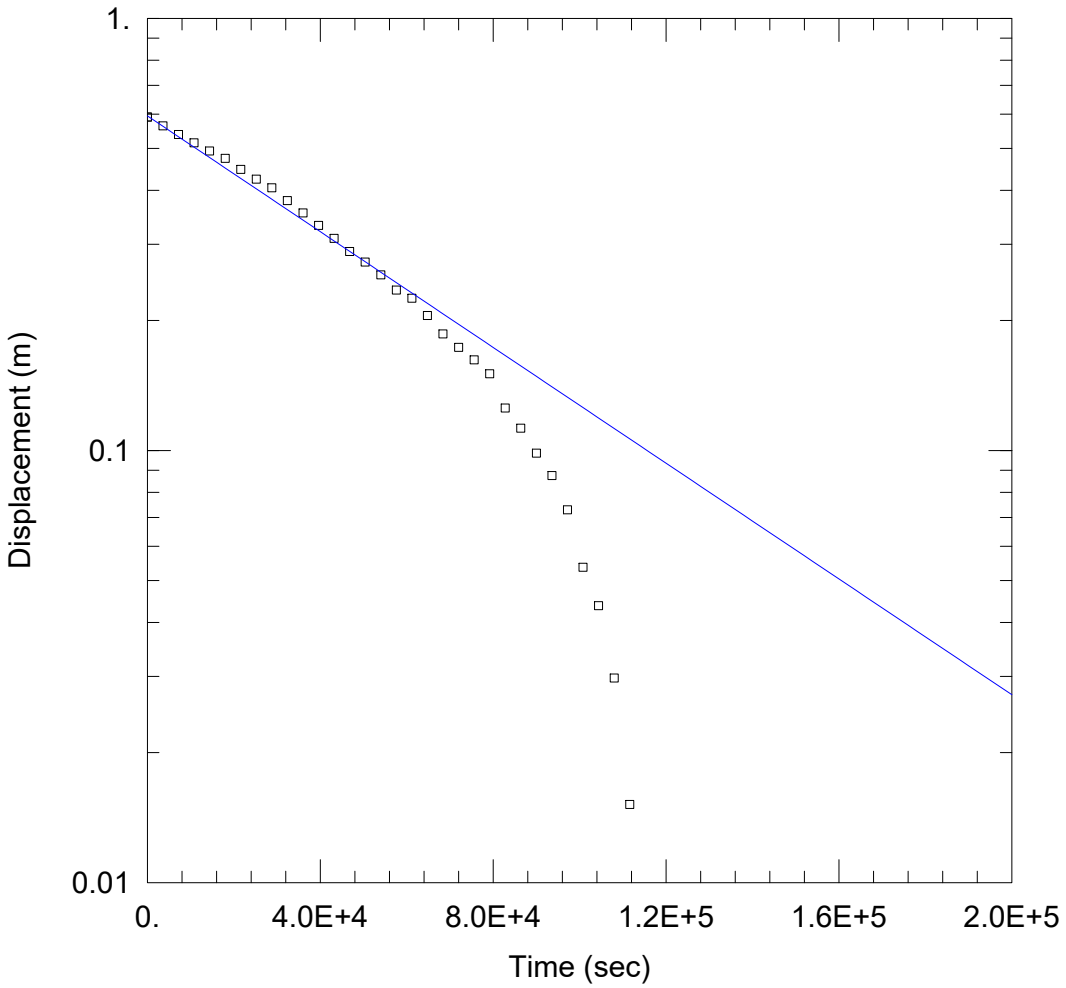
Initial Displacement: 0.6422 m
Total Well Penetration Depth: 3.7 m
Casing Radius: 0.0575 m
Static Water Column Height: 2.11 m
Screen Length: 2.2 m
Well Radius: 0.0575 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 6.088E-7 m/sec y0 = 0.5494 m


BH2103YB - DK580 - [2022-02-03 16:00:00 - 2022-02-18 14:00:00]
Pressure [cmH2O]
1280
1260
1240
1220
1200
1180
1160
Temperature [Celsius]
4,8
4,7
4,6
4,5
4,4
4,3
2022-02-04
2022-02-06
2022-02-08
2022-02-10
2022-02-12
2022-02-14
2022-02-16
2022-02-18



SLUGTEST

Data Set: O:\...\BH2103YB.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:26:11

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2103YB
Test Date: 220203

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 2. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

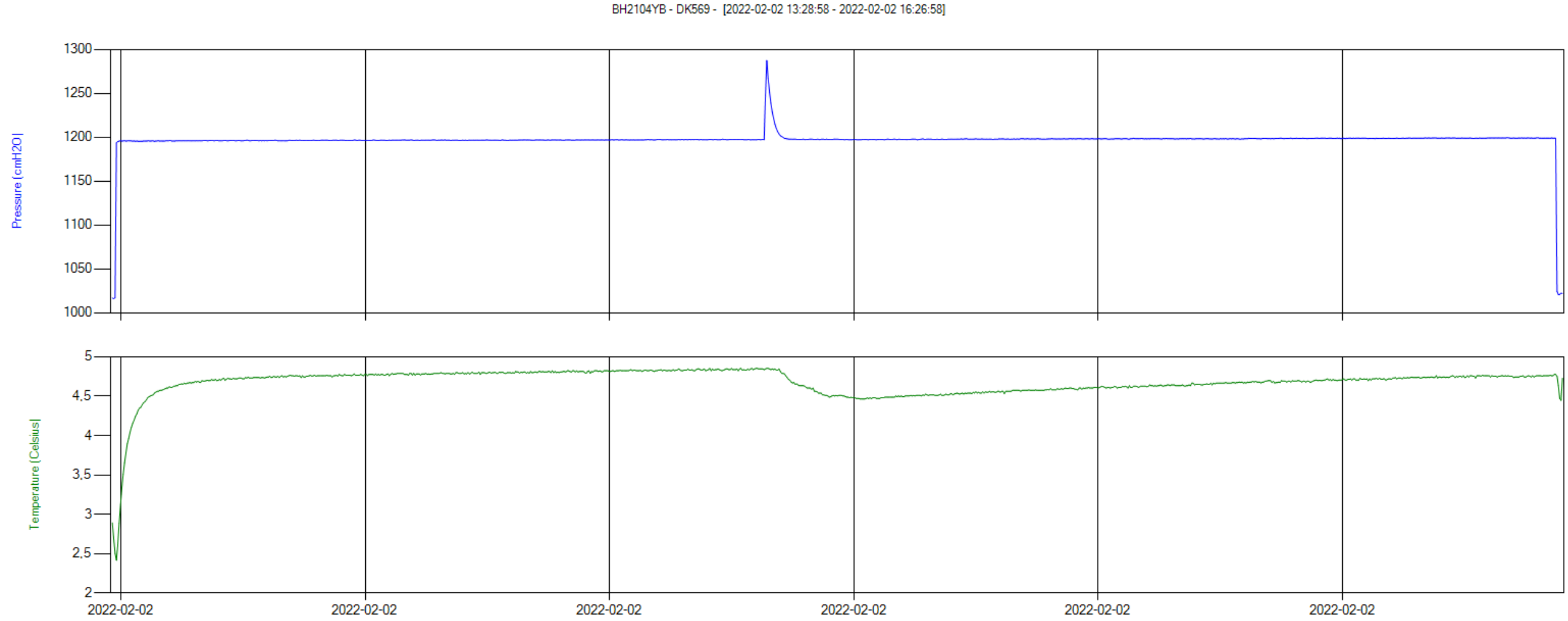
WELL DATA (BH2103YB)

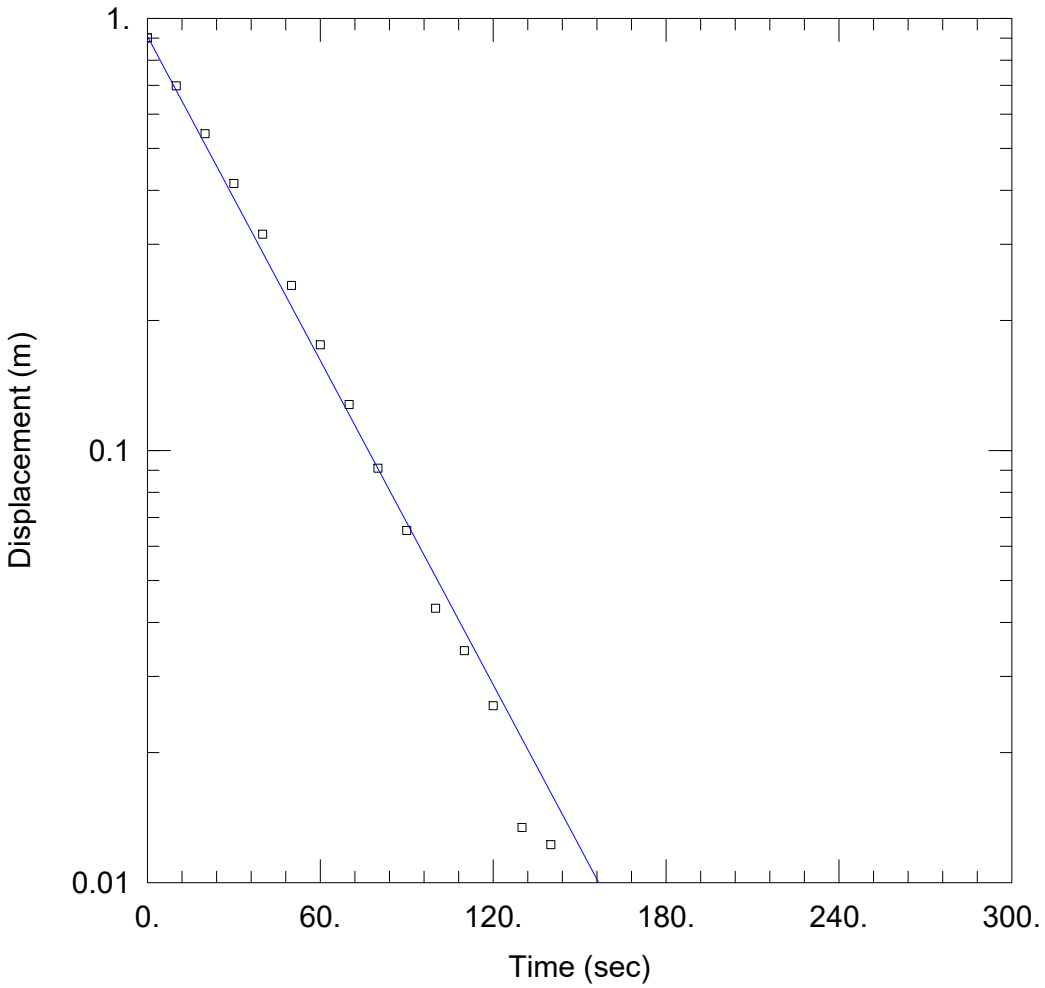
Initial Displacement: 0.5909 m
Total Well Penetration Depth: 3. m
Casing Radius: 0.0575 m
Static Water Column Height: 2. m
Screen Length: 2.7 m
Well Radius: 0.0575 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 6.753E-8 m/sec y0 = 0.5946 m


BH2104YB - DK569 - [2022-02-02 13:28:58 - 2022-02-02 16:26:58]
Pressure [cmH2O]
1300
1250
1200
1150
1100
1050
1000
Temperature [Celsius]
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02
2022-02-02



SLUGTEST

Data Set: O:\...\BH2104YB.aqt
Date: 03/09/22 Time: 15:26:24

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2104YB
Test Date: 220202

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 2.26 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH2104YB)

Initial Displacement: 0.9013 m
Total Well Penetration Depth: 2.26 m
Casing Radius: 0.0575 m
Static Water Column Height: 2.26 m
Screen Length: 2.26 m
Well Radius: 0.0575 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 0.0001116 m/sec
y0 = 0.9085 m

BILAGA D

Borrprotokoll

Ex 2 kan lämnas till uppdragsgivaren

Borrfirma

Visby Vatten o Energiborrning
Bishopsgatan 6
62155 Visby

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum 19/10-06

Borrningen avslutad datum 19/10-06

148999

Uppgiftsskyldighet enligt SFS 1975:424
Exemplar 1 insänds till Sveriges geologiska undersökning, Brunnsarkivet, Box 670, 751 28 Uppsala
Exemplar 2 kan lämnas till uppdragsgivaren
Exemplar 3 behålles av borrfirman

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Lilla kyrkeby's 1:12
Ort: Hejnum
Församling: Hejnum
Kommun: Gotland
Länsbokstav: I
Borrplatsens läge:
Borrplatsens GPS-koordinater:
Borrplatsens adress:
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Anders Birgersson
Telefon (även riktnummer): 0498-36262
Utdelningsadress (gata, nr, box, e.d.): Fole Stentollby 136
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 621 75 Visby

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till		Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor, m.m.)
0	0,5	m	Grus		
0,5	14,0	m	kalksten		Hård.
14,0	30,0	m	Mergelsten		Lös, sprickig
30,0	48,0	m	Mergelsten		Mycket hård.
		m			

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [x] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [ ] extra plaströrsfodring [x] annan: Borrsko
Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från	till	
[x] stålrör Rostfritt	140	x	3	mm	0	3	m
[ ] annan rörtyp:		x		mm			m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan	Borrhålets bottendiameter
48 m	m	115 mm

Höjd – om avvägning företagits: [ ] röröverkant [ ] markyta m ö.h.
Brunnens användning: [x] HUS [ ] ENE [ ] annan:

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [x] blåsning [ ] flottörmätning [x] pumpning
Pumpens maxkapacitet: ca. 1800 lit/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
Pump 42 m	ca 6 tim	2000 lit/tim	[ ] före tryckning	—	m
Blås 48 m	ca 1 tim	1800 lit/tim	[ ] efter tryckning	—	m

Gv-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag
antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:
Annan anmärkning: Borrhålet är fodrat med rostfritt stålrör.

Uppmätt kloridhalt		
mg/l		m under markytan
mg/l		m under markytan
mg/l		m under markytan
mg/l		m under markytan

Underskrift

Tomas Johansson

Blankettutgivare: SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Telefon: 018-17 90 00

SGU diarienr: 920532901

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-07-21

Borrningen avslutad datum: 2020-02-19

Protnr: 201772

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB

Fröjel Sälle 931

623 55 Klintehamn

Tel: 0498-244005

Fax:

E-post: info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Othem Österby 1:229

Ort:

Församling:

Kommun: Gotland

Borrplatsens läge:

Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V

Borrplatsens adress:

Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Cementa AB

Telefon (även riktnummer):

Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan:

Ortsadress (postnummer och ortsnamn):

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	42.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	2.5	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
42.0 m	0.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
m	tim	liter/tim	[ ] före tryckning	—	m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	—	m

Gv-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Spricka på 6, 9 och 14 m. Hål 7 BH2007

m under markytan	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet
	mg/l	mS/m
	mg/l	mS/m
	mg/l	mS/m
	mg/l	mS/m

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

AB Ahlqvists brunnsborrning

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Tel

Postnr Ort

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten BH2007

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd 120 lit/tim. uppmätt genom ☐ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 15/12-21

Foderrör: ☐ Galv.rör m ☐ Stålrör m ☐ Plaströr m .Dy mm

Grundvattennivå under markytan m	Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner
Total borrdjup m	42 - 62 m Kalkberg
Bottendiameter mm	- m
Anbud:	- m
	- m
	- m
	- m
	- m
	- m

Anmärkning

Vatten på 57 m ca 2 lit/min.

Underskrift ansvarig borrare:

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress .....

Postnr ..... Ort ..... Tel .....

Borrplatsens:
Adress ..... Tel .....

Postnr ..... Ort .....

Fastighetsbet .....

Borrplatsens läge på fastigheten BH20016

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☐ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 15/12-21

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☐ Stålrör..... m ☐ Plaströr..... m .Dy ..... mm

Grundvattennivå under markytan ..... m	Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner ..... - ..... m .....
Total borrdjup .....m	0 - 2,5 m Gnus
Bottendiameter ..... mm	..... - ..... m .....
Anbud:	..... - ..... m .....
	..... - ..... m .....
	..... - ..... m .....
	..... - ..... m .....
	..... - ..... m .....

Anmärkning .....

Grundvattenrör stått på berg 2,5 m singel runt rör (befintligt rör 1,9 m i gnus)

Underskrift ansvarig borrare: .....

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress .....

Postnr ..... Ort ..... Tel .....

Borrplatsens:
Adress ..... Tel .....

Postnr ..... Ort .....

Fastighetsbet .....

Borrplatsens läge på fastigheten Btt 2001 YB

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☐ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 15/12-21

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 1,8 m ☐ Plaströr ..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 3,1 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

.....	- ..... m	.....
0	- 0,9 m	Grus
0,9	- 3,1 m	Kalkberg
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....

Anmärkning .....

Foderrör 0,2 m i berg. Torrt vid borrning.

.....

Underskrift ansvarig borrare: .....

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Tel

Postnr Ort

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten BH 2005 YB

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☐ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 15/12-21

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 2,1 m ☐ Plaströr..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 3,3 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

.....	- ..... m	.....
0	- 1,3 m	Grus
1,3	- 3,3 m	Kalkberg
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....
.....	- ..... m	.....

Anmärkning

Foder 0,2 m i berg. Torrt vid borrning.

Underskrift ansvarig borrare:

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

AB Ahlqvists brunnsborrning

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Borrhål nr 1

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Tel

Postnr BH2101 Ort

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☐ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 3 m ☐ Plaströr ..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 30 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

.....	-	..... m	.....
0	-	30 m	Kalkberg
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....

Anmärkning Sprickor vid 4m, 5m, 6m, 9m, 11m, 13 m, fuktigt berg vid 13m, 23 m

Underskrift ansvarig borrare:

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

AB Ahlqvists brunnsborrning

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Borrhål 2

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Tel

Postnr Ort

BH2102

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd 120 lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad

Foderrör: ☐ Galv.rör m ☒ Stålrör 3 m ☐ Plaströr m Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan m

Total borrdjup 70 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

0	- 0,5	m	jord/grus
0,5	- 70	m	kallsera
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	

Anmärkning spräckor 4m 9m 13m 15m 16m 21m vatten på 23,5m 26m 34m 41m 46m 50,2m 52,4m ca 24/min 55m 56m 61,3m 68,2m

Underskrift ansvarig borrare:

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
www.ahlqvists.com info@ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Tel

Postnr Ort

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten BH2103

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd 120 lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 21/1-22

Foderrör: ☐ Galv.rör m ☒ Stålrör 3 m ☐ Plaströr m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan m

Total borrdjup 60 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

	-	m	
0	- 0,3	m	Morän
0,3	- 60	m	Kalkberg
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	

Anmärkning

Sprickor på: 4,10 m, 4,50 m, 6 m, 8 m, 8,50 m, 11,50 m, 22,10 m, 23,70 m, 26,90 m, 27,90 m, 30,40 m, 31,90 m, 35 m, 41 m, 46 m
Vatten på 50 m ca 24 l/min

Underskrift ansvarig borrare:

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

AB Ahlqvists brunnsborrning

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress .....

Postnr ..... Ort ..... Tel .....

Borrplatsens:
Adress ..... Tel .....

Postnr ..... Ort .....

Fastighetsbet .....

Borrplatsens läge på fastigheten BH2103YB

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☑ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 21/1-22

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 98 cm ☐ Plaströr ..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 2,98 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner			
.....	- ..... m	.....	
0	- 0,3 m	Morän	
0,3	- 2,98 m	Kalkberg	
.....	- ..... m	.....	
.....	- ..... m	.....	
.....	- ..... m	.....	
.....	- ..... m	.....	
.....	- ..... m	.....	

Anmärkning .....

Torrt vid borrning.

Underskrift ansvarig borrare: .....

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

AB Ahlqvists brunnsborrning

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress .....

Postnr ..... Ort ..... Tel .....

Borrplatsens:
Adress ..... Tel .....

Postnr ..... Ort .....

Fastighetsbet .....

Borrplatsens läge på fastigheten BH2104

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 18/1-22

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 3 m ☐ Plaströr ..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 60 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

.....	-	..... m	.....
0	-	60 m	Kalkberg
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....

Anmärkning .....

Torrt under borrning. Sprickor på: 4 m, 5 m, 6,3 m, 8,6 m, 10,5 m, 14,5 m, 16 m, 17,5 m, 20 m och 41 m.

Underskrift ansvarig borrare: .....

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

AB Ahlqvists brunnsborrning

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress .....

Postnr ..... Ort ..... Tel .....

Borrplatsens:
Adress ..... Tel .....

Postnr ..... Ort .....

Fastighetsbet .....

Borrplatsens läge på fastigheten BH2104YB

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd 120 lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad .....

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 74 cm ☐ Plaströr ..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 2,74 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

.....	-	..... m	.....
0	-	2,74 m	Kalkberg
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....
.....	-	..... m	.....

Anmärkning .....

Foder satt 30 cm i berg

Vatten på 24 m ca 2 lit/min.

Underskrift ansvarig borrare: .....

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress .....

Postnr ..... Ort ..... Tel .....

Borrplatsens:
Adress ..... Tel .....

Postnr ..... Ort .....

Fastighetsbet .....

Borrplatsens läge på fastigheten BH 2202

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd 180 lit/tim. uppmätt genom ☒ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☐ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 24/1-22

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 6 m ☐ Plaströr ..... m .Dy 139 mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 54 m

Bottendiameter 115 mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

.....	- ..... m		
0	- 1,5 m	Grus	
1,5	- 5 m	Mergel	
5	- 54 m	Kalkberg	
.....	- ..... m		
.....	- ..... m		
.....	- ..... m		
.....	- ..... m		

Anmärkning .....

Sprickor på 12 m, 18 m, 20 m, 24, 10 m och 37 m

Vatten på 26 m ca 3 lit/min

Underskrift ansvarig borrare: .....

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Tel

Postnr Ort

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten Borrhål 2203

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☐ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 2022-03-01

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☐ Stålrör 9 m ☐ Plaströr..... m .Dy ..... mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 60 m

Bottendiameter ..... mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

0	- 6	m	Jord/sand
6	- 60	m	Kalkberg
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	

Anmärkning Sprickor på 20, 22, 27, 35, 42 m

Fukt på 22 m Vatten på 27 m

Underskrift ansvarig borrare: Margareta Ahlqvist

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Slutrapport Borrning/Borrprotokoll

Beställare Cementa Adress

Postnr Ort Tel

Borrplatsens:
Adress Crossbana Tel

Postnr Ort

Fastighetsbet

Borrplatsens läge på fastigheten Borrhål 2204

Borrningen avser ☐ Energibrunn ☐ Hushållsvatten ☒ Övrigt

Vattenmängd ..... lit/tim. uppmätt genom ☐ Blåsning ☐ Pumpning

Borrmaskinstyp ☒ Sänkhammare

Tätning mellan foderrör & berg ☐ Cementering ☐ Extra foderrör ☐ Manschettätning

☐ Gradborrning ..... ☐ Hydraulisk tryckning Borrningen avslutad 20220304

Foderrör: ☐ Galv.rör ..... m ☒ Stålrör 15 m ☐ Plaströr..... m .Dy ..... mm

Grundvattennivå under markytan ..... m

Total borrdjup 63 m

Bottendiameter ..... mm

Anbud:

Genomborrade jord,- berglager och sprickzoner

0	- 10	m	Jord/sand
10	- 13,5	m	Mjukt kalkberg
13,5	- 47	m	Kalkberg
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	
	-	m	

Anmärkning Sprickor på 22, 26, 32, 37, 41, 47
Vatten på 22 m

Underskrift ansvarig borrare: Margareta Ahlqvist

Ahlqvists Brunnsborrning AB
Fröjel Sälle 931
623 55 KLINTEHAMN

Org.nr: 556408-3052
Telefon: 0498-24 40 05
info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

BILAGA E

Nivåobservationer

Nivåövervakning av grundvattennivåer i borrhål.

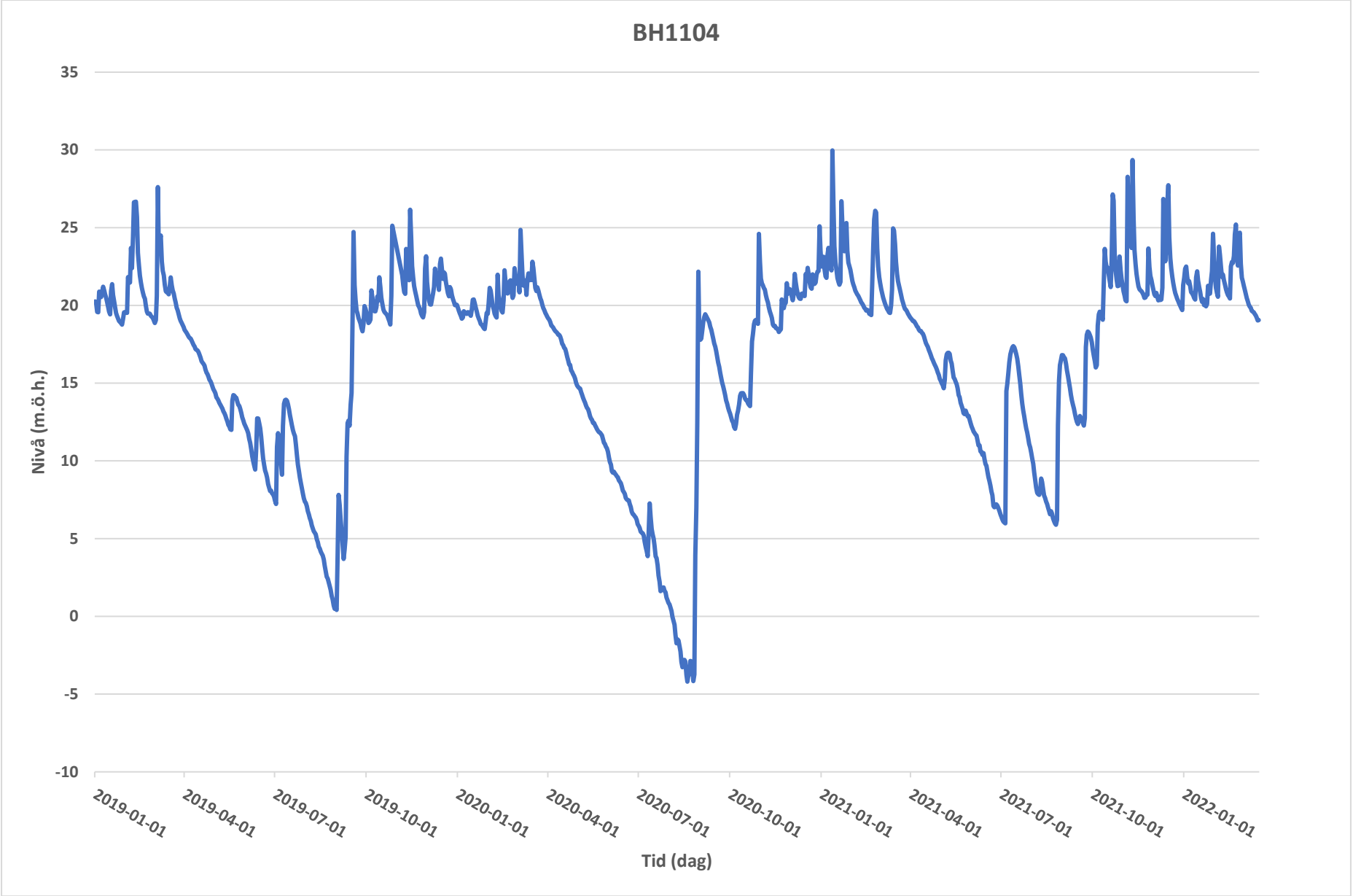
I detta dokument presenteras data från de borrhål där nivåövervakning av grundvattennivåer som loggas kontinuerligt. De borrhål som presenteras är de borrhål som har nivådata från 2019 och framåt.

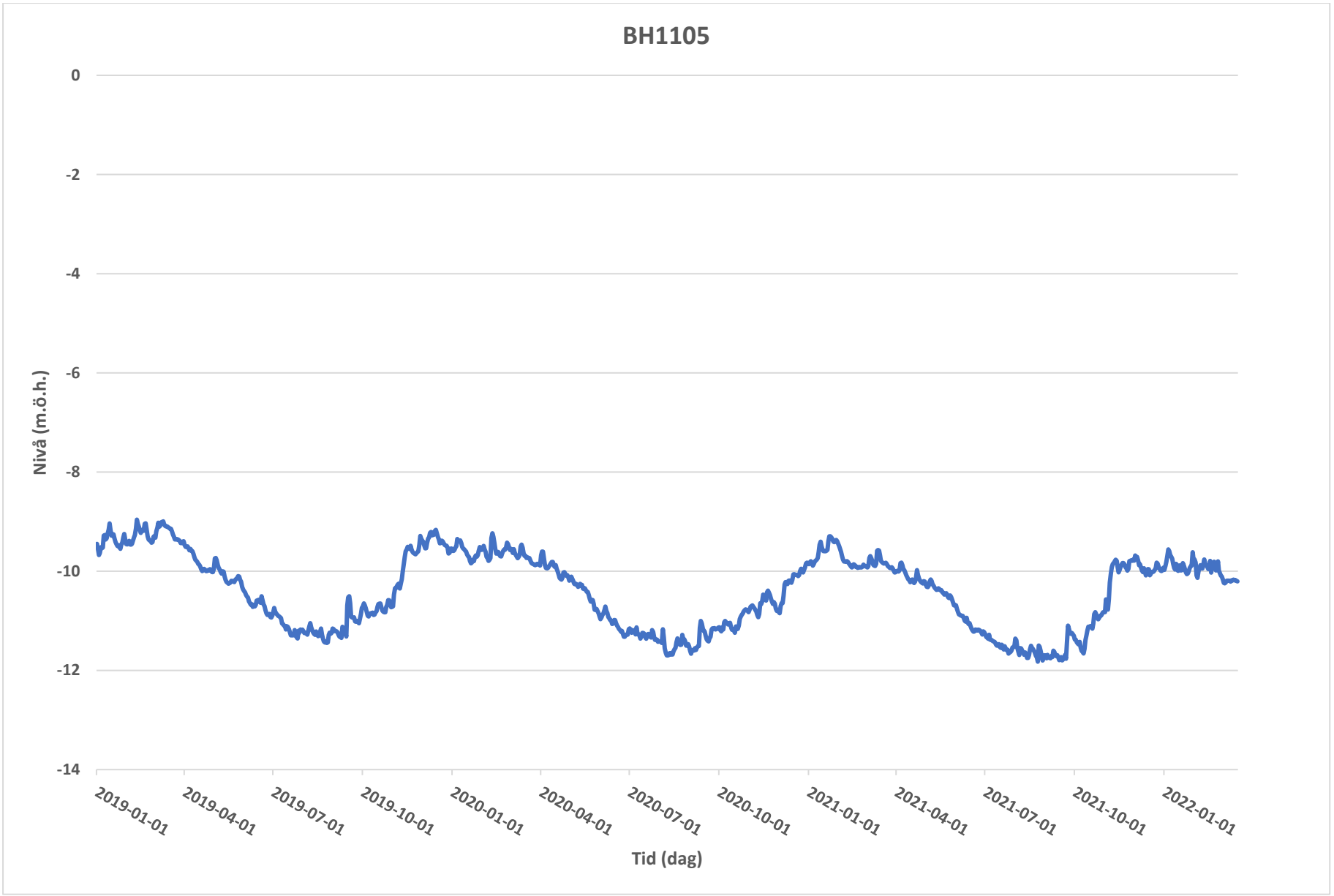
All data finns i databasen Gaudi och fylls kontinuerligt på med mer data allt eftersom. De borrhål som finns i Gaudi presenteras i Tabell 1 .

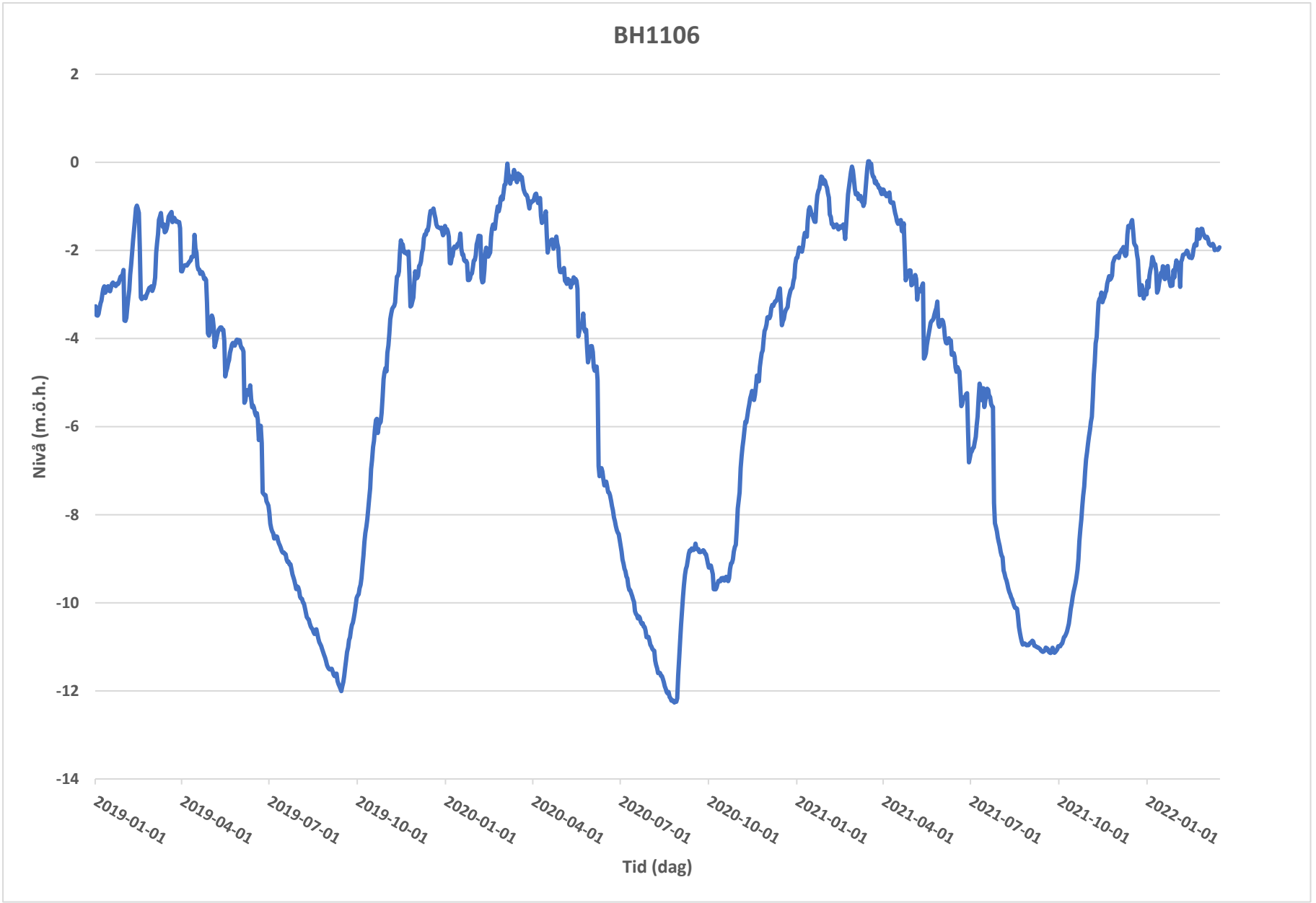
Tabell 1 De borrhål där nivåövervakning av grundvattennivå sker.

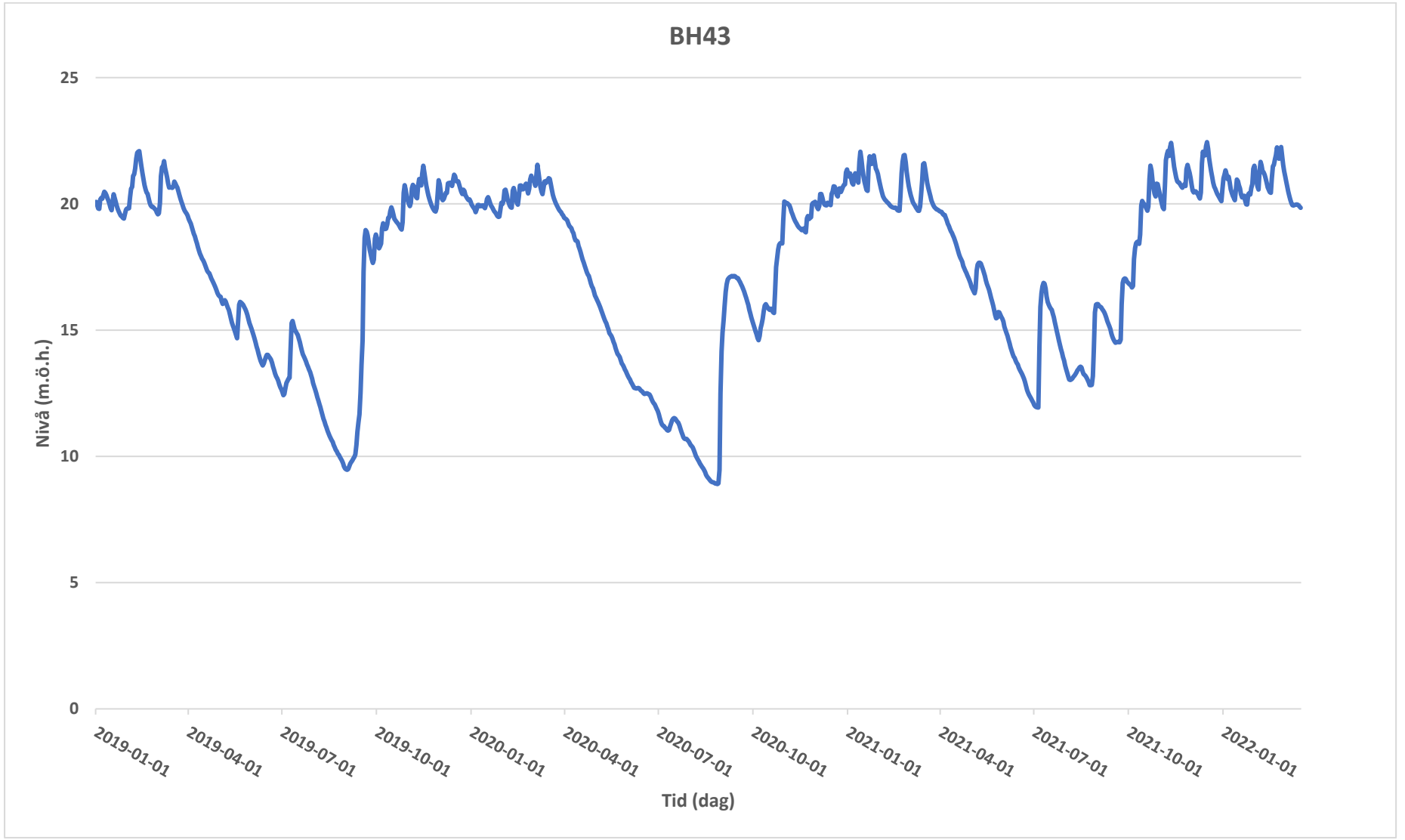
ID	sweref99_Y	sweref99_X	Tidsperiod	Loggning
BH1104	6402861,39	721561,018	2014 - 2022	GSM, Automatisk, varje hel timma
BH1105	6402890,41	724202,801	2014 - 2022	GSM, Automatisk, varje hel timma
BH1106	6402200,97	724321,295	2014 - 2022	GSM, Automatisk, varje hel timma
BH43	6404351,24	721569,076	1967 - 2000, 2014 - 2022	GSM, Automatisk, varje hel timma
BH86	6403455,75	720685,195	1978 - 2000, 2014 - 2022	GSM, Automatisk, varje hel timma
BH98	6404537,62	721428,587	1989 - 2000, 2014 - 2022	GSM, Automatisk, varje hel timma
BH85	6403187,04	721750,81	1977 - 1994, 2016 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1803B	6404551,87	721802,185	1977 - 2003, 2019 - 2020	Automatisk, varje hel timma
BH1803J	6404515,17	721810,706	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
SGU11001	6403528,21	718214,479	1977 - 2002, 2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
SGU11012	6403149,84	719117,719	1967 - 1990, 2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
SGU11015	6403064,07	719410,486	2018 - 2020	Manuell nedmätning
SGU11018	6404354,49	719870,454	1977 - 1990, 2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
SGU11045			2019 - 2020	Manuell nedmätning
SGU11093	6403310,27	720703,88	2018 - 2020	Manuell nedmätning
SGU11095	6404556,01	720266,936	1977 - 2000, 2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
SGU11124	6403379,36	718994,686	1978 - 1990, 2019 - 2020	Manuell nedmätning
SGU11126			1982 - 1989, 2020	Manuell nedmätning
BH2006	6404102,71	717223,285	1977 - 2000, 2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2007	6405588,79	720532,564	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1701	6404232,61	720268,409	2018 - 2022	Automatisk, varje hel timma

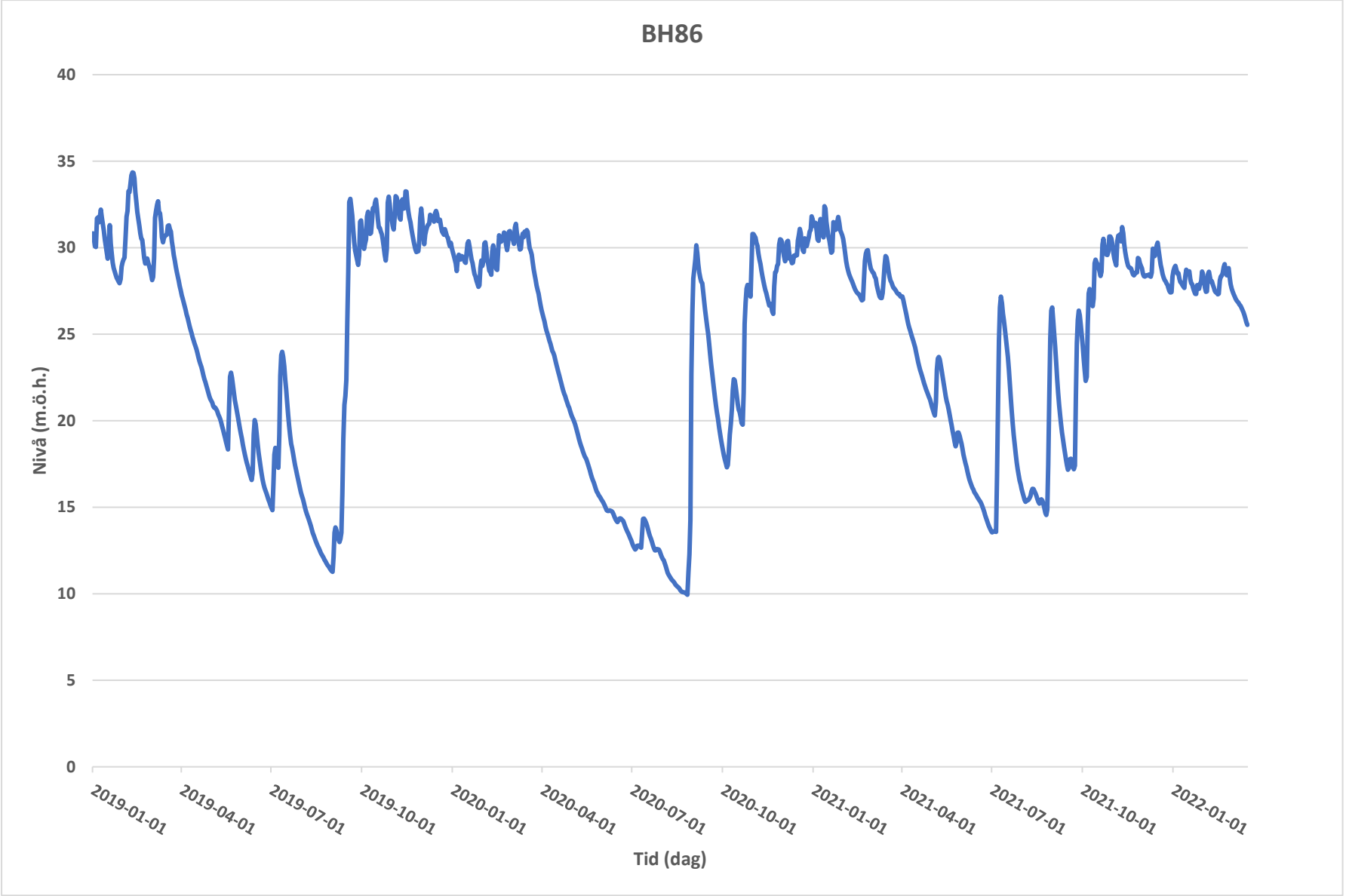
BH1702	6403709,64	720389,032	2018 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1111	6404663,35	720795,828	2015 - 2019, 2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH80	6403572,98	721874,707	1977 - 2004, 2016 - 2022	Automatisk, varje hel timma
SGU2017	6404867	720289	2018 - 2020	Manuell nedmätning
BH1801B	6402183,33	720453,431	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1801J	6402183,33	720453,442	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1802B	6402074,65	721339,592	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1802J	6402073,18	721334,474	2021 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1905J	6402246,42	719430,345	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1906J	6402307,04	719566,226	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2001	6402469,19	719568,08	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2002	6401727,93	718921,551	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2003	6401962,38	719984,181	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2004	6400509,71	721077,343	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2005	6402574,62	721094,663	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH2016	6401965,51	719976,806	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma
VK1801	6403381,43	720243,099	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
VK1802	6403176,17	720792,485	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
VK1803	6402468,63	720620,919	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
VK1804	6401905,2	721232,659	2019 - 2022	Automatisk, varje hel timma
BH1804B	6403683,88	725044,221	2019 - 2021	Automatisk, varje hel timma
BH2017	6403826,03	724318,395	2020 - 2022	Automatisk, varje hel timma

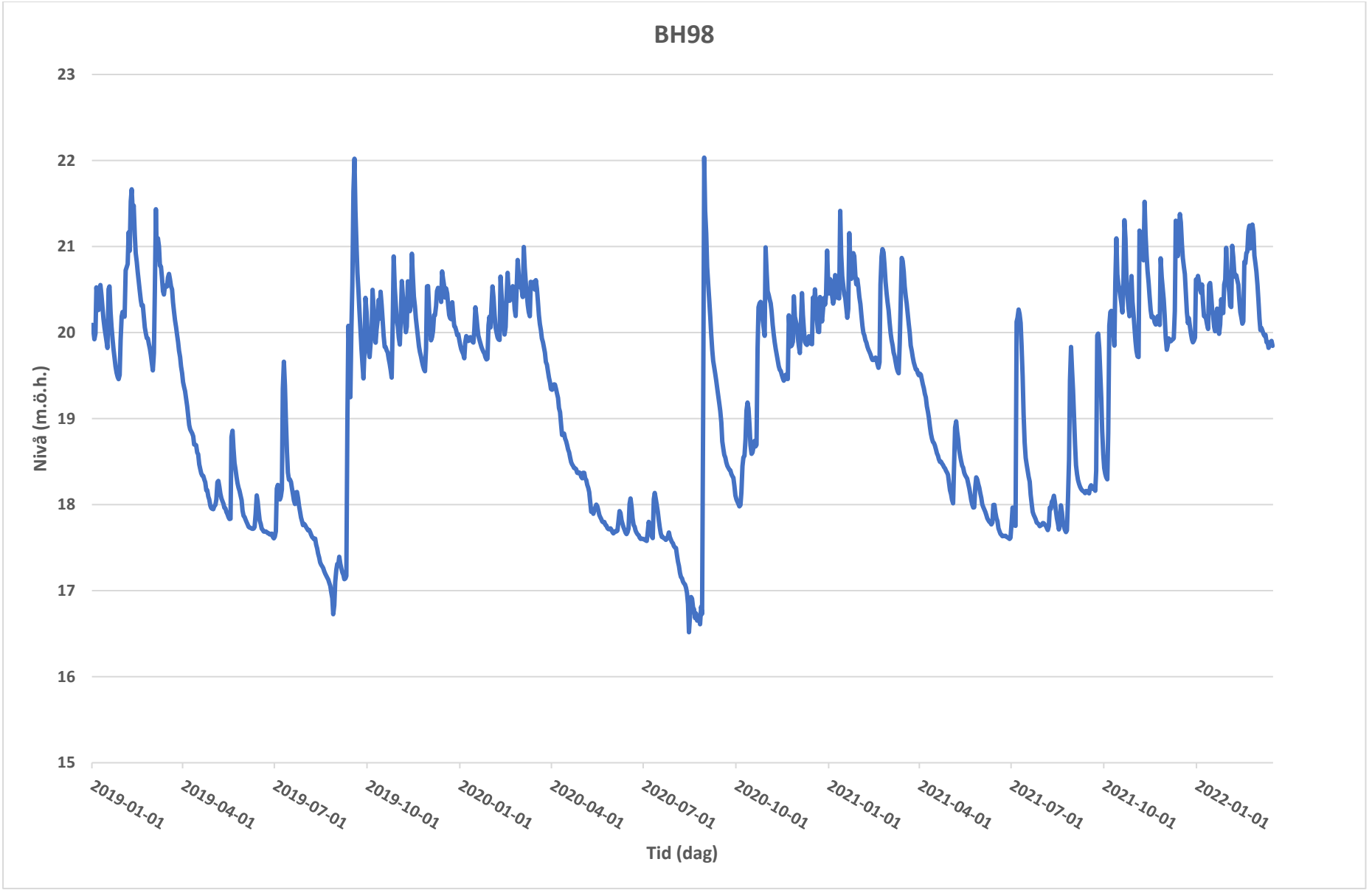

BH1104
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-01
2019-04-01
2019-07-01
2019-10-01
2020-01-01
2020-04-01
2020-07-01
2020-10-01
2021-01-01
2021-04-01
2021-07-01
2021-10-01
2022-01-01
Tid (dag)

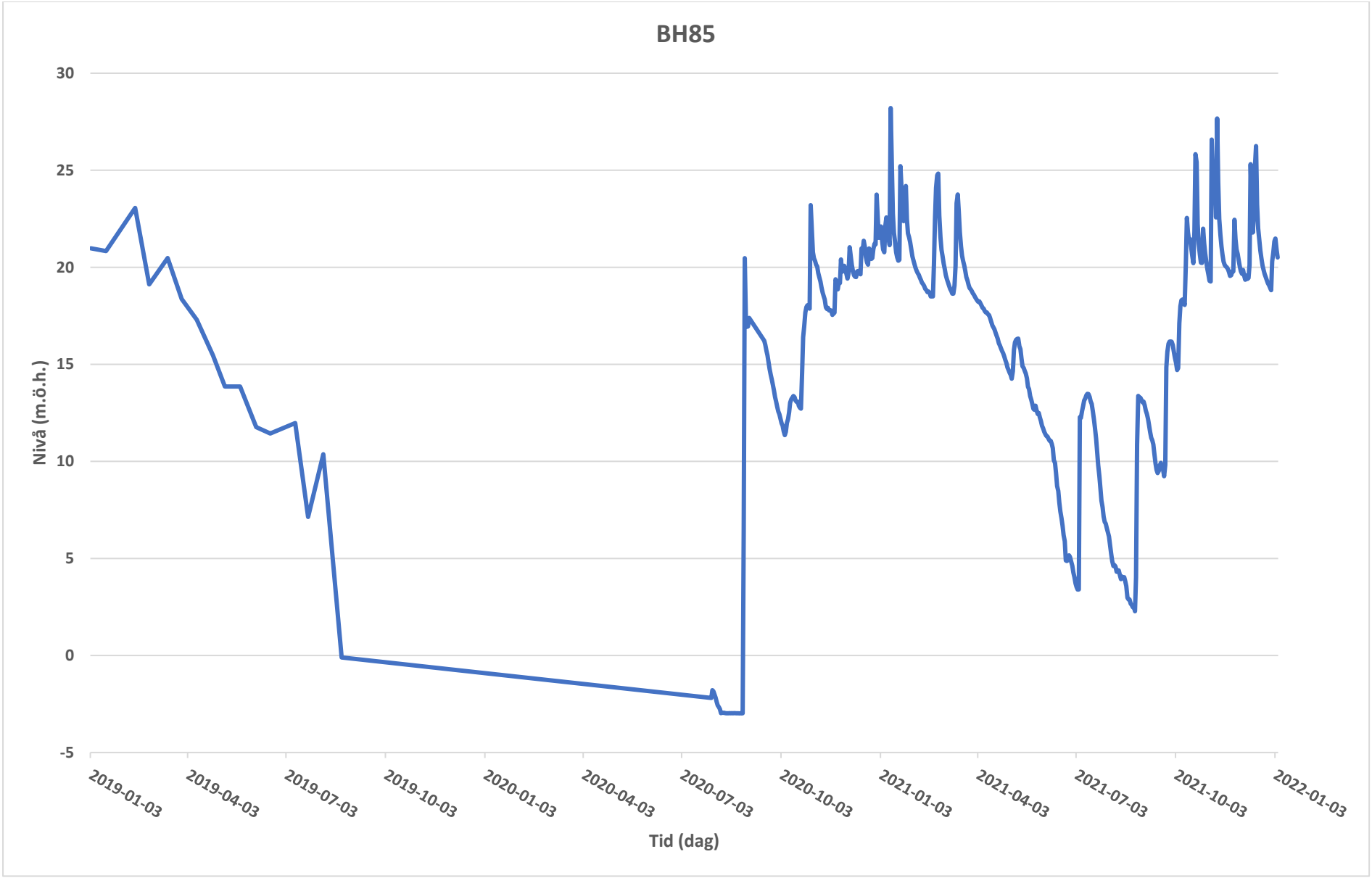

BH1105
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-01
2019-04-01
2019-07-01
2019-10-01
2020-01-01
2020-04-01
2020-07-01
2020-10-01
2021-01-01
2021-04-01
2021-07-01
2021-10-01
2022-01-01
Tid (dag)

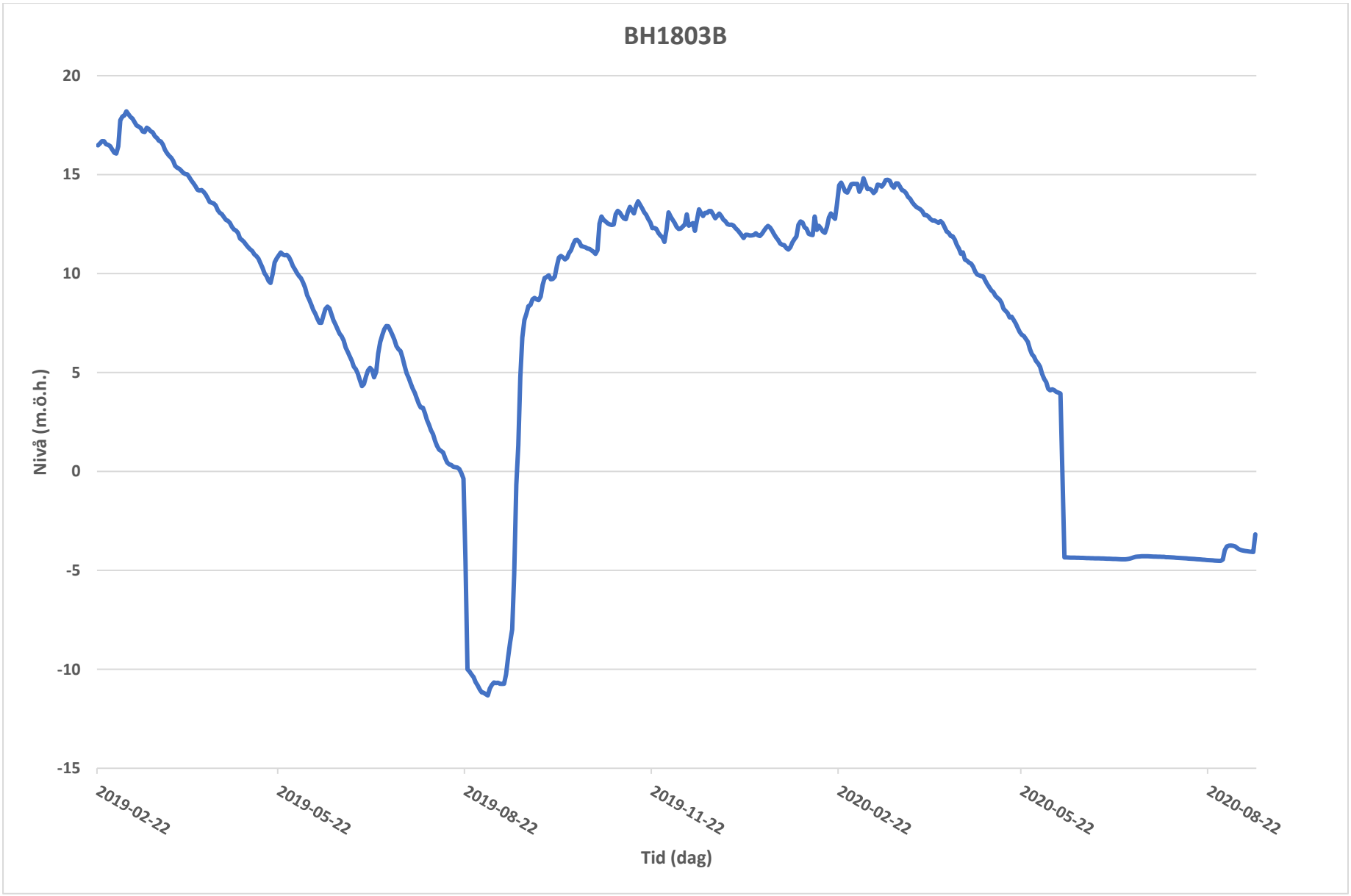

BH1106
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-01
2019-04-01
2019-07-01
2019-10-01
2020-01-01
2020-04-01
2020-07-01
2020-10-01
2021-01-01
2021-04-01
2021-07-01
2021-10-01
2022-01-01
Tid (dag)

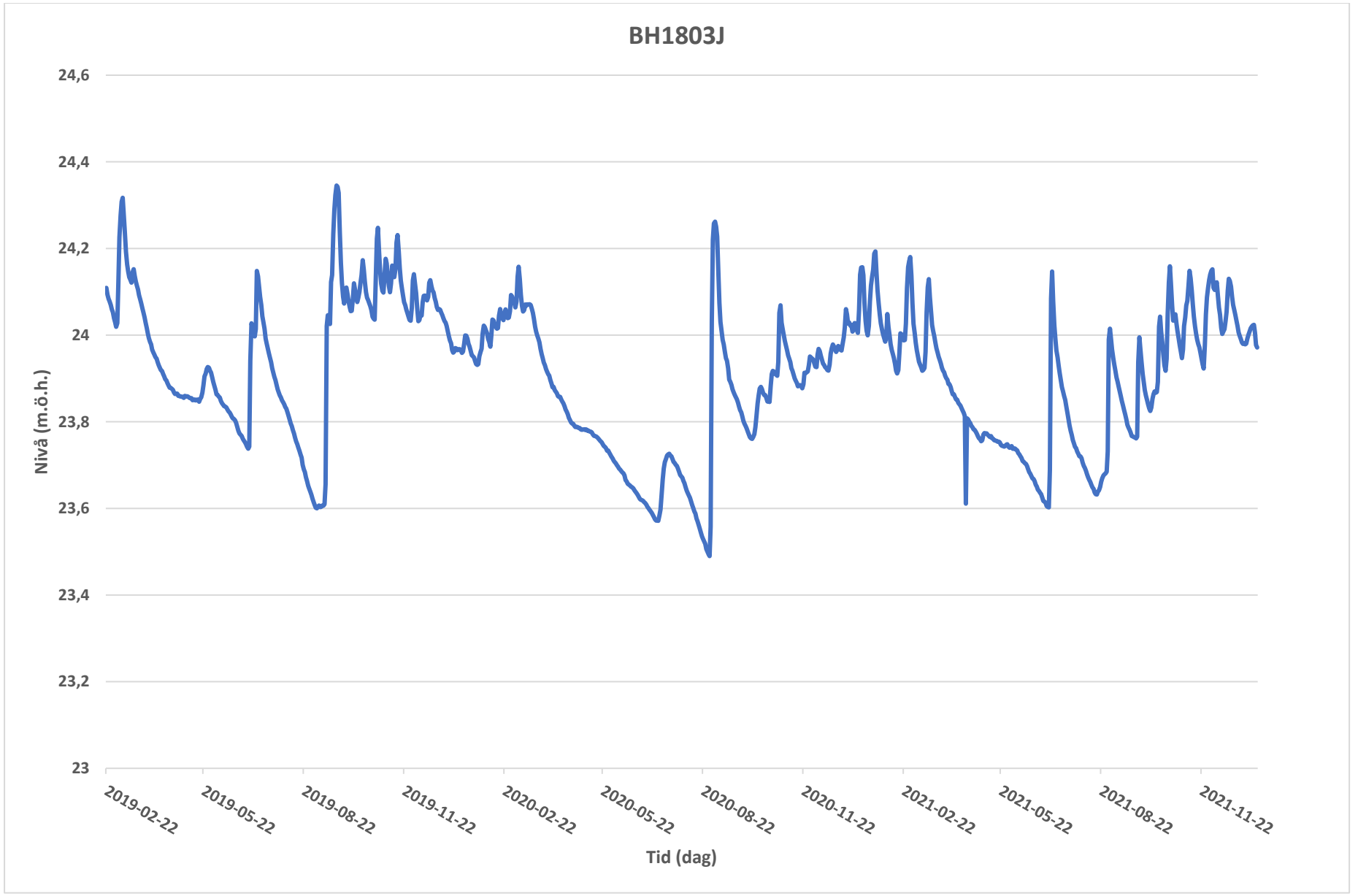

BH43
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-01
2019-04-01
2019-07-01
2019-10-01
2020-01-01
2020-04-01
2020-07-01
2020-10-01
2021-01-01
2021-04-01
2021-07-01
2021-10-01
2022-01-01
Tid (dag)

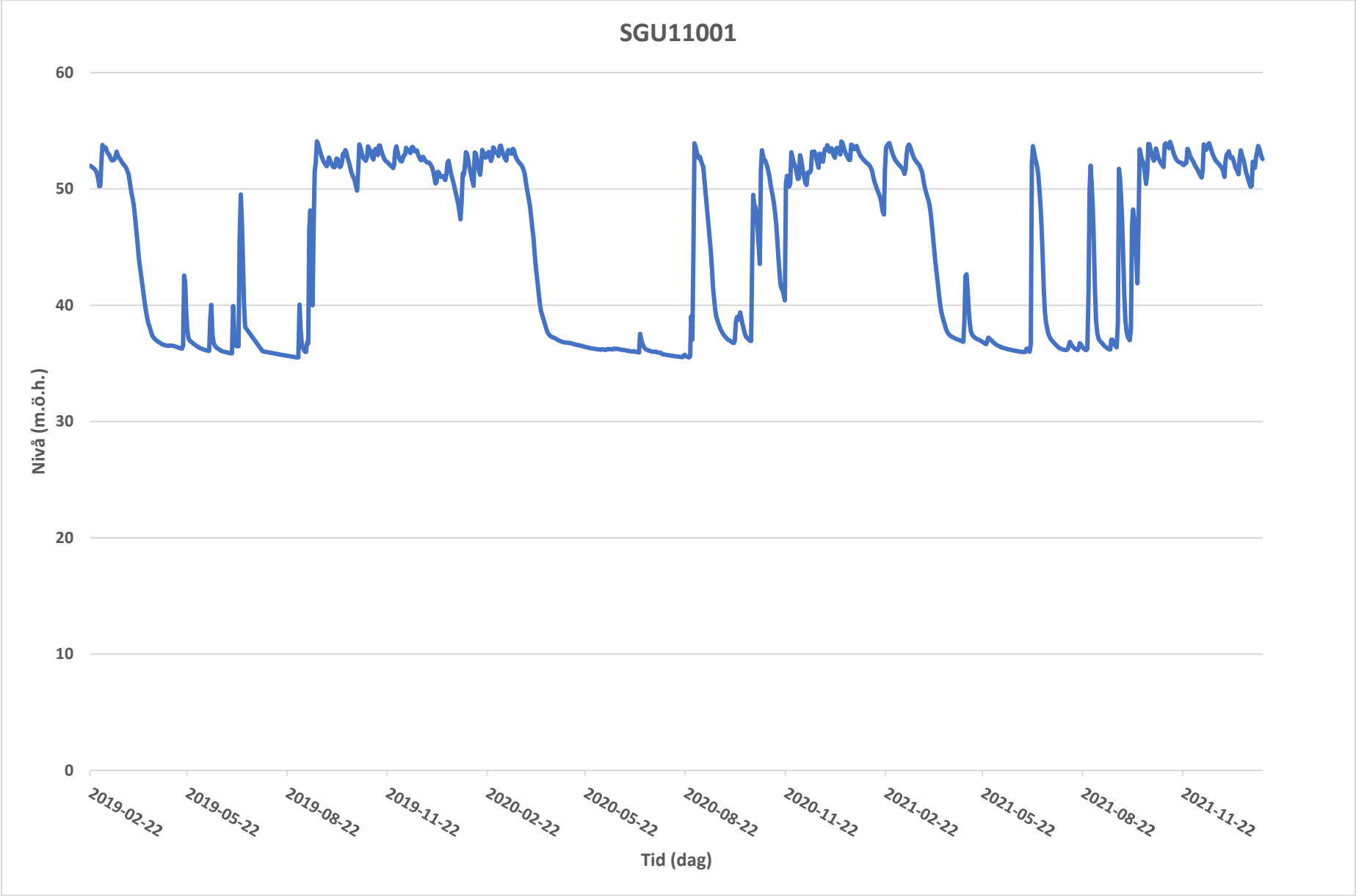

BH86
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-01
2019-04-01
2019-07-01
2019-10-01
2020-01-01
2020-04-01
2020-07-01
2020-10-01
2021-01-01
2021-04-01
2021-07-01
2021-10-01
2022-01-01
Tid (dag)

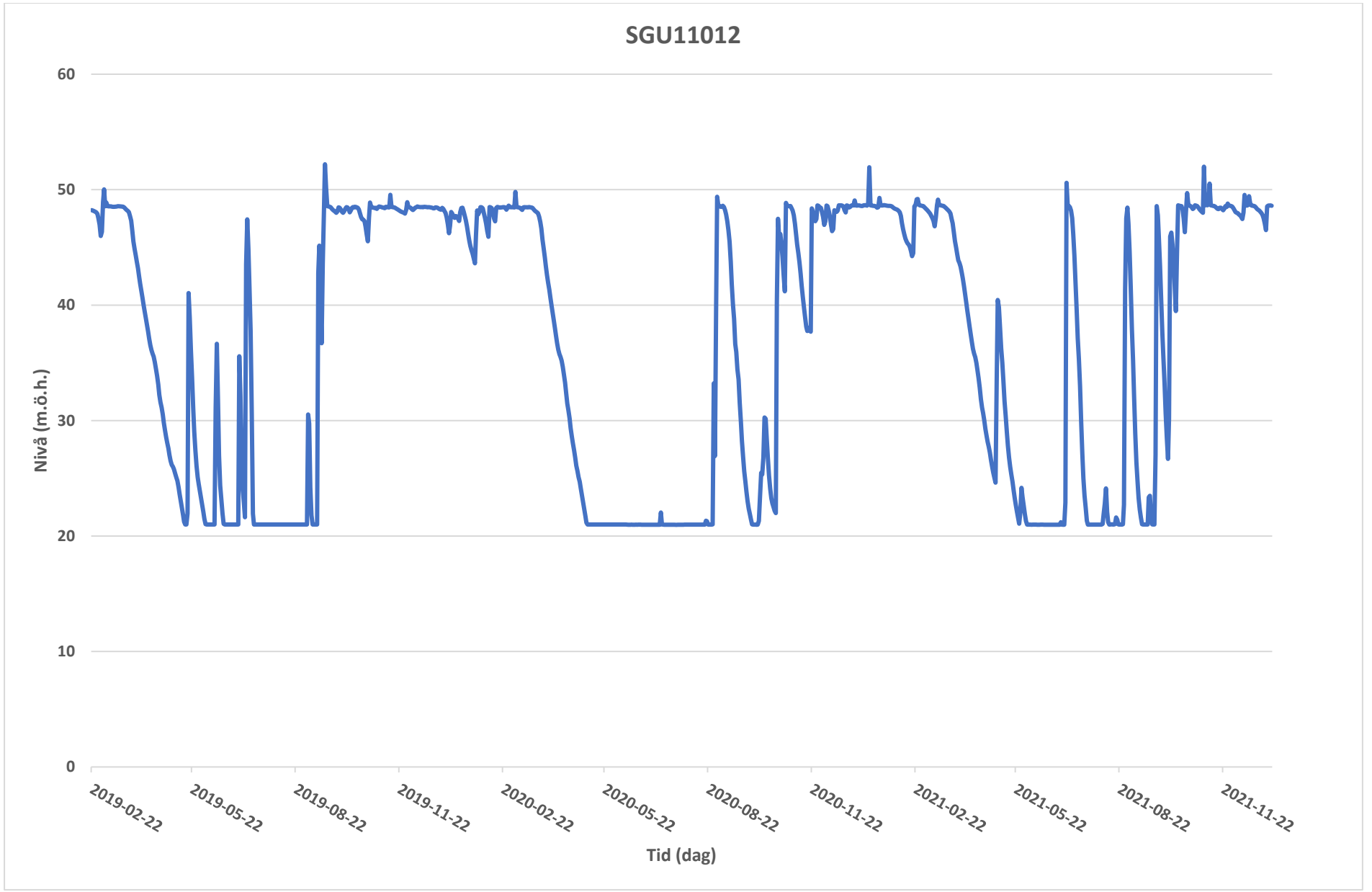

BH98
23
22
21
20
19
18
17
16
15
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-01
2019-04-01
2019-07-01
2019-10-01
2020-01-01
2020-04-01
2020-07-01
2020-10-01
2021-01-01
2021-04-01
2021-07-01
2021-10-01
2022-01-01
Tid (dag)

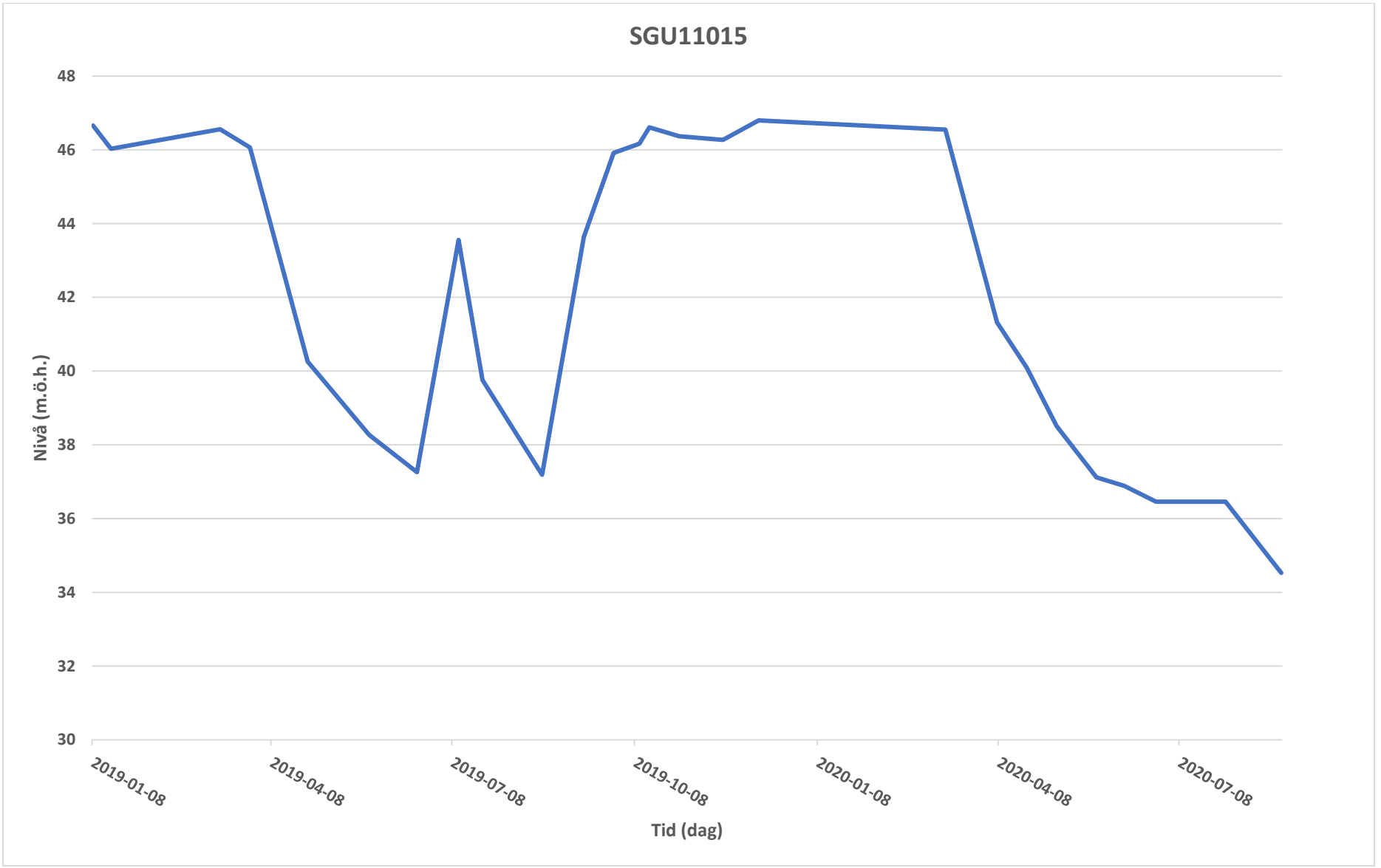

BH85
30
25
20
15
10
5
0
-5
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-03
2019-04-03
2019-07-03
2019-10-03
2020-01-03
2020-04-03
2020-07-03
2020-10-03
2021-01-03
2021-04-03
2021-07-03
2021-10-03
2022-01-03
Tid (dag)

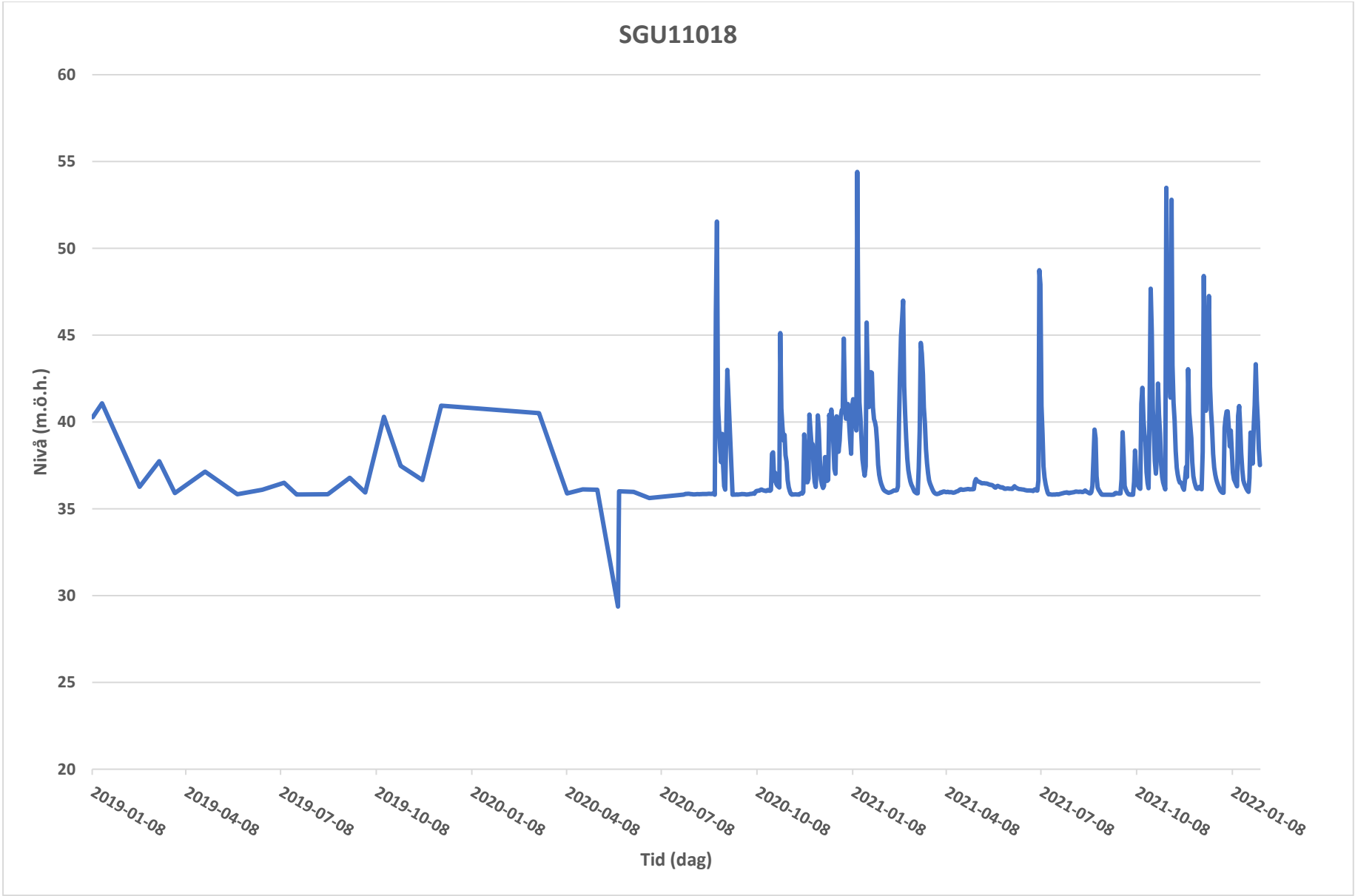

BH1803B
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
Tid (dag)

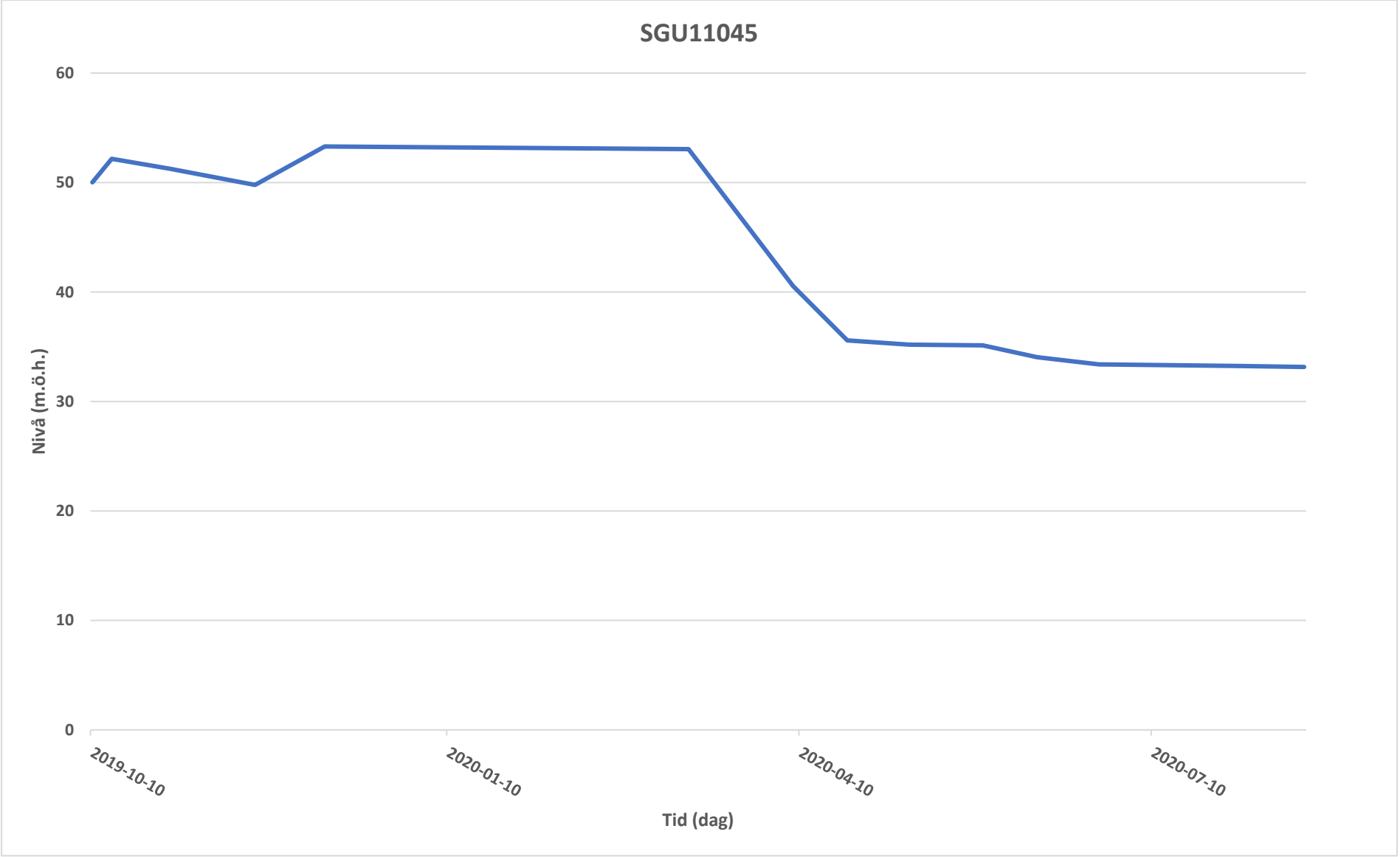

BH1803J
24,6
24,4
24,2
24
23,8
23,6
23,4
23,2
23
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
Tid (dag)

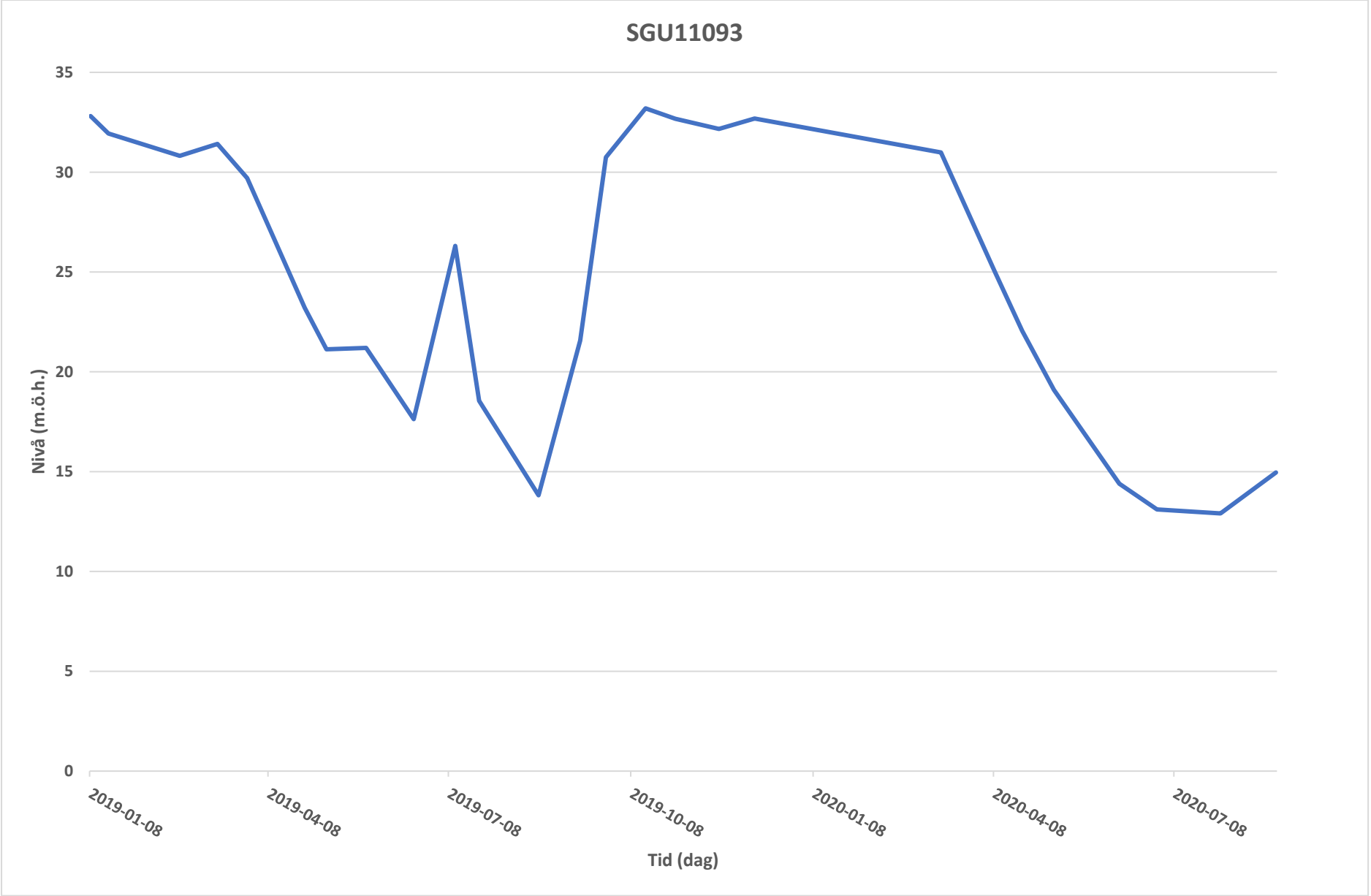

SGU11001
60
50
40
30
20
10
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
Tid (dag)

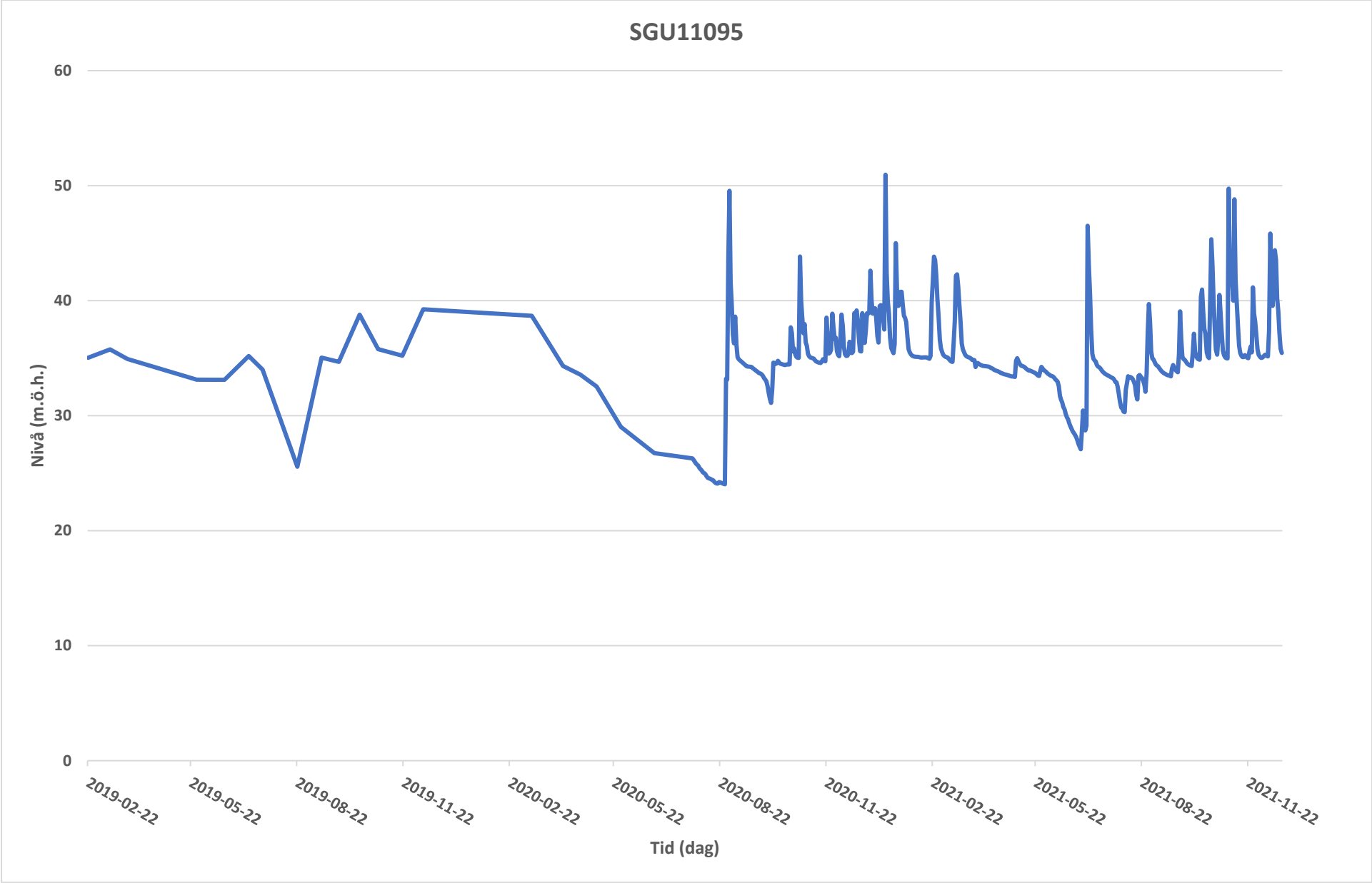

SGU11012
60
50
40
30
20
10
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
Tid (dag)

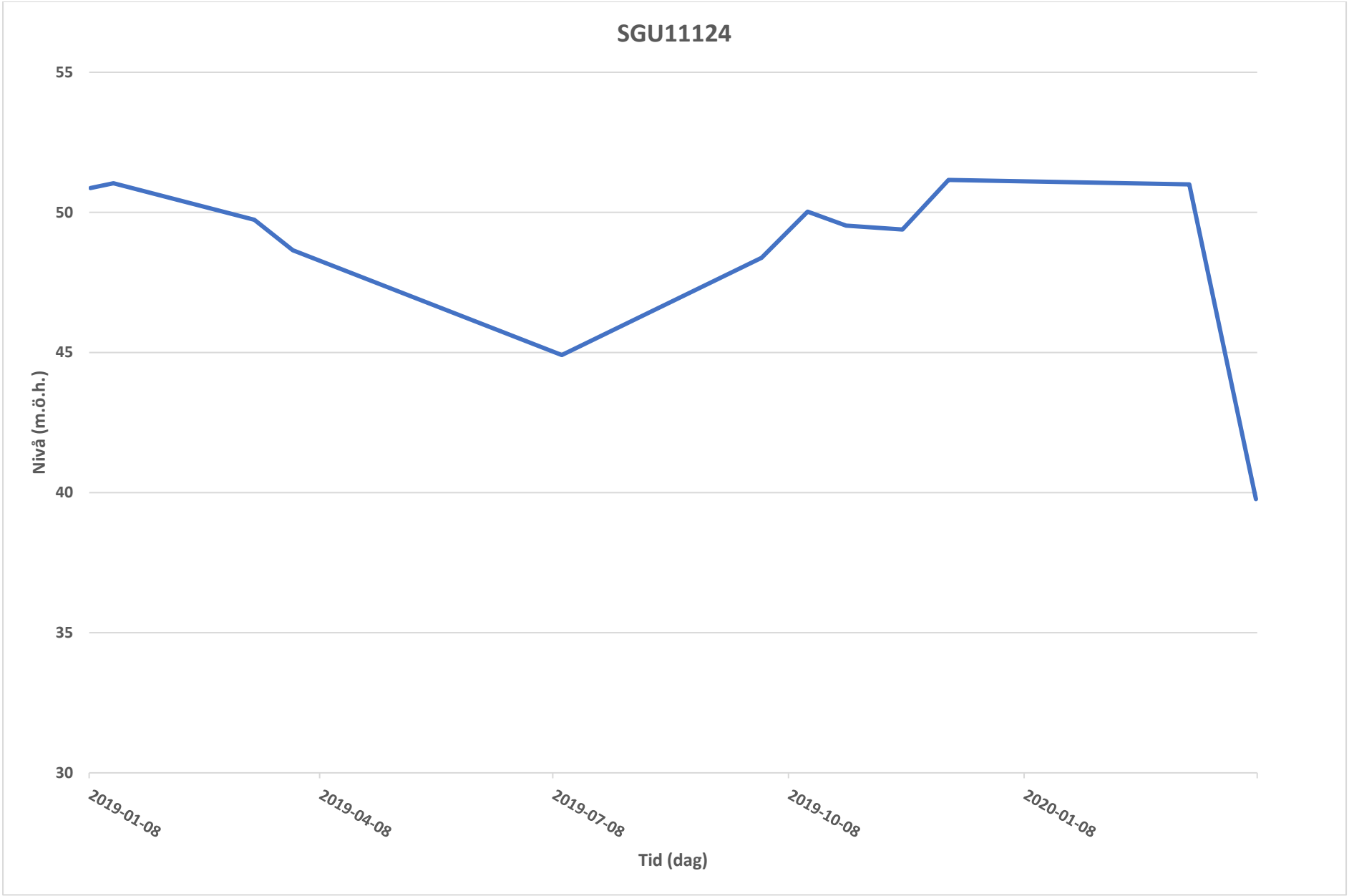

SGU11015
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-08
2019-04-08
2019-07-08
2019-10-08
2020-01-08
2020-04-08
2020-07-08
Tid (dag)

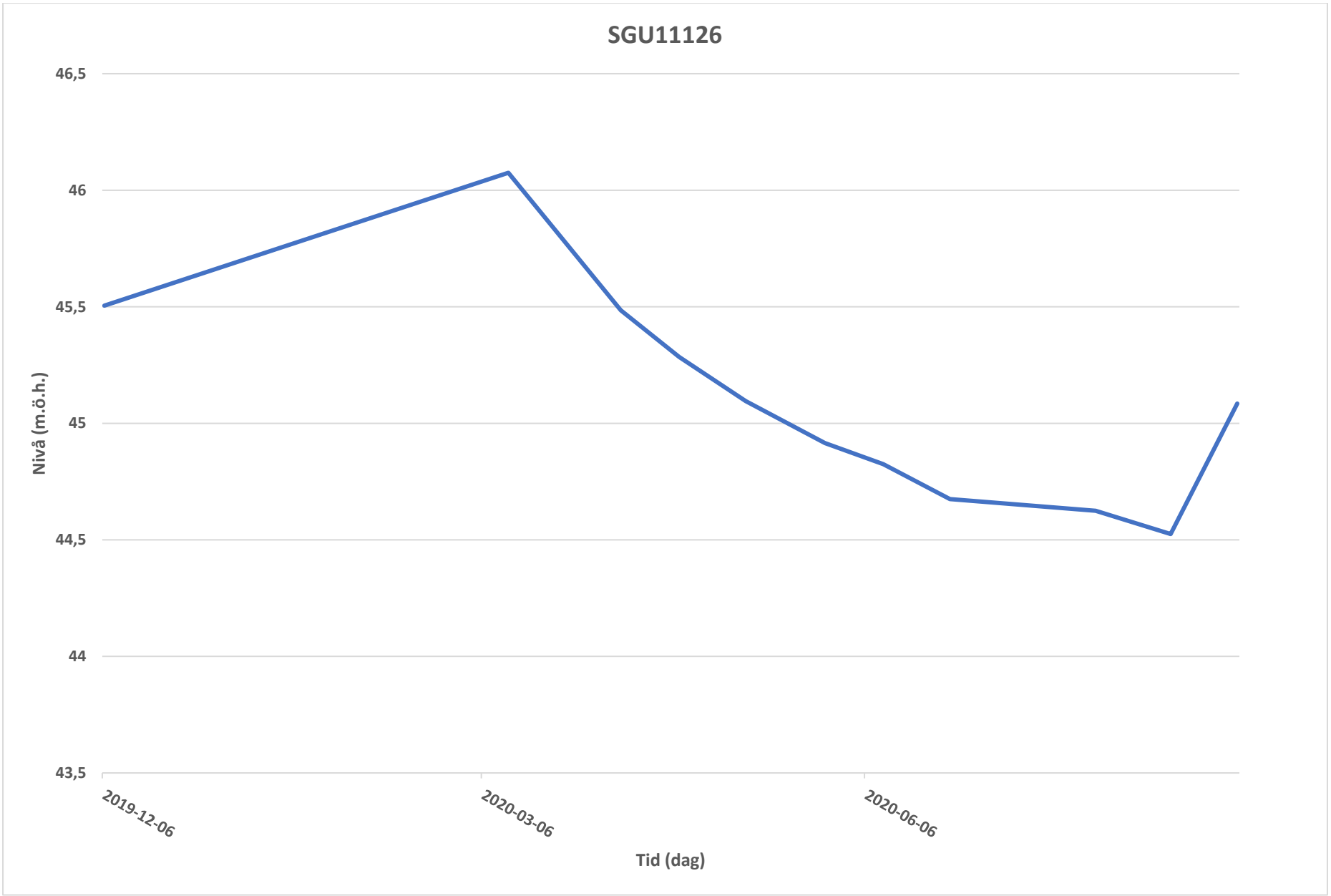

SGU11018
60
55
50
45
40
35
30
25
20
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-08
2019-04-08
2019-07-08
2019-10-08
2020-01-08
2020-04-08
2020-07-08
2020-10-08
2021-01-08
2021-04-08
2021-07-08
2021-10-08
2022-01-08
Tid (dag)

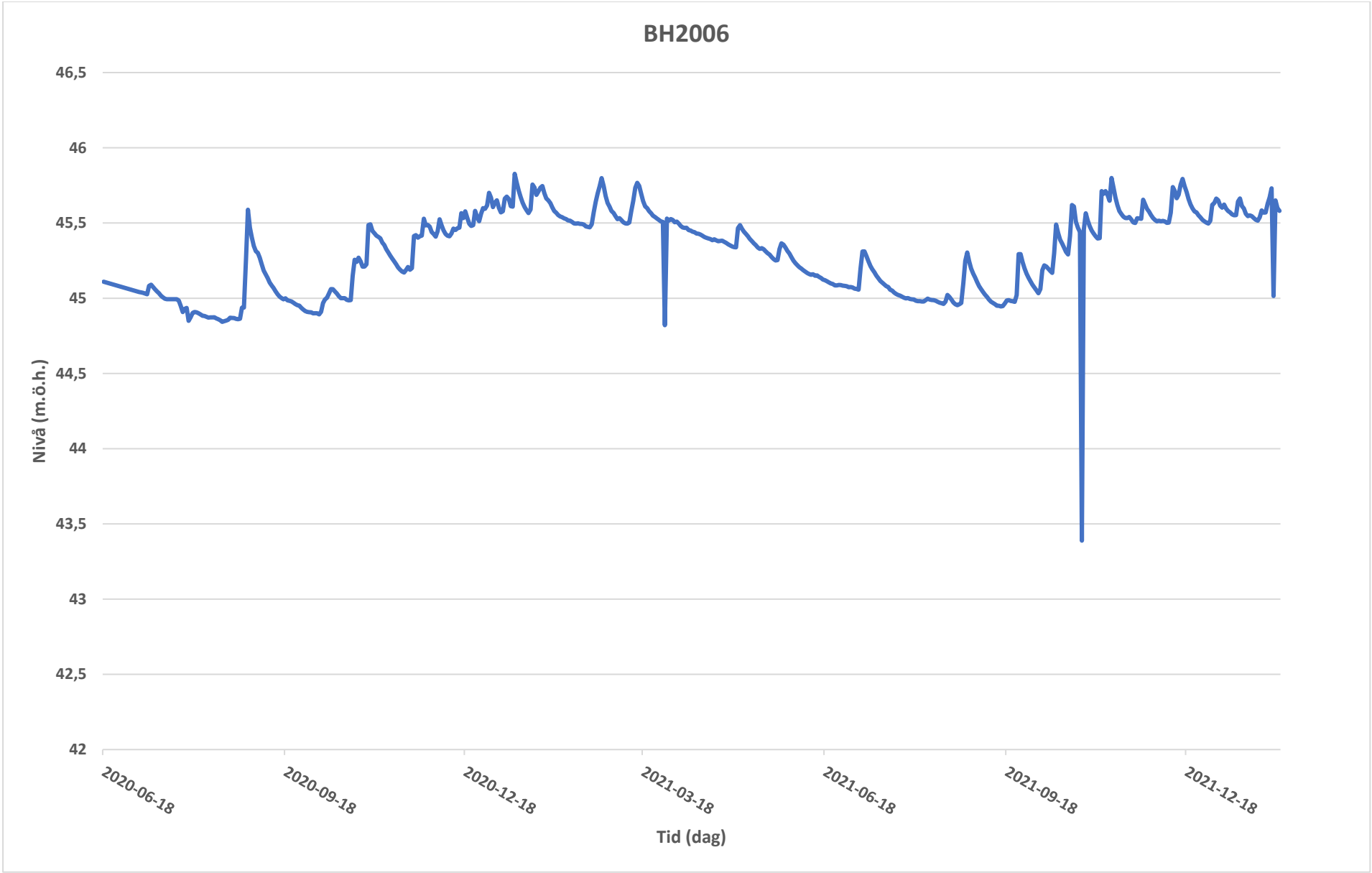

SGU11045
60
50
40
30
20
10
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-10-10
2020-01-10
2020-04-10
2020-07-10
Tid (dag)

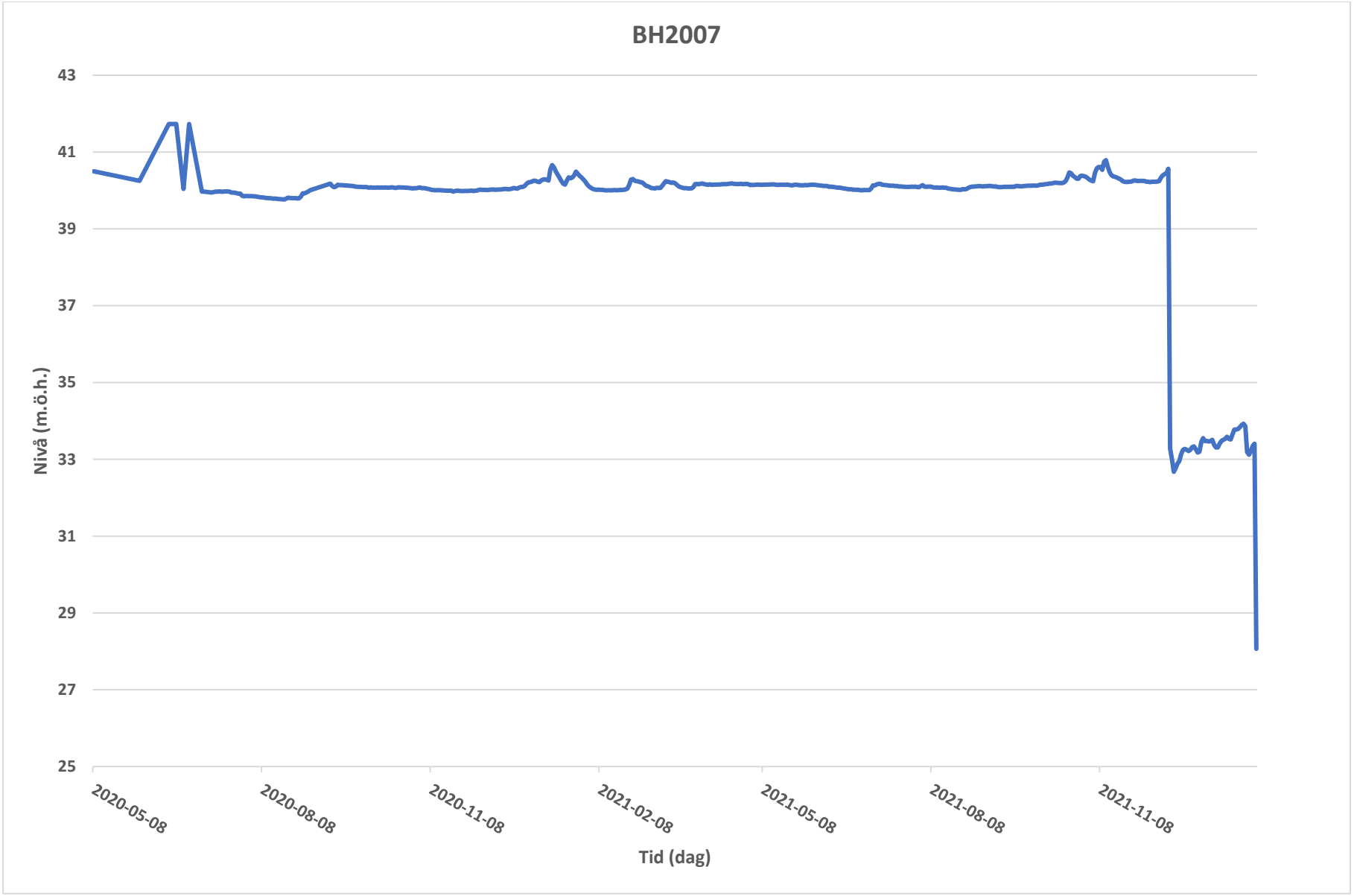

SGU11093
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-08
2019-04-08
2019-07-08
2019-10-08
2020-01-08
2020-04-08
2020-07-08
Tid (dag)

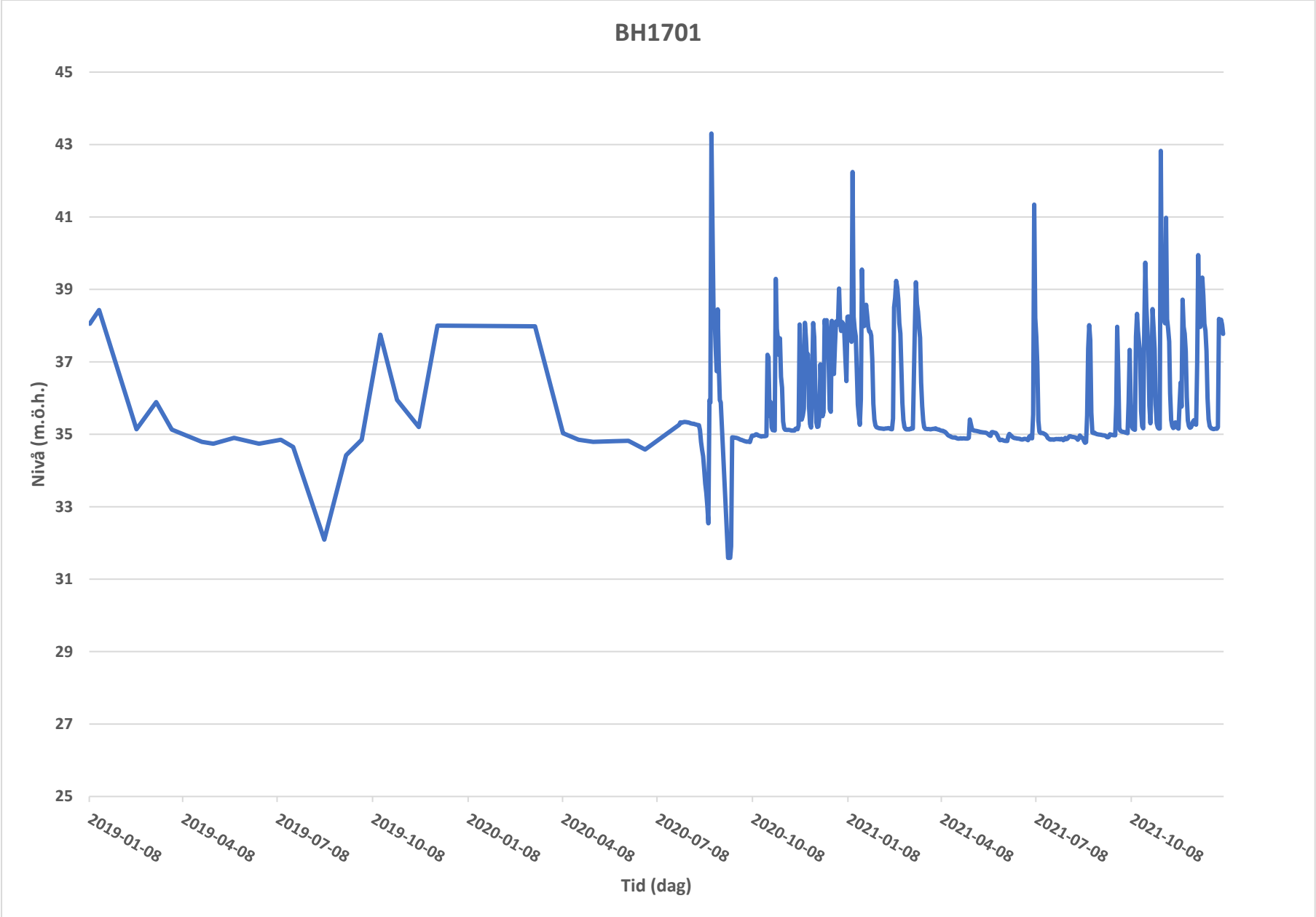

SGU11095
60
50
40
30
20
10
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
Tid (dag)

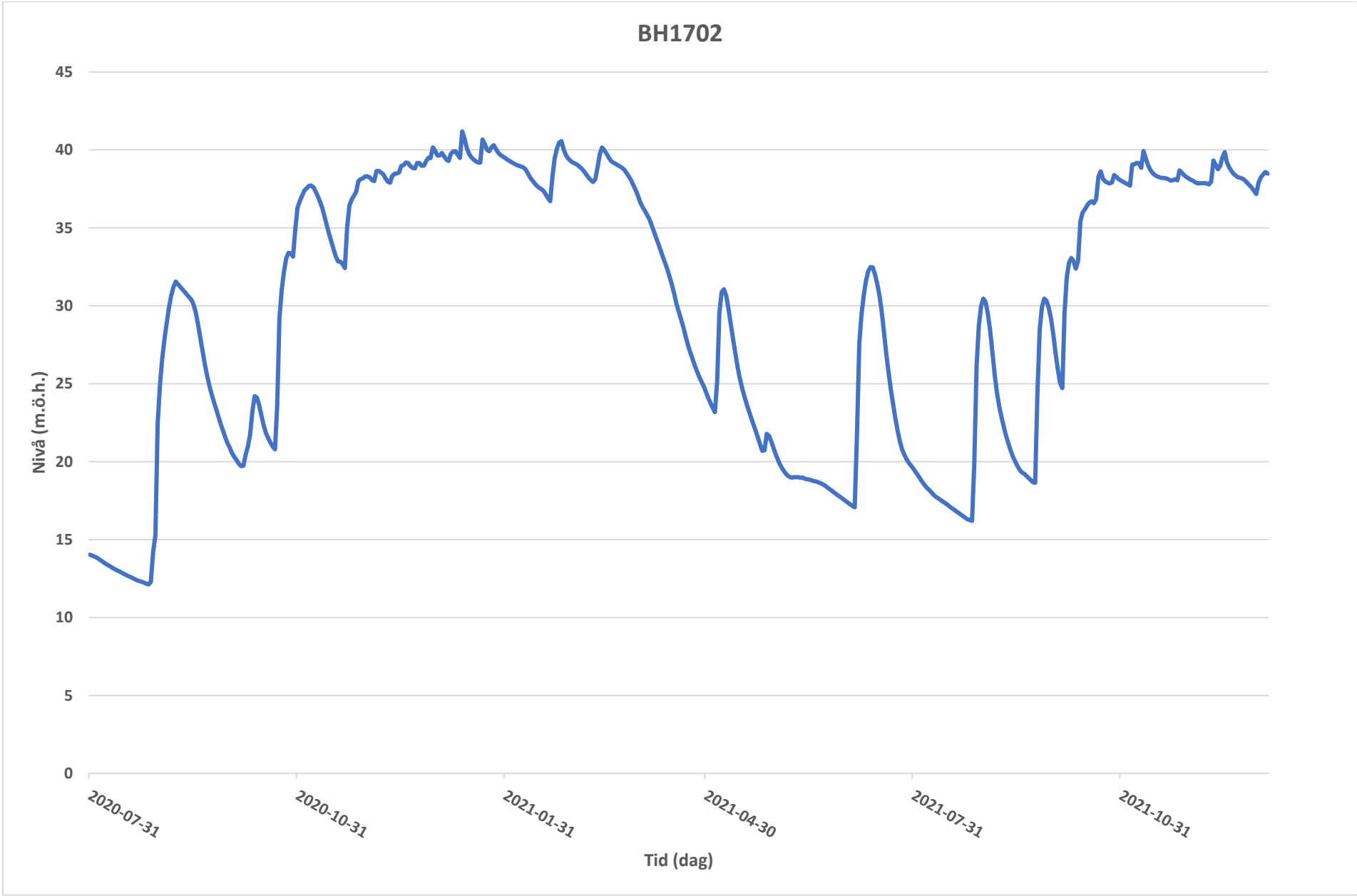

SGU11124
55
50
45
40
35
30
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-08
2019-04-08
2019-07-08
2019-10-08
2020-01-08
Tid (dag)

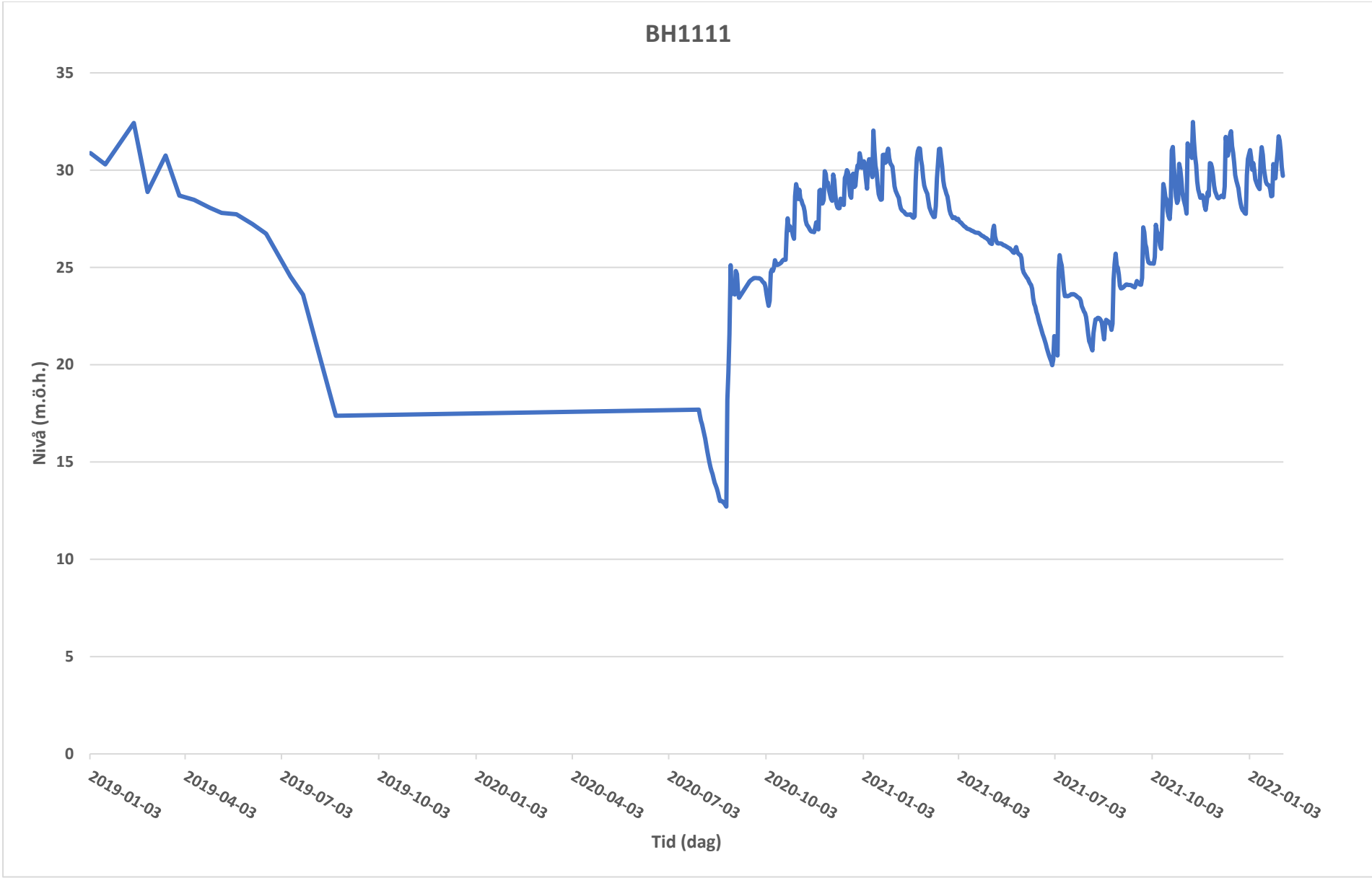

SGU11126
46,5
46
45,5
45
44,5
44
43,5
Nivå (m.ö.h.)
2019-12-06
2020-03-06
2020-06-06
Tid (dag)

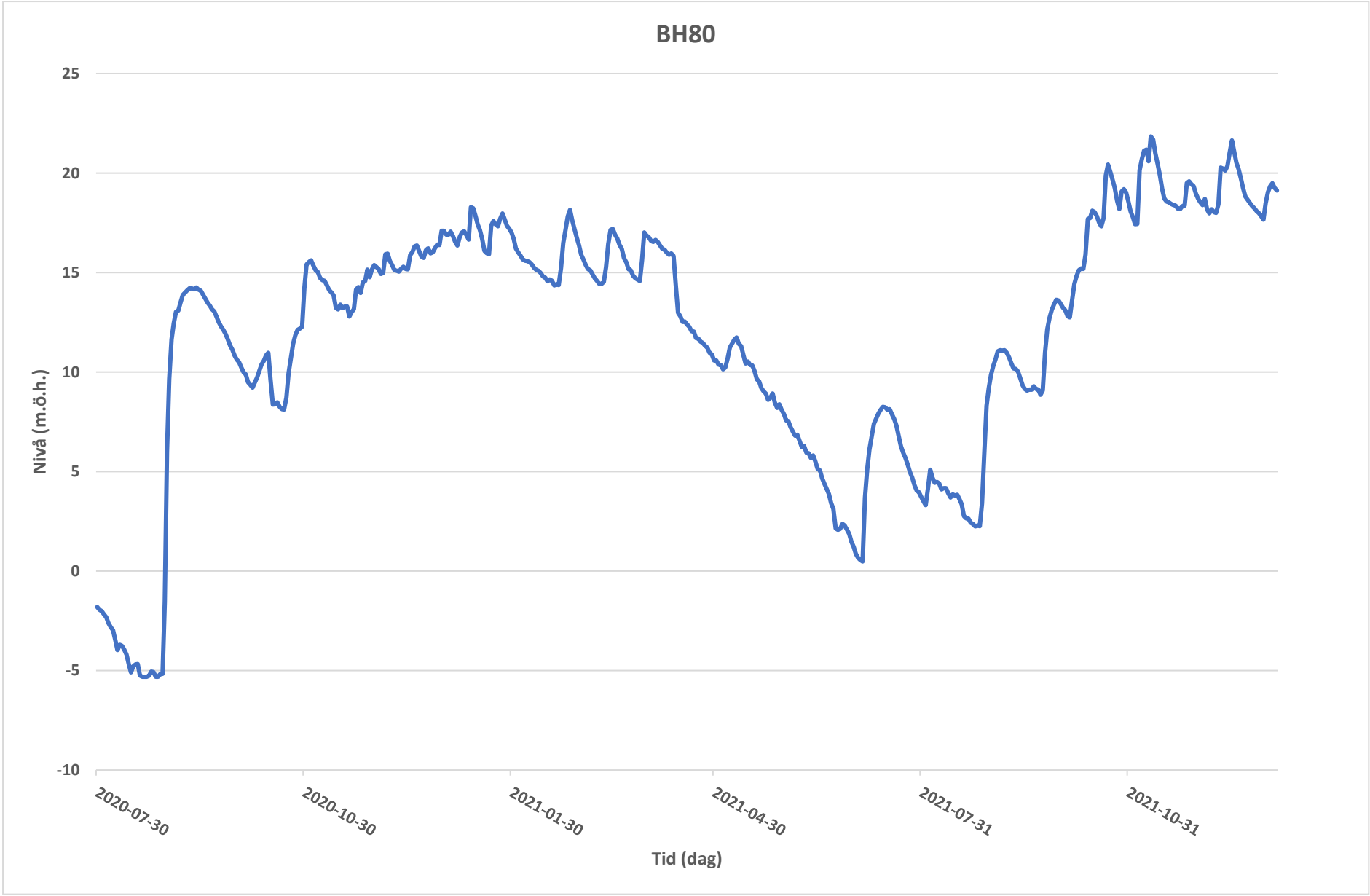

BH2006
46,5
46
45,5
45
44,5
44
43,5
43
42,5
42
Nivå (m.ö.h.)
2020-06-18
2020-09-18
2020-12-18
2021-03-18
2021-06-18
2021-09-18
2021-12-18
Tid (dag)

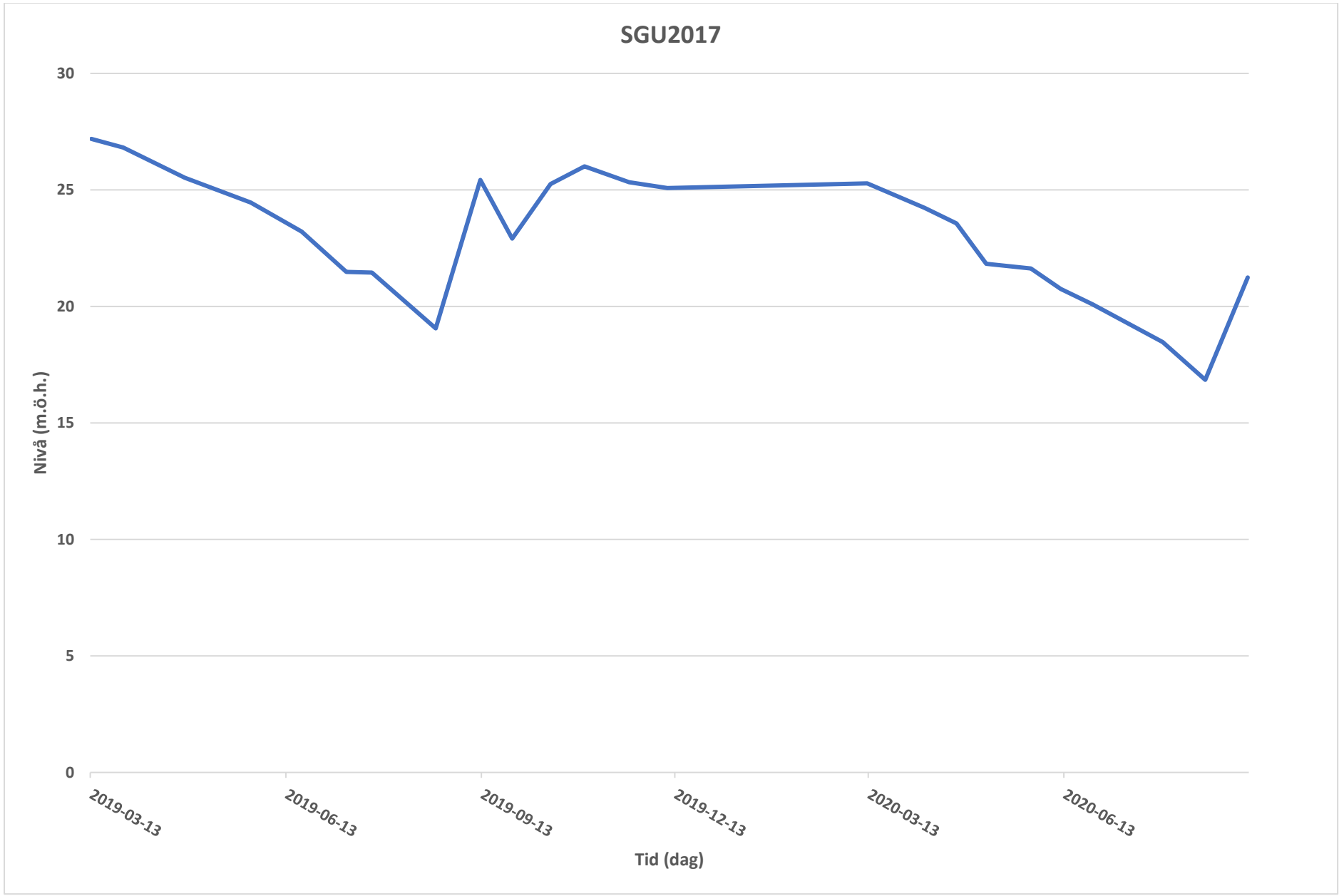

BH2007
43
41
39
37
35
33
31
29
27
25
Nivå (m.ö.h.)
2020-05-08
2020-08-08
2020-11-08
2021-02-08
2021-05-08
2021-08-08
2021-11-08
Tid (dag)

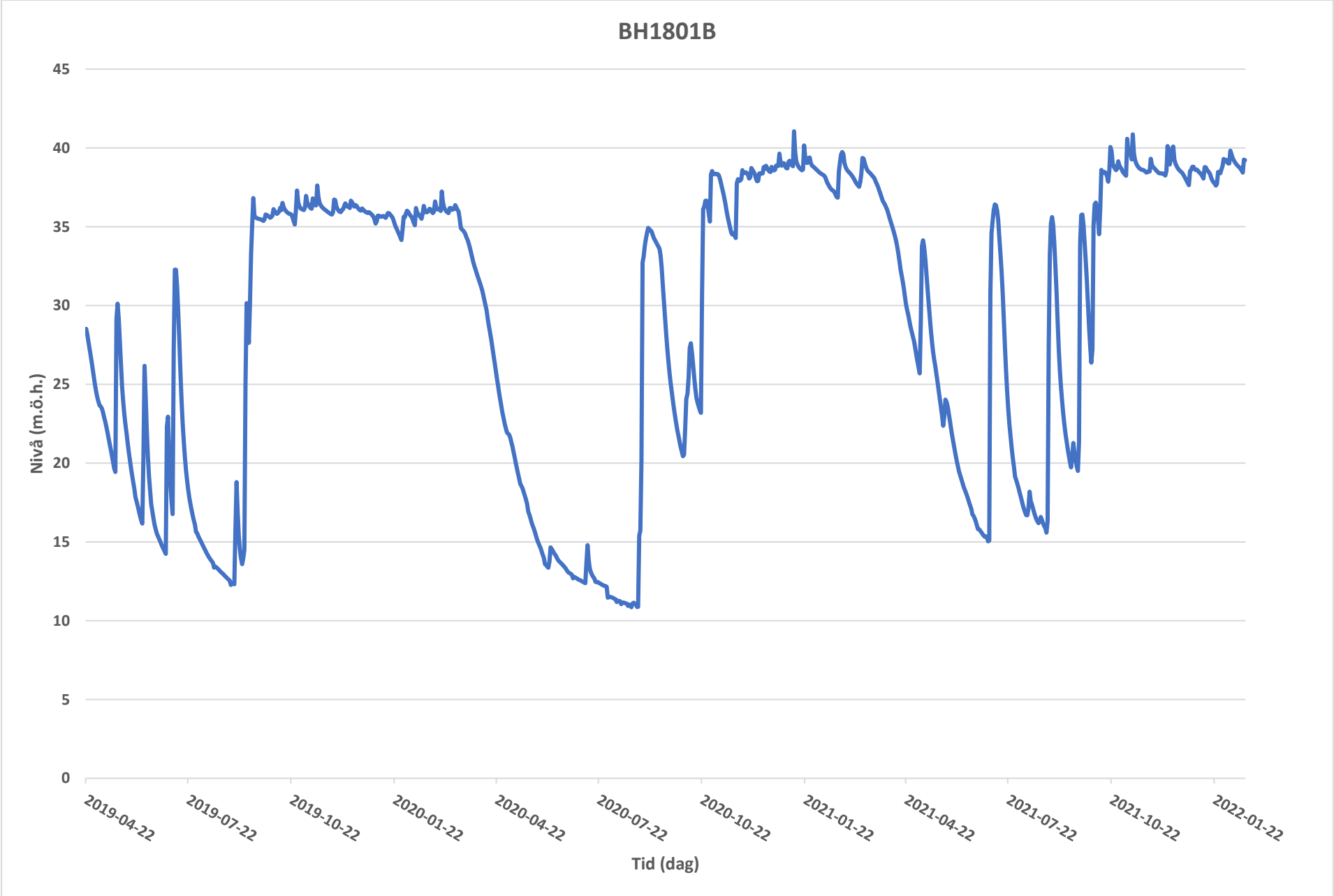

BH1701
45
43
41
39
37
35
33
31
29
27
25
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-08
2019-04-08
2019-07-08
2019-10-08
2020-01-08
2020-04-08
2020-07-08
2020-10-08
2021-01-08
2021-04-08
2021-07-08
2021-10-08
Tid (dag)

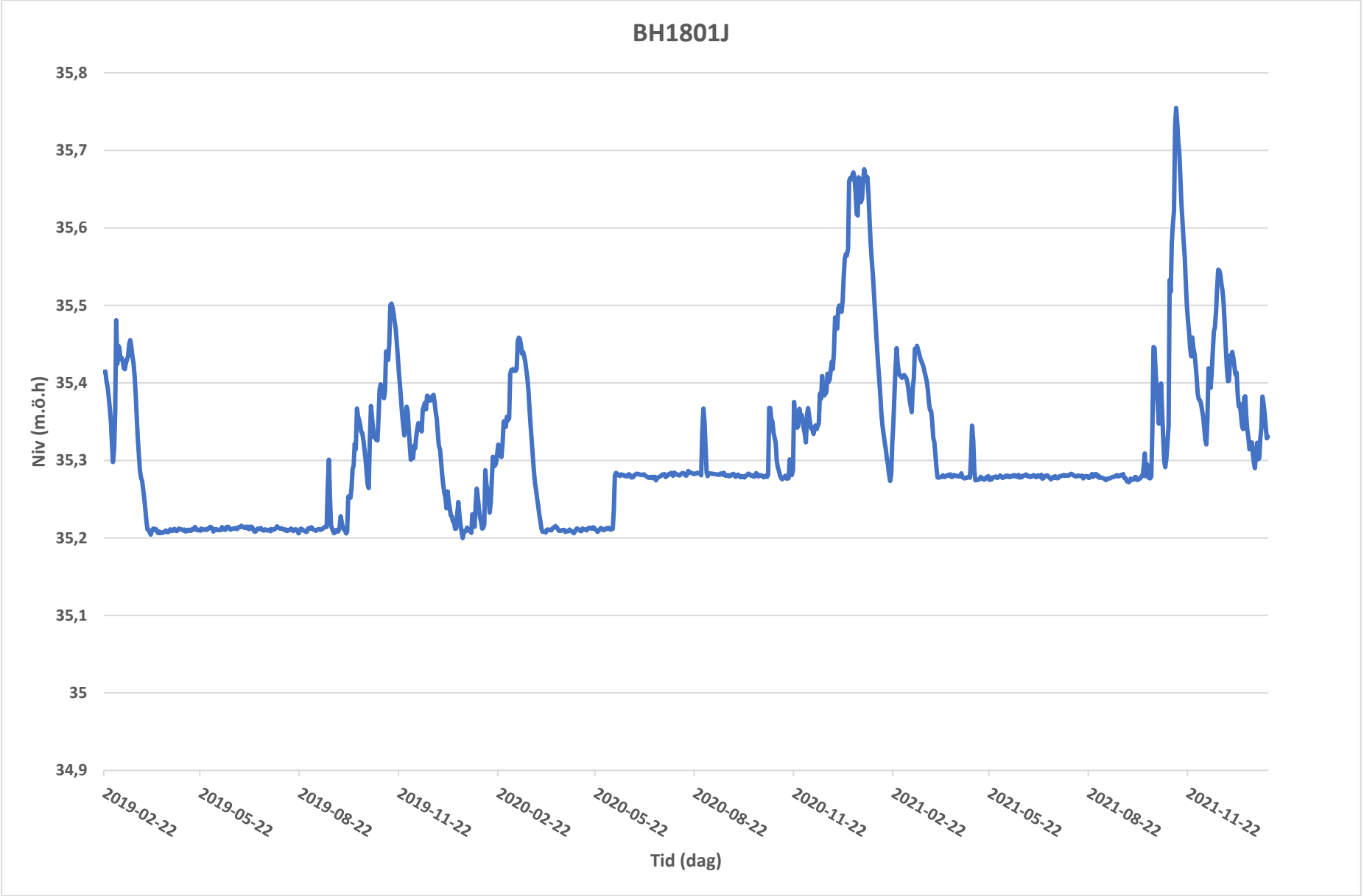

BH1702
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2020-07-31
2020-10-31
2021-01-31
2021-04-30
2021-07-31
2021-10-31
Tid (dag)

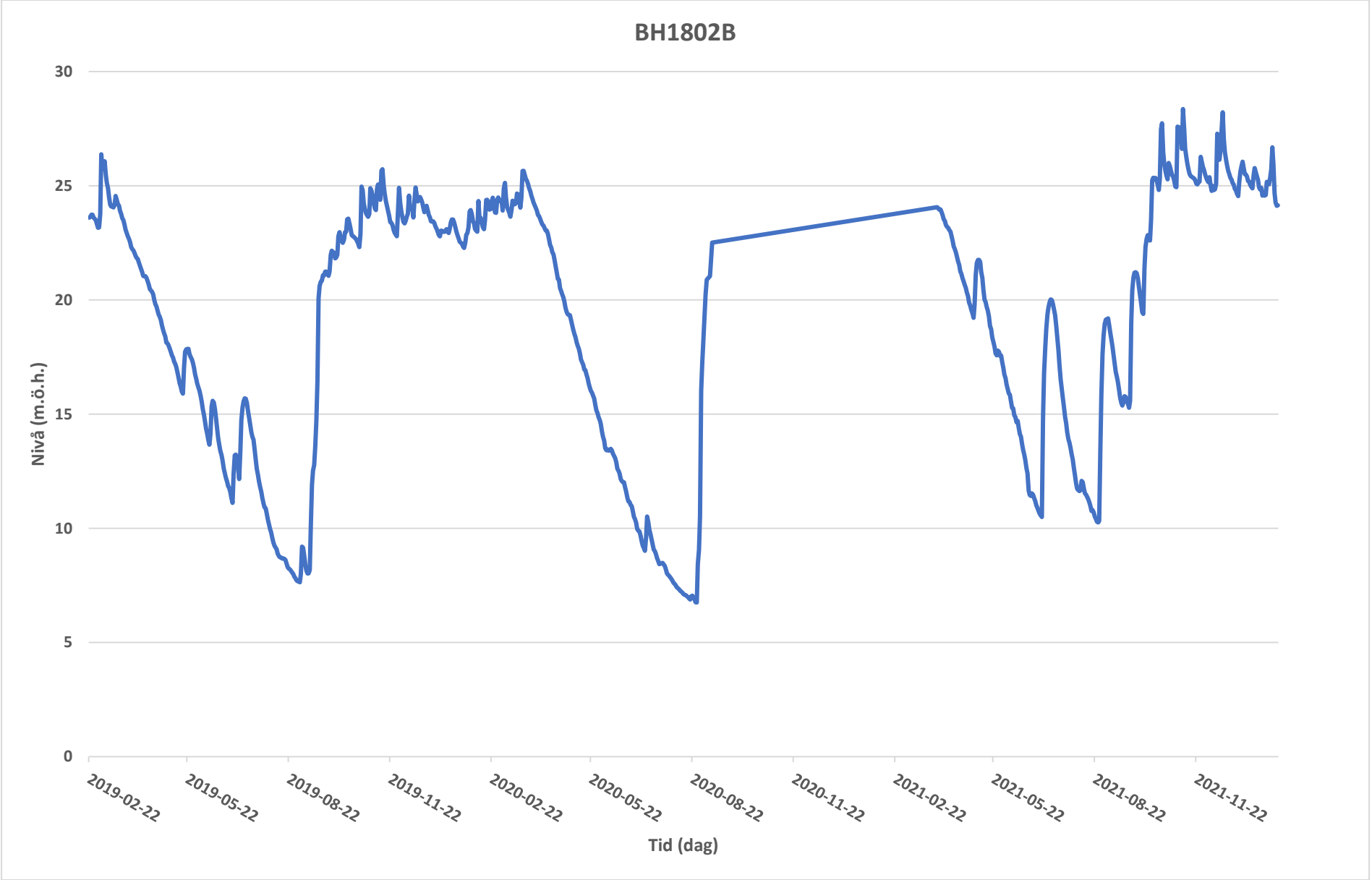

BH1111
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-01-03
2019-04-03
2019-07-03
2019-10-03
2020-01-03
2020-04-03
2020-07-03
2020-10-03
2021-01-03
2021-04-03
2021-07-03
2021-10-03
2022-01-03
Tid (dag)

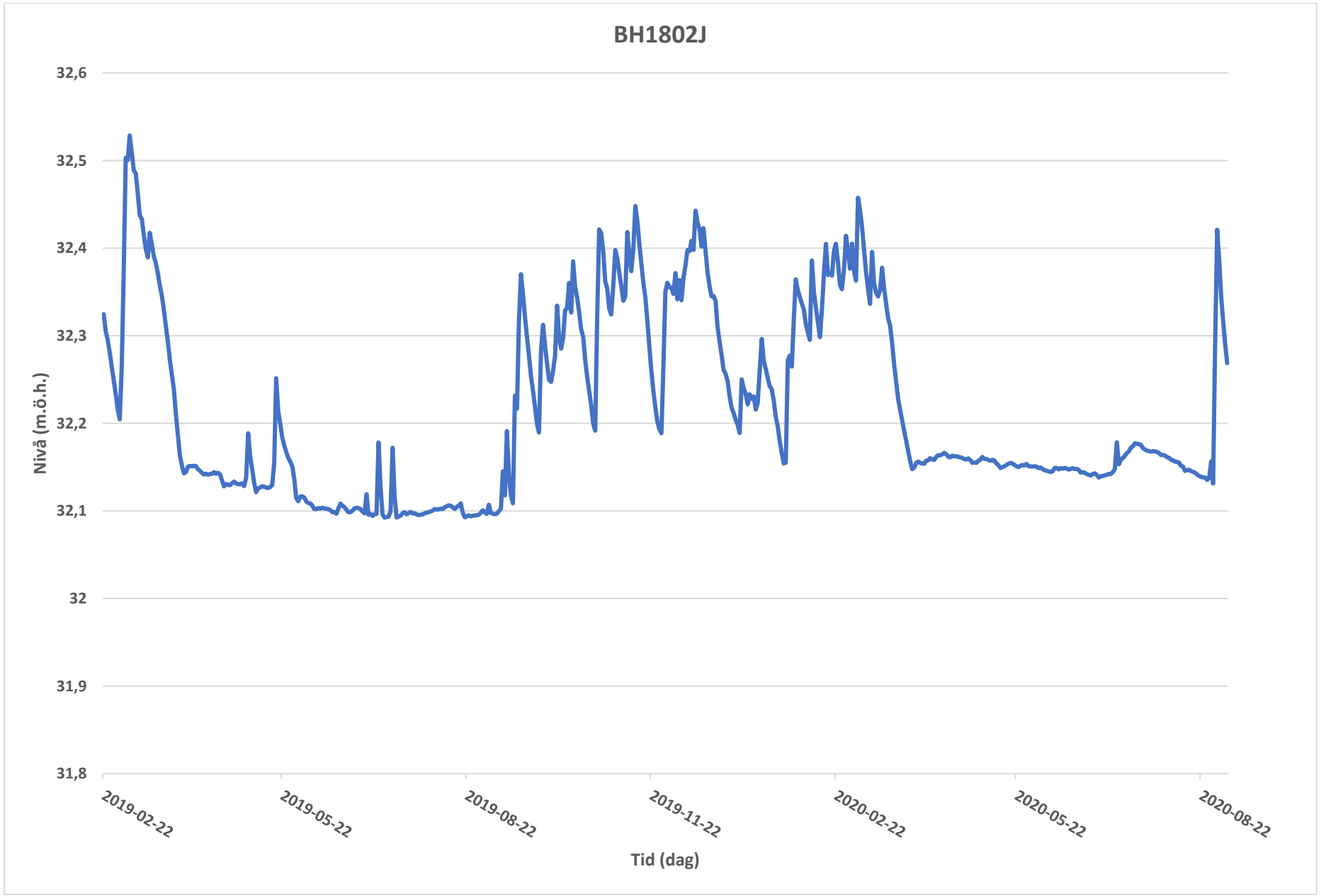

BH80
25
20
15
10
5
0
-5
-10
Nivå (m.ö.h.)
2020-07-30
2020-10-30
2021-01-30
2021-04-30
2021-07-31
2021-10-31
Tid (dag)

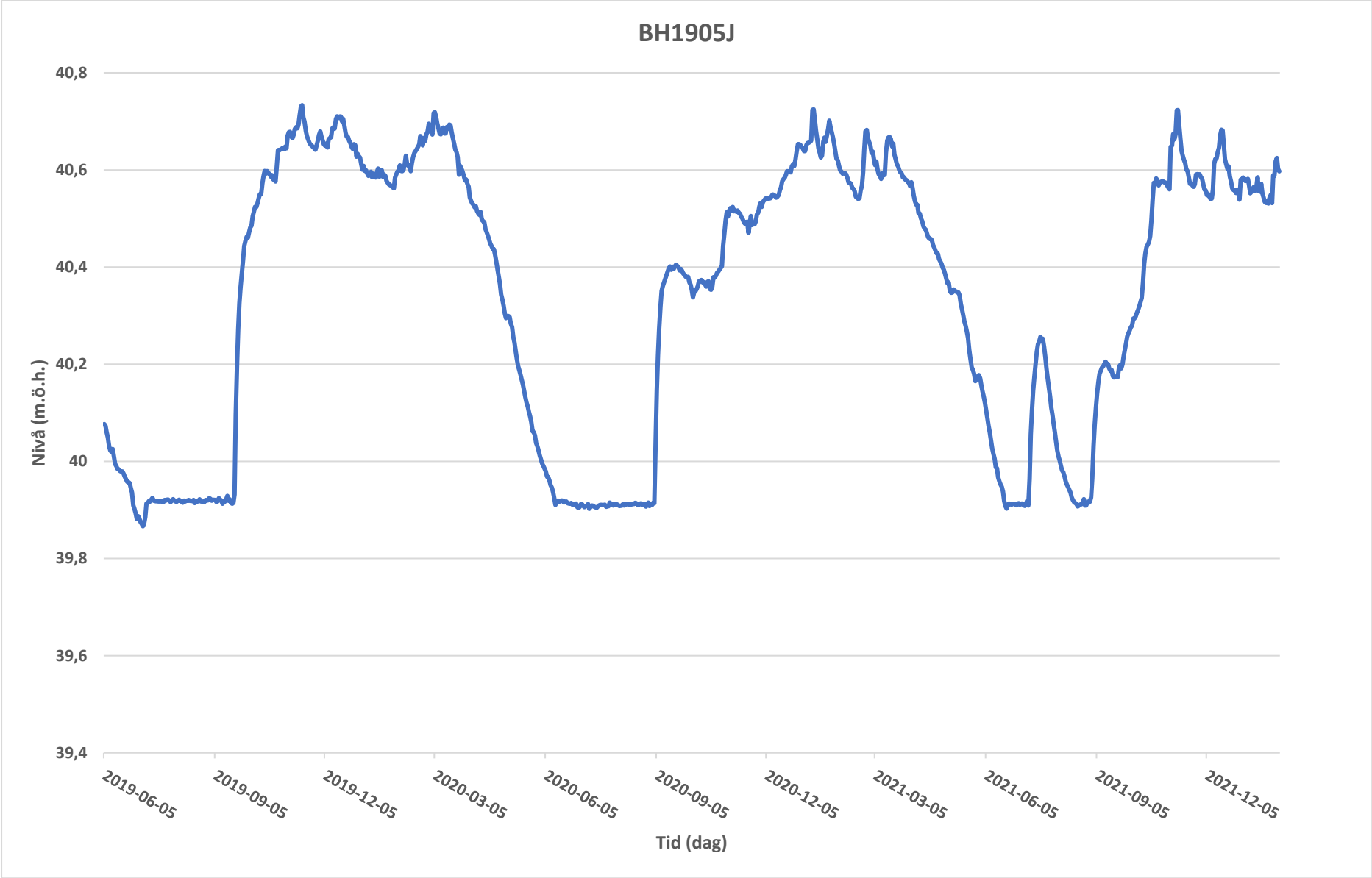

SGU2017
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-03-13
2019-06-13
2019-09-13
2019-12-13
2020-03-13
2020-06-13
Tid (dag)

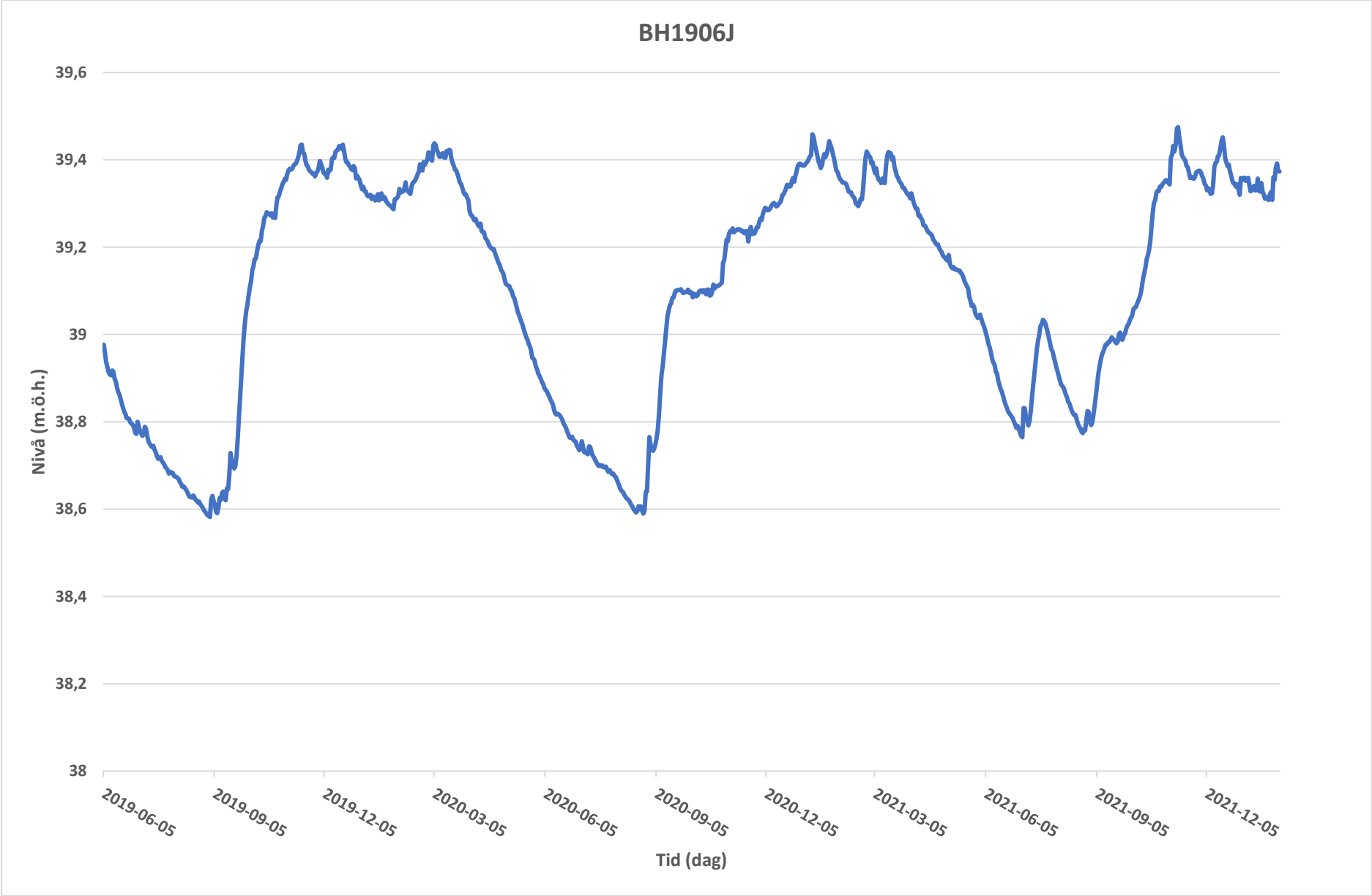

BH1801B
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-04-22
2019-07-22
2019-10-22
2020-01-22
2020-04-22
2020-07-22
2020-10-22
2021-01-22
2021-04-22
2021-07-22
2021-10-22
2022-01-22
Tid (dag)

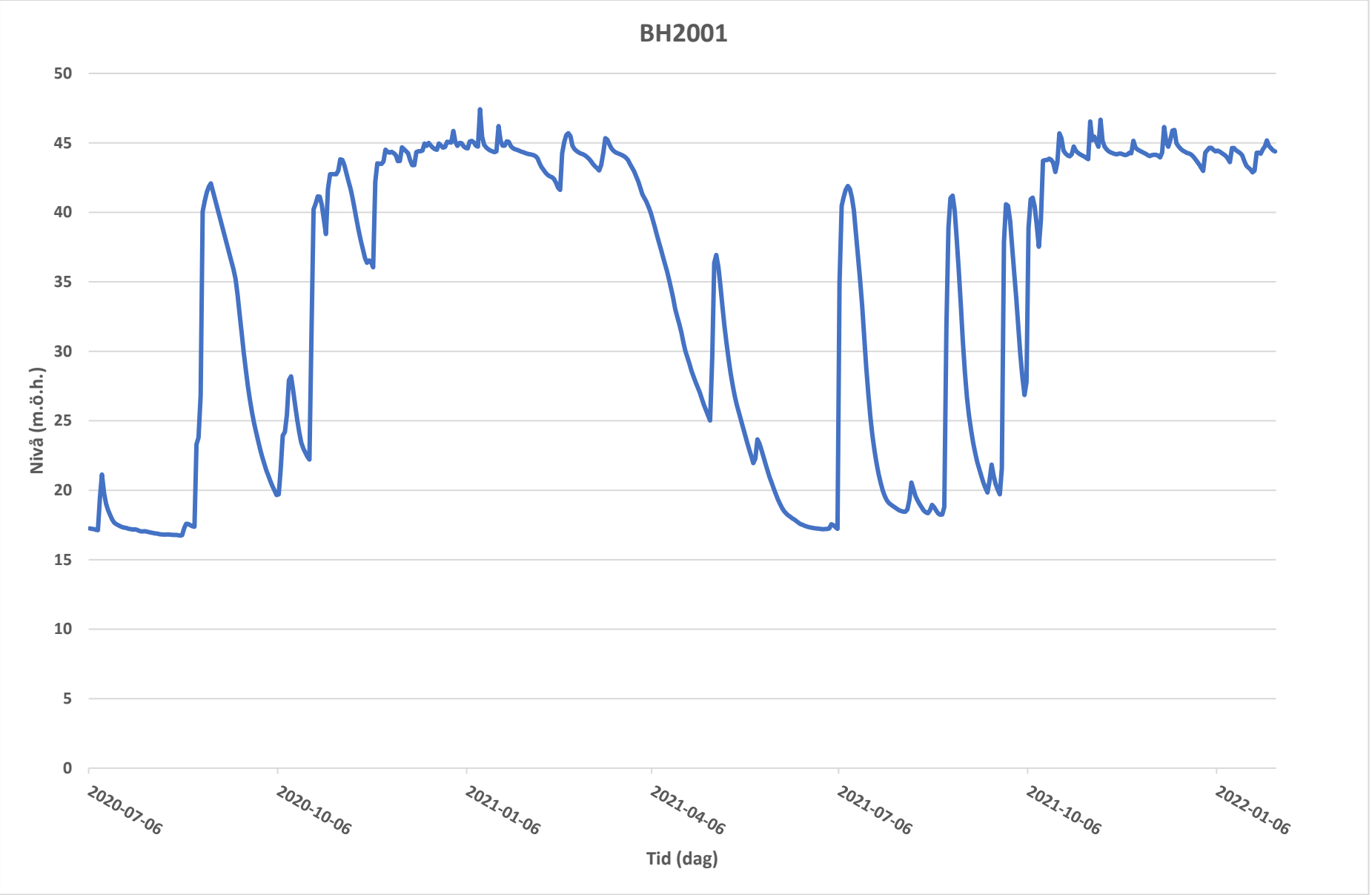

BH1801J
35,8
35,7
35,6
35,5
35,4
35,3
35,2
35,1
35
34,9
Niv (m.ö.h)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
Tid (dag)

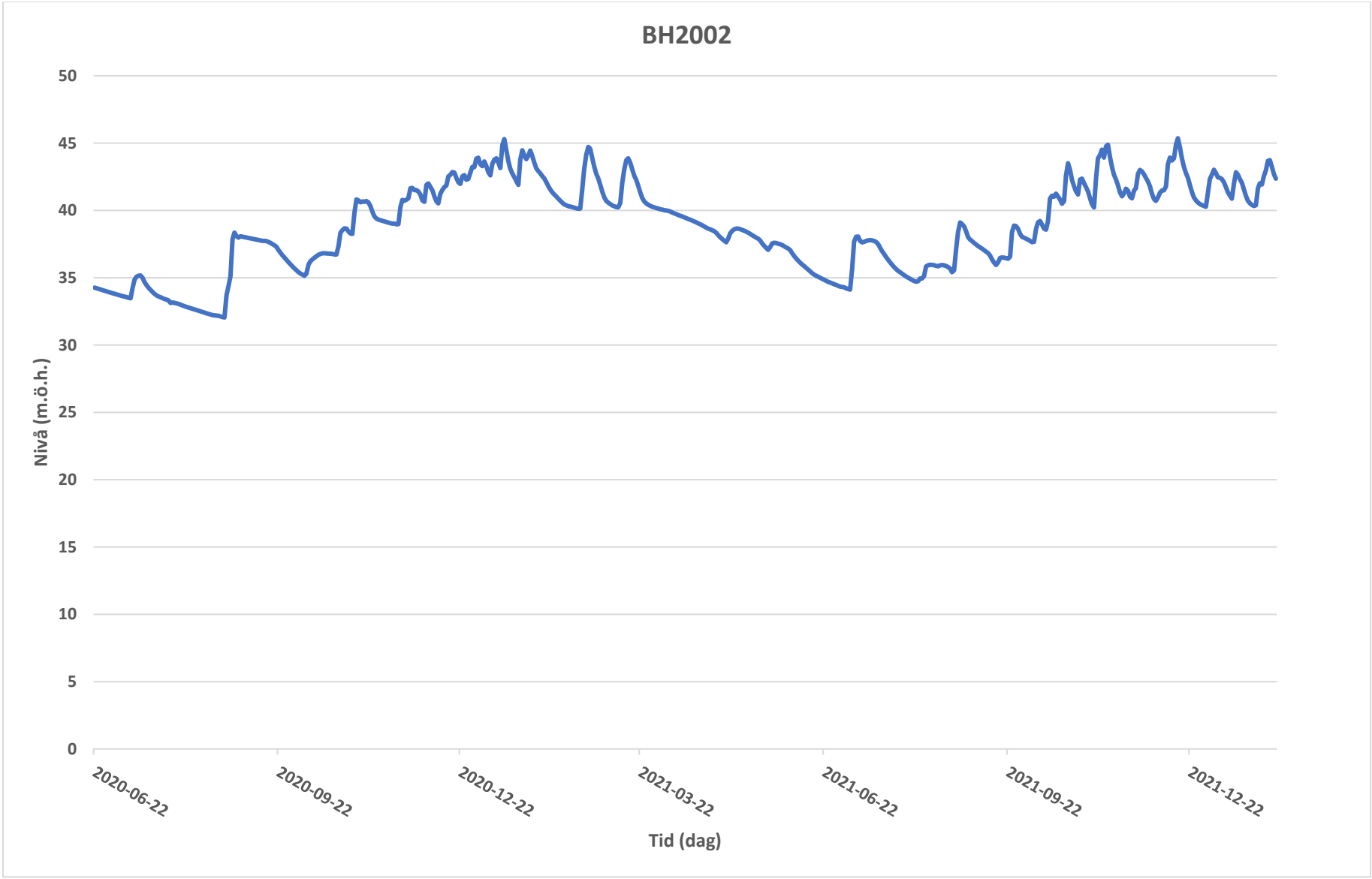

BH1802B
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
Tid (dag)

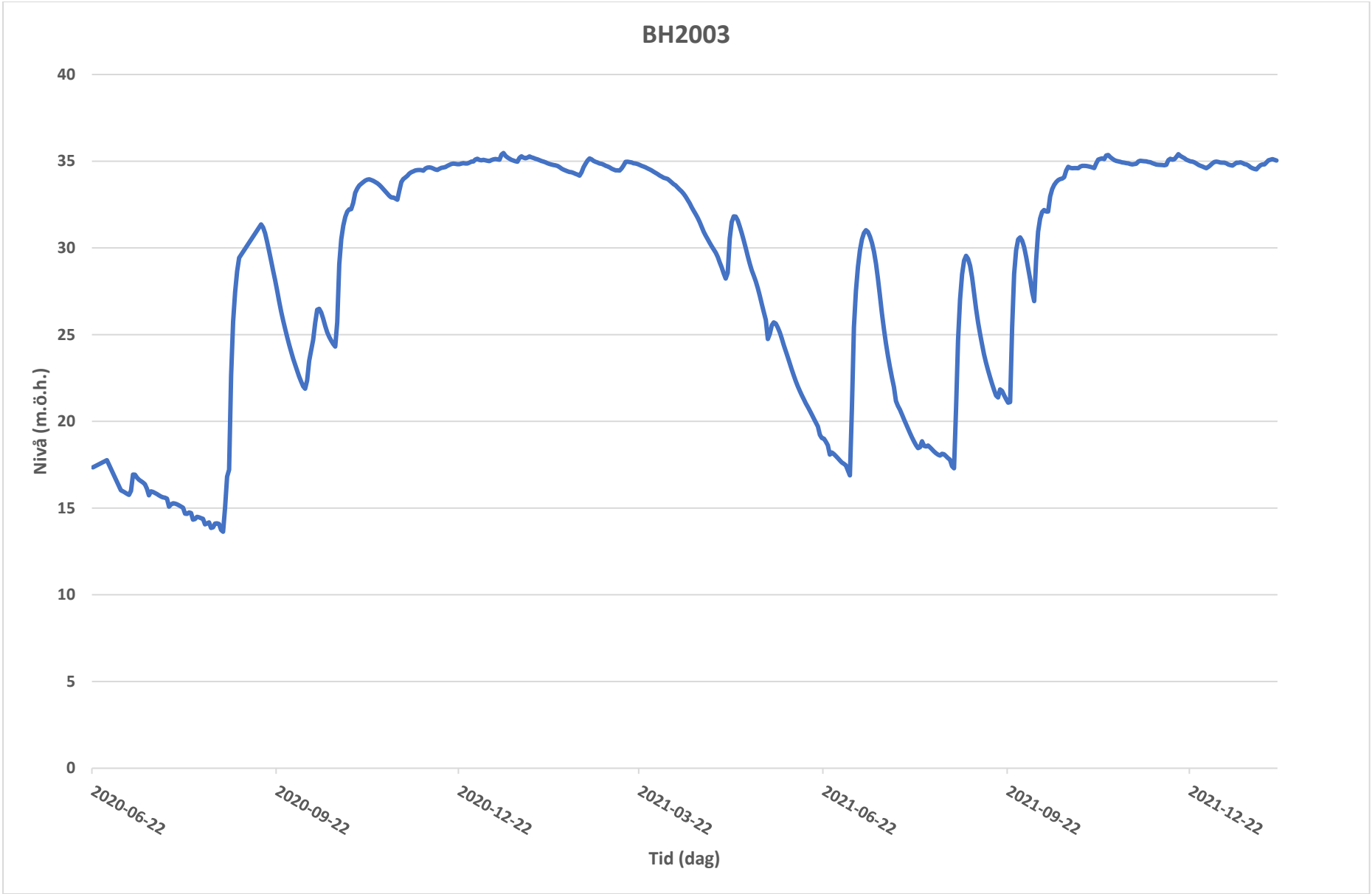

BH1802J
32,6
32,5
32,4
32,3
32,2
32,1
32
31,9
31,8
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
Tid (dag)

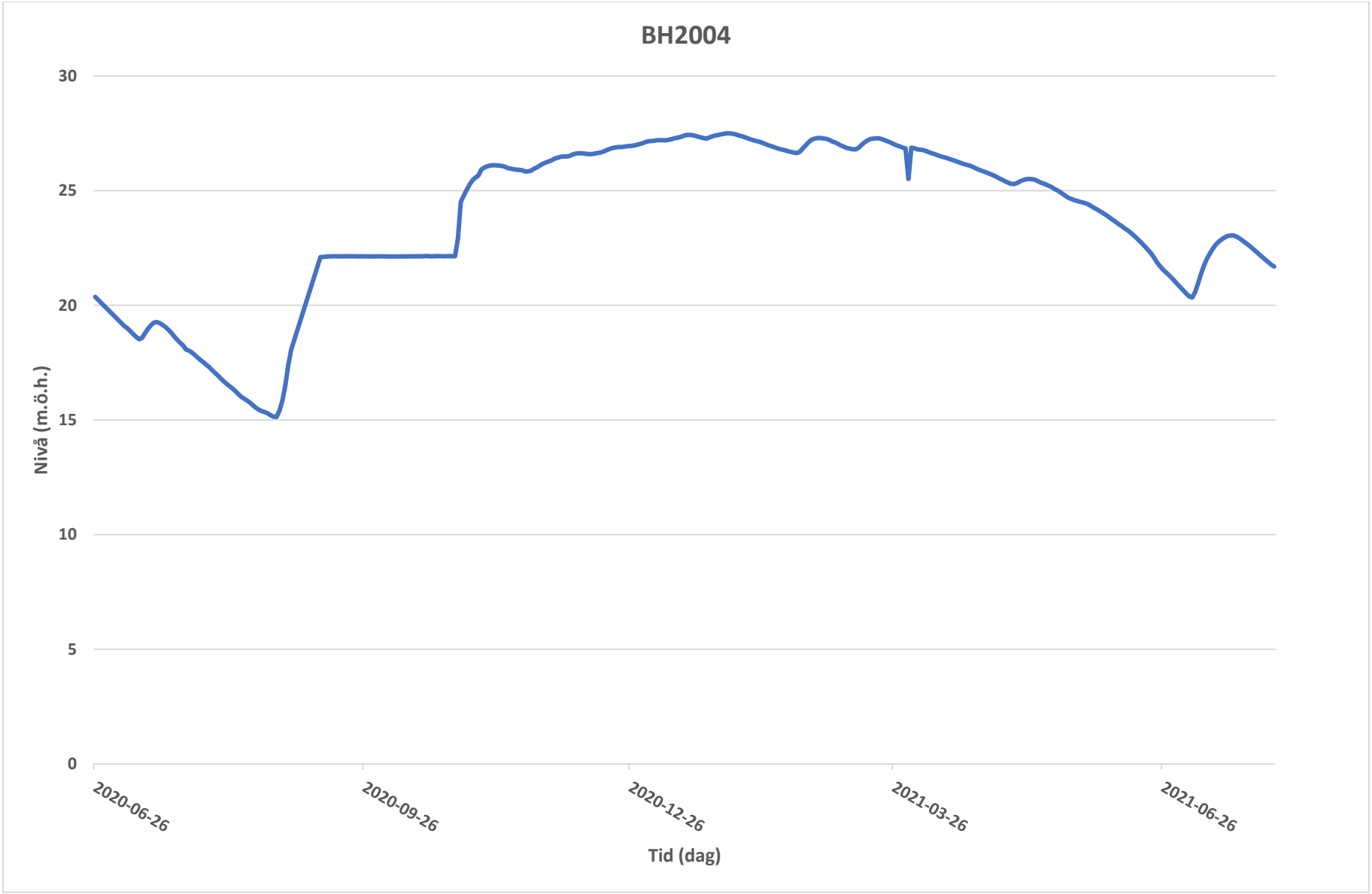

BH1905J
40,8
40,6
40,4
40,2
40
39,8
39,6
39,4
Nivå (m.ö.h.)
2019-06-05
2019-09-05
2019-12-05
2020-03-05
2020-06-05
2020-09-05
2020-12-05
2021-03-05
2021-06-05
2021-09-05
2021-12-05
Tid (dag)

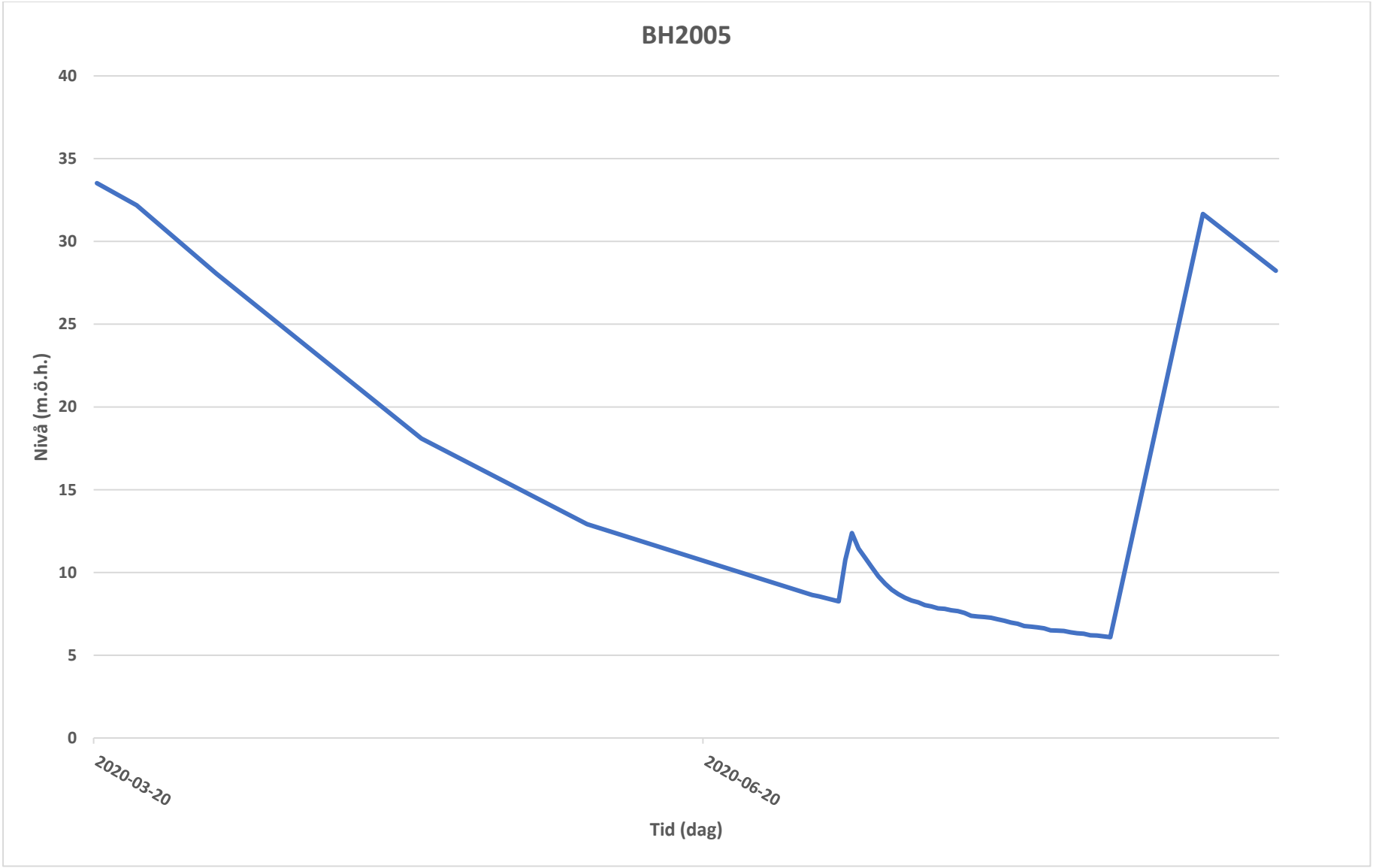

BH1906J
39,6
39,4
39,2
39
38,8
38,6
38,4
38,2
38
Nivå (m.ö.h.)
2019-06-05
2019-09-05
2019-12-05
2020-03-05
2020-06-05
2020-09-05
2020-12-05
2021-03-05
2021-06-05
2021-09-05
2021-12-05
Tid (dag)

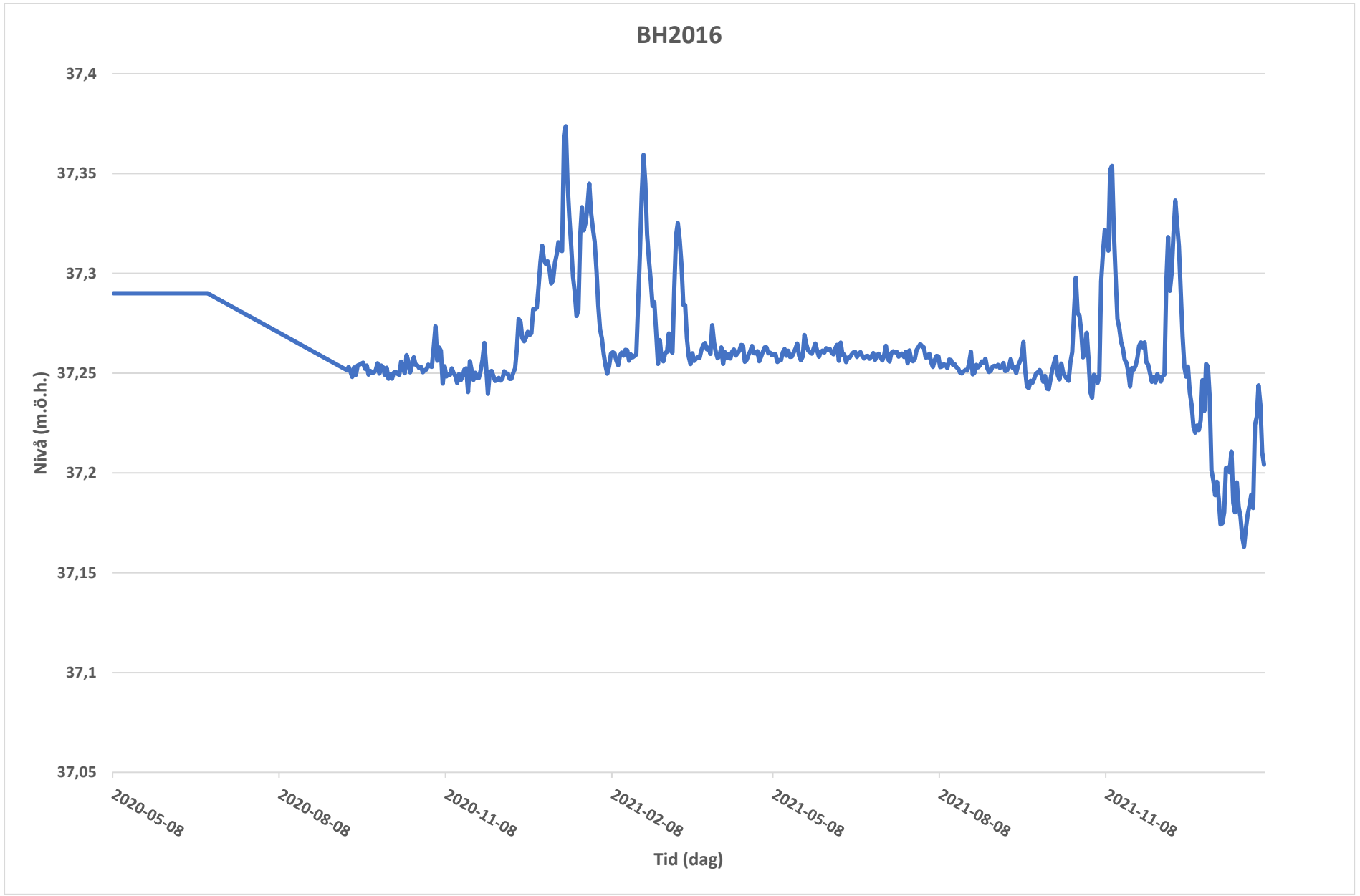

BH2001
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2020-07-06
2020-10-06
2021-01-06
2021-04-06
2021-07-06
2021-10-06
2022-01-06
Tid (dag)

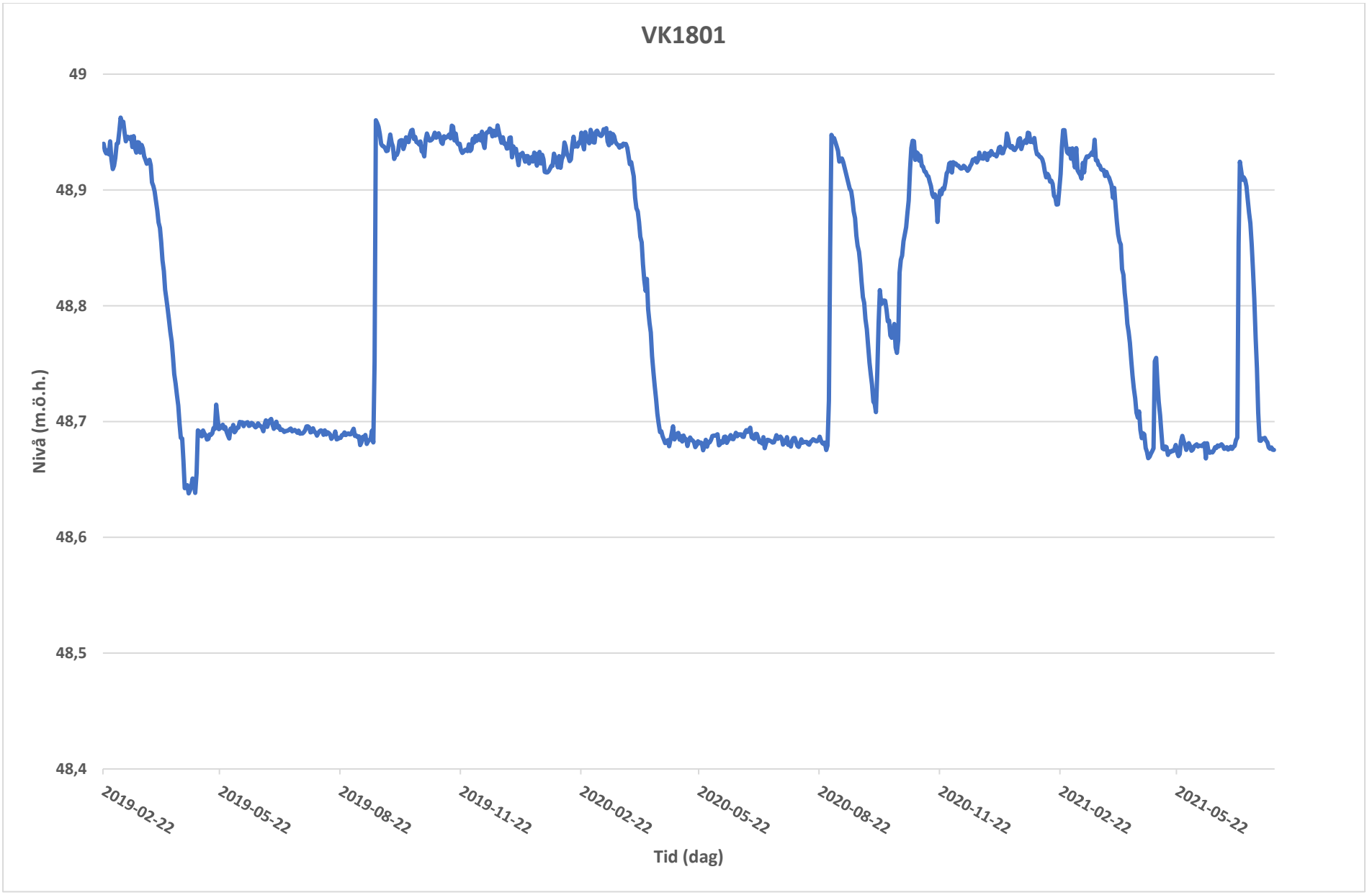

BH2002
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2020-06-22
2020-09-22
2020-12-22
2021-03-22
2021-06-22
2021-09-22
2021-12-22
Tid (dag)

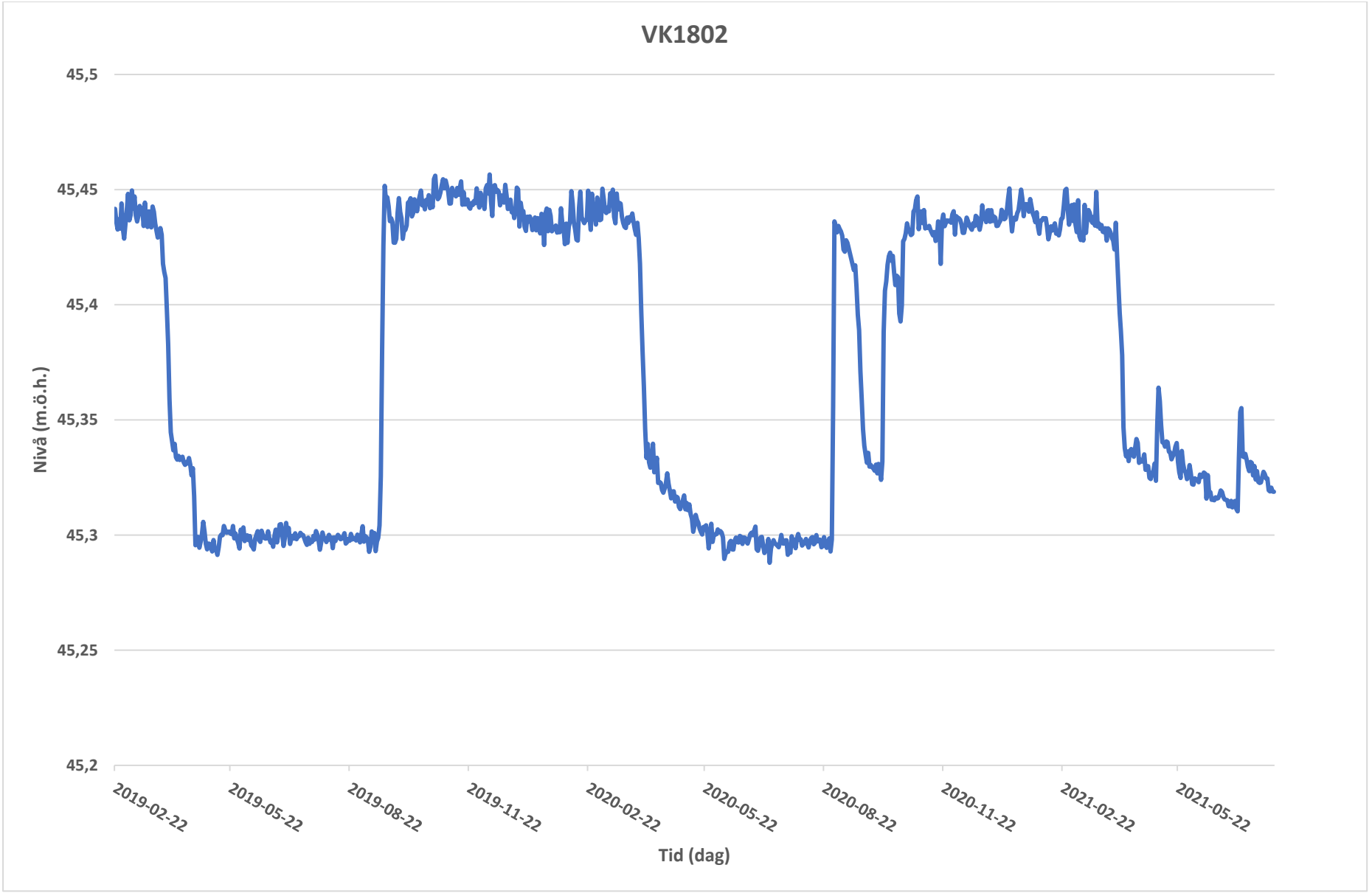

BH2003
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2020-06-22
2020-09-22
2020-12-22
2021-03-22
2021-06-22
2021-09-22
2021-12-22
Tid (dag)


BH2004
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2020-06-26
2020-09-26
2020-12-26
2021-03-26
2021-06-26
Tid (dag)

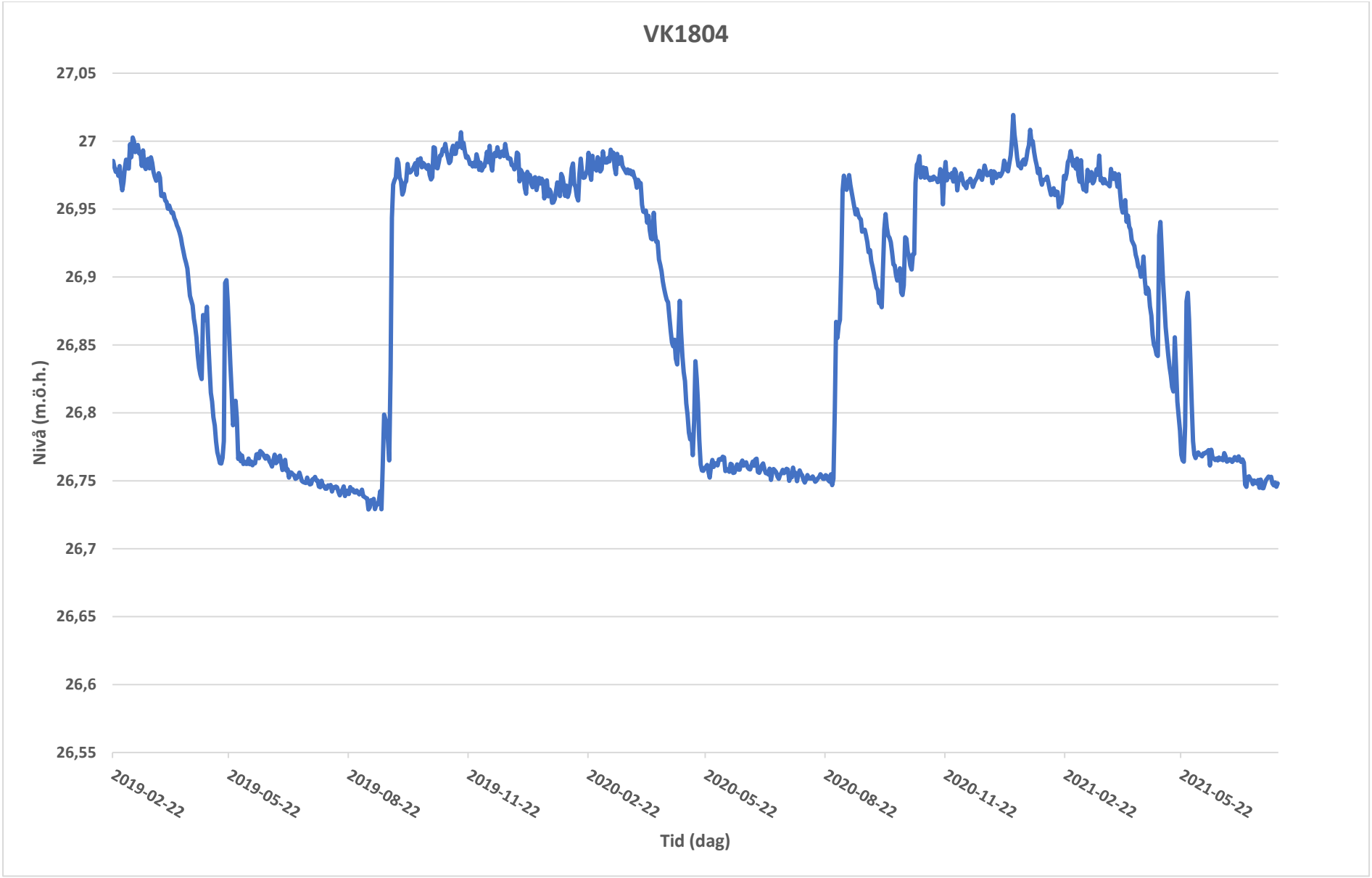

BH2005
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Nivå (m.ö.h.)
2020-03-20
2020-06-20
Tid (dag)

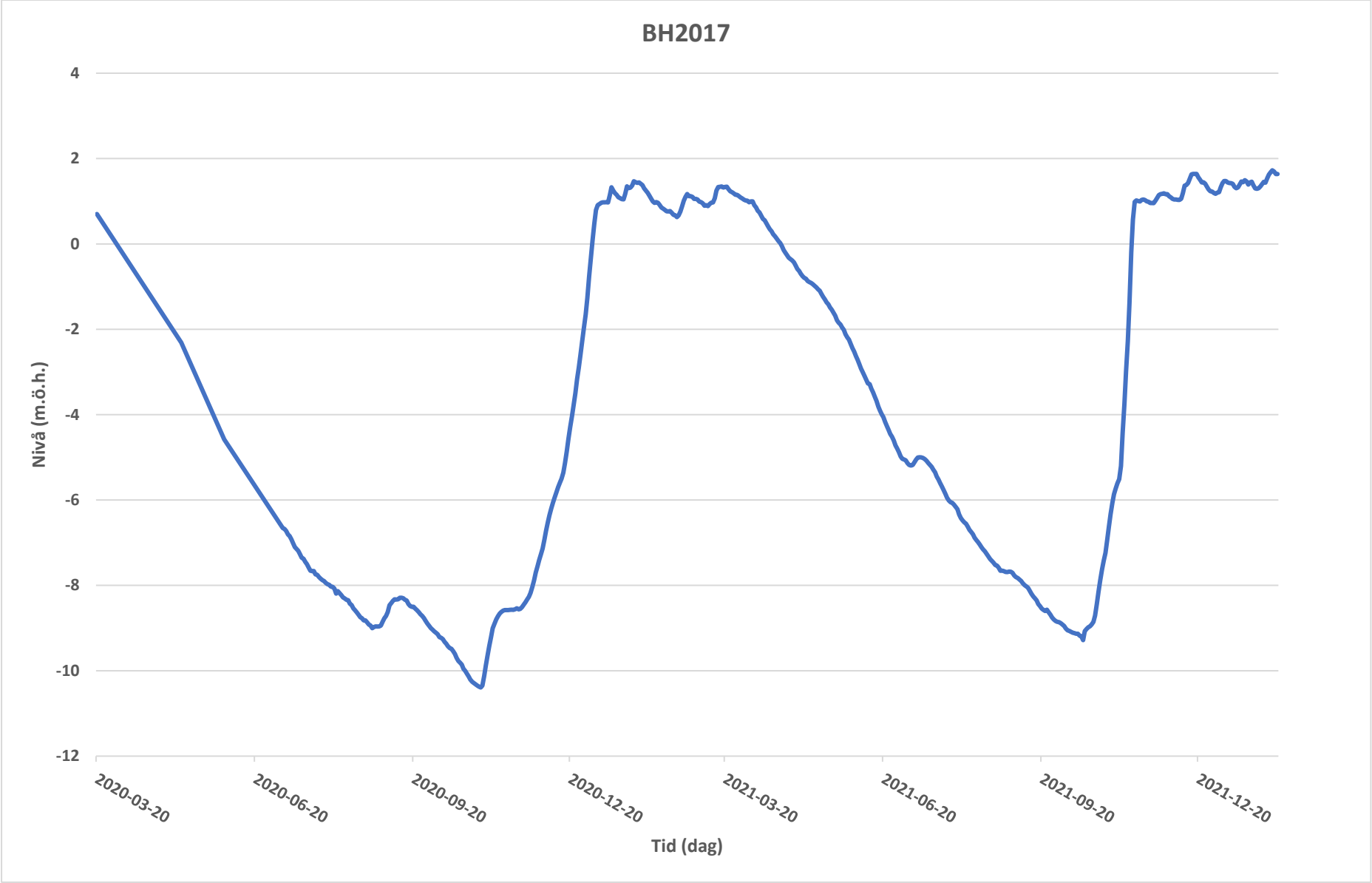

BH2016
37,4
37,35
37,3
37,25
37,2
37,15
37,1
37,05
Nivå (m.ö.h.)
2020-05-08
2020-08-08
2020-11-08
2021-02-08
2021-05-08
2021-08-08
2021-11-08
Tid (dag)

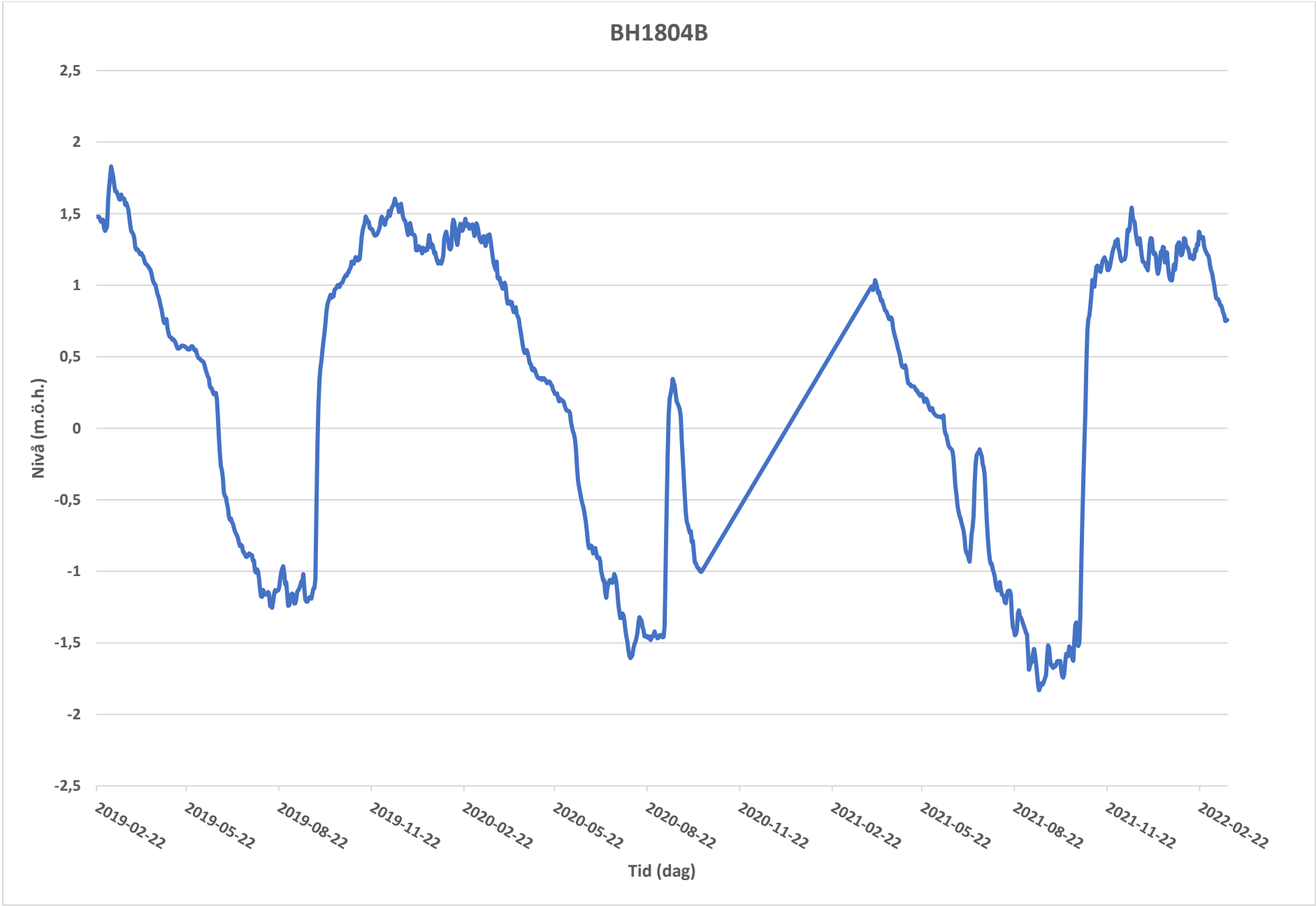

VK1801
49
48,9
48,8
48,7
48,6
48,5
48,4
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
Tid (dag)


VK1802
45,5
45,45
45,4
45,35
45,3
45,25
45,2
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
Tid (dag)

VK1803
40,9
40,8
40,7
40,6
40,5
40,4
40,3
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
Tid (dag)


VK1804
27,05
27
26,95
26,9
26,85
26,8
26,75
26,7
26,65
26,6
26,55
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
Tid (dag)


BH2017
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
Nivå (m.ö.h.)
2020-03-20
2020-06-20
2020-09-20
2020-12-20
2021-03-20
2021-06-20
2021-09-20
2021-12-20
Tid (dag)


BH1804B
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-1
-1,5
-2
-2,5
Nivå (m.ö.h.)
2019-02-22
2019-05-22
2019-08-22
2019-11-22
2020-02-22
2020-05-22
2020-08-22
2020-11-22
2021-02-22
2021-05-22
2021-08-22
2021-11-22
2022-02-22
Tid (dag)

golder.com

BILAGA D

Modellrappport 2021

CEMENTA, SLITE,

GRUNDVATTENMODELL FÖR ANSÖKAN OM UTÖKADE TÄKTER 2022

Mars 2022

Johan Holmén Fil.dr.

WSP-Golder

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING OCH SYFTE 5

2. GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN 6

2.1 BERGGRUND 6
2.1.1 Allmänt 6
2.1.2 Revkalksten 7
2.2 STRUKTURGEOLOGI 10
2.3 KVARTÄRA AVLAGRINGAR 11
2.4 HYDROGEOLOGI 12
2.4.1 Vattenförande strukturer 12
2.4.2 Jordgrundvatten och berggrundvatten 13
2.5 HYDROMETEOROLOGI 17
2.6 DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA 21
2.7 VATTENBORTLEDNING FRÅN DAGBROTTEN 23

3. BERÄKNINGSMETODIK OCH TEORETISKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR MODELLEN 27

3.1 DEN SYSTEMANALYTISKA METODEN 27
3.2 FORMELL MATEMATISK MODELL OCH PROGRAMKOD 27

4. BESKRIVNING AV DEN UPPRÄTTADE MODELLEN 30

4.1 STORLEK 30
4.2 KOORDINATSYSTEM 31
4.3 NUMERISKT BERÄKNINGSNÄT 31
4.4 RANDVILLKOR - HYDRAULISKA GRÄNSER 34
4.5 VERTIKAL INDELNING I GEOLOGISKA OCH NUMERISKA LAGER 34
4.6 DEFINITION AV DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA I DEN UPPRÄTTADE MODELLEN 36
4.7 KROSSZONEN ÖSTER OM FILE HAJDAR 36
4.8 REPRESENTATIV GRUNDVATTENNIVÅ I BRUNNAR 37
4.9 GENOMSLÄPPLIGHET (K-VÄRDEN) ETC. 38
4.10 KALIBRERING 44
4.10.1 Den nuvarande situationen (år 2021) 44
4.10.2 Metodik 44
4.10.3 Sensitivitetsanalys 45
4.10.4 Grundvattennivåer i observationsbrunnar 45
4.10.5 Vattenbortledning från dagbrotten 54
4.10.6 Andelen grundvatteninflöde - Jämförelse med tidigare modeller 54
4.10.7 Pumpade volymer och vattennivåer i de kommunala brunnarna 58
4.11 BERÄKNAD GRUNDVATTENBILDNING 59

5. FRAMTIDA SITUATIONER 64

5.1 BERÄKNINGSFALL 64

6. ANSÖKT UTÖKNING, UTBRUTET OCH DRÄNERAT 67

7. NOLLALTERNATIV. FRAMTIDA SITUATION. VATTENFYLLNING OM C:A 5 ÅR. SCENARIO LT1NOLL4A. 78

8. NOLLALTERNATIV OM C:A 40 ÅR – VATTENFYLLDA DAGBROTT 84

9. PÅVERKANSOMRÅDEN 92

9.1 INDIREKT PÅVERKANSOMRÅDE 92
9.2 GRÄNSVÄRDE FÖR PÅVERKANSOMRÅDE 93
9.3 PÅVERKANSOMRÅDEN FÖR SCENARIO LT2 – ANSÖKT UTÖKNING UTBRUTET OCH DRÄNERAT 95
9.4 PÅVERKANSOMRÅDEN FÖR SCENARIER MED VATTENFYLLDA DAGBROTT 98

9.4.1 Inledning 98
9.4.2 Framtida situation. Nollalternativ om c:a 40 år Vattenfyllda dagbrott. 99
9.4.3 Framtida situation. Utbrutet med vattenfyllda dagbrott, om c:a 40 år 102
9.4.4 Diskussion av påverkansområden vid vattenfyllda dagbrott 102
9.4.5 Andra påverkansområden och jämförelser 103
9.4.6 Påverkansområde med avseende på grävda brunnar i jordlagren 103

10. FÖRÄNDRING AV GRUNDVATTENFLÖDEN I LOKALA OMRÅDEN 104

10.1 METODIK 104
10.2 OMRÅDE 1 106
10.3 OMRÅDE 2 107
10.4 OMRÅDE 3 108
10.5 OMRÅDE 4 109
10.6 OMRÅDE 5 110
10.7 OMRÅDE 6 111
10.8 OMRÅDE 7 112
10.9 OMRÅDE 8 113
10.10 FÖRDELNING UNDER ETT NORMALÅR 114
10.11 DISKUSSION 115
10.12 PÅVERKAN PÅ FLÖDENA I VISS-OMRÅDEN 116

11. BERÄKNING AV SALTHALTER 120

11.1 INLEDNING 120
11.2 GRÄNSVÄRDEN 122
11.3 UPPMÄTTA SALTHALTER RUNT VÄSTRA OCH ÖSTRA BROTTEN 122
11.4 UPPMÄTTA SALTHALTER I DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA 123
11.5 BAKGRUND OCH SYFTE 123
11.6 KONCEPTUELL BESKRIVNING 124
11.7 SKILLNAD MELLAN SALTVATTENMODELLEN OCH MODELL 2021 124
11.8 RANDVILLKOR 125
11.9 BERÄKNINGSMETODIK 126
11.10 INITIALVILLKOR 127
11.11 BERÄKNINGSFALL 127
11.12 KALIBRERING 128
11.13 SALTVATTENSITUATIONEN VID VÄSTRA OCH ÖSTRA BROTTEN 128
11.13.1 Nettonerbörd 128
11.13.2 Visualisering av beräknade salthalter för den initiala situationen och för nollalternativet om 40 år 128
11.13.3 Simulerat djup till salthalten 0.3 Kg/m^3 134
11.13.4 Jämförelse av nivån på olika isoytor, för den initiala situationen och för situationen om 40 år med vattenfyllda dagbrott 135
11.13.5 Diskussion och slutsatser 135
11.14 SALTHALTER I DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA 137
11.14.1 Nettonerbörd 137
11.14.2 Kalibrering - Scenario 2021 nuvarande situation 137
11.14.3 Ansökt utökning, utbrutet med dränerade dagbrott 138

12. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER 142

13. REFERENSER 149

14. SIMULATION ID 150

15. APPENDIX: SENSITIVITETSANALYS AV MODELLENS KALIBRERING 151

15.1 SYFTE 151
15.2 DEN KALIBRERADE MODELLEN 151
15.3 SENSITIVITET MED AVSEENDE PÅ BERGETS GENOMSLÄPPLIGHET 152
15.3.1 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i observationsbrunnarna 153
15.3.2 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i produktionsbrunnarna 158
15.3.3 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott 161
15.3.4 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till Västra och Östra brotten 163

15.4 DISKUSSION 165

16. APPENDIX – PÅVERKANSOMRÅDEN OCH JÄMFÖRELSER AV OLIKA HYDROGEOLOGISKA SITUATIONER 166

17. APPENDIX – VISUALISERING AV GRUNDVATTENYTANS VARIATION UNDER ETT NORMALÅR 174

1. INLEDNING OCH SYFTE

Cementa AB bedriver täktverksamhet i öppna kalkstensbrott i närheten av Slite på nordöstra Gotland. För närvarande bedrivs verksamhet i två dagbrott, Västra brottet och File hajdar dagbrott. Brytningen av kalksten i Västra brottet påbörjades i slutet av 60-talet och brytningen av kalksten i File hajdar dagbrott påbörjades runt 1983. Tidigare bröts kalksten också i ett mindre tredje dagbrott – Östra brottet - beläget strax öster om Västra brottet. Östra brottet används numera för att lagra sten och bränsle, och har av denna anledning fortsatt länshållas. Både Västra och Östra brottet ligger nära Östersjön (några hundra meter till en kilometer). Dagbrottet på File hajdar ligger ca 6 km från strandlinjen.

Syftet med denna studie är att beräkna hur grundvattensituationen i området påverkas av den ansökta utökningen av brytfronterna i File hajdar dagbrott och Västra brottet. Dessutom beräknas hur grundvattensituationen påverkas av att dagbrotten i framtiden vattenfylls.

Följande scenarier har studerats:

Referens-situation, oktober 2021:	Scenario LT1B-2021.
Framtida situation om ca 5 år:	Scenario LT2. Ansökt utökning, utbrutet och dränerat
Framtida situation Nollalternativ om ca 5 år	Scenario LT2noll4aT
Framtida situation Nollalternativ om ca 40 år	Scenario LT2noll40aS (Vattenfyllda dagbrott)

Följande frågeställningar har studerats i större detalj:

- Hur vatteninflödet till dagbrotten kommer att förändras.
- Hur grundvattensituationen kring dagbrotten kommer att påverkas.
- Hur de kommunala vattentäkterna öster om File hajdar dagbrott kommer att påverkas.
- Hur flödet av berggrundvatten i lokala avrinningsområden kring File hajdar kommer att påverkas.
- Hur saltvattensituationen i produktionsbrunnarna och vid Västra brottet kommer att påverkas

Grundvattensituationen utvärderas genom en systemanalytisk metod och numerisk grundvattenmodellering.

Grundvattenmodeller har också använts i samband med Cementas tidigare ansökningar om tillstånd till fortsatt och utökad täktverksamhet. Det har då handlat om två olika generationer av modeller: en modell från 2007 (*Modell 2007*) och en modell från 2017 (*Modell 2017*). I denna studie presenteras en uppdaterad version av Modell 2017, som vi har valt att kalla för *Modell 2021*.

Modell 2021 är definierad i datorprogrammet Geoan och bygger på samma grundläggande hydrogeologiska beskrivning som de tidigare modellerna (Modell 2007 och Modell 2017). Modell 2021 har dock uppdaterats i flera avseenden. Som exempel kan nämnas att berg av typen revkalksten har inkluderats i modellen, att resultat från geofysiska undersökningar har inkluderats i modellen och att storleken på beräkningscellerna i modellen har reducerats. Modellen har även kalibrerats om. Nya simuleringar har utförts med Modell 2021. I Kapitel 12 (sidan 142) finns en kort sammanfattning av resultaten.

2. GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

2.1 Berggrund

2.1.1 Allmänt

Gotlands berggrund består av sedimentära bergarter. Sedimenten som har omvandlats till bergarter avsattes i ett subtropiskt till tropiskt hav. De ytnära bergarterna är av silurisk ålder (-415– 440 miljoner år gamla). En betydande andel av dessa bergarter utgörs av kalksten med hög kalciumkarbonathalt. Förutom kalksten finns även märgelsten. På vissa ställen finns också sandsten.

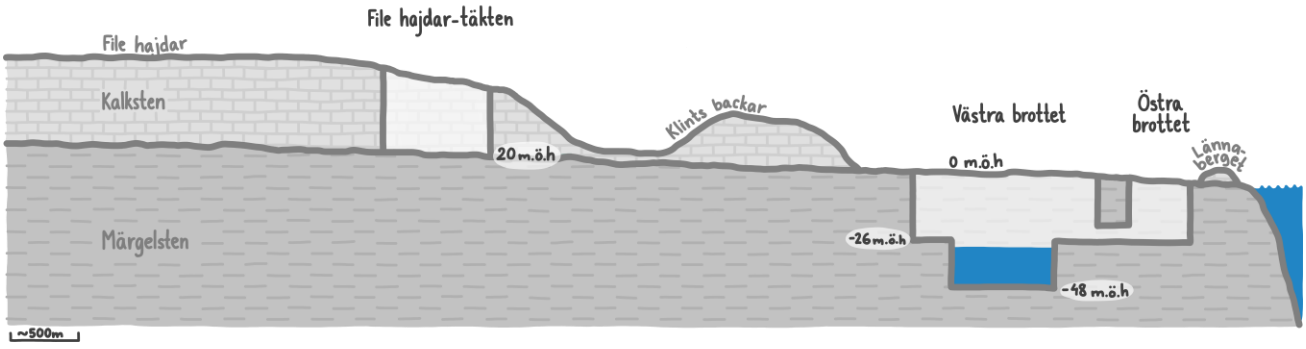
De siluriska sedimentbergarterna varierar i mäktighet mellan c:a 200m (norra Gotland) och c:a 500 m (södra Gotland). Under de siluriska sedimentbergarterna finns äldre sedimentbergarter av ordovicisk och kambrisk ålder, som tillsammans har en mäktighet av 150–225 m.

De sedimentära lagren på Gotland är nära horisontala i den lokala skalan, men uppvisar i en större skala i allmänhet en strykning mot nordost–sydväst och en svag stupning (mellan 0,15° och 0.3°) mot sydost.

Av särskilt intresse för den industriella användningen av kalksten är Slitelagren. Slitelagren består av kalkstenar, märgelstenar och sandstenar. Märgelstenar består av karbonat- och silikatbergarter. Det finns övergångsformer mellan kalkstenar och märgelstenar. De kallas vanligen leriga kalkstenar.

Det studerade områdets berggrund består av lagrad kalksten: kristallinisk kalksten, revkalksten och märgelsten. Märgelstenen överlagras av den lagrade kalkstenen och revkalkstenen. Se principskiss i Figur 2-1.

Vid File hajdar-täkten, i de obrutna delarna, överlagras märgelstenen av kalksten med en mäktighet på mer än 20 m (se principskiss i Figur 2-1). File hajdar-täktens södra kant utgörs av revkalksten. Revstrukturen är främst belägen i kalkstenen men sträcker sig även ner i märgelstenen.



Figur 2-1 Principskiss geologi File hajdar och Västra brottet.

2.1.2 Revkalksten

I den upprättade modellen har revkalksten inkluderats. Utbredningen av revkalkstenen har tolkats från SGU:s karteringar och topografin. Figur 2-2 visar områden kring Slite och Tingstäde träsk där revkalksten kan identifieras vid markytan (kartering av SGU). De karterade områdena kan korreleras till topografin; den karterade revkalkstenen tenderar att förekomma i områden med högre topografi. Revkalksten förekommer normalt ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå märgelstenen. Revkalkstenen ligger normalt överst i den sedimentära lagerföljden vid Slite.

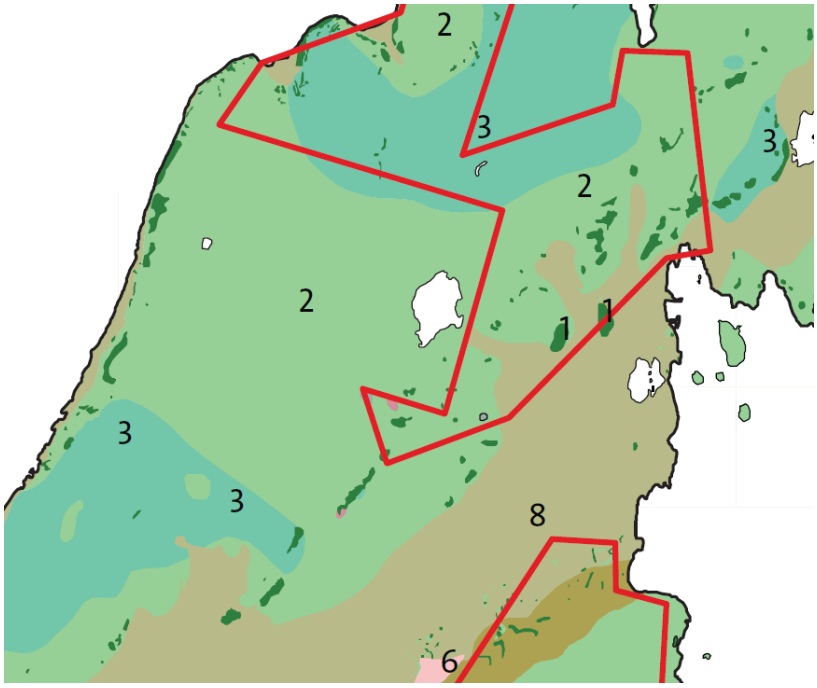
Revkalkstenen förekommer inte bara vid de karterade områdena (Figur 2-2), utan troligtvis också i varierande omfattning mellan dessa områden – i synnerhet längs med den högre topografin. Vi har därför för denna studie sammanbundit de karterade områdena med revkalk till ett större kontinuerligt område, se Figur 2-3.

Revkalkstenen kan i verkligheten ha en större eller mindre utbredning än vad som framgår av Figur 2-3. Enligt en beskrivning från SGU (Sveriges Geologiska Undersökning) förekommer revartad kalksten, som inte är exakt samma sak som revkalksten, i exempelvis stora områden öster om Hejnum hällar. Att det förekommer revkalksten vid t.ex. Hejnum hällar framgår också av vertikala profiler som har presenterats av SGU, se Figur 2-4. *(Från SGU 2017: Rapporter och meddelanden 140 , ISBN: 978-91-7403-392-2).*

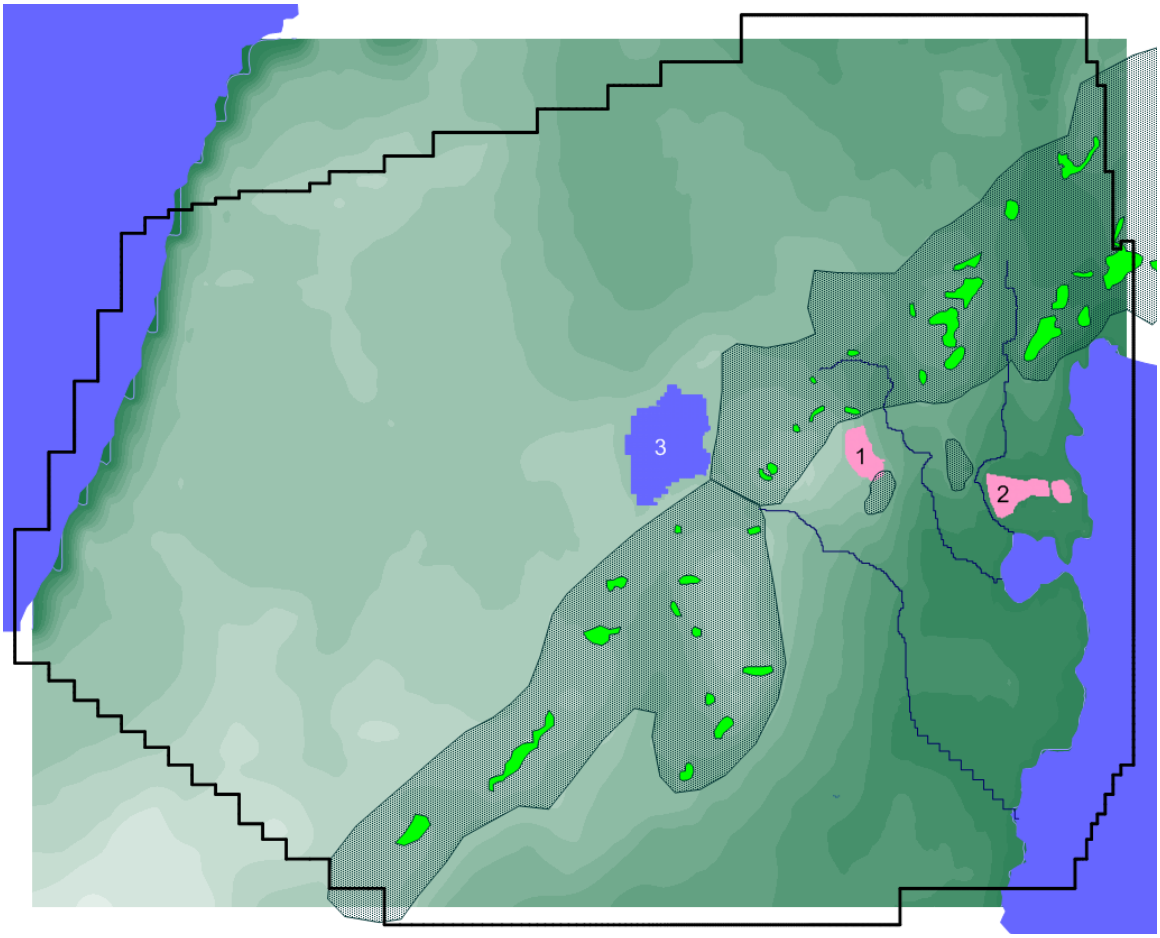
I den upprättade modellen har revkalksten inkluderats. Utbredningen på revkalkstenen har tolkats från SGU:s karteringar och topografin. Figur 2-2 visar områden kring Slite och Tingstäde träsk där revkalksten kan identifieras vid markytan. Kartering av SGU. De karterade områdena kan korreleras till topografin, den karterade revkalkstenen tenderar att förekomma i områden med högre topografi. Revkalksten förekommer normalt ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå märgelstenen. Revkalkstenen ligger normalt överst i den sedimentära lagerföljden vid Slite.

Revkalkstenen förekommer inte bara vid de karterade områdena (Figur 2-2) utan troligen också mellan dessa områden i varierande omfattning i synnerhet längs med den högre topografin. Vi har därför för denna studie sammanbundit de karterade områdena med revkalk till ett större kontinuerligt område, se Figur 2-3.

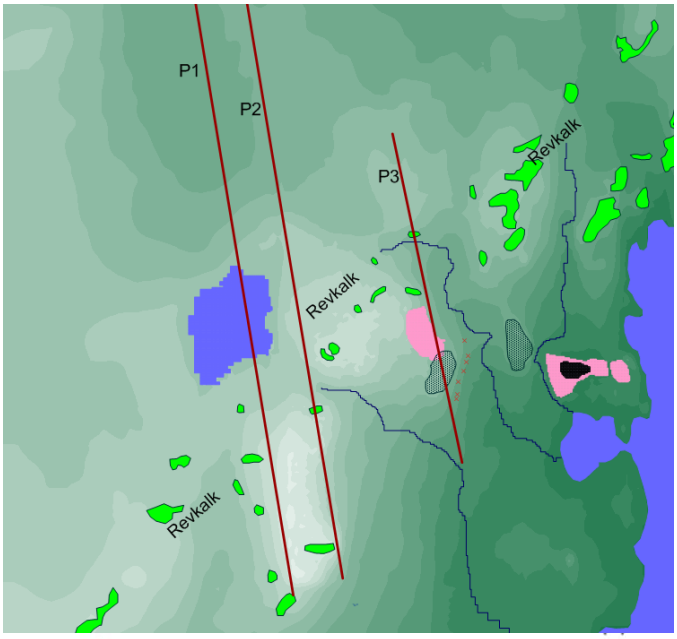
Revkalkstenen kan i verkligheten ha en större eller mindre utbredning än vad som framgår av Figur 2-3. Revartad kalksten, som inte är exakt samma sak som revkalksten, förekommer tex som beskrivning av SGU för stora områden öster om Hejnum hällar. Att det förekommer revkalksten vid tex Hejnum hällar framgår också av ett antal vertikala profiler som har presenterats av SGU. Se Figur 2-4 *(Från SGU 2017: Rapporter och meddelanden 140, ISBN: 978-91-7403-392-2).*

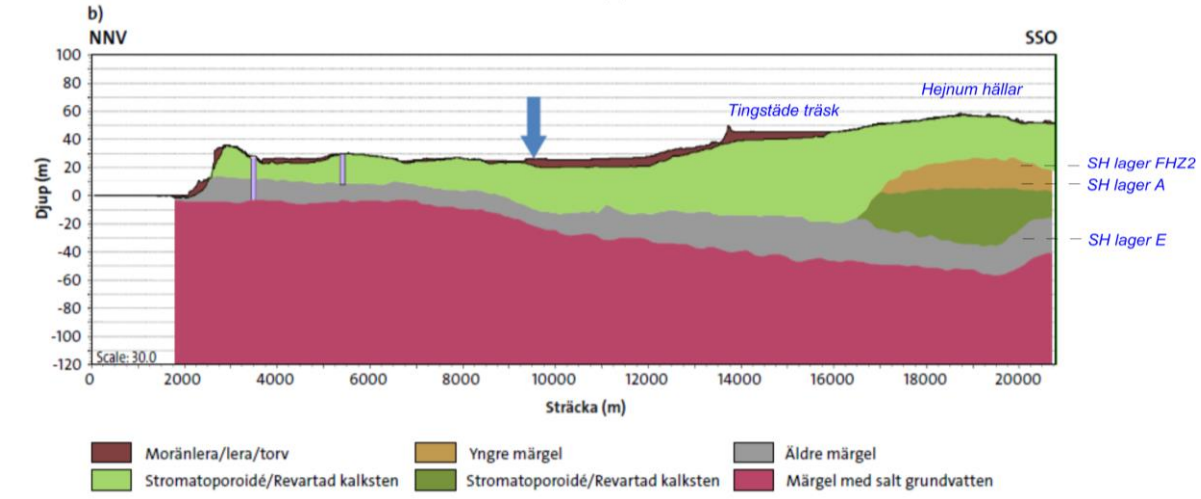


Figur 2-2 *De små mörkgröna områdena är revkalksten som kan identifieras vid markytan. Kartering av SGU. (Från SGU 2017: Rapporter och meddelanden 140, ISBN: 978-91-7403-392-2).*

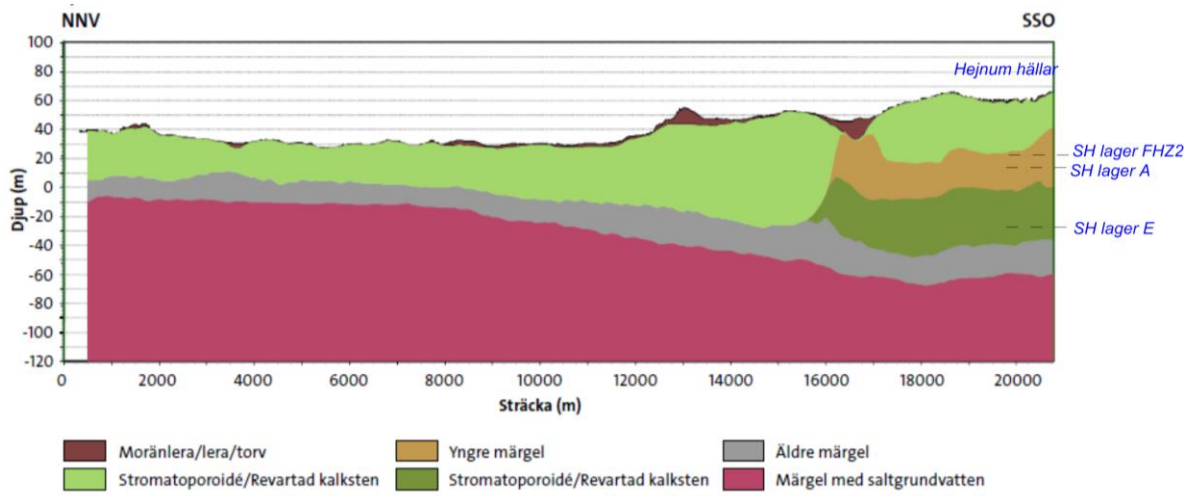


Figur 2-3 *Tolkat område med revkalk i modellen. 1= File hajdar dagbrott. 2= Västra brottet. 3= Tingstäde träsk. Fet svart linje markerar modellens yttre begränsning.*





P1



P2

Figur 2-4 Tolkade profiler baserade på geofysiska undersökningar av SGU. De två nedre figurerna är från SGU 2017(SGU Rapporter och meddelanden 140, ISBN: 978-91-7403-392-2). Figurerna från SGU är modifierade med blå text.

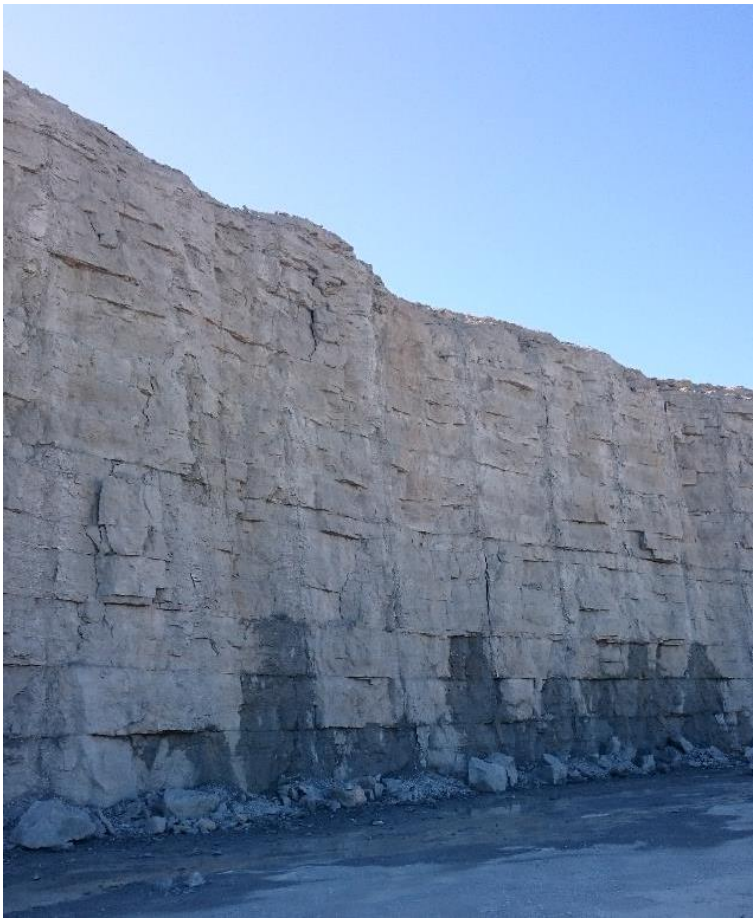
2.2 Strukturgeologi

Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av c:a 0.3 grader åt sydost. Varken i Västra brottet eller i dagbrottet på File hajdar har några förkastningar observerats.

En konceptuell modell över de dominerande hydrogeologiska strukturerna har upprättats baserat på strukturgeologisk kartering, hydrogeologiska tester i borrhål, borrhållsloggning samt borrprotokoll (se Figur 4-4 och Figur 4-6).

Grundvattenflödet är till större delen koncentrerat till subhorisontella lager, som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. De vattenförande subhorisontella lagren som observerats i Västra brottet har extrapolerats parallellt med bergartsgränsen in under File hajdar. Extrapoleringen stöds av observationer i Västra brottet där de vattenförande lagren kan följas över en sträcka av 1 kilometer. De extrapolerade lagrens inbördes avstånd och nivåer stämmer väl överens med resistivitetsmätningar och andra hydrauliska tester i borrhål på File hajdar.

De subhorisontella vattenförande lagren framgår av Figur 2-5. Figuren visar en bergvägg i Västra brottet. De subhorisontella lagren framgår tydligt som horisontala strukturer på bergväggen. De vattenförande lagren längs med bergväggens nedre del syns tydligt genom att vatten läcker ut från dessa lager.



Figur 2-5 Figuren visar en bergvägg i Västra brottet. De subhorisontella lagren framgår tydligt som horisontala strukturer på bergväggen. De vattenförande lagren längs med bergväggens nedre del syns tydligt genom att vatten läcker ut från dessa lager.

De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Totalt har minst 6 stycken vattenförande lager kunnat identifieras. Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor. Öppna vertikala sprickor med betydande öppning kan observeras i dagbrotten.

Som nämnts tidigare förekommer revkalksten ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå märgelstenen. Från ett strukturgeologiskt och hydrogeologiskt perspektiv skiljer sig revkalkstenen från den lagrade kalkstenen och den lagrade märgelstenen. De stora kontinuerliga lager (subhorisontella lager eller strukturer) som förekommer i den lagrade kalkstenen och i den lagrade märgelstenen förekommer inte i revkalkstenen. Revkalkstenen kan sägas vara delvis lagrad, men den innehåller (normalt) inga stora kontinuerliga subhorisontella lager. Därför utgör revkalkstenen normalt en gräns för stora kontinuerliga subhorisontella lager. Se Figur 2-6.

I den svagt utvecklade dalgången öster om File hajdar är det troligt att den vertikala genomsläppligheten är något förhöjd, tex genom att antalet vertikala spricker är större än i omgivande områden, eller att området genomskärs av en eller flera större vertikala sprickzoner. Detta område, kallat krosszonen, har en huvudsaklig utbredning i Nord-sydlig riktning, strax öster om File hajdar. Zonens existens och position kan delvis tolkas från geofysiska mätningar. Krosszonen är dock inte inkluderad i alla SGU:s geofysiska tolkningar. Krosszonens förekomst har också tolkats utifrån resultat av provpumpningar. Provpumpningar av de kommunala produktionsbrunnarna (Viak 1974 och 1981) visar på att brunnarna är placerade i en linjär formation. Pumpresultaten når ingen begränsning i längd på formationen, *”zonens bredd har uppskattats till 550m och dess utsträckning i längdled har genom provpumpningar belagts till minst 2 km*” (Viak 1974 och 1981). De kommunala produktionsbrunnarna är placerade i denna krosszon.

Den strukturgeologiska tolkningen är av stor betydelse för den hydrogeologiska modellen.

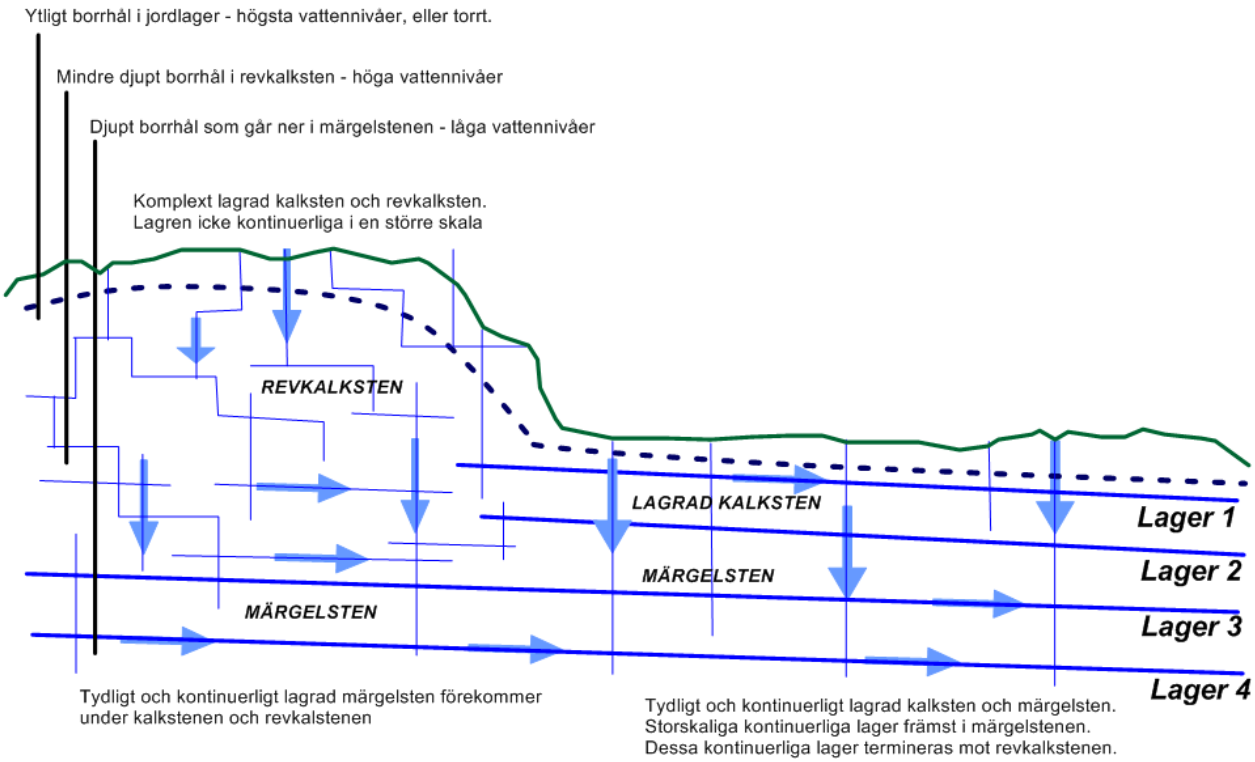
2.3 Kvartära avlagringar

De kvartära avlagringarna utgörs av moränlera, grus, sand, vittringsjord och mindre områden med glacial lera. Lokalt förekommer även torv och kalkgyttja. De lösa jordlagren på File hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen. Lerig moränmärgel förekommer till största delen i lågpartierna i anslutning till File hajdar samt i sluttningen mot Tingstäde träsk. Sand och grusavlagringar påträffas till största delen i området mellan File hajdar och Klints backar, där de överlagrar moränmärgeln. De lösa avlagringarna i anslutning till File hajdar utgörs således av täta jordarter med ringa mäktighet. Detta medför att jordlagren till viss del begränsar infiltrationen till underliggande berggrund på File hajdar, vilket under intensiva regntillfällen kan ge upphov till en inte obetydlig ytavrinning.

2.4 Hydrogeologi

2.4.1 Vattenförande strukturer

Som nämnts ovan är grundvattenflödet till större delen koncentrerat till stora kontinuerliga subhorisontella lager. Dessa lager försörjs med vatten via subvertikala sprickor, som leder vattnet ner från markytan till de subhorisontella lagren. Stora kontinuerliga subhorisontella lager förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen, men inte i revkalkstenen. Se Figur 2-6.



Figur 2-6 Principskiss som visar en konceptuell tolkning av spricksystem och vattenförande lager för berget vid Slite och File hajdar.

Eftersom de stora kontinuerliga subhorisontella lagren som förekommer i den lagrade kalkstenen och den lagrade märgelstenen avslutas (termineras) mot revkalkstenen, på de nivåer där dessa lager når fram till revkalkstenen, får revkalkstenen en viss hydrogeologisk betydelse. Detta illustreras i Figur 2-4 av de blå texterna i profilernas högra sida, som talar om på vilka nivåer olika vattenförande lager når fram till Hejnum hällar. I modellen avslutas de översta stora kontinuerliga subhorisontella lagren mot revkalkstenen, detta framgår av Figur 4-6.

I revkalkstenen förekommer också vattenbärande sprickor och lager, men dessa vattenbärande strukturer är inte kontinuerliga över långa avstånd. Det ska påpekas att de stora kontinuerliga subhorisontella lager som förekommer i den lagrade kalkstenen och i den lagrade märgelstenen kan förekomma under revkalkstenen (se Figur 4-6)

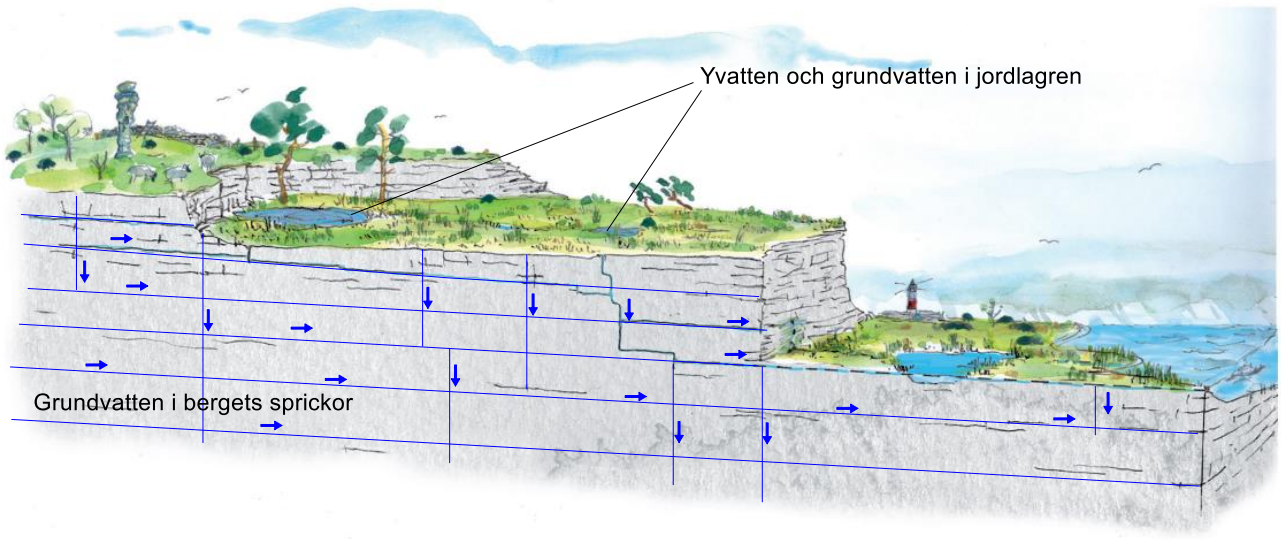
De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Totalt har minst 6 stycken vattenförande lager kunnat identifieras i märgelstenen och i den lagrade kalkstenen (se Sektion 2.2). Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor.

Vittrade genomsläppliga ådror i berget (s.k. karst) förkommer på Gotland i lagrad kalksten och revkalksten, men inte i märgelsten, dvs. på File hajdar över nivån ca +20 till +25 möh. Det har genomförts många studier av karst på Gotland. SGU har bl.a. konstaterat att: ”karstvittringen har drabbat alla typer av sprickor och är inte heller knuten till någon särskild sprickriktning. Den är mest utpräglad i berggrundens överyta där denna består av lagrad kalksten eller revkalksten. Många exempel finns på hur millimetertunna sprickor vidgats till flera decimeter. Karstvittringen avtar emellertid oftast mycket snabbt mot djupet och är mest utpräglad de översta metrarna” (SGU, 1977).

2.4.2 Jordgrundvatten och berggrundvatten

Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. Dessa två grundvattensystem kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar eller strandvallar. Den översta delen av grundvattensystemet kallas ibland för markvattnet, det är grundvattnet i jordlagren (markvattnet) som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. En skiss som visar principerna för denna typ av hydrogeologi visas som Figur 2-7.

Som tidigare nämnts är grundvattnet i berget till större delen koncentrerat till subhorisontella lager, som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material.

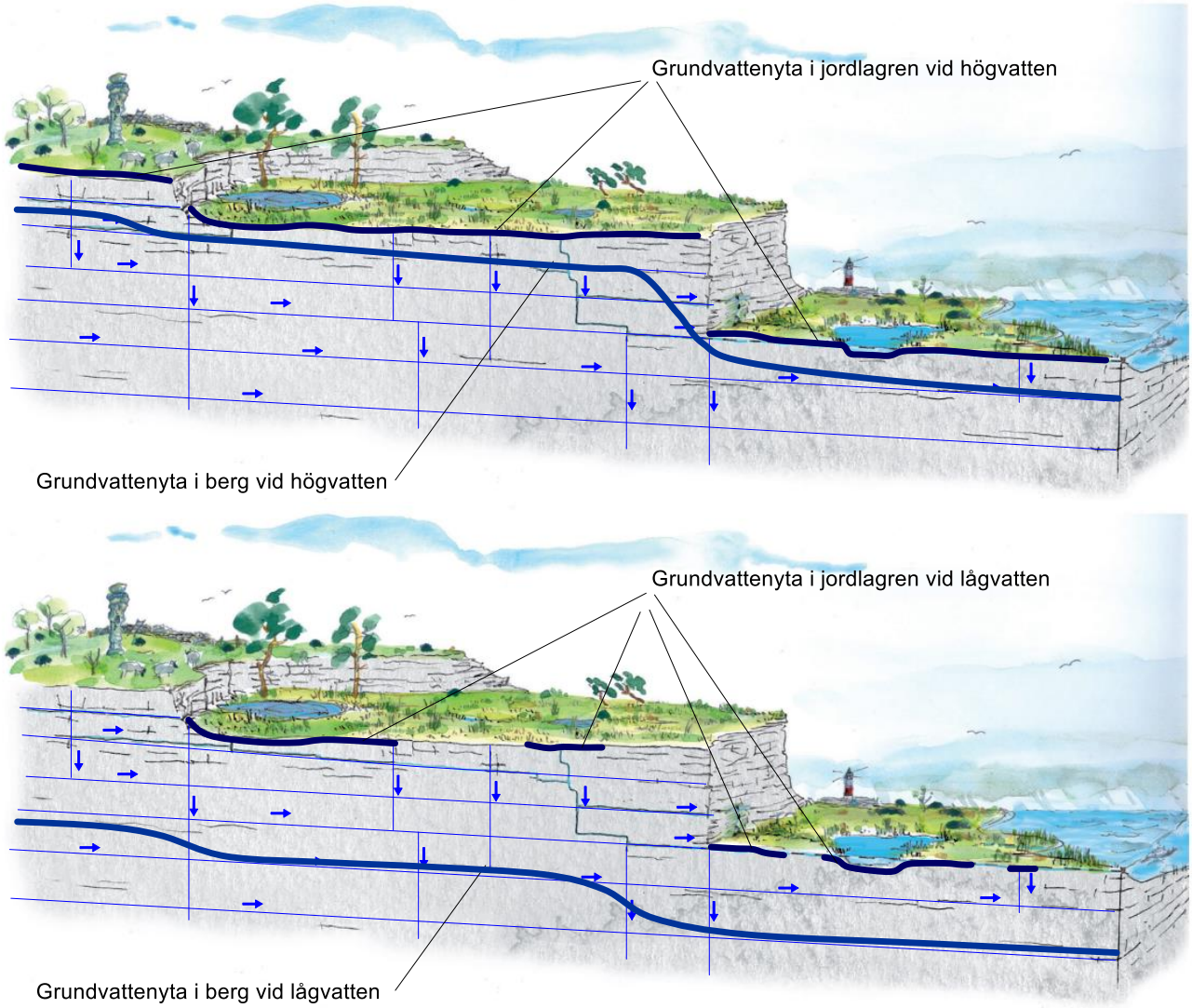


Figur 2-7 *Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar. Det är grundvattnet i jordlagren som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. (Figur ursprungligen från SGU-rapport 2017:01, Figuren är modifierad.)*

En mycket stor variation i grundvattennivå mellan olika årstider har observerats i borrhålen i berg inom det studerade området. Vattennivåerna i jordlagren varierar alls inte lika mycket, men jordlagren kan istället inom vissa områden delvis torka ut under perioden med liten nederbörd. En skiss som visar principerna för den ovan diskuterade variationen i grundvattennivå visas som Figur 2-8.

Exempel på variation i grundvattennivå i berg och jord ges nedan i Figur 2-9. Figuren visar uppmätta grundvattennivåer under ett år för två borrhål. BH2001 som är borrat ned i berget och BH1905J som endast är borrat i jordlagren. BH2001 visar således grundvattennivåer i berg och BH1905J visar grundvattennivåer i jordlagren. Båda borrhålen är placerade sydväst om File hajdar vid kanten av Hejnum Kallgate Natura 2000-område. Borrhålen står inte bredvid varandra, men avståndet mellan dem är inte stort, lägena framgår av Figur 2-10.

De observerade grundvattennivåerna i bergets spricksystem (BH2001) visar på mycket stora variationer under året. Grundvattennivåerna i BH2001 varierar mellan +16.8 möh (minimum) och +47.4 möh (maximum), amplituden är 30.7 m och medelvärdet 32.4 möh. (När vi i denna rapport talar om amplitud så syftar vi på skillnaden mellan maximivärdet och minimivärdet.)



Figur 2-8: Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. En mycket stor variation i grundvattennivå har observerats i borrhålen inom det studerade området. (Figur ursprungligen från SGU-rapport 2017:01, Figuren är modifierad).

De stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå i bergets spricksystem – som har observerats i ett stort antal borrhål – är en naturlig variation i grundvattennivå; orsakad av nettonederbördens variation under året, bergets hydrogeologiska egenskaper och av områdets topografi. De låga nivåerna under sommaren är också orsakade av den kommunala dricksvattentäkten vid Dyhagen som

avsänker grundvattennivåerna, i synnerhet under sommaren. Nivåerna påverkas också av dagbrotten som avleder inströmmande nederbörd och grundvatten.

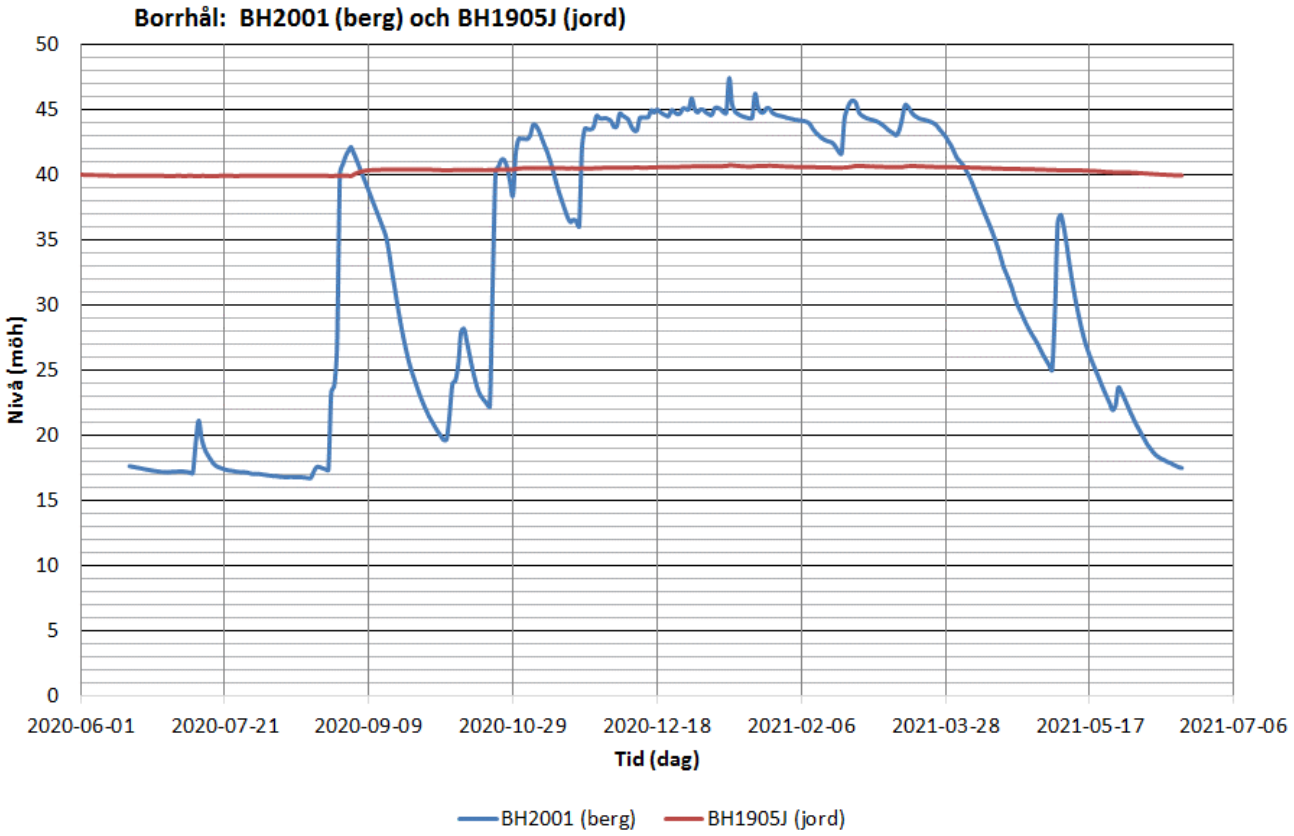
De stora variationerna i grundvattennivå i berget är något som karaktäriserar hela det studerade området vid Slite och File hajdar, förutom i det berg som består av revkalksten. Undersökningsborrhål som bedöms ligga i revkalksten, och som inte når ned till det underliggande lagrade berget, indikerar en nivåvariation som är betydligt mindre i revkalkstenen.

De observerade grundvattennivåerna i jordlagren (BH1905J) visar på betydligt mindre variationer under året. Grundvattennivåerna i BH1905J varierar mellan +39,9 möh (minimum) och +40,7 möh (maximum). Amplituden är 0,9 meter (att jämföra med 30,7 i berggrundvattnet). Medelvärdet är 40.3 möh.

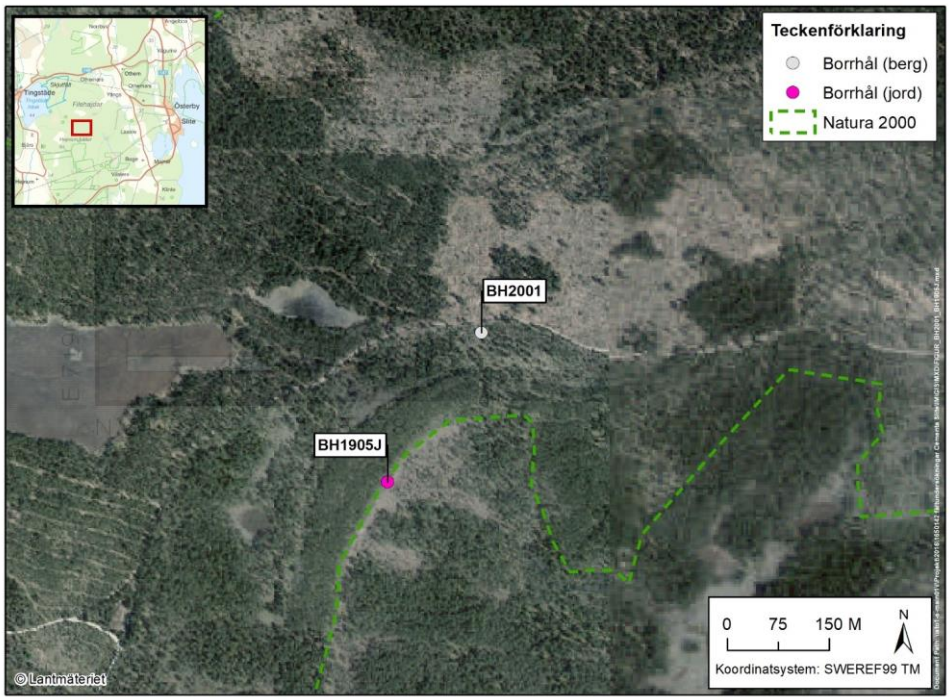
Den årstidsbundna variationen i vattennivå i jordlagren blir mycket mindre än i berg, eftersom det är en helt annan typ av hydrogeologiskt system än grundvattensystemet i bergets sprickor. Grundvattensystemet i jordlagren är ett öppet system med mycket större porositet, nederbörden faller direkt på jordlagren, och vattnet i jordlagren står i kontakt med ytvattensystemet (vattendragen). Grundvattnet i jordlagren står inte i direkt kontakt med den kommunala vattentäkten, och endast i mycket ringa utsträckning med dagbrotten. De stora tryckfluktuationer i berggrundvattnet som skapas av till exempel vattentäkten syns alltså inte i jordgrundvattnet. Grundvattensystemet i jordlagren kommunicerar med de vattenförande horisontala sprickzonerna i berget via vertikala sprickor.

Det är grundvattnet i jordlagren (markvattnet) som försörjer växterna med vatten. Eftersom den årstidsbundna variationen i grundvattennivå är ringa i jordlagren är det möjligt för vegetationen att överleva en sommar med lite nederbörd. Om växterna i det studerade området försörjdes direkt av grundvattnet i berg så skulle de flesta växter vissna under sommaren, eftersom grundvattennivån i berget kan sjunka så mycket som 30 meter under sommaren. Skillnaden mellan grundvattennivåer i jord och berg är en mycket viktig skillnad för de studerade grundvattensystemen, i synnerhet med avseende på växter.

Grundvatten som lagrats i jordlagren under nederbördsrika perioder utströmmar i vattendragen, och sådan utströmning sker även under nederbördsfattiga perioder. Jordlagren har en mycket större porositet och förmåga att lagra vatten än bergets spricksystem. Bergets porositet och förmåga att lagra vatten är i jämförelse liten, vilket är en av orsakerna till de stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå som har observerats i berget.



Figur 2-9: Observerad variation i grundvattennivå i BH2001 (berg) och BH1905J (jord) under ett år. Perioden är 20-06-18 till 21-06-18.



Figur 2-10: Borrhålens läge vid gränsen till Hejnum Kallgate.

2.5 Hydrometeorologi

Med nettonederbörd (R) menas skillnaden mellan nederbörden (P) och avdunstningen (E). Nettonederbörden kallas också för potentiell grundvattenbildning, eller avrinning. Nettonederbörden är alltså det som finns kvar av nederbörden (P) efter det att avdunstning och transpiration från växterna (E) har subtraherats från nederbörden. Nettonederbörden beräknas som R = P – E.

Nettonederbörden är av stor betydelse för de resultat som presenteras i denna studie, eftersom nettonederbörden är direkt indata till den matematiska modellen. Nederbörden och avdunstningen är inte direkta indata till modellen.

I de följande modellberäkningarna har vi använt oss av samma värde på nettonederbörden som SGU har använt i en studie för Gotlands kommun: *'Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 - 1285/2003*. Det använda värdet på nettonederbörden baseras på data från SMHI, som har beräknat nettonederbörden för olika platser på Gotland. Resultatet presenteras i Tabell 2-1, nedan.

Tabell 2-1 Av SMHI uppskattad och beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende olika platser på Gotland. (Från studie av SGU för Gotlands kommun, 'Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003*).*

	Gotland. Uppskattad och beräknad nettonederbörd [mm/månad]												
Månad	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Total
Roma SV	25	19	35	31	9	3	2	2	6	11	23	26	**192**
Roma NV	21	16	30	27	6	2	1	2	5	9	18	22	**159**
Fårö	17	12	24	22	6	2	3	3	5	8	16	18	**136**
Herrvik	19	11	31	25	5	3	1	2	4	6	12	17	**136**
Visby	19	14	29	26	6	2	1	2	5	8	16	19	**147**
MEDEL	20.2	14.4	29.8	26.2	6.4	2.4	1.6	2.2	5.0	8.4	17.0	20.4	**154**

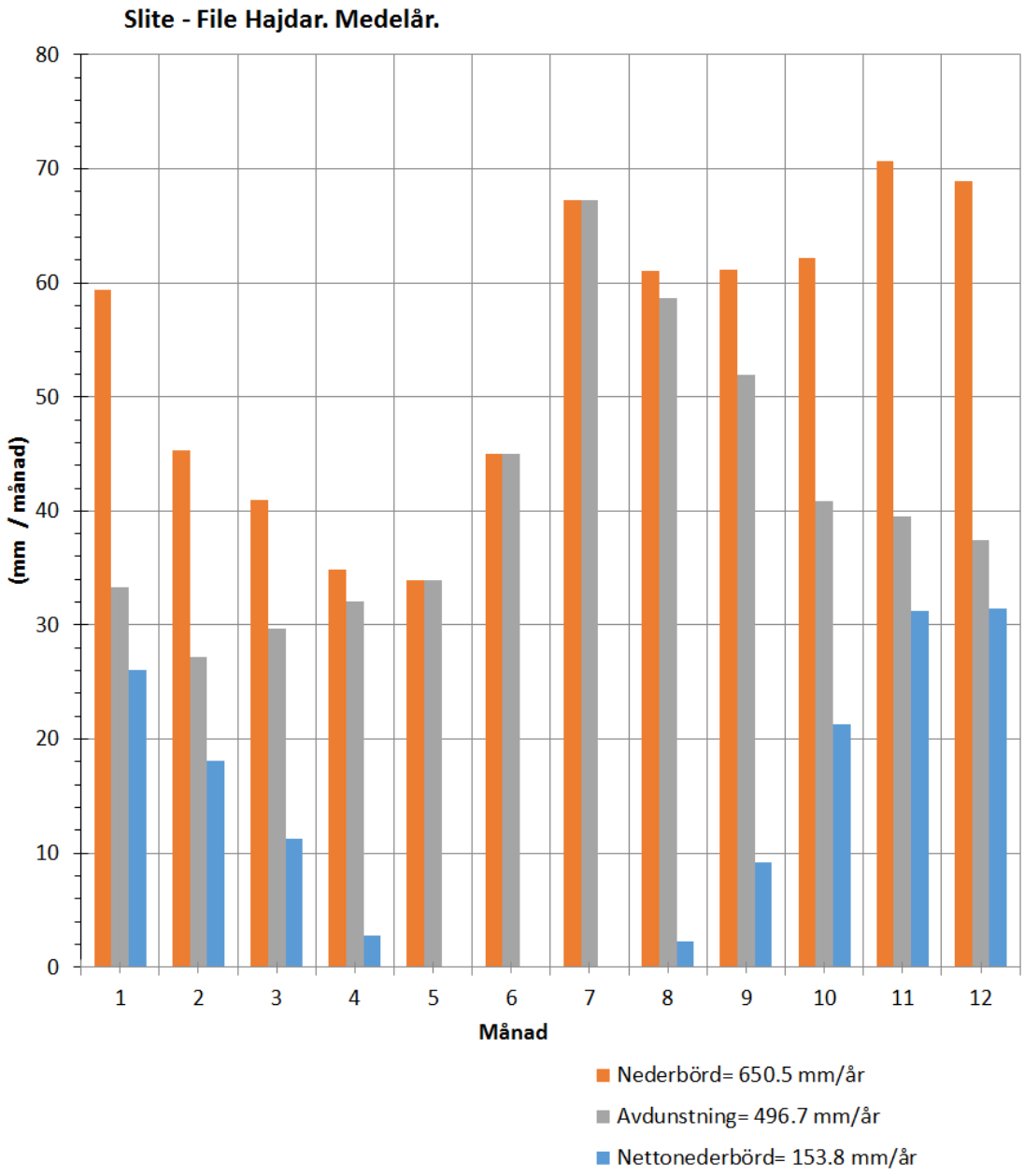
Av tabellen framgår att medelvärdet för de olika platserna är lika med 154 mm/år, och det är detta värde som har använts i denna studie. Detta valda värde är ett representativt värde baserat på beräkningar av SMHI, och har använts för att göra modellberäkningarna jämförbara med tidigare studier utförda för Gotlands kommun. Nettonederbörden är inte samma sak som grundvattenbildningen. Grundvattenbildningen beräknas av modellen, se Sektion 4.11.

Fördelningen av nettonederbörden över året har kalibrerats i den upprättade modellen så att modellens beteende stämmer väl överens med uppmätta vattennivåer i borrhål och i kommunens produktionsbrunnar. Vid denna kalibrering av nettonederbördens fördelning under året har följande data använts:

(i) Nederbördsdata från SMHI:s station Hejnum hällar, månadsmedelvärden för perioden 1971-2016.

(ii) Avdunstningens fördelning under ett normalår, baserat på den potentiella avdunstningen för ett normalår som den har uppskattats vid Visby flygplats av SMHI.

Den beräknade vattenbalansen för File hajdar och Slite, avseende ett medelår, visas nedan i Figur 2-11 och Tabell 2-2. Som framgår av figuren och tabellen, förekommer i modellen ingen nettonederbörd under sommarmånaderna juni, juli och augusti. Det är under vintern som den huvudsakliga nettonederbörden och grundvattenbildningen äger rum. I verkligheten är det troligt att det under vissa år kan förekomma en ringa nettonederbörd, men i modellen är ändå nettonederbörden alltid noll under sommaren. Antagandet om noll nettonederbörd under sommaren är ett konservativt antagande, med avseende på den påverkan som erhålls från de utökade dagbrotten.

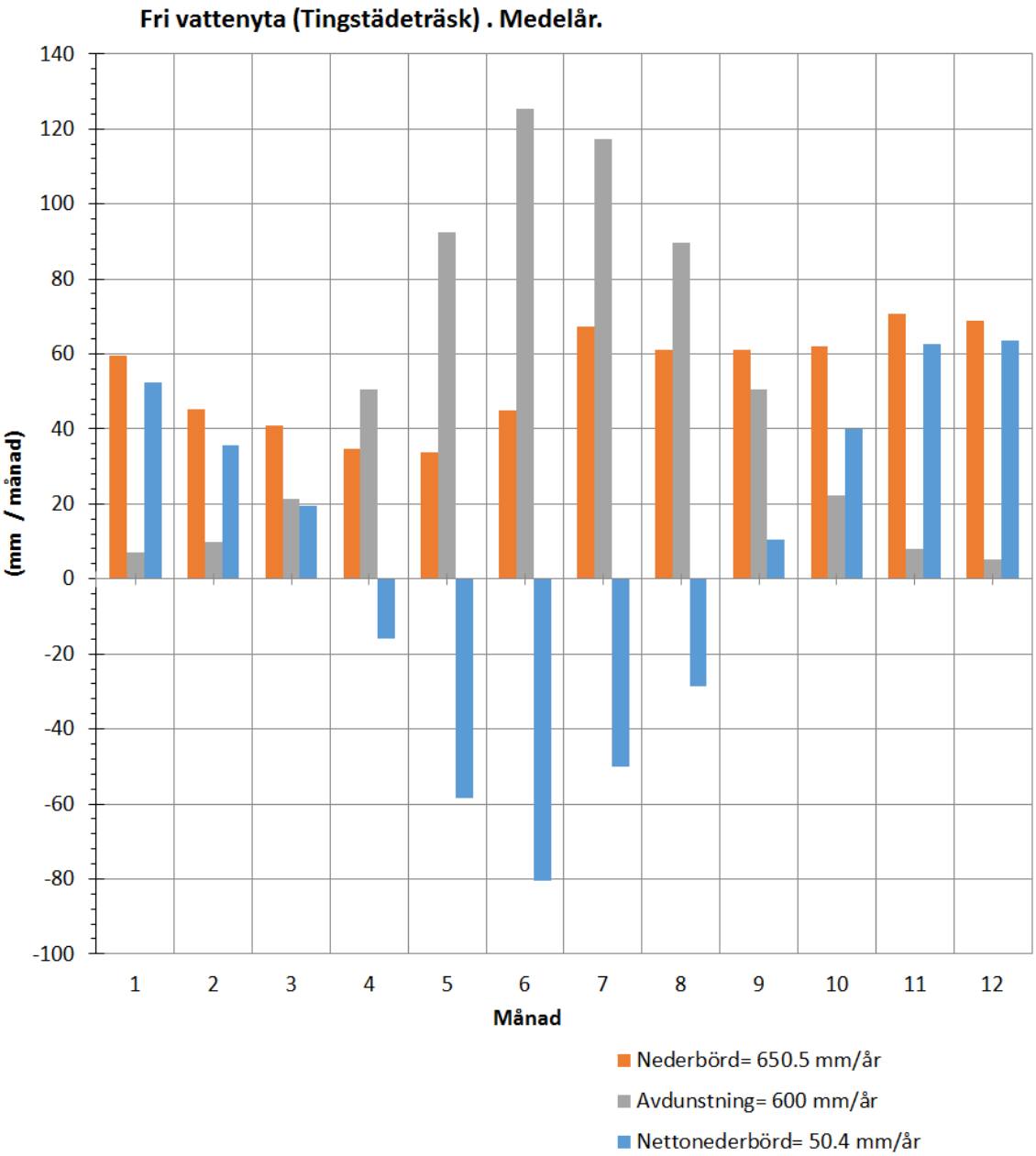


Figur 2-11 Beräknad hydrometeorologisk vattenbalans för ett medelår avseende File hajdar och Slite.

Tabell 2-2 Beräknad hydrometeorologisk vattenbalans för ett medelår avseende File hajdar och Slite.

	Slite och File hajdar. Uppskattad och beräknad vattenbalans i [mm/månad]												
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	59.4	45.3	40.9	34.8	33.9	45.0	67.3	61.0	61.1	62.2	70.7	68.9	650.5
E	33.3	27.2	29.6	32.0	33.9	45.0	67.3	58.7	51.9	40.9	39.5	37.4	496.7
R	26.1	18.1	11.3	2.8	0	0	0	2.3	9.2	21.3	31.2	31.4	153.8

För fria vattenytor har en annan vattenbalans beräknats: en balans med betydligt större avdunstning, en avdunstning som är så stor att den är större än nederbörden under sommarmånaderna, vilket producerar en negativ nettonederbörd under sommaren. Det är denna vattenbalans som har använts för tex Tingstäde träsk. Denna balans presenteras i Figur 2-12 och Tabell 2-3 (nedan). Den totala nettonederbörden för fria vattenytor har uppskattats till 50 mm/år. Värdena som anges i Tabell 2-3 kan anses representera ett medelår/normalår.



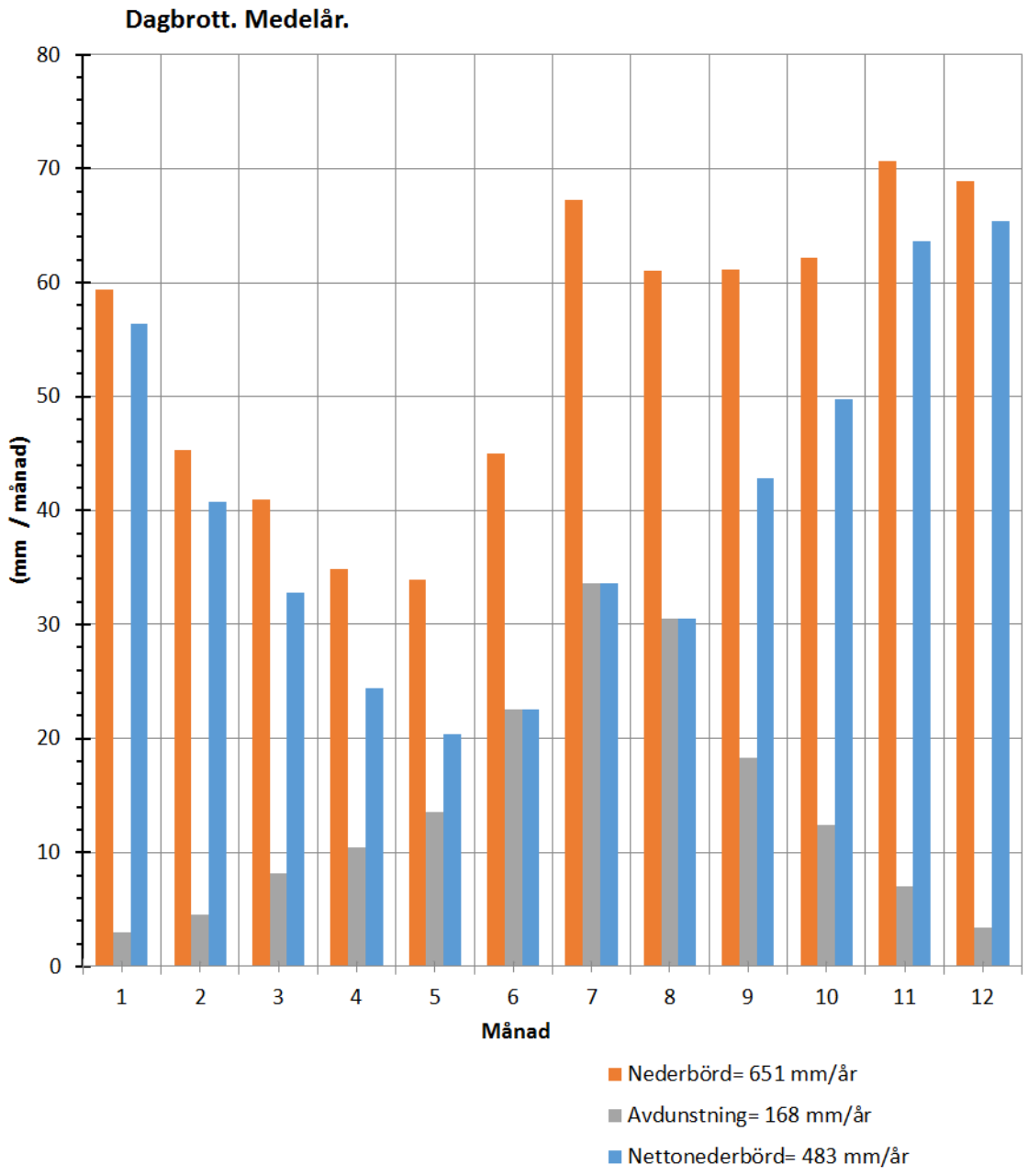
Figur 2-12 Beräknad hydrometerologisk vattenbalans för ett medelår avseende en fri vattenyta (t.ex. Tingstäde träsk).

Tabell 2-3 Beräknad hydrometerologisk vattenbalans för ett medelår avseende en fri vattenyta (t.ex. Tingstäde träsk).

	Slite och File hajdar. Fri vattenyta, Tingstäde träsk. Uppskattad och beräknad vattenbalans [mm/månad]												
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	59.4	45.3	40.9	34.8	33.9	45.0	67.3	61.0	61.1	62.2	70.7	68.9	650.5
E	7.1	9.8	21.3	50.7	92.4	125.3	117.3	89.8	50.7	22.2	8	5.3	600
R	52.3	35.5	19.6	-15.8	-58.5	-80.3	-50.5	-28.8	10.5	39.9	62.7	63.5	50.0

Det har också tagits fram hydrometeorologiska vattenbalansberäkningar för dagbrotten. Dagbrotten är inget naturligt system med nederbörd och avdunstning från växter eller en fri vattenyta. Stora delar av nederbörden pumpas relativt snabbt bort från dagbrotten. De pumpade flödena är också stora, särskilt under höst och vinter vid stora nederbördstillfällen. Avdunstning förekommer från fria vattenytor, främst under sommaren, t.ex. från den vattenfyllda pall 2 i Västra brottet. Den hydrometeorologiska vattenbalansen finns presenterad i Figur 2-13 och Tabell 2-4 nedan. Värdena

som anges i Tabell 2-4 kan anses representera ett medelår/normalår. Den totala nettonederbörden har uppskattats till 483 mm/år. Det är denna nettonederbörd som har använts för dagbrotten i modellen.



Figur 2-13 Beräknad hydrometerologisk vattenbalans för ett medelår avseende dagbrott (t.ex. File hajdar).

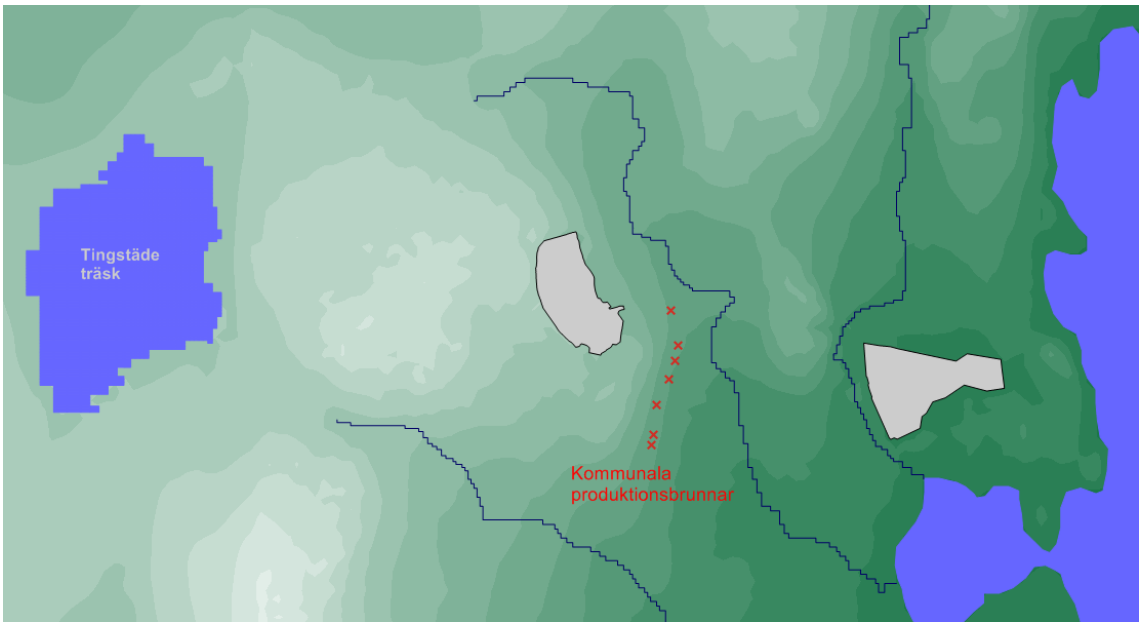
Tabell 2-4 Beräknad hydrometerologisk vattenbalans för ett medelår avseende dagbrott (t.ex. File hajdar).

	Slite och File hajdar dagbrott. Uppskattad och beräknad vattenbalans [mm/månad]												
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	59.4	45.3	40.9	34.8	33.9	45.0	67.3	61.0	61.1	62.2	70.7	68.9	650.5
E	3.0	4.5	8.2	10.5	13.6	22.5	33.6	30.5	18.3	12.4	7.1	3.4	167.6
R	56.4	40.7	32.7	24.4	20.3	22.5	33.6	30.5	42.8	49.7	63.6	65.4	482.9

2.6 De kommunala produktionsbrunnarna

Vid Dyhagen, mellan File hajdar-täkten och Västra brottet, ligger den kommunala vattentäkten som försörjer Slite med vatten. Vattentäkten består av sju bergborrade produktionsbrunnar placerade i ungefärlig nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 och 500 m. Pumpbrunnarna är placerade i en äldre strandzon (Littorinavallen) vilken sammanfaller med en krosszon med förhöjd vattenförande förmåga.

Brunnarna i vattentäkten kallas också för produktionsbrunnarna. Produktionsbrunnarnas placering framgår av Figur 2-14.



Figur 2-14 Läge för vattentäkten också kallad produktionsbrunnarna (röda kryss). Vattentäkten ligger öster om File hajdar, mellan File hajdar-täkten och Västra brottet.

Den sammanlagda produktionen i dessa brunnar ligger nära tillståndsgivet uttag på 220 000 m^3/år. En viss variation i produktion har förekommit mellan olika år. Även om skillnader i uttag har förekommit mellan olika år så är det viktigt att notera att brunnarna varit i drift i många år, alltid med stora uttag och utan längre avbrott.

Grundvattensystemet söder om File hajdar och söder om File hajdar täkten påverkas tydligt av de kommunala brunnarna, särskilt på sommaren. Vattennivån i borrhål BH1104 under sommarmånaderna tenderar att efterlikna vattentäkten, både med avseende på tid och nivå.

Vattennivåerna i produktionsbrunnarna varierar under ett normalår med en betydande skillnad mellan högsta nivå (vinter) och lägsta nivå (sommaren), amplituden är i storleksordningen 15 m, se Figur 4-23. Det studerade systemet är ett dynamiskt system med stora variationer i grundvattennivå. Det betyder att en viss vattennivå i produktionsbrunnarna inte motsvarar ett visst konstant produktionsflöde, eftersom grundvattennivåerna runt brunnarna också förändras, med sjunkande grundvattennivåer under vår och sommar, och stigande nivåer under hösten, och relativt konstanta nivåer under vinter. Vattennivåerna varierar dessutom mellan olika år, och variationen mellan olika år är flera meter.

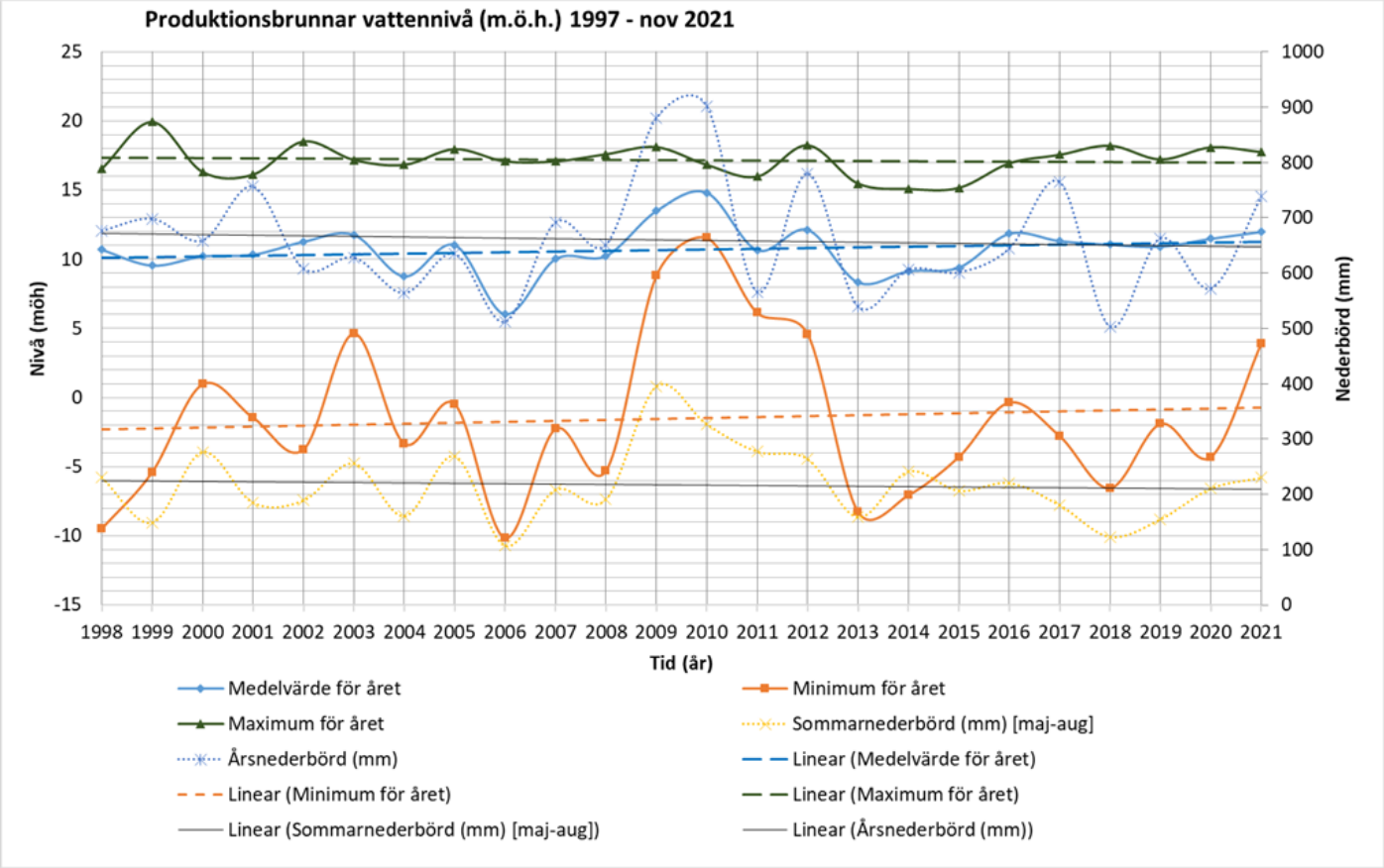
Eftersom vattennivå kan variera mellan de olika brunnarna vid samma mättillfälle, och för att tydligare kunna se hur vattennivåerna varierar för hela vattentäkten, har ett medelvärde för brunnarna beräknats., Ett värde har beräknats för varje månad under den studerade perioden. För varje år erhålls således 12 månadsvärden. Varje år representeras alltså av 12 månadsvärden. Baserat på dessa månadsvärden beräknas sedan medelvärde, minimumvärde och maximumvärde, för varje studerat år. Resultatet visas i Figur 2-15. Baserat på årsvärdena (medel, max och min) har sedan en enkel statistisk analys utförts som visar trenden för hur vattennivån i brunnarna förändras med tiden. Resultatet visas i Figur 2-15 nedan.

Analysen i Figur 2-15 visar att de linjära trendlinjerna för medel- och maxnivåerna är i det närmaste helt horisontella. Trendlinjen för miniminivåerna är svagt ökande. Detta indikerar att trenden för medelvärdena av vattennivåerna för de studerade 24 åren inte har förändrats nämnvärt. Om vattennivåerna i produktionsbrunnarna hade sjunkit systematiskt under den studerade perioden då hade trendlinjerna lutat nedåt, mot minskande värden. Figuren visar också sommarnederbördens storlek för varje år. Figuren visar att det finns en tydlig korrelation mellan en liten sommarnederbörd och låga vattennivåer i produktionsbrunnarna.

Att de linjära trendlinjerna för medel- och maxnivåerna är i det närmaste helt horisontella, och att trendlinjen för miniminivåerna är svagt ökande för de senaste 24 åren, är ett intressant resultat eftersom File hajdar-täkten har utökats betydligt under samma period. Som tidigare nämnts, har produktionen i de kommunala produktionsbrunnarna varierat en del under åren och det kan vara orsaken till en del av den variation som kan iakttas i medel-, max- och min-värdena nedan. Variationen i produktion förminskar dock inte det intressanta i iakttagelsen – att trenden för medelvärdet av vattennivåerna inte har förändrats nämnvärt under de senaste 24 åren

Analysen i Figur 2-15 visar sammanfattningsvis att utökningen av File hajdar dagbrott och Västra brottet, under de senaste 24 åren, inte har haft en tydlig påverkan på vattennivåerna i de kommunala produktionsbrunnarna.

Vad gäller kloridhalter i de kommunala produktionsbrunnarna har modellsimuleringar med saltvattenmodellen utförts, dessa simuleringar visar att den ansökta utökningen av dagbrotten inte påverkar kloridhalterna i de kommunala produktionsbrunnarna. Se Sektion 11.



Figur 2-15 Analys av variationen i vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar. Period: 1998 till 2021.

2.7 Vattenbortledning från dagbrotten

Vattenbortledningen från dagbrotten är summan av grundvatteninflödet till dagbrotten och nettonederbörden som faller över dagbrotten. Dessa flöden pumpas ut ur dagbrotten, eller ansamlas i dagbrotten (tex i pall 2 i Västra brottet). Den exakta andelen grundvatten i vattenbortledningen är svår att uppskatta. Den totala volymen årlig vattenbortledning beror till stor del på hur mycket nederbörd som faller under höst och vinter. Nederbörden under denna period är stor och avdunstningen under denna period är liten. När nederbörden faller över dagbrotten pumpas den raskt bort, vilket direkt återspeglas i storleken på vattenbortledningen. Man måste därför vara försiktig med att direkt korrelera grundvatteninflödets storlek till vattenbortledningens storlek.

Stora pumpade volymer av vattenbortledning är normalt en följd av stora mängder nederbörd, inte stora mängder inströmmande grundvatten. Inflödet av grundvatten varierar under året och proportionen grundvatten är inte densamma under hela året. Detta är mycket tydligt för File hajdar-täkten. Botten på File hajdar-täkten ligger på nivån +20 möh. Grundvattennivåerna kring dagbrottet faller till nivåer under dagbrottets botten under sommaren, vilket i sin tur betyder att grundvatteninflödet till File hajdar-täkten under sommaren är minimalt.

Det kan dock fortfarande regna kraftigt över dagbrottet under sommaren, vilket producerar en vattenbortledning från dagbrotten fastän grundvatteninflödet är minimalt eller obefintligt. Av resonemanget ovan följer att vattenbortledningen till stor del beror av nederbörden över dagbrotten.

Eftersom nederbörden varierar mycket mellan olika år så kommer också vattenbortledningen att variera mycket mellan olika år. År med stora mängder nederbörd under höst och vinter kommer att producera stora volymer vattenbortledning.

Vattenbortledningens storlek har uppmätts. De tidiga mätningarna var behäftade med ett systematiskt mätfel som ledde till att vattenbortledningen överskattades, särskilt före år 2000. Mättningar med bättre kvalitet har utförts de senaste 20 åren, dock kvarstår delar av det systematiska mätfelet och de uppmätta flödena tenderar att vara överskattningar. Av dessa orsaker har vi i denna studie fokuserat på mätningar efter 2005, trendanalysen är utförd för värden efter 2012.

Sedan 2017 har Cementa inte längre pumpat vatten från Pall 2 i Västra brottet. Istället har man låtit vatten ansamlas i Pall 2, och därmed skapat en vattenyta i Pall 2 som sakta stiger. Av detta följer att volymen vatten som bortleds från Västra brottet har blivit mindre efter 2016, eftersom en betydande mängd vatten har lagrats i Pall 2. Vi har uppskattat hur mycket vatten som ansamlats i Pall 2 och adderat denna volym till de uppmätta flödena ifrån Västra brottet för att kunna erhålla jämförbara värden över en längre period.

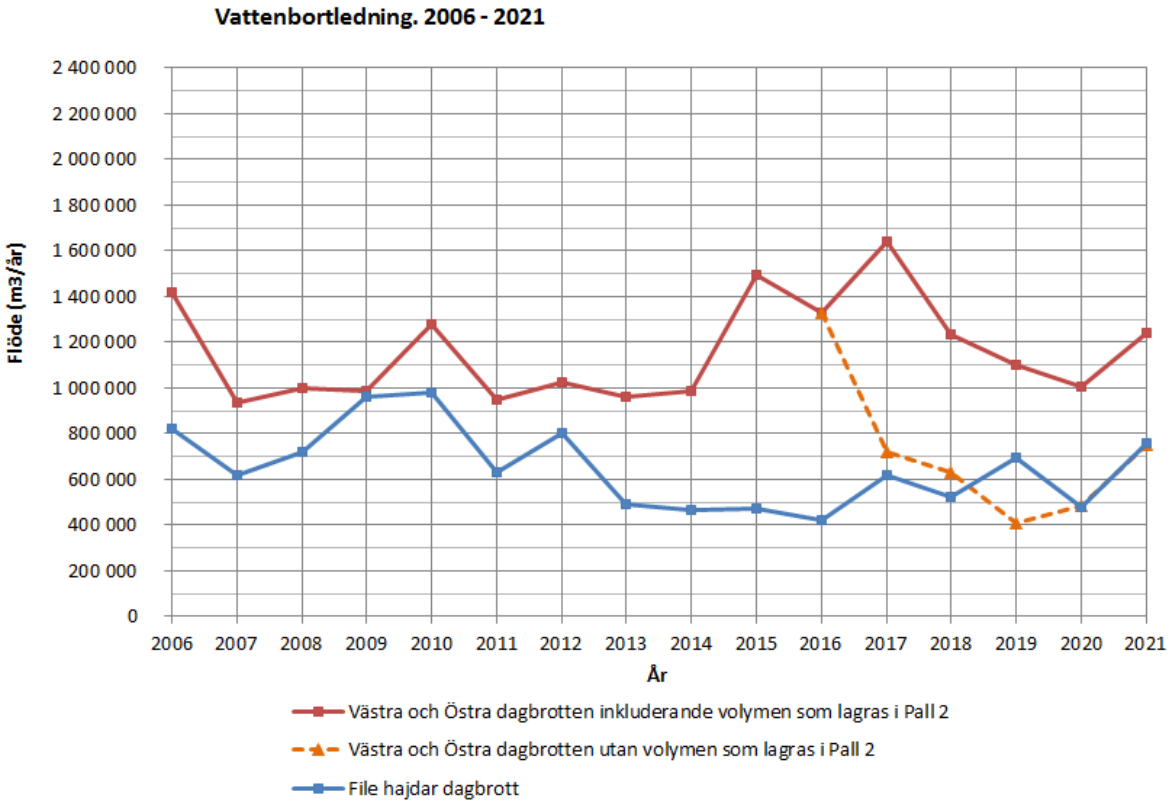
De uppmätta värdena på vattenbortledningen framgår av Figur 2-16 och Figur 2-17

Som ovan redovisats beror vattenbortledningen till stor del av nederbörden över dagbrotten. Eftersom nederbörden varierar mycket mellan olika år så kommer också vattenbortledningen att variera mycket mellan olika år, vilket framgår av Figur 2-16.

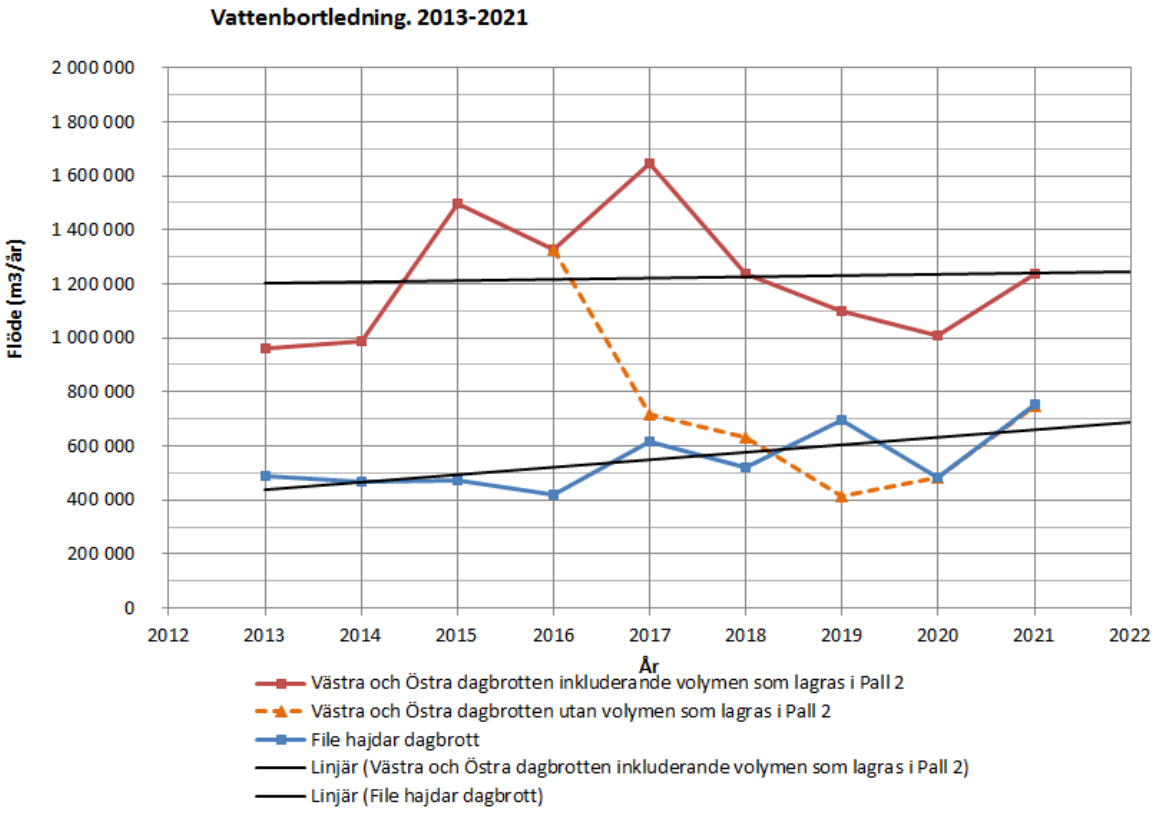
Variationen i vattenbortledning mellan olika år gör det svårt att se hur trenden för vattenbortledning förändras i en längre tidsskala. Modellprediktioner av framtida vattenbortledning avser dessutom medelsituationer. För att ta fram en trolig representativ förändring av vattenbortledningen med tiden har vi gjort en linjär trendanalys av den uppmätta vattenbortledningen från och med 2013 och framåt. Notera att för Västra brottet inkluderas volymen vatten som har lagrats i Pall 2. Trendanalysen visas i Figur 2-17

Trendlinjerna visar på svagt ökande inflöden sedan 2013, särskilt för File hajdar dagbrott. Trendlinjerna är i denna analys linjära. Från de linjära ekvationerna kan representativa värden för vattenbortledningen uppskattas för år 2021 baserat på uppmätta värden.

Uppmätta värden för år 2021 visas i Tabell 2-5. Representativa värden för år 2021 visas i Tabell 2-6.



Figur 2-16 Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2006 till 2021.



Figur 2-17 Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2013 till 2021.

Tabell 2-5: Vattenbortledning. Uppmätta volymer för år 2021.

För år 2021 erhålls följande årliga uppmätta volymer:
File hajdar: 756 000 m³/år
Västra brottet: 1 238 000 m³/år (inkluderande vattnet i Pall 2)

Tabell 2-6: Vattenbortledning. Representativa volymer för år 2021, baserade på uppmätta volymer.

För år 2021 producerar trendanalysen följande representativa årliga volymer:
File hajdar: 657 000 m³/år
Västra brottet: 1 241 000 m³/år (inkluderande vattnet i Pall 2)

3. Beräkningsmetodik och teoretiska förutsättningar för modellen

3.1 Den systemanalytiska metoden

Denna studie avser grundvattenflöden och ytvattenflödena i regional och lokal skala. Den studerade delen av verkligheten kallar vi ett system, t ex grundvattensystemet. Den upprättade modellen är en förenklad beskrivning av det studerade systemet.

Studien bygger på en systemanalytisk metod för att lösa komplicerade problem genom att:
(i) Upprätta en modell av det studerade systemet, (ii) Använda modellen för simuleringar som imiterar det verkliga systemets beteende och (iii) Baserat på resultat som beräknats av modellen (genom de utförda simuleringarna) uppnå förståelse av det verkliga systemets beteende och tillstånd.

Baserat på studiens syfte och tillgänglig information upprättas en konceptuell modell. Den konceptuella modellen innehåller känd information om det studerade systemets egenskaper (t.ex. topografi, utbredning på olika jordarter, värden på konduktivitet etc.) samt en beskrivning av de fysikaliska processer som styr det studerade systemet (t.ex. Darcys lag). Den konceptuella modellen innehåller dock endast information som är relevant med avseende på studiens syfte.

Baserat på den konceptuella modellen upprättas en formell modell. Den formella modellen är en matematisk beskrivning av den konceptuella modellen, den formella modellen upprättas med hjälp av ett datorprogram (t.ex. Geoan). Den formella modellen används för simuleringar.

3.2 Formell matematisk modell och programkod

Grundvattenflödet är beräknat med en matematisk modell. Den upprättade formella modellen är en matematisk beskrivning av det studerade flödessystemet. Beskrivningen bygger på en kontinuumbetraktelse. Beskrivningen är tredimensionell och inkluderar tidsberoende effekter. Den upprättade modellen inkluderar också transport av salt och de densitetseffekter som följer med saltet.

Den formella modellen är baserad på ett numeriskt angreppssätt och upprättad i datorprogrammet Geoan (diskuteras i större detalj nedan). Geoan använder den finita differensmetoden för att numeriskt lösa den matematiska beskrivningen. Det studerade modellområdet indelas i beräkningsceller, som kan vara av olika storlekar. Egenskaper hos det studerade systemet som är skalärer (tex tryck, porositet och salinitet) definieras i cellernas centrum, men riktningsberoende egenskaper (tex hydraulisk konduktivitet och flöde) definieras eller beräknas för cellernas väggar.

Den grundläggande ekvationen för mättat grundvattenflöde, som löses i Geoan, baseras på Darcys lag och har följande form när densitetseffekter inkluderas:

Ekvation 3-1

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\rho_d}{\rho_0} K_{x0} \frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\rho_d}{\rho_0} K_{y0} \frac{\partial p}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\rho_d}{\rho_0} K_{z0} \frac{\partial (p + z\,\rho_F)}{\partial z}\right) - V_F = Ss \frac{\partial p}{\partial t}$$

p = Pressure, defined in meters of fresh water at a reference temperature [m]
k = Permeability [m^2]
K_{x0} , K_{y0} , K_{z0} = Hydraulic conductivity considering fresh water at a given reference temp. [m/s]
ρ_d = Density of water with dissolved components at a given temperature [Kg/m^3]
ρ_0 = Density of fresh water at a given reference temperature [Kg/m^3]
ρ_F = Density factor (dimensionless, 1=density of fresh water) [-]
z = Elevation [m]
V_F = Volumetric flow (flow per unit volume), specified inflow and outflow of water [s^{-1}]
Ss = Specific storage of flow medium [m^{-1}]
t = Time [s]

Härledningen av ekvationen ovan från Darcys lag är välkänd, se t.ex. Bear and Verruit (1987), eller Geoan Users Guide (Holmén, 2022). Ekvationen, tillsammans med randvillkor, initialvillkor och parametervärden, bildar en matematisk representation av det studerade systemet. Analytiska lösningar för den ovan beskrivna matematiska representationen förekommer endast för mycket enkla system, därför används numeriska modeller (som t.ex. Geoan).

För flöde i den omättade zonen, ovanför grundvattenytan, används den välkända Richards ekvation, enligt nedan formulerad för grundvattenpotential (hydraulic head).

Ekvation 3-2

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K(S_w)_x \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K(S_w)_y \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K(S_w)_z \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) - V_F = C(p) \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$$K(S_w) = F(S_w) \quad , \quad C(p) = \frac{\partial S_w}{\partial p} \quad , \quad p = \phi - Z \quad , \quad \phi = p + Z$$

ϕ = Hydraulic head [m]
$K(S_w)_x$, $K(S_w)_y$, $K(S_w)_z$ = Hydraulic conductivity along cardinal directions, adjusted for saturation [m / s]
S_w = Water saturation [-]
C(p) = Specific water capacity function [m^{-1}]
p = Pressure head, defined in meters of fresh water at a reference temperature (matric head) [m]
V_F = Volumetric flow (flow per unit volume, inflow and outflow of water) [1/s]
t = Time [s]
Z = Elevation [m]

De omättade egenskaperna, dvs. *C(p)* och *$K(S_w)_x$, $K(S_w)_y$, $K(S_w)_z$* definieras i enlighet med välkända formuleringar av VanGenuchten–Mualem, se bla VanGenuchten (1980) eller Geoan Users Guide (Holmén, 2022. Det finns också en förenklad formulering av Richards ekvation, i vilken de omättade egenskaperna inte beräknas i detalj.

Transport av salt löst i grundvattnet simuleras med en transportekvation, den välkända advektion-diffusion ekvationen, se t.ex. Bear and Verruit (1987) eller Geoan Users Guide (Holmén, 2017).

Ekvation 3-3

$$\nabla\left(\rho \bar{u}\,\theta_F - \rho\eta\,\overline{D}\nabla\theta_F\right) - U_{spec} = \frac{\partial\theta_F}{\partial t}\,\eta\,\rho$$

θ_F = Concentration factor [-]
D = Dispersion coefficient [m2/s].
η = Effective porosity of flow medium [-]
ρ = Density of water (with dissolved components) [Kg/m^3]
u = Darcy velocity of water in x, y and z directions [m/s]
U_{spec} = Specified inflow and outflow of mass [Kg/s m3]
η = Effective porosity of flow medium [-]
t = Time [s]

Ekvationerna ovan löses med hjälp av finita differenser. Den finita differensmetoden och programkoden Geoan är översiktligt presenterade i Holmén (1992) och Holmén (1997). För en detaljerad presentation av Geoan-koden hänvisas till Geoan Users Guide (Holmén, 2017).

Geoan är en numerisk modell för beräkningar av grundvattenpotential, flöde, hastighet och transport i tre dimensioner liksom ytvattenflöden och hastighet på ytvattenflödet. Geoan kan dessutom hantera transport av lösta ämnen och densitetsberoende flöde (tex saltvatteninträngning). Vidare kan även temperaturer och permafrost inkluderas en Geoan-modell.

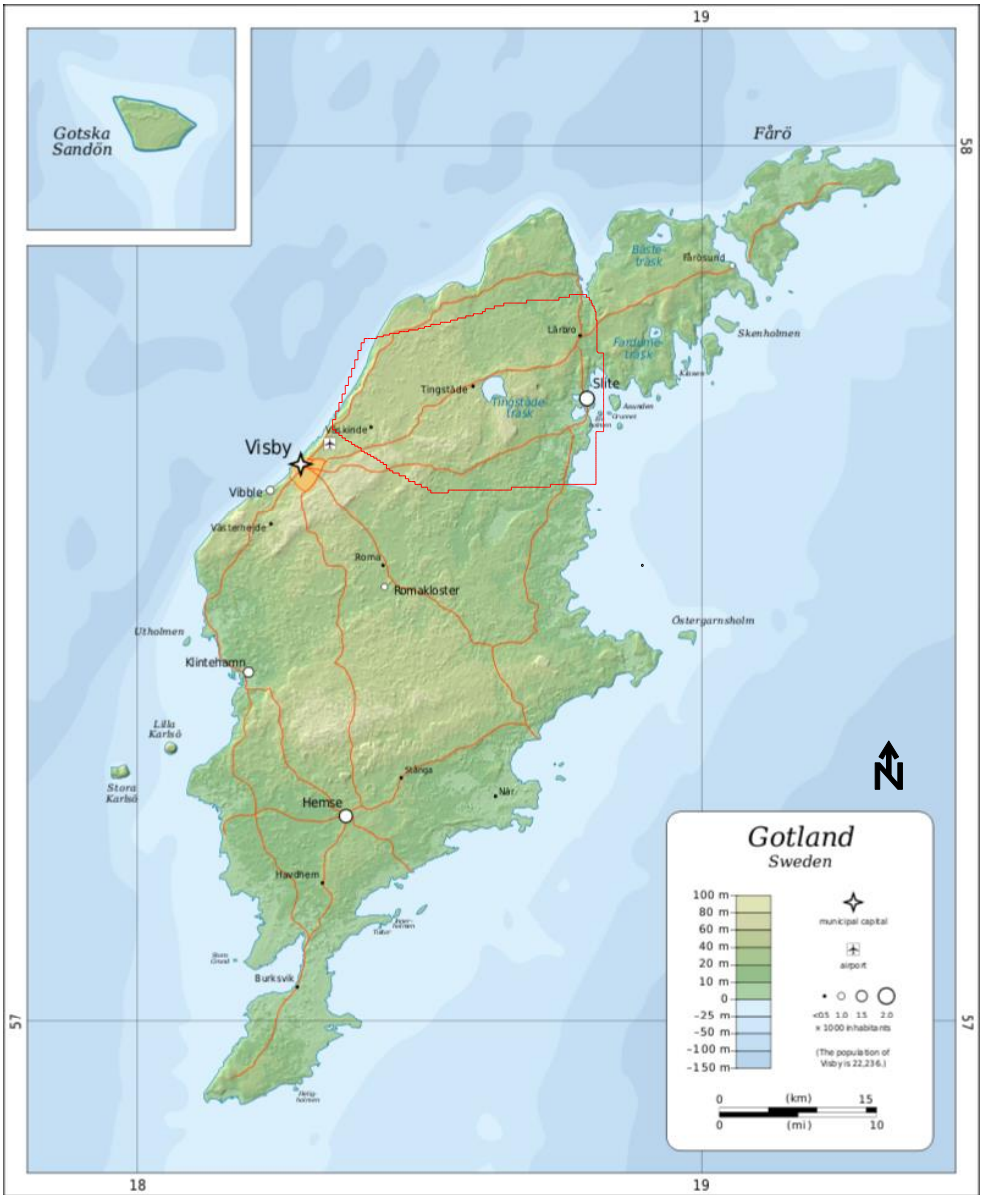
En Geoan-modell inkluderar således både grundvattenflöde och ytvattenflöde. Nivån på grundvattenytan och storleken på in- och utströmningsområden, samt storleken på den lokala grundvattenbildningen, beräknas i modellen på basis av topografi, genomsläpplighet, avrinning och det studerade systemets tillstånd (stationärt eller transient).

Med hjälp av en beräkningsmodul som analyserar flödesvägar kan programmet beräkna flödesvägar som är kontinuerliga i både grundvatten- och ytvattensystemen. I modellen kan flödesvägarna alternera mellan båda systemen (ytvatten och grundvatten) beroende på systemet som studeras

4. Beskrivning av den upprättade modellen

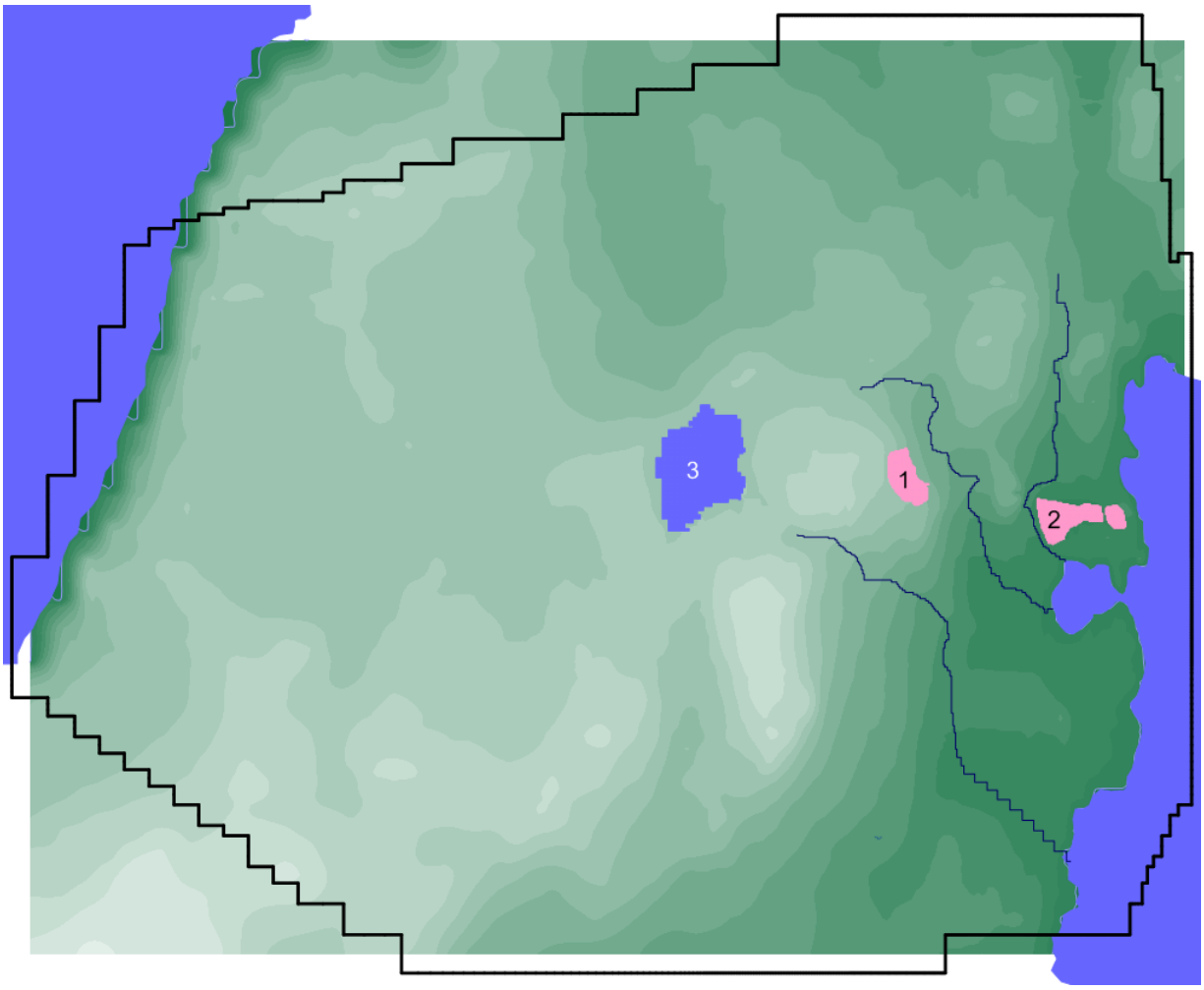
4.1 Storlek

Den upprättade modellen inkluderar en stor del av norra Gotland. Modellen sträcker sig tvärs över Gotland, från den västra strandlinjen till den östra strandlinjen. Modellens horisontella storlek framgår av Figur 4-1. Utsträckningen i öst-väst är ca 28 km och utsträckningen i nord-syd är ca 23 km. Centralt i modellen ligger Tingstäde träsk. I modellens östra del ligger Slite. Modellen är av nödvändighet arealmässigt stor, detta diskuteras i Kapitel 4.4.



Figur 4-1 Karta över Gotland. Den röda linjen markerar modellens yttre begränsning. Karta från Wikipedia.

Modellens storlek och topografi framgår också av Figur 4-2.



Figur 4-2 *Modellens storlek och topografi. 1= File hajdar dagbrott. 2= Västra brottet. 3= Tingstäde träsk. Fet svart linje markerar modellens yttre begränsning.*

Modellens övre begränsning ges av den undulerande topografin, och modellens bas är satt på nivån minus 200 möh. Moderna datorer och datorprogram som utnyttjar parallell-beräkning möjliggör etablerandet av mycket stora matematiska modeller, modeller som både har en god upplösning och omfattar ett betydande område.

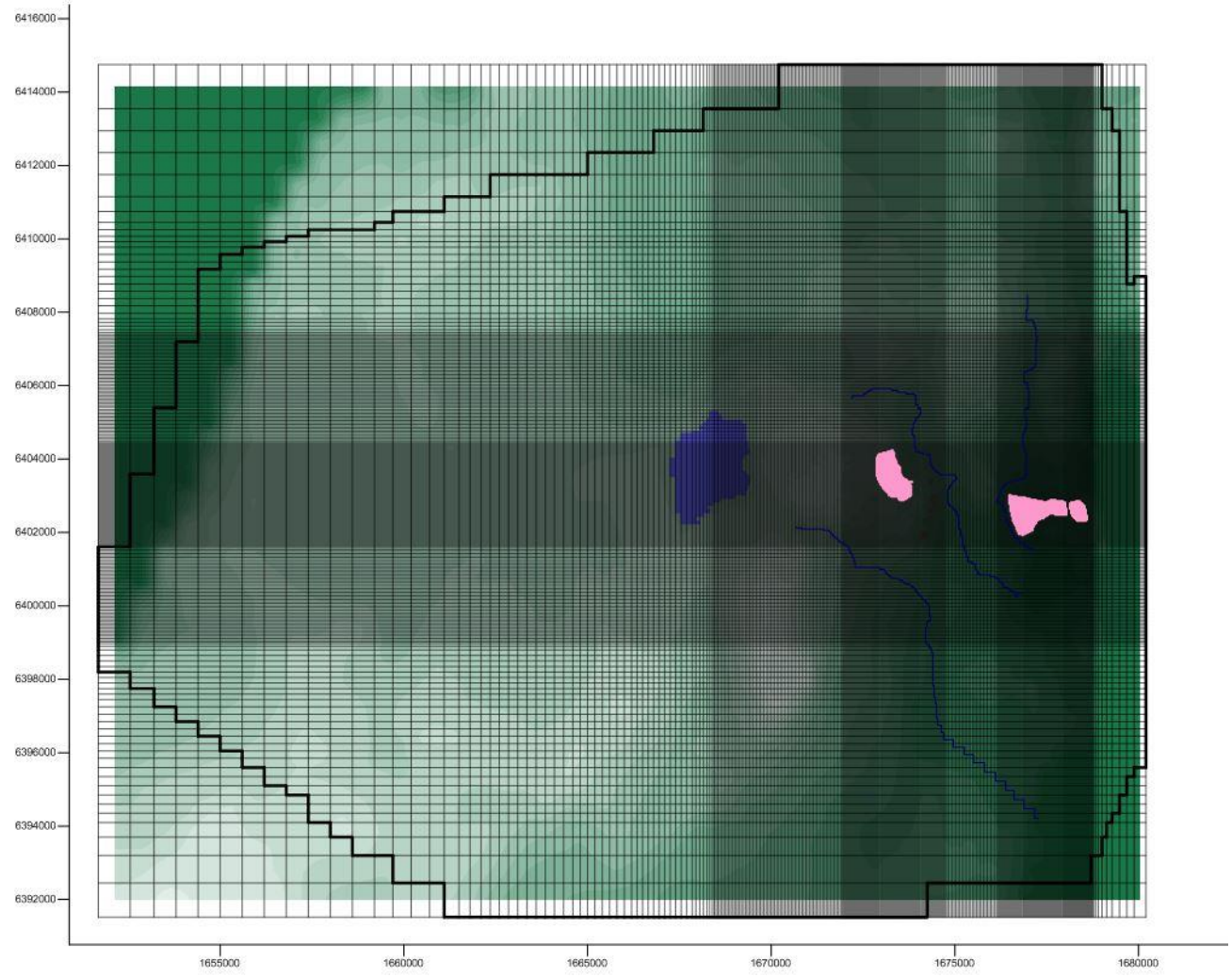
4.2 Koordinatsystem

Modellen är definierad i koordinatsystem: RT90

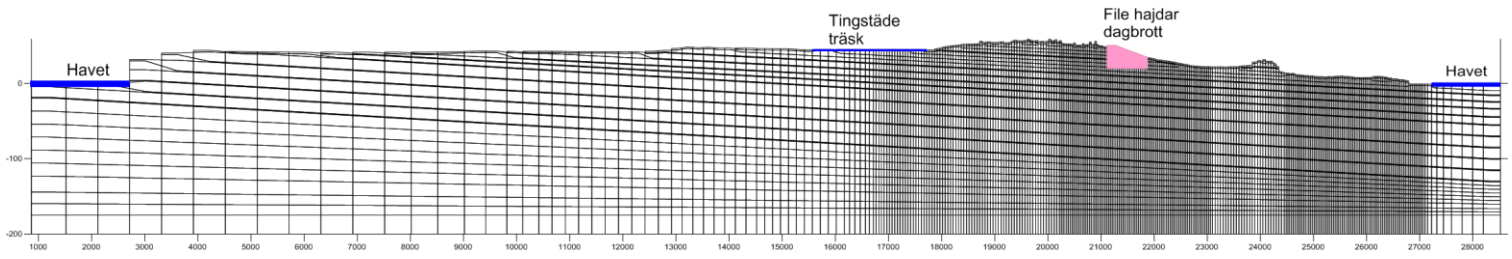
4.3 Numeriskt beräkningsnät

Kring dagbrotten och i det studerade områdets östra del, har modellens beräkningsceller definierats med en horisontal storlek av 33m x 33m. Utanför detta område ökar cellstorleken mot modellens yttre sidor. Den upprättade modellen består av 40 numeriska lager, vilka representerar det

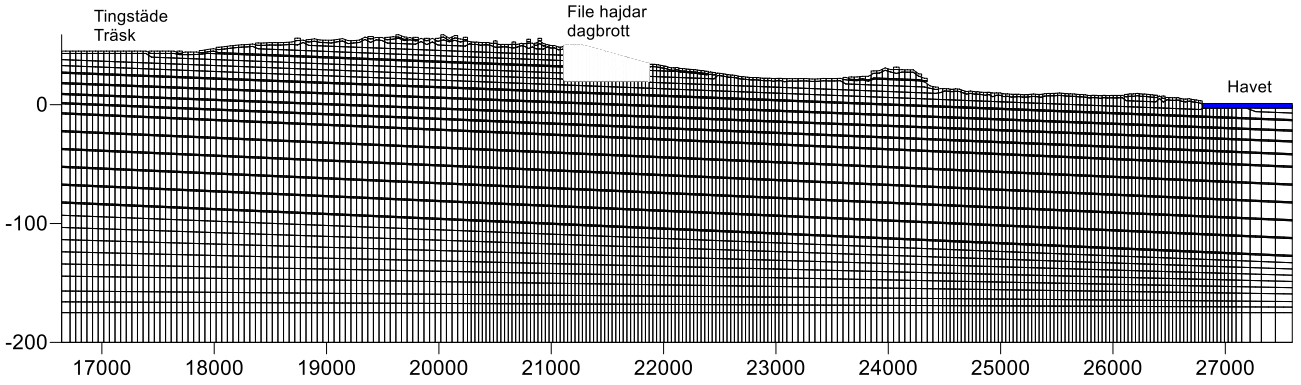
sedimentära bergets geologiska lager (över nivån -200 möh) samt de kvartära avlagringarna. Cellernas vertikala storlek varierar med de geologiska lagrens mäktighet etc. Totalt inkluderar modellen drygt 2.7 miljoner aktiva beräkningsceller. Se Figur 4-3, Figur 4-4 och Figur 4-5.



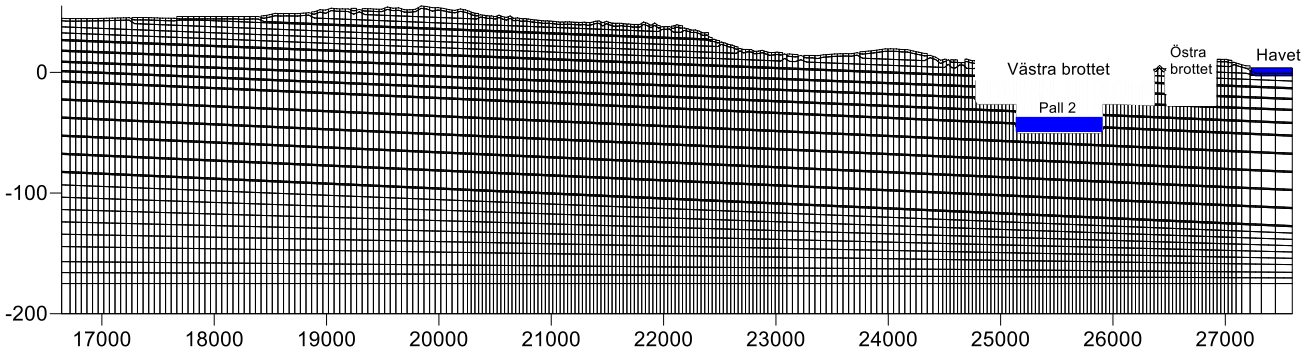
Figur 4-3 Modellens beräkningsnät från ovan.



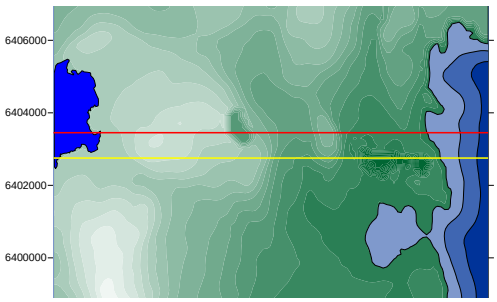
Figur 4-4 Modellens beräkningsnät från sidan. Figuren visar en tvärsektion genom modellen, från väst till öst, genom File hajdar dagbrott. Den horisontella skalan är inte identisk med den vertikala skalan.



Tvärsektioner genom modellens östra del, från väst till öst, genom File hajdar dagbrott. Den horisontala skalan är inte identisk med den vertikala skalan.



Tvärsektioner genom modellens östra del, från väst till öst, genom Västra och Östra brotten. Den horisontala skalan är inte identisk med den vertikala skalan.



Tvärsnittens placering: Röd linje utgör placeringen av tvärsektionen genom File hajdar och gul linje utgör placeringen av tvärsektionen genom Västra brottet.

Figur 4-5 Modellens beräkningsnät från sidan. Figuren visar två tvärsektioner genom modellens östra del, från väst till öst, genom File hajdar dagbrott och genom Västra brottet.

4.4 Randvillkor - hydrauliska gränser

För att erhålla en korrekt beskrivning av det studerade flödessystemet är det nödvändigt att modellen täcker ett stort område kring Tingstäde träsk, File hajdar och Slite. De tydligaste naturliga hydrauliska gränserna (randvillkoren) på Gotland är strandlinjerna i väst och öst, vilket betyder att en modell som korrekt ska avbilda grundvattnets regionala flödesmönster (på Gotland) bör vara stor nog för att inkludera strandlinjerna. Det regionala flödesmönstret är av stor betydelse för det lokala flödesmönstret kring t.ex. Cementas dagbrott.

Längs med strandlinjerna är modellen definierad med en konstant grundvattennivå lika med havets (Östersjön) vattennivå, som sätts till 0 möh. De översta cellerna som befinner sig under havet definieras också med grundvattennivån 0 möh.

Modellens övriga yttre gränser har definierats som täta. Eftersom de täta gränserna i norr och söder inte är naturliga gränser är det viktigt att modellen är så stor att dessa gränser befinner sig ett gott stycke från modellens centrala delar. Inget grundvatten eller ytvatten kan strömma lateralt in eller ut ur modellen förutom vid strandlinjerna. Däremot kan nederbörden infiltrera utmed modellens hela ovansida och grundvatten kan utströmma och bilda ytvatten, men bara om systemets hydrauliska tillstånd tillåter det.

Geoan-modellen inkluderar både grundvattenflöde och ytvattenflöde. Nivån på grundvattenytan och storleken på inströmningsområden och utströmningsområden, samt storleken på den lokala grundvattenbildningen, beräknas av modellen. Även storleken på utflödet av grundvatten vid utströmningsområden beräknas av modellen. Randvillkoret på modellens övre yta kan därför sägas vara en varierande grundvattenbildning som beror av grundvattennivån, nettonederbörden, topografin och ytvattenflödena.

Modellens topografi har kontrollerats och justerats så att större vattendrag är korrekt representerade i modellen. Modellens botten är definierad som tät.

Tingstäde träsk är också inkluderad i modellen som ett område med en specificerad vattennivå lika med 44,92 möh.

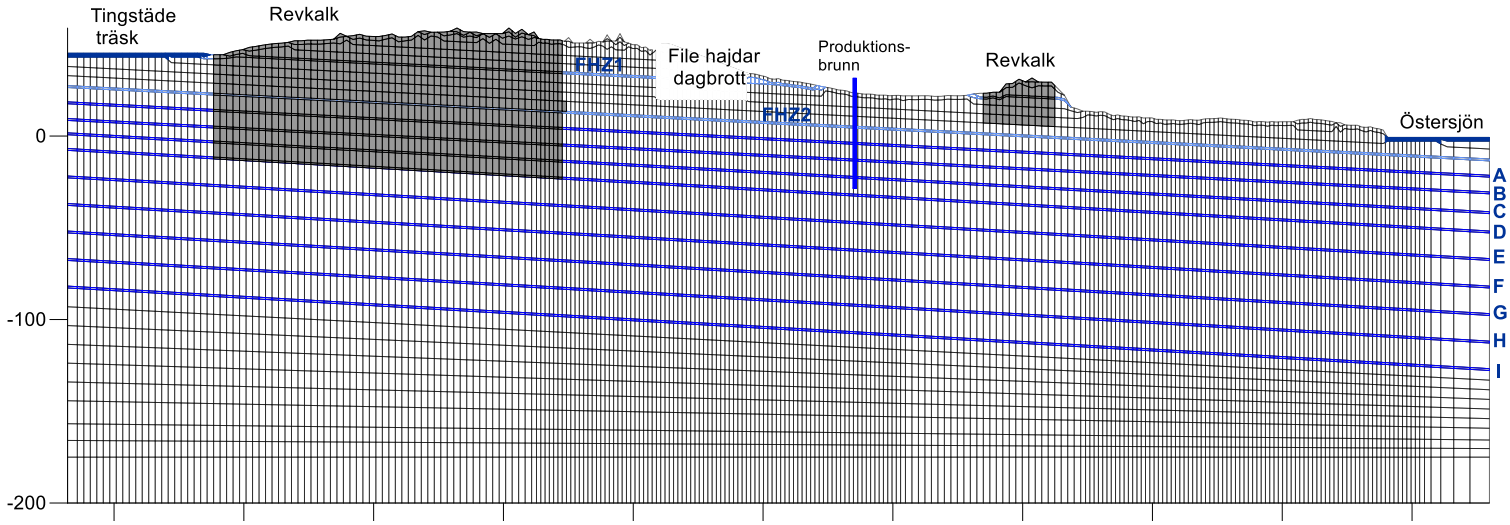
4.5 Vertikal indelning i geologiska och numeriska lager

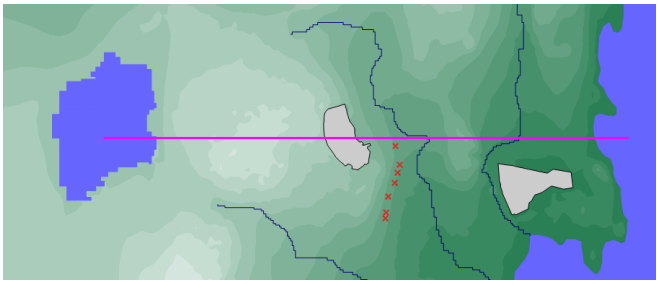
Som tidigare nämnts inkluderar den upprättade modellen 40 numeriska lager vilka redovisar de observerade och antagna vattenförande zonerna och de tätare bergmassorna mellan dessa zoner. I modellen ingår dessutom ett antal lager nedanför de observerade och antagna vattenförande zonerna.

Modellens bas ligger på nivån minus 200 möh. De geologiska lagren (de sedimentära bergarterna) anses kunna väl beskrivas av tre dimensionella plan i rymden, med en viss lutning (strykning och stupning). Nivån på de olika geologiska lagren har i modellen definieras med hjälp av hur dessa lager har observerats i verkligheten, se sektionerna 2.2 och 2.4.1

Hur de numeriska lagren beskriver de geologiska lagren framgår av Figur 4-6. De vattenförande lagren benämns: FHZ1 och FHZ2, samt lager A till I. Lager FHZ1 och FHZ2, samt lager A till D, utgör vattenförande lager som är tolkade från fältdata.

Kvartära avlagringar, dvs. jordarter, definieras i modellens översta lager. Notera att det översta lagret följer topografin. Jordarter är definierade i de centrala delarna av modellen och österut mot Slite, i enlighet med jordartskartan. Jordarter har inte inkluderats i detalj i övriga delar av modellen.





Tvärsnittets position

Figur 4-6 *Ett tvärsnitt i väst-östlig riktning genom File hajdar dagbrott. Figuren visar den konceptuella indelningen i olika lager och strukturer, som dessa är definierade i modellen, samt beräkningsnätets celler. Notera att figuren endast avbildar modellens östra del (File hajdar och Slite). Den vertikala skalan är ca 15 gånger större än den horisontella skalan.*

Vid en jämförelse mellan scenario LT1-2021 (oktober 2021) och Scenario LT2 (ansökt utökning fullt utbrutet) blir skillnaden i storlek på File hajdar dagbrott mycket liten. I denna figur motsvarar utökningen att den västra väggen på File hajdar dagbrott flyttas 100 m mot väster, vilket motsvarar tre celler i figuren ovan (vid täktens västra vägg).

Bokstäverna vid figurens högra sida markerar stora vattenförande zoner, numrerade A till I

4.6 Definition av de kommunala produktionsbrunnarna i den upprättade modellen

Modellen inkluderar de sju kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar (se tex Figur 2-14 och Figur 4-7). Huvudsyftet med modellen är att simulera den nuvarande situationen och framtida situationer; och att jämföra dessa situationer.

I alla simuleringar är produktionsbrunnarna inkluderade med en total produktion som är lika med 220 000 m^3/år. I modellen är sju produktionsbrunnar definierade. Produktionen i de enskilda brunnarna kan variera, och den sydligaste brunnen pumpas normalt inte. Det är den totala produktionen som i modellen (och i verkligheten) är lika med 220 000 m^3/år. Vattennivåerna i de enskilda brunnarna varierar under året. När vi i denna rapport redovisar och diskuterar vattennivån i de kommunala produktionsbrunnarna så är det medelnivån i brunnarna som avses.

Brunnarna skär igenom flera av de vattenförande lagren. Därför definieras brunnarna i flera olika lager i modellen. Brunnarna genomskär vattenförande lager A till D, och FHZ2, förutom de två nordligaste brunnarna som genomskär vattenförande lager A till C, och FHZ2.

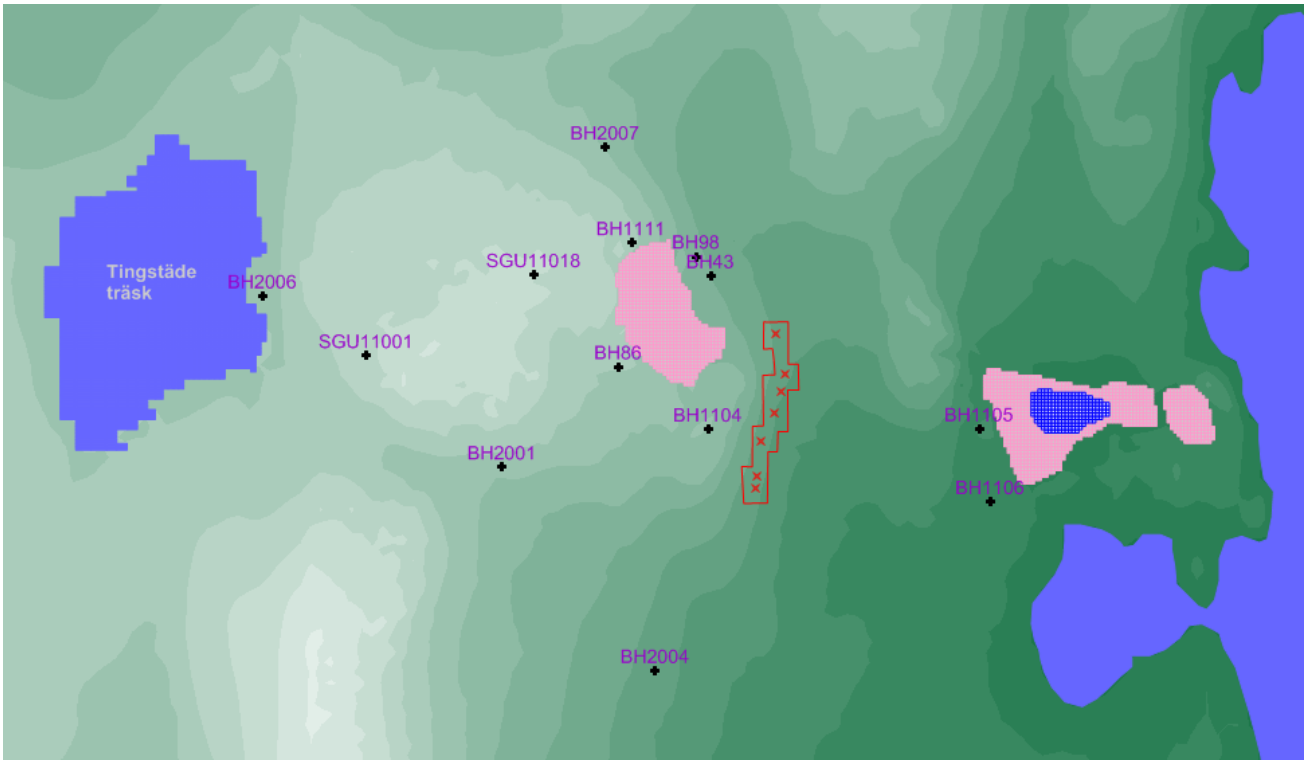
Grundvattennivån (potentialen) i en brunn definieras så att den är densamma i alla lager som genomskärs av brunnen. Randvillkoret för brunnen är en specificerad grundvattennivå (potential). Brunnens produktion (uttaget i brunnen) är också specificerad i modellen. Under modellsimuleringen justerar en algoritm i modellen (automatiskt) vattennivån i varje brunn så att uttaget i brunnarna stämmer överens med uttaget (produktionen). Algoritmen justerar vattennivåerna i varje brunn individuellt, för varje tidssteg i den transienta simuleringen. Det bör noteras att grundvattennivån är densamma i en brunn oavsett vilka lager som brunnen genomskär, men grundvattennivåerna i de omgivande lagren varierar. Teoretiskt kan därför en brunn extrahera vatten från ett lager med höga grundvattennivåer, och samtidigt injicera vatten i ett annat lager med låga grundvattennivåer, även om detta inte är normalfallet. Algoritmen som i modellen justerar vattennivåerna i brunnarna är effektiv: medelfelet i simulerad produktion är mycket litet.

4.7 Krosszonen öster om File hajdar

Produktionsbrunnarna är placerade i en zon med förhöjd genomsläpplighet, som brukar kallas för krosszonen öster om File hajdar. Provpumpningar av produktionsbrunnarna (Viak 1974 och 1981) visar att brunnarna är placerade i en linjär formation. Pumpresultaten når ingen begränsning i längd på formationen, *”zonens bredd har uppskattats till 550m och dess utsträckning i längdled har genom provpumpningar belagts till minst 2 km*” (Viak 1974 och 1981)

I modellen har krosszonen inkluderats. Krosszonen är en del av en trolig beskrivning av det studerade systemet. Ett område öster om File hajdar, med nord-sydlig utbredning, har definierats som krosszonen. I modellen är krosszonens bredd satt till 250 m och längden är satt till c:a 2 km. Konceptuellt representerar krosszonen ett område med förhöjd frekvens av vertikala sprickor. Krosszonen är alltså inte definierad som ett smalt lineament i modellen, utan som ett större område. Det exakta läget på detta område (krosszonen) är osäkert, området kan vara större eller mindre, det kan sträcka sig längre mot norr eller mot söder, det kan vara rakt eller böjt. Områdets form är dock inte av avgörande betydelse, vad som är av större betydelse är områdets genomsläpplighet och storlek. Krosszonens horisontala utbredning, som den är definierad i modellen, framgår av Figur 4-7, nedan.

Krosszonen öster om File hajdar är inkluderad i modellen som en ökning av den vertikala genomsläppligheten i de lågpermeabla lagren (mellan de vattenförande lagren) med en faktor lika med 7.



Figur 4-7 *Krosszonens horisontala utbredning, som den är definierad i modellen, framgår av den röda linjen i figuren ovan. Produktionsbrunnarna är markerade med röda kryss. Dagbrotten är markerade med skär färg. Den vattenfyllda pall 2 är markerad med blå färg.*

4.8 Representativ grundvattennivå i brunnar

Den upprättade modellen är tredimensionell och inkluderar 40 olika lager. Grundvattennivåerna är normalt olika i alla 40 lager, även om skillnaderna kan vara små. Ett av syftena med denna modellstudie är att beräkna grundvattennivåerna i bergborrade brunnar. Ett representativt värde för de varierande grundvattennivåerna längs ett vertikalt borrhål kan beräknas som ett viktat medelvärde, där grundvattennivån i varje lager (i borrhålet) viktas mot lagrets transmissivitet. Därmed kommer de mest genomsläppliga lagren att ha störst betydelse för grundvattennivån i borrhålet. Detta stämmer med verkligheten. Grundvattennivån i ett borrhål bestäms till stor del av grundvattennivåerna i de mest genomsläppliga lagren. Mediandjupet för bergborrade brunnar inom det studerade området är nära 47 m. När vi i denna studie har beräknat en representativ grundvattennivå i en brunn har vi analyserat brunnar med djupet 47 m. Vi antar också att de översta 5 m i brunnen är tätade mot omgivningen. Detta antagande görs för att inte grundvattennivån i de översta lagren, t.ex. lösa jordarter, ska påverka brunnens vattennivå. I verkligheten är brunnarnas översta del ofta tätad mot omgivningen för att förhindra att ytligt vatten i de lösa jordlagren ska läcka in i brunnen. I verkligheten varierar längden på denna tätning med djupet på de lösa jordlagren och är ofta mindre än 5 m. I modellen har vi ansatt ett konstant värde eftersom vi analyserar hela modellen utan att särskilt beakta det lokala djupet på de lösa jordlagren.

4.9 Genomsläpplighet (K-värden) etc.

De värden på genomsläpplighet, hydraulisk transmissivitet och konduktivitet, som tilldelats modellen framgår av Tabell 4-1, Figur 4-11 och Figur 4-12.

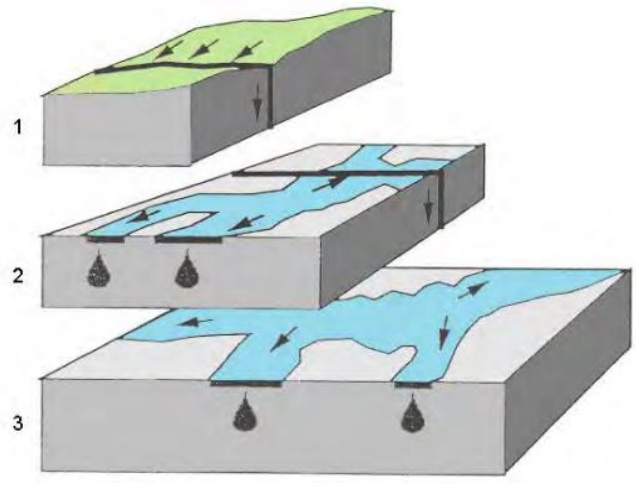
Genomsläppligheten på de subhorisontella lagren i den upprättade modellen baseras på de utförda fältundersökningarna och genom kalibreringen av den hydrogeologiska grundvattenmodellen. Kalibreringen av modellen diskuteras i Kapitel 4.10.

Bergmassans genomsläpplighet är mycket heterogen. I verkligheten förekommer en betydande variation av genomsläppligheten (K-värdena) inom de vattenförande lagren, t.ex. förekommer ofta hög-genomsläppliga kanaler i det vattenförande lagrets subhorisontella plan. Se Figur 4-8.

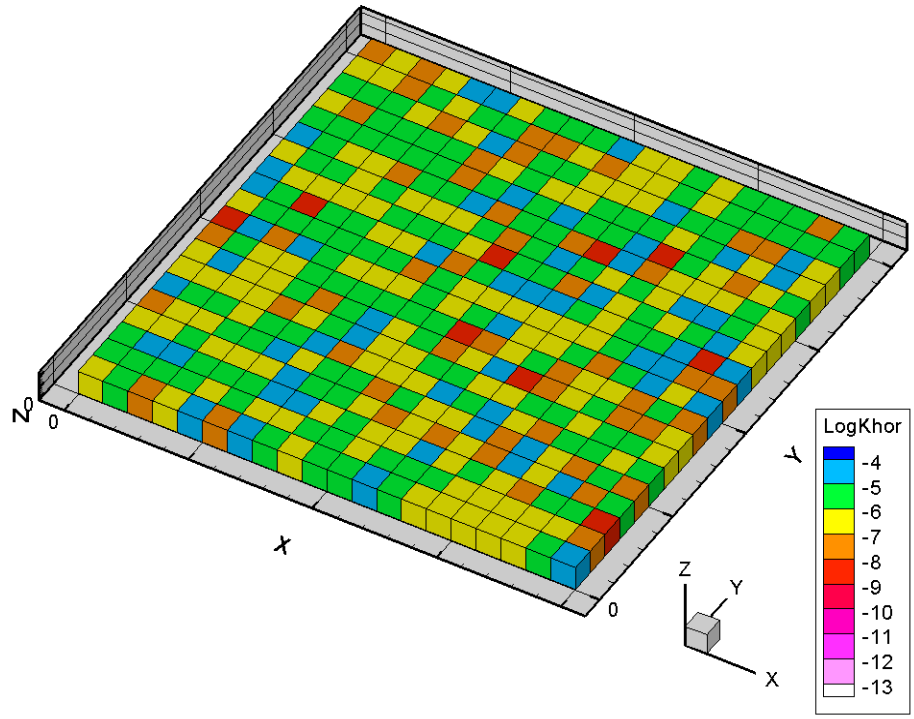
Även mellan de vattenförande lagren varierar genomsläppligheten kraftigt pga. förekomsten av vertikala sprickor i det i övrigt lågpermeabla berget.

Denna heterogenitet är inkluderad i modellen, genom att K-värdena har specificerats som heterogena. Alltså varierar K-värdena från beräkningscell till beräkningscell. Varje cell har ett individuellt K-värde. Heterogeniteten baseras på en beskrivning av ett stokastiskt kontinuum. Se Figur 4-9. Den heterogena beskrivningen av bergets genomsläpplighet gör att grundvattenflödet delvis kanaliserar till stråk med hög genomsläpplighet. Se Figur 4-10.

Beräkningscellernas K-värden varierar baserat på korrigerade (kalibrerade) log-normal-fördelningar. Variationens storlek baseras på erfarenheter från sprickigt berg. Bergets heterogenitet är av betydelse och påverkar storleken på inflöde till dagbrotten och även dagbrottens influensområde.

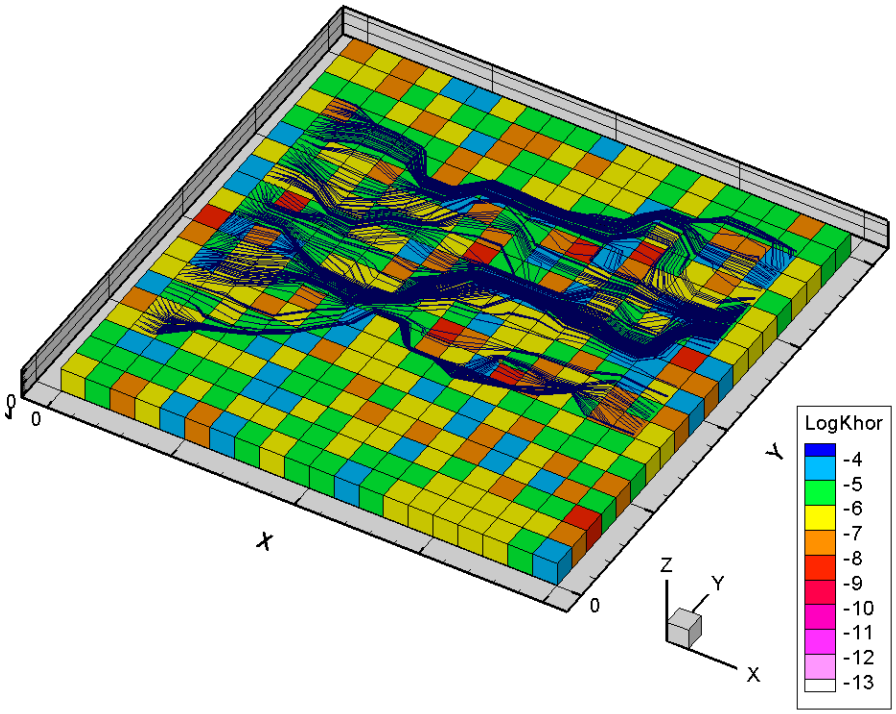


Figur 4-8 Konceptuell beskrivning av heterogen genomsläpplighet längs med vattenförande lager.



Vattenförande lager. Heterogena egenskaper via ett stokastiskt kontinuum. (principskiss)

Figur 4-9 *Numerisk (matematisk) beskrivning av heterogen genomsläpplighet längs med vattenförande lager.*



Vattenförande lager. Flödesvägar i längs med lagrets heterogena egenskaper (principskiss)

Figur 4-10 *Numerisk (matematisk) beskrivning av heterogen genomsläpplighet längs med vattenförande lager, tillsammans med flödesvägar som illustrerar grundvattenflödet i det vattenförande lagret.*

Lokalt kring produktionsbrunnarna (den kommunala vattentäkten) har K-värdena kalibrerats så att både vattennivån i brunnarna och uttagen i brunnarna stämmer väl med uppmätta värden. Denna kalibrering utförs delvis automatisk i modellen.

De heterogena K-värdena, som definieras av log-normal-fördelningar, är justerade inom vissa områden, genom att de initiala K-värdena är multiplicerade med kalibreringsfaktorer. Ett sådant område är krosszonen, som diskuteras i Kapitel 4.7. Inom detta område är framförallt de vertikala K-värdena stora. Baserat på fältundersökningarna har också K-värdena i ett begränsat område i södra delen av File hajdar gjorts generellt större. Genomsläppligheten i andra områden har också korrigerats.

De vattenförande lagrens genomsläpplighet efter kalibrering (korrigering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-11.

De icke vattenförande lagrens genomsläpplighet efter kalibrering (korrigering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-12.

Modellen har också tilldelats värden på magasinskoefficienten, för den del av modellen i vilken mättat grundvattenflöde förekommer (Ekvation 3-1). Magasinskoefficienten har satts lika med: 1E-6 [1/m]. I den numeriska lösningsproceduren är magasinskoefficienten kombinerad med en överrelaxeringsfaktor. Från en matematisk betraktelse av Ekvation 3-1 kan man dra slutsatsen att magasinskoefficienten fungerar som en tidsberoende underrelaxering av grundvattennivåns förändring. Den kan därför kombineras med en överrelaxeringsfaktor i den numeriska lösningsproceduren. Orsaken till kombinationen av en fysisk egenskap (magasinskoefficienten) med en numerisk parameter (överrelaxeringsfaktorn) är en önskan om att optimera beräkningstiderna och göra dessa så korta som möjligt. Syftet med de transienta simuleringarna är inte att kalibrera eller beräkna en magasinskoefficient, utan att på ett effektivt vis efterlikna den uppmätta variationen i grundvattennivå under ett studerat normalår.

Tabell 4-1 Värden på hydraulisk genomsläpplighet som tilldelats modellen.

Kvartära avlagringar etc.

Allmänt	K = 1E-7 m/s
Torv	K = 1E-8 m/s
Kalkgyttja	K = 1E-8 m/s
Vittrrat berg	K = 1E-5m/s
Sand	K = 5E-5 m/s
Grus	K = 1E-4 m/s

Sjöbottensediment i Tingstäde träsk: K = 1E-8 m/s, tjocklek= 1m.

Berget

Låg-permeabelt berg K = 4E-9 till 1E-10m/s

Vattenförande lager FHZ1: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 1.0E-7 m^2/S

Vattenförande lager FHZ2: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 2.31E-6 m^2/S

Vattenförande lager A: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 3.87E-6 m^2/S

Vattenförande lager B: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 3.50E-6 m^2/S

Vattenförande lager C: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 3.64E-6 m^2/S

Vattenförande lager D: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 3.05E-6 m^2/S

Vattenförande lager E: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 3.24E-6 m^2/S

Vattenförande lager F: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 9.08E-7 m^2/S

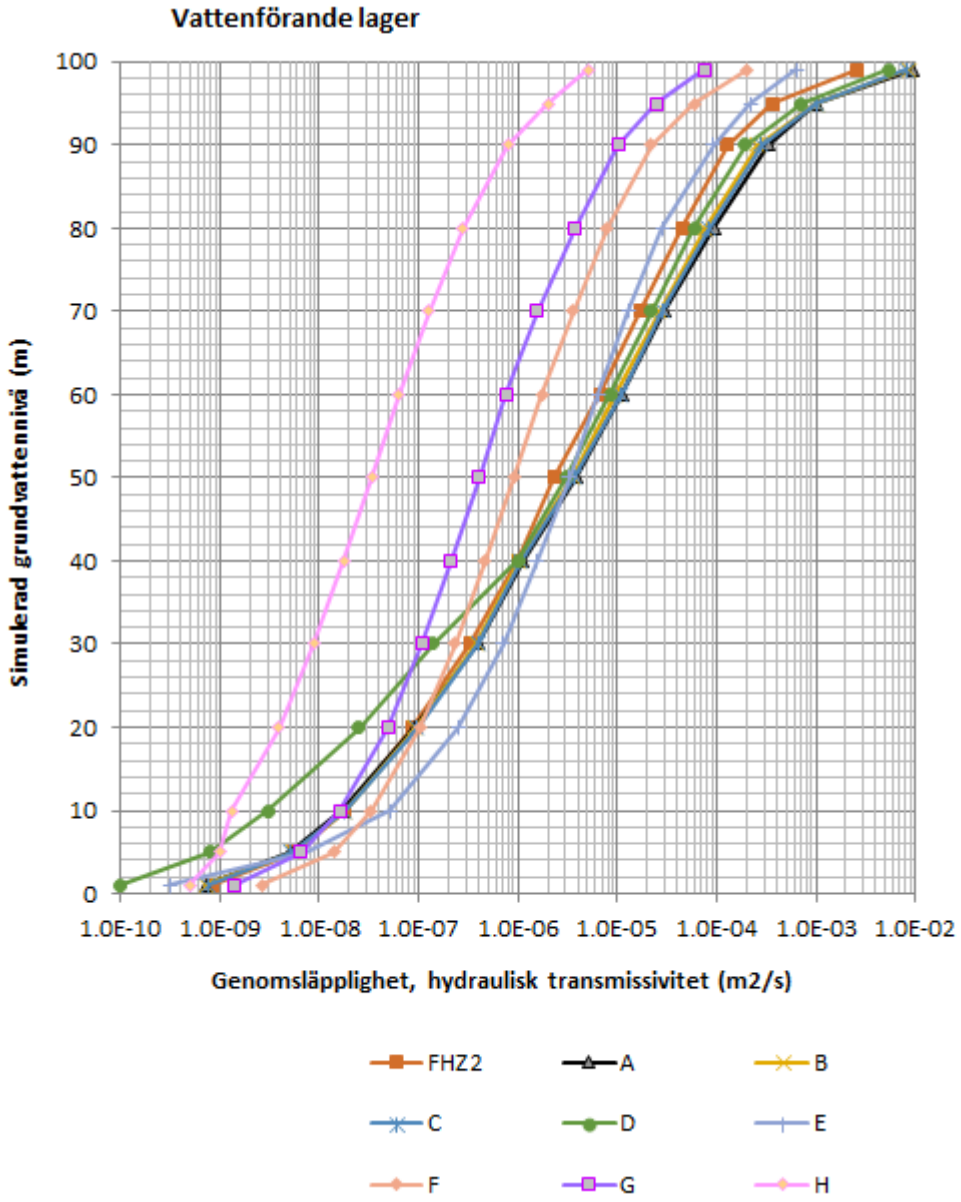
Vattenförande lager G: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 4.05E-7 m^2/S

Vattenförande lager H: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning = 3.4E-8 m^2/S

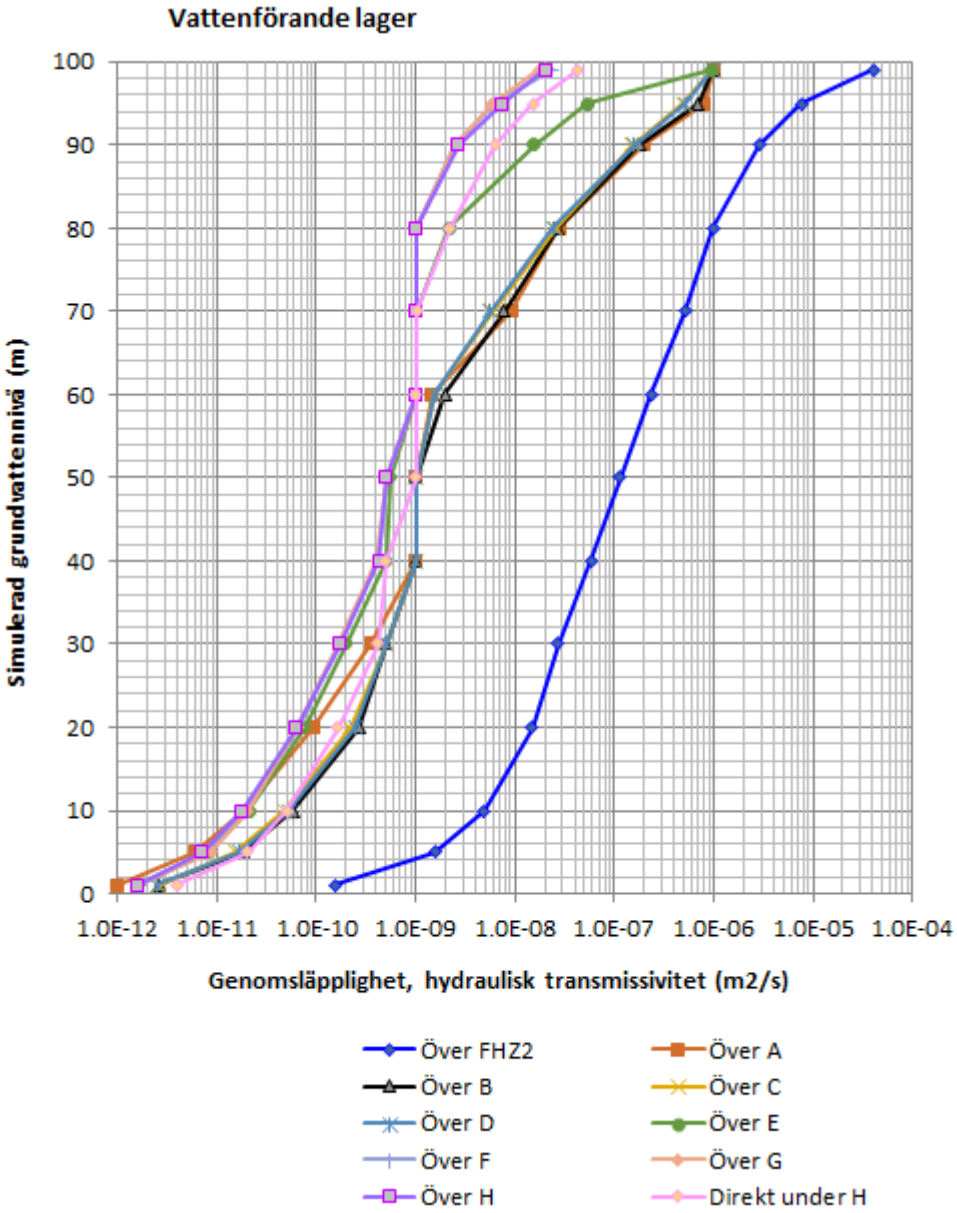
De kalibrerade Log-normalfördelningarna som beskriver bergets egenskaper har definierats med en standardavvikelse som för de Logaritmerade värdena är >= 1.0, Variansen framgår av Figur 4-11.

Djupa lager lager E: Konduktivitet_horisontalt = 5E-9 m/s. Konduktivitet_vertikalt = 5E-10 m/s

---



Figur 4-11 Statistisk fördelning av T-värden (transmissivitet) i de vattenförande zonerna.



Figur 4-12 Statistisk fördelning av K-värden (konduktivitet) i bergmassan mellan de vattenförande zonerna.

4.10 Kalibrering

4.10.1 Den nuvarande situationen (år 2021)

Denna studie har omfattat dels den nuvarande situationen, dels olika framtida beräkningsfall. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1 och Figur 5-2. Den nuvarande situationen (2021), representeras av situationen under 2021. Modellen har kalibrerats för denna situation.

Scenario LT1B-2021: Den kalibrerade beskrivningen. Nuvarande situation (2021).
Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra och Östra dagbrotten brutet ned till -26 möh. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån -31 möh.
Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Dränerat.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

4.10.2 Metodik

Med kalibrering menas att data och resultat som fås ut ur modellen stämmer överens med uppmätt data. Kalibreringen har utförts för en situation som motsvarar förhållanden under 2021, **Scenario LT1B-2021**. Modellen är kalibrerad mot följande uppmätta data, se Tabell 4-2. Det är kalibreringens syfte att reproducera dessa uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans.

Tabell 4-2 Kalibreringsmål, modellen är kalibrerad mot följande uppmätta data.

- Transient inflöde till File hajdar dagbrott.
- Transient inflöde till Västra och Östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellenen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv.

Det studerade systemet är mycket komplext och bergmassans egenskaper är heterogena, och det finns därför ingen helt unik lösning för kalibreringen. Den kalibrerade modellen är det alternativ som bedöms vara det mest troliga. Alla beskrivningar som ligger nära den grundläggande geologiska tolkningen och som kan kalibreras ligger mycket nära den kalibrerade modellens beskrivning. Beskrivningar som tydligt avviker från den kalibrerade beskrivningen kan inte kalibreras mot uppmätta data. Kalibreringen analyseras och diskuteras också i en sensitivitetsanalys, se sektion 4.10.3 (nedan) och Appendix, kapitel 15.

Kalibreringen är tidsberoende (transient) och redovisar det studerade systemets variation under ett medelår/normalår. Syftet med att utföra en transient kalibrering, som är komplicerad och tidsödande, är att upprätta en modell som kan simulera hur de framtida grundvattennivåerna kommer att variera under ett teoretiskt medelår/normalår. Detta möjliggör en analys av både högvattensituationen (vinter) och lågvattensituationen (sommar). De simulerade regionala grundvattennivåerna på långt avstånd från Slite är inte kalibrerade i detalj.

Det ska påpekas att den stora variationen (amplituden) i grundvattennivå under ett normalår, upp till ca 30 m, gör de transienta simuleringarna mycket beräkningsintensiva, med långa beräkningstider.

Kalibreringen utfördes för en situation med dagbrotten definierade med den storlek som dagbrotten hade i oktober 2021. Pall 2 i Västra brottet simulerades som delvis vattenfylld. Nettonederbörden är den som angivits i Kapitel 2.5.

Kalibreringsmetodikens syfte är att nå fram till de kalibreringsmål som anges i Tabell 4-2. Metoden för att nå kalibreringens mål var att justera egenskaperna för de statistiska fördelningar som definierar de olika lagrens heterogena K-värden och magasinsegenskaper, både lokalt och regionalt. Ett stort antal transienta simuleringar utfördes för att nå kalibreringsmålen.

De statistiska fördelningarnas egenskaper justerades baserat på en kombinerad metodik som både inkluderade en automatisk nätverksmetod (Geoan PAC, Holmén 2021) och manuell ”trial and error” metodik. Det studerade systemets komplexitet gör det omöjligt att använda en helt automatisk kalibreringsmetodik. Det är de kalibrerade (justerade, korrigerade) fördelningarna som visas i Figur 4-11 och i Figur 4-12.

Den transienta simuleringen använder olika värden på nettonederbörden för varje månad (se Tabell 2-2 och Tabell 2-3). För kalibreringen upprepades det studerade normalåret så att magasinseffekter i början och slutet av året utjämnas.

4.10.3 Sensitivitetsanalys

Kalibreringen analyseras och diskuteras i en sensitivitetsanalys, se Appendix, kapitel 15. Sensitivitetsanalysen visar att kalibreringen får en god bestämmande kraft när alla de olika kalibreringsmålen utvärderas tillsammans och samtidigt. Det är viktigt att modellen kalibreras tidsberoende mot både vattennivå och vattenflöde samtidigt. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än att bara kalibrera mot vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; det är också en mer bestämmande kalibrering än att bara kalibrera mot inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

4.10.4 Grundvattennivåer i observationsbrunnar

Kalibrering av grundvattennivåer avser de varierande nivåerna under ett normalår, från högvatten under höst och vinter till lågvatten under vår och sommar. Kalibreringen fokuserades på att reproducera grundvattensituationen under slutet på sommaren då vattennivåerna är de lägsta (lågvattensituationen), eftersom detta är den mest känsliga situationen med avseende på vattenförsörjning och även en känslig situation för växter och djurliv. Vid högvattensituationen under höst och vinter är vattennivåerna höga och högvattensituationen är därmed av mindre intresse,

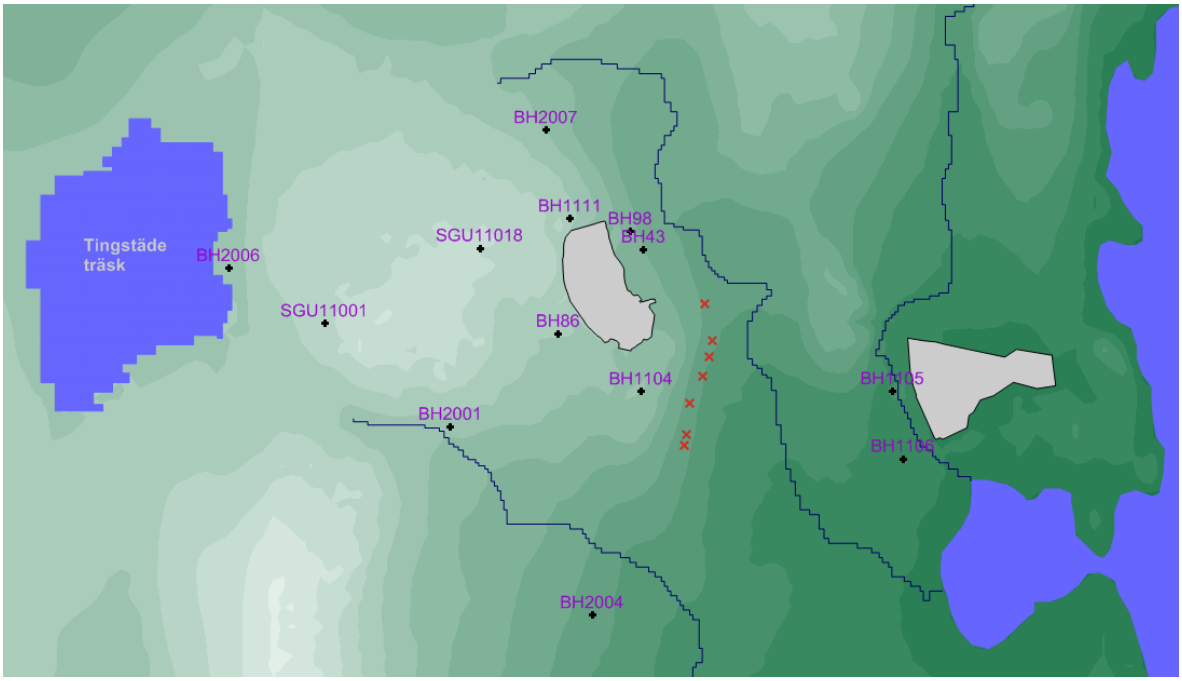
Med avseende på grundvattennivåer så har kalibreringen av den transienta lågvattensituationen baserats på lågvattensituationen i borrhålen som visas i Figur 4-13. Kalibreringen har dessutom

baserats på lågvattennivåerna i de kommunala produktionsbrunnarna. De studerade borrhålen är utspridda över stora delar av det studerade området, därmed får kalibreringen en god täckning av hela det studerade området-

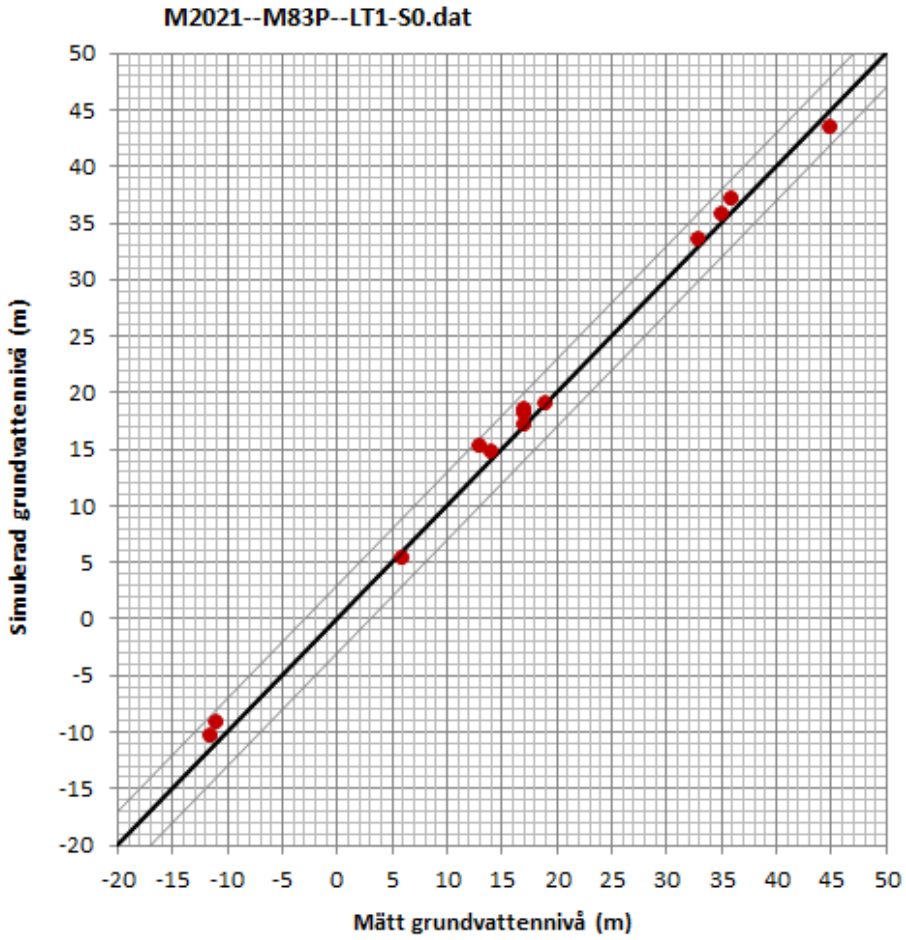
Resultatet av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunnar visas i Figur 4-14. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. Notera att de kalibrerade grundvattennivåerna varierar från -12 möh till +45 möh. Figuren visar en god överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade grundvattennivåer.

Som exempel på den simulerade årliga variationen i grundvattennivå visas resultatet av kalibreringen för ett normalår, för borrhål BH2001, BH2004, BH86 och BH1105. Se Figur 4-15, Figur 4-16, Figur 4-17 och Figur 4-18. Kalibrerade grundvattennivåer kring dagbrotten för högvattensituationen i december visas i Figur 4-19. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m. Kalibrerade grundvattennivåer kring dagbrotten för lågvattensituationen i juli visas i Figur 4-20. Figurerna visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Den stora variationen i grundvattennivå under året framgår tydligt av figurerna

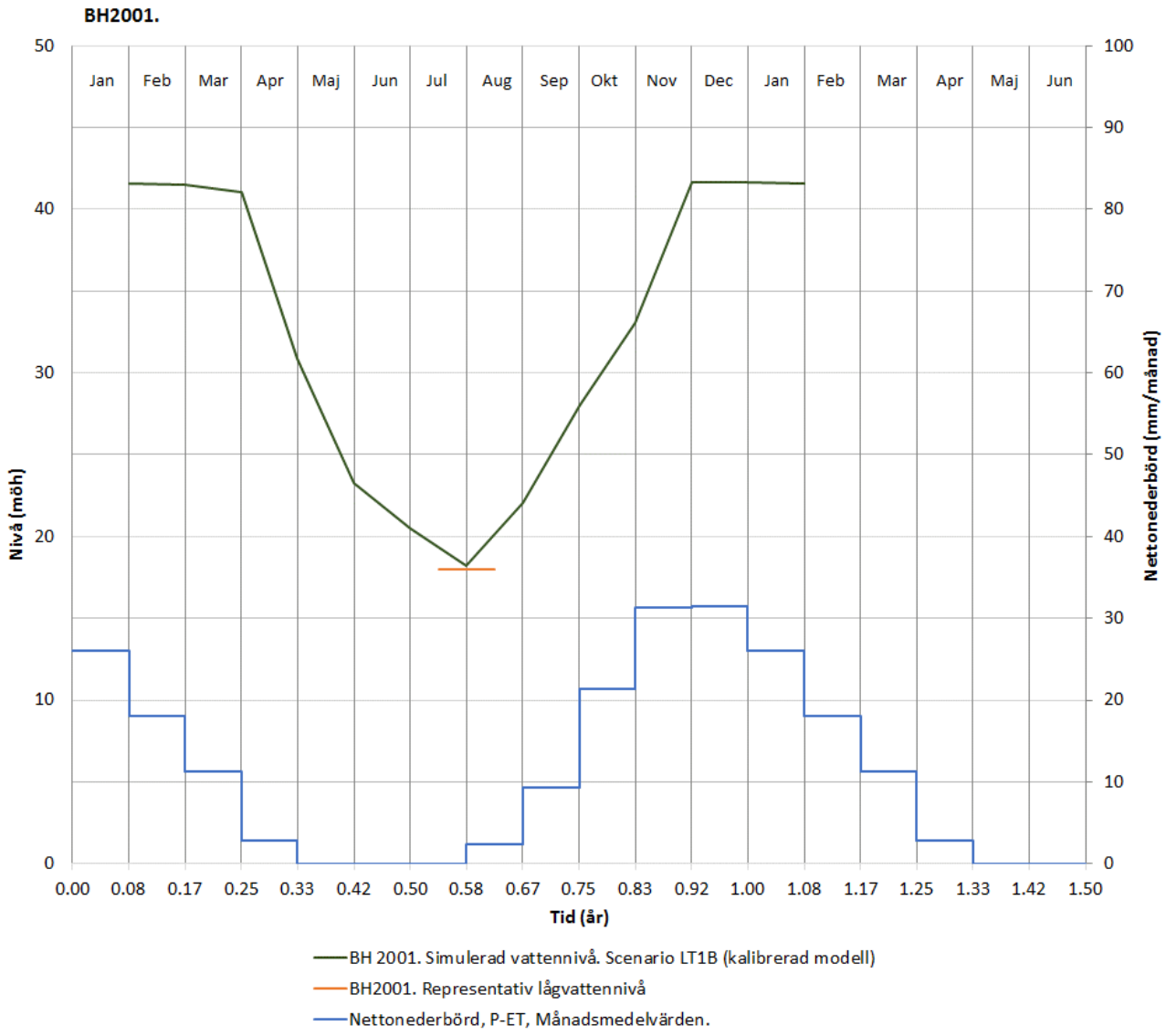
En visualisering av hur grundvattennivåerna i berg varierar under ett normalår presenteras i Appendix, se sektion 17. Visualiseringen baseras på den beräknade grundvattenytan för den ansökta situationen. Figurerna är dock inte baserade på den slutliga kalibrerade modellen och stämmer därför inte nödvändigtvis exakt med uppmätta värden. Figurerna visar principen för hur grundvattennivån (grundvattenytan) varierar. Figurerna visar tex att botten på File hajdar dagbrott under sommaren kan ligga ovanför grundvattenytan.



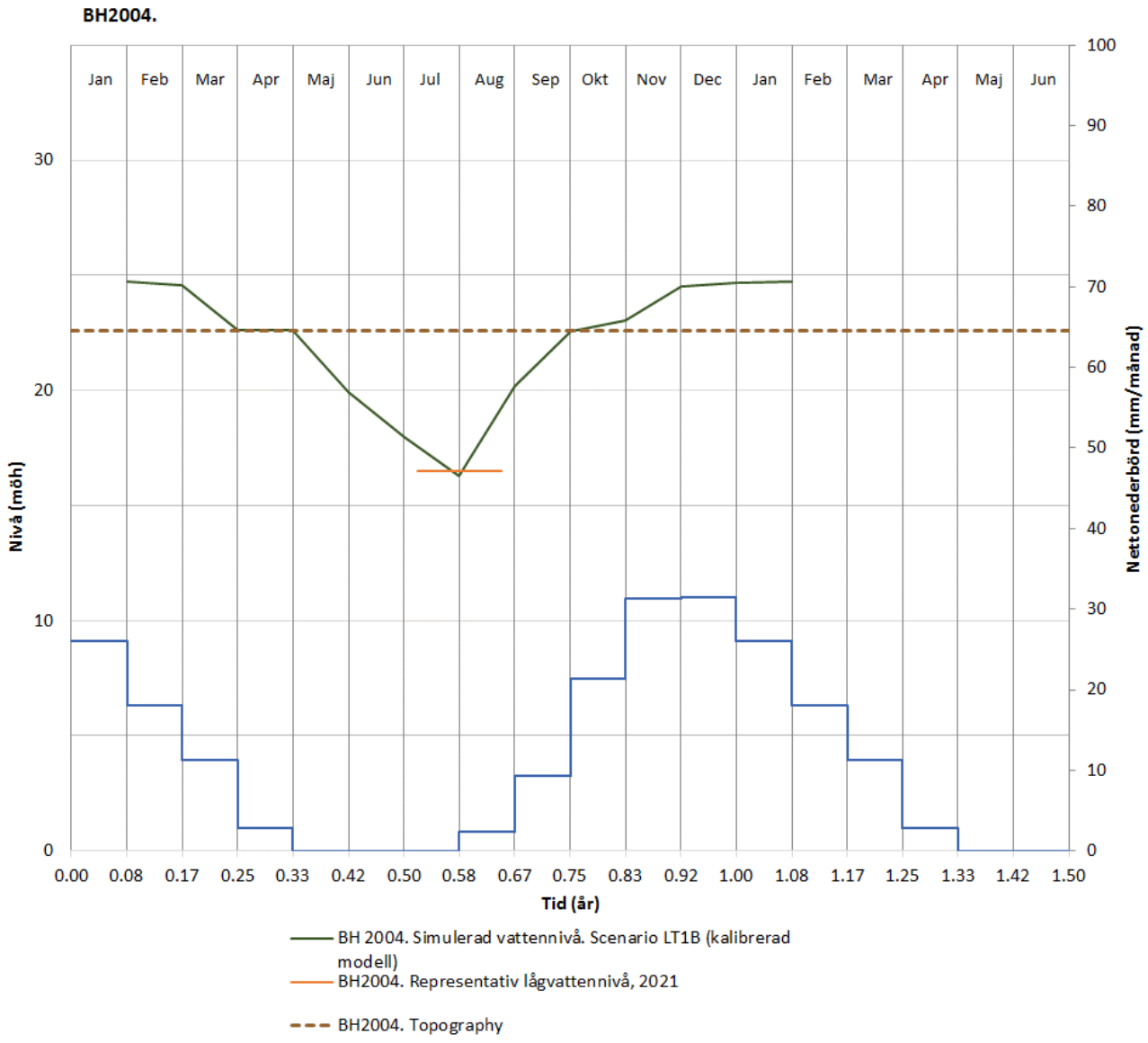
Figur 4-13 Borrhål som inkluderats i kalibreringen.



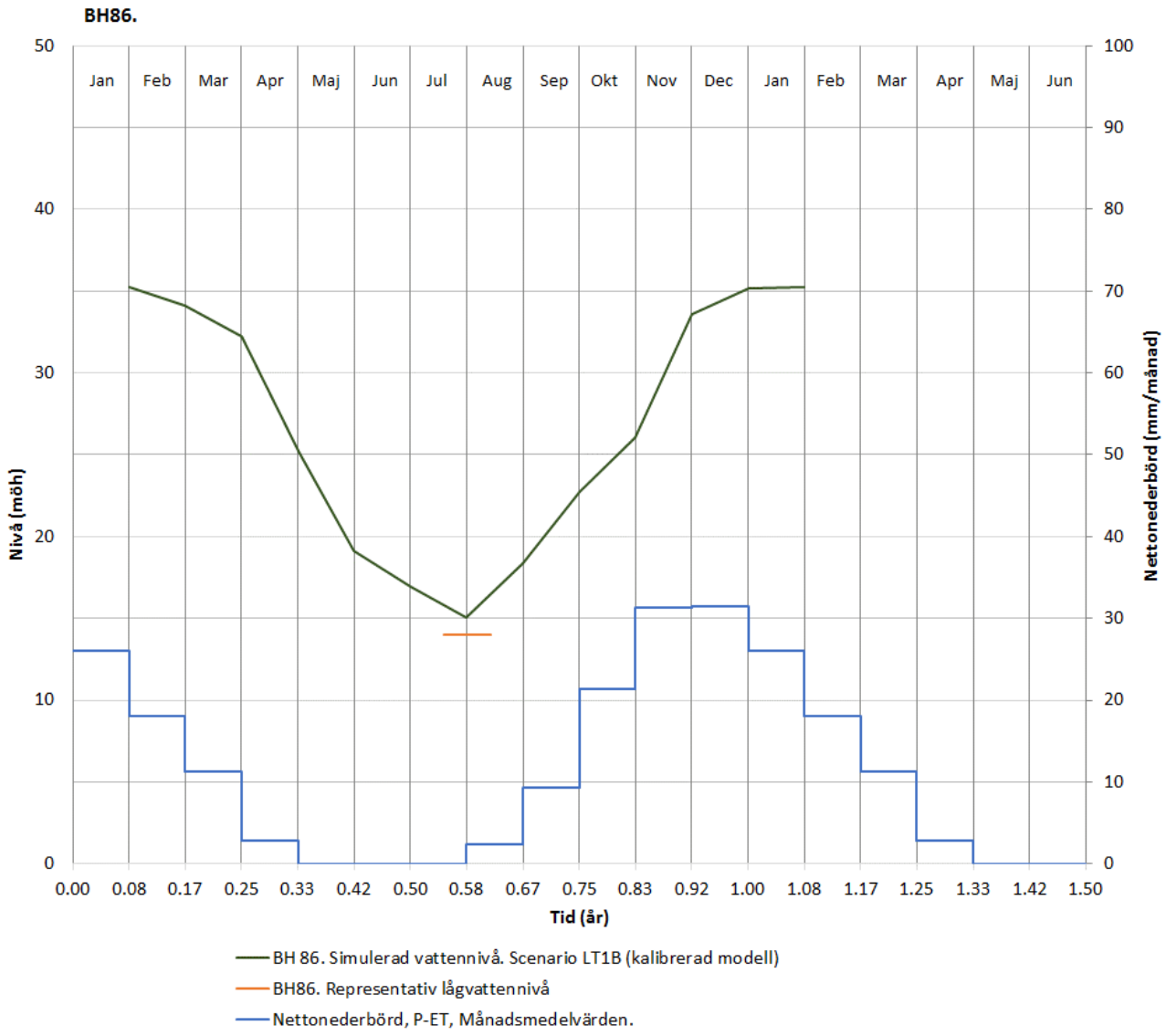
Figur 4-14 *Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunnar. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. Notera att de kalibrerade grundvattennivåerna varierar från -12 möh till +45 möh.*



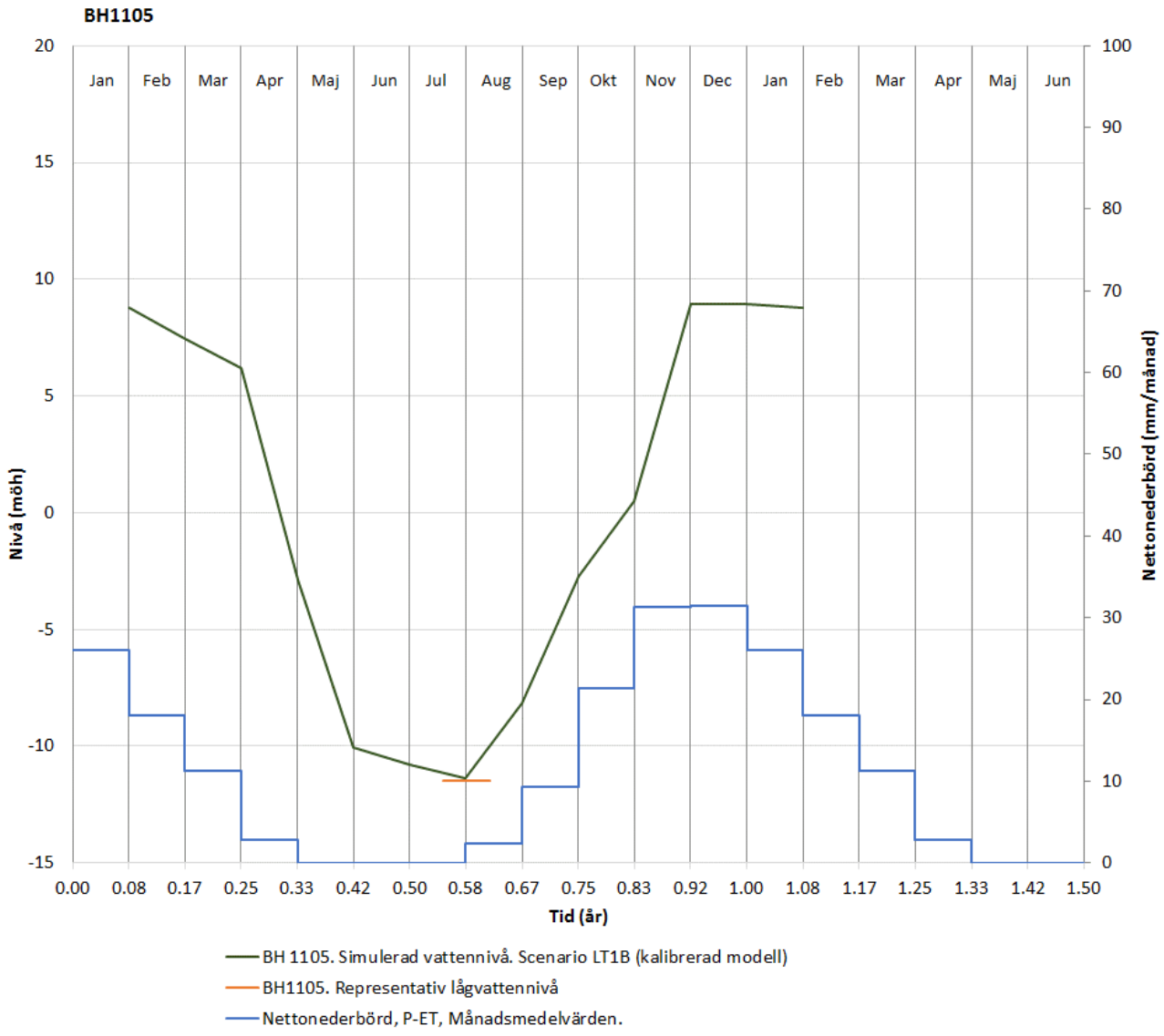
Figur 4-15 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn BH2001. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.



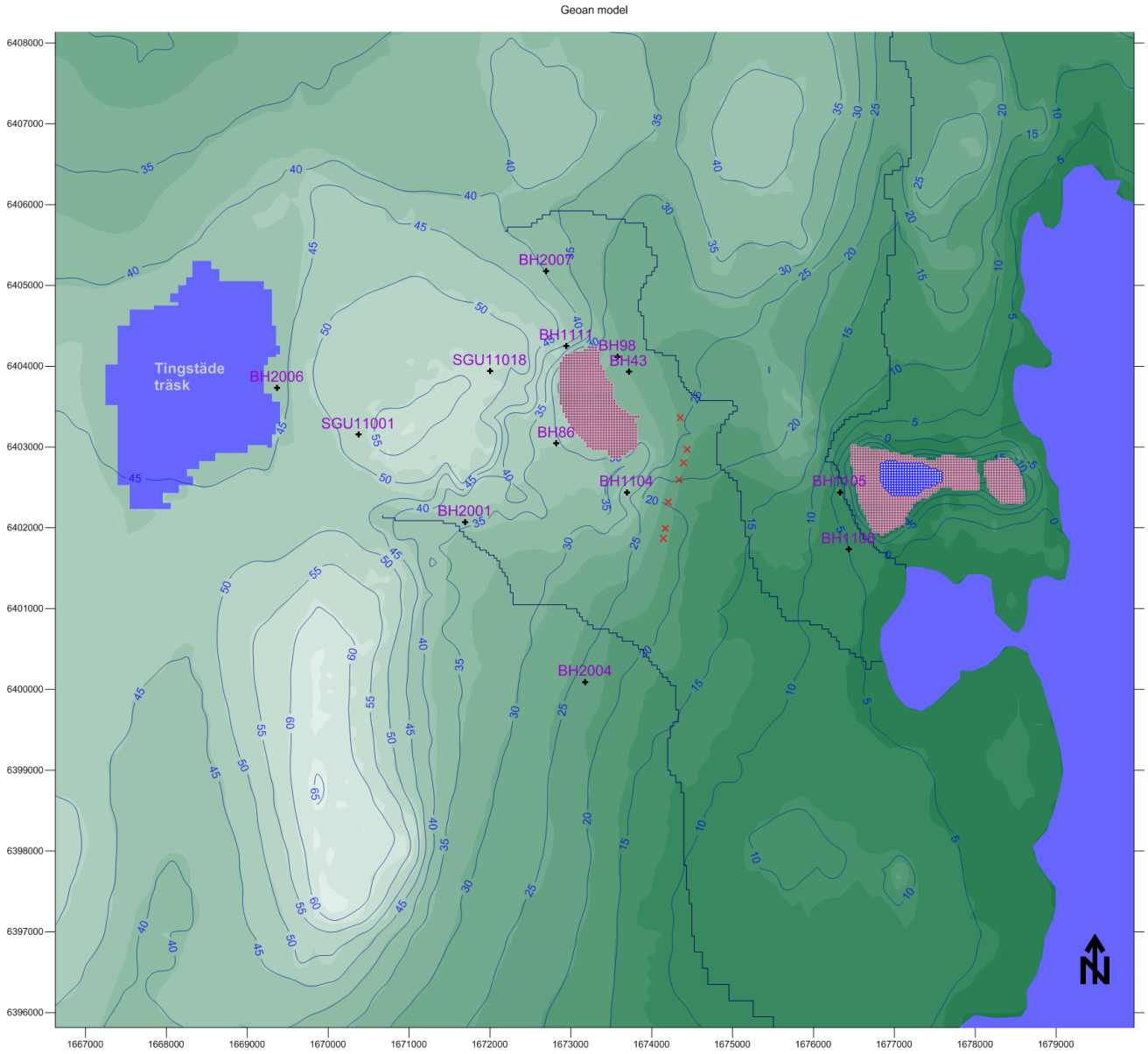
Figur 4-16 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn BH2004. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.



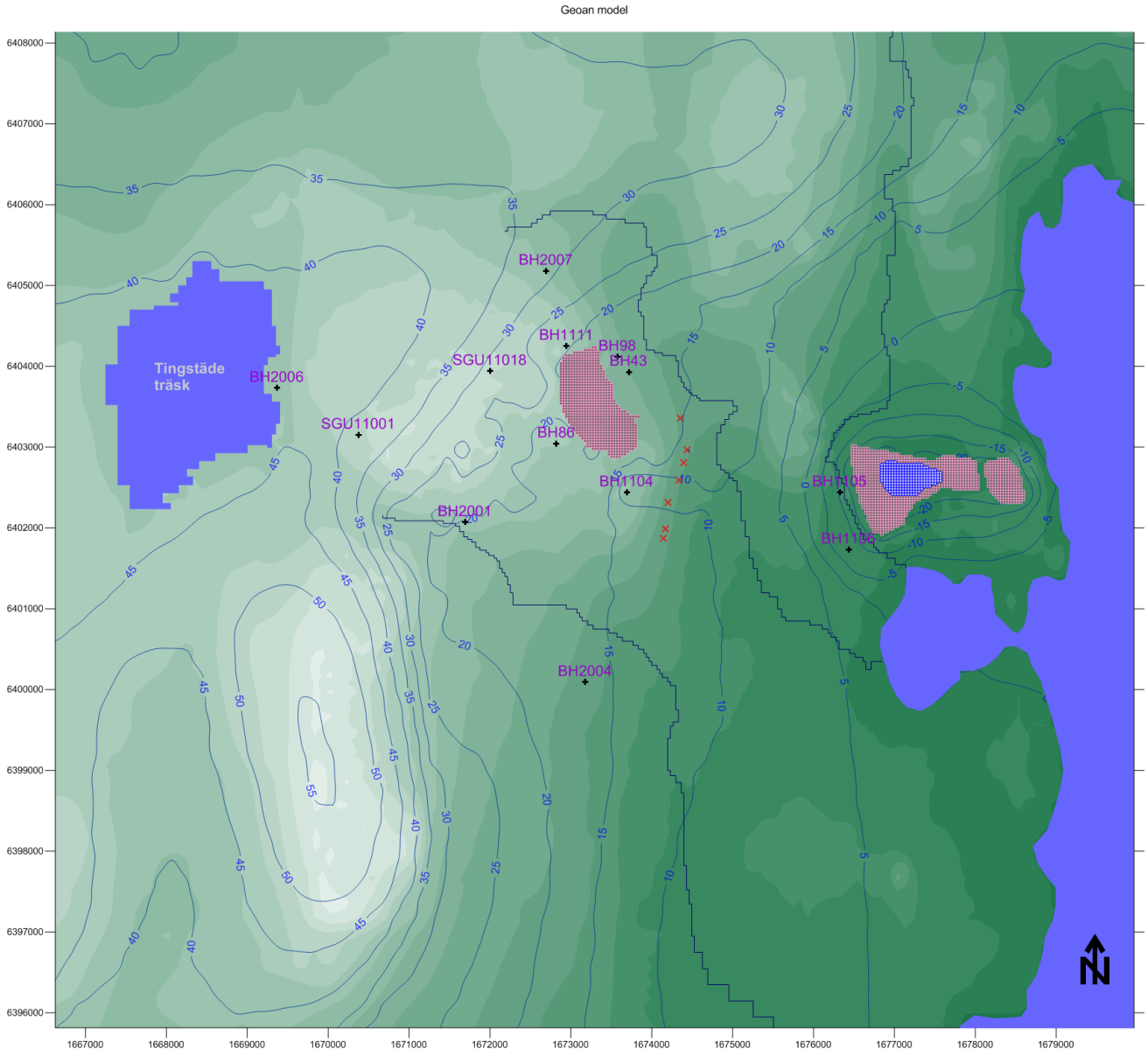
Figur 4-17 *Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn BH86. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.*



Figur 4-18 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn B1105. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.



Figur 4-19 Scenario LT1B (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för högvattensituationen i december. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).



Figur 4-20 Scenario LT1B (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för lågvattensituationen i juli. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).

4.10.5 Vattenbortledning från dagbrotten

Vattenbortledningen från dagbrotten är summan av grundvatteninflödet till dagbrotten och nettonederbörden som faller över dagbrotten. Dessa flöden pumpas ut ur dagbrotten, eller ansamlas i dagbrotten (tex i pall 2 i Västra brottet). Vattenbortledningen diskuteras i Sektion 2.7. Uppmätta värden för år 2021 visas i Tabell 2-5. Representativa värden för år 2021 visas i Tabell 2-6. Modellen har kalibrerats mot de representativa värdena.

Den simulerade och kalibrerade vattenbortledningen från File hajdar dagbrott visas i Figur 4-21. Det kalibrerade totalflödet för hela året är en överskattning med ca 3% i jämförelse med det representativa värdet för år 2021. För hela året utgör andelen grundvatten 44%.

Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, grundvatten = 300 000 m^3/år
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, nettonederbörd= 380 000 m^3/år
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, totalt = 680 000 m^3/år

Under sommaren ligger de uppmätta grundvattennivåerna kring File hajdar dagbrott nära eller under bottennivån på dagbrottet. Detta betyder att grundvatteninflödet till dagbrottet är minimalt under sommaren. Detta reproduceras av den kalibrerade modellenen.

Den simulerade och kalibrerade vattenbortledningen från Västra och Östra brotten visas i Figur 4-22. Det kalibrerade totalflödet för hela året är en underskattning med c:a 4% i jämförelse med det representativa värdet för år 2021. För hela året utgör andelen grundvatten 52%.

Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, grundvatten = 610 000 m^3/år
Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, nettonederbörd= 570 000 m^3/år
Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, totalt = 1 180 000 m^3/år

4.10.6 Andelen grundvatteninflöde - Jämförelse med tidigare modeller

Nedan diskuteras andelen grundvatteninflöde i den upprättade modellen i jämförelse med tidigare modellstudier.

<u>Kalibrering av Modell 2017</u>
Dagbrotten inkluderades med den storlek de hade 2016.
Kalibreringen av Modell 2017 baserades på uppskattad vattenbortledning 2014 – 2015.
Vattenbortledningen från **File hajdar** dagbrott uppskattades till 470 000 m^3/år.
Vattenbortledningen från **Västra och Östra brotten** uppskattades till 1 500 000 m^3/år.
I Modell 2017 uppskattades vattenbortledningen bestå av c:a 70% grundvatten och c:a 30% nettonederbörd.

<u>Kalibrering av Modell 2021</u>
Dagbrotten inkluderades med den storlek de hade 2021.
Kalibreringen av Modell 2021 baserades på en uppskattning av vattenbortledningen, som i sin tur baseras på en trendanalys av vattenbortledningen under perioden 2013 - 2021. De uppskattade värdena på vattenbortledningen representerar därför bättre ett normalår än de uppskattningar som gjordes för de tidigare modellstudierna.
För år 2021 har vattenbortledningen från **File hajdar** dagbrott uppskattats till 660 000 m^3/år.
För år 2021 har vattenbortledningen från **Västra och Östra** brotten uppskattats till 1 200 000 m^3/år.

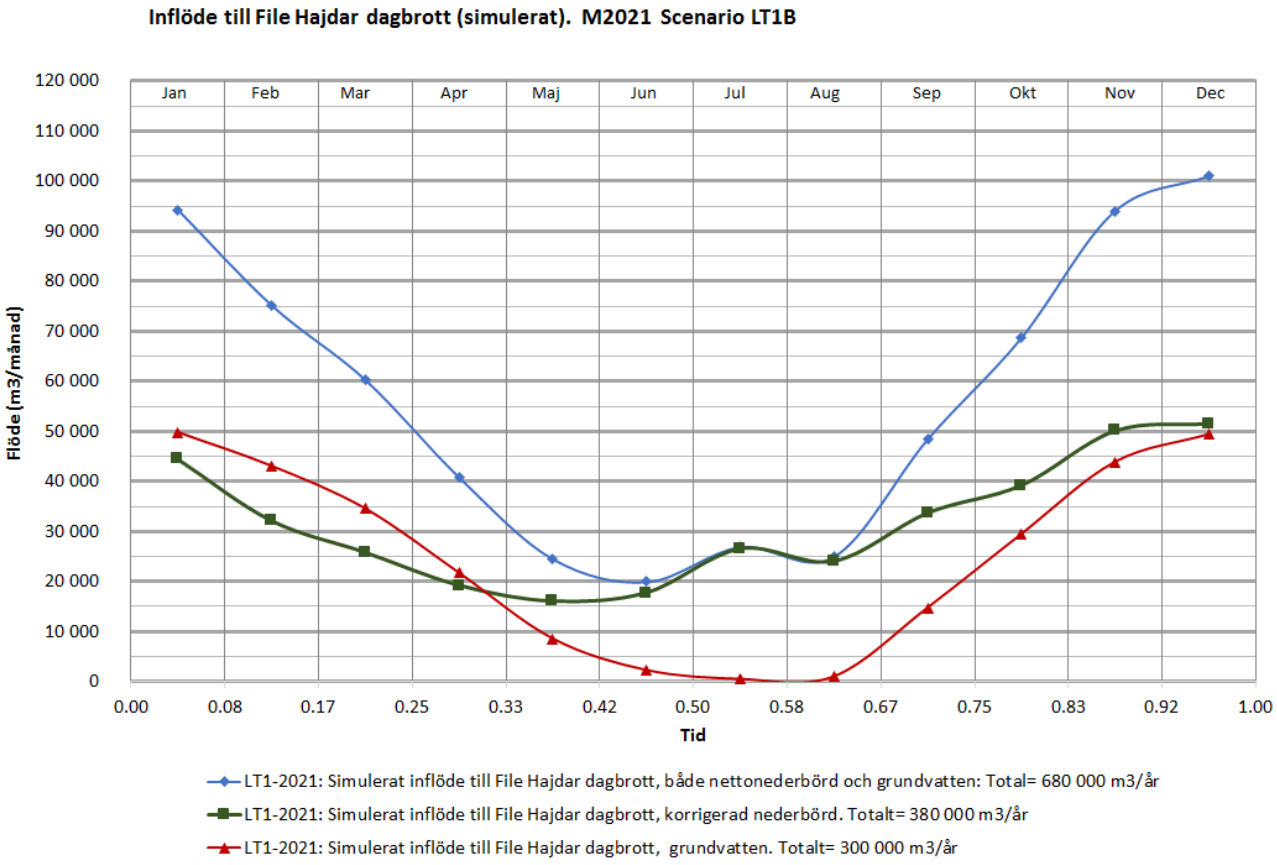
I Modell 2021 uppskattades vattenbortledningen bestå av c:a 50% grundvatten och c:a 50% av nettonederbörd.

Förklaring till den ändrade balansen mellan andelen grundvatten och andelen nettonederbörd

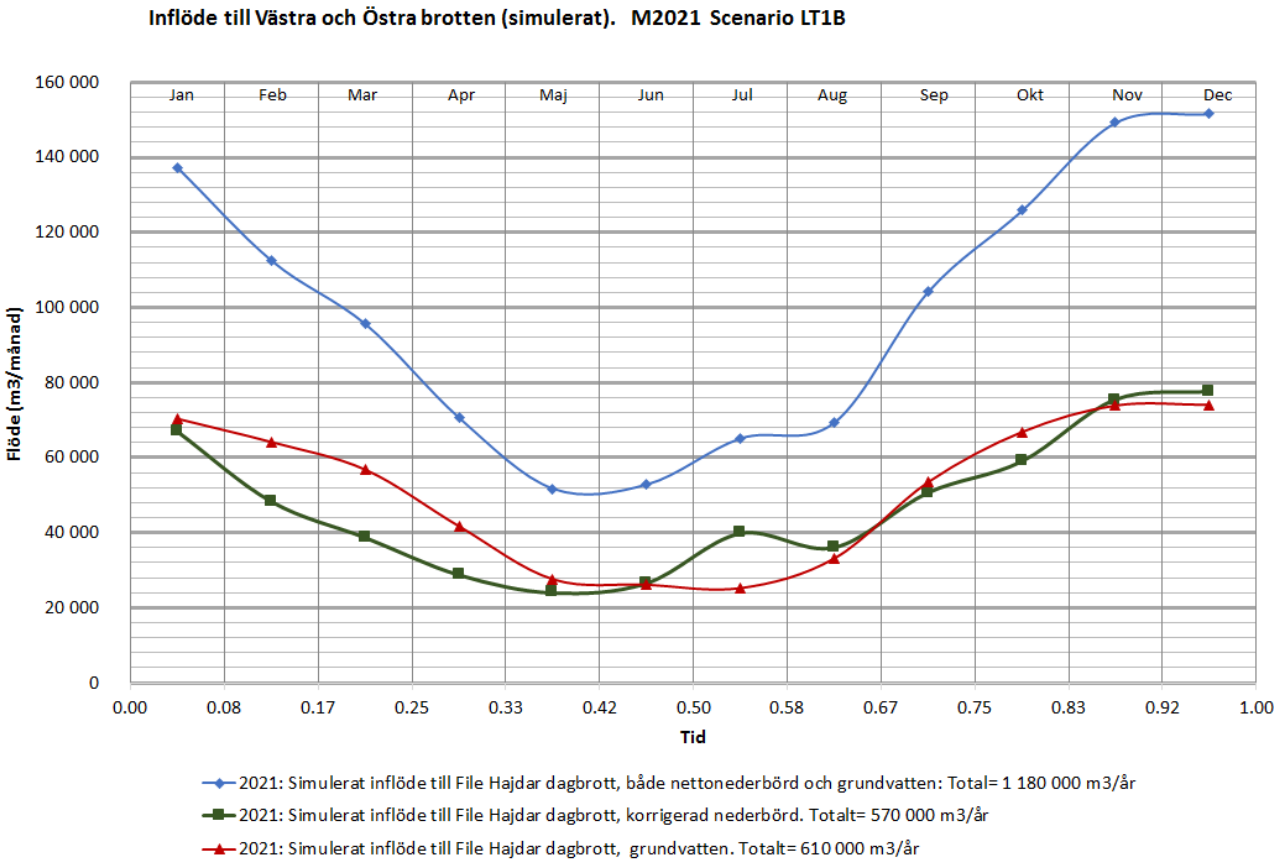
De mer omfattande mätningarna av grundvattennivåerna kring **File hajdar**, som har genomförts sedan 2016, visar att under sommaren ligger de uppmätta grundvattennivåerna kring File hajdar dagbrott nära eller under bottennivån på dagbrottet. Detta betyder att grundvatteninflödet till dagbrottet är minimalt under sommaren. I den tidigare upprättade modellen (Modell 2017) gjordes antagandet att det förkom ett tydligt grundvatteninflöde också under sommaren, detta har visat sig ej stämma med de nya mätningarna av vattennivåer kring dagbrottet. Därför överskattade den tidigare modellen andelen grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott. För Modell 2021 och för File hajdar dagbrott uppskattas proportionen grundvatten till närmare 50%, och proportionen nettonederbörd också till nära 50%.

För de tidigare utförda modellsimuleringarna med Modell 2017 uppskattades vattenbortledningen från **Västra och Östra brotten** till cirka 1 500 000 m^3/år, för dagbrotten som de såg ut 2016, som var mindre än de nuvarande dagbrotten (2021). Den uppskattade vattenbortledningen som antogs för Modell 2017 har visat sig vara en överskattning av vattenbortledningen för ett normalår. Trendanalysen av vattenbortledningen visar att för ett normalår och för dagbrott av den storlek som de har 2021 är vattenbortledningen från Västra och Östra brotten nära 1 200 000 m^3/år. År 2015 var pall 2 i västra brottet fortfarande dränerat. Vattenfyllningen av pall 2 har gjort att grundvatteninflödet till pall 2 har blivit mindre, Vilket gör att grundvatteninflödet till pall 2 har blivit mindre sedan pall 2 började vattenfyllas. Samtidigt har storleken på Västra brottet ökats sedan 2016, vilket gör att mängden nederbörd har ökat över Västra och Östra brotten. Å andra sidan har avdunstningen från pall 2 ökat, eftersom det där finns en fri vattenyta efter 2016. Minskning i uppskattad vattenbortledning och förändringen av förhållandena i pall 2 har – tillsammans med att modellen kalibrerats om – gjort att Modell 2021 uppskattar proportionen grundvatten till närmare 50%, och proportionen nettonederbörd till nära 50%, för Västra och Östra brotten.

Vattenbortledningen är summan av nettonederbörden och grundvatteninflödet. Det finns osäkerheter i uppskattningarna av andelen grundvatten och andelen nettonederbörd i vattenbortledningen. Det som mäts är vattenbortledningen och inte grundvatteninflödet eller nettonederbörden, det betyder att osäkerheter i tex uppskattning av storleken på avdunstningen från dagbrotten påverkar nettonederbörden, vilket i sin tur påverkar andelen grundvatteninflöde.



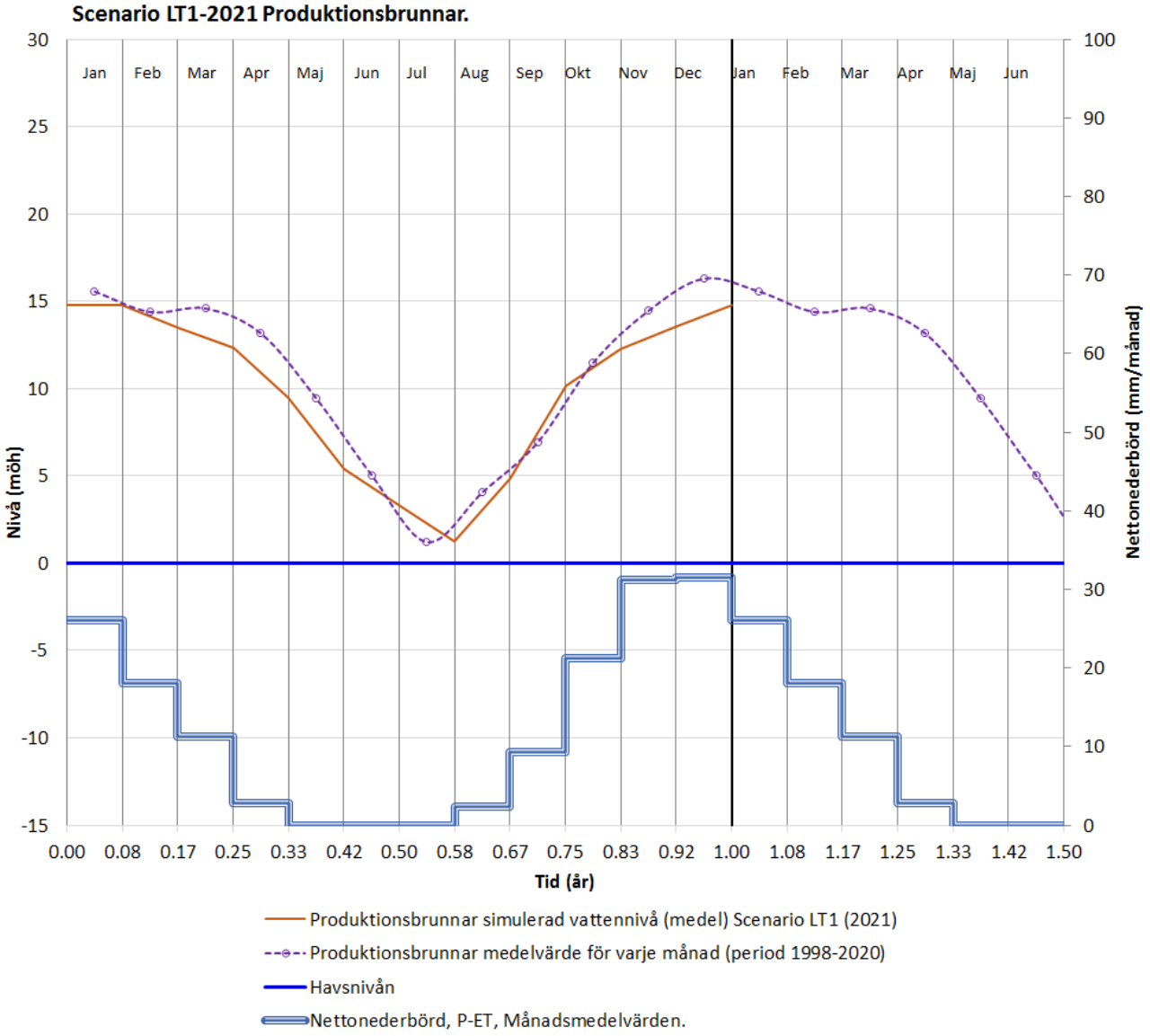
Figur 4-21 Simulerad vattenbortledning från File hajdar dagbrott. Kalibrerade flöden.



Figur 4-22 Simulerad vattenbortledning från Västra och Östra brotten. Kalibrerade flöden.

4.10.7 Pumpade volymer och vattennivåer i de kommunala brunnarna

Vattennivåerna i produktionsbrunnarna varierar under ett normalår med en betydande skillnad mellan högsta nivå (vinter) och lägsta nivå (sommaren), amplituden är i storleksordningen 15 m. Resultat av kalibreringen av vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna visas i Figur 4-23. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Figuren visar en god överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade vattennivåer. Den simulerade totala produktionen i brunnarna i modellen ligger mycket nära 220 000 m^3/år (se också Sektion 2.6 och Sektion 4.6). Med avseende på produktionsbrunnarna så kalibreras både vattennivå och vattenflöde samtidigt för brunnarna. Detta är teoretiskt en mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.



Figur 4-23 *Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår*

4.11 Beräknad grundvattenbildning

Grundvattenbildning syftar normalt på den mängd vatten som passerar nedåt genom en teoretisk yta, t.ex. markytan (topografin). Grundvattenbildning anges ofta i enheten mm/år, så att den enkelt kan jämföras med nederbörden eller nettonederbörden, som också anges med denna enhet.

Konceptet grundvattenbildning kan tyckas vara ett väl definierat koncept, men när man applicerat det på en stor och komplex tredimensionell hydrogeologisk beskrivning, som inkluderar en varierande grundvattennivå, in- och utströmningsområden och ytvattenflöden, märker man snart att det inte är så självklart vad som i praktiken är grundvattenbildning. I verkligheten är interaktionen mellan nederbörd, evapotranspiration, ytvatten, ytnära grundvatten och djupare grundvatten sällan så enkel att man tydligt och lätt kan definiera och beräkna ett allmängiltigt värde för grundvattenbildningen.

Hydrogeologiska beskrivningar är oftast tre-dimensionella och beskriver ett stort och komplext tre-dimensionellt flödessystem. Konceptet grundvattenbildning vid markytan bygger på en förenklad en-dimensionell tolkning av hur ett flödessystem fungerar. Denna förenklade tolkning följer av att många äldre hydrologiska beskrivningar och modeller är just endimensionella beskrivningar av flödessystemet, där grundvattenbildningen vid markytan ofta är ett föreskrivet värde, och där vattenflödena är vertikala endimensionella flöden genom en omättad zon ned till grundvattenzonen. En sådan förenklad beskrivning motsvarar ungefär en beskrivning av att man häller vatten i en blomkruka, och hur vattnet i blomkrukan sedan transporteras vertikalt nedåt genom blomkrukan. En fullständig beskrivning av ett hydrogeologiskt system är mycket mer komplicerad än den enkla endimensionella beskrivningen.

Det mesta av nederbörden som faller på ett tätt berg eller en lera infiltrerar inte direkt i marken, men det kan mycket väl infiltrera i marken efter att ha strömmat en kort sträcka på den täta ytan, som ytvatten. Om nederbörden faller på ett utströmningsområde (för grundvattnet) eller en vattenyta (som en sjö, en våtmark eller ett vattendrag) bildas inget grundvatten, utan då bildas istället ytvatten, som i sin tur kan infiltrera och bilda grundvatten nedströms.

Det mesta av nederbörden som faller över en skogsmark, och som inte direkt uppfångas av träd och buskar (interception), kommer att infiltrera i marken och bilda flöden i den allra översta markzonen (t.ex. på ett djup mindre än 1 m). Man kan säga att det då har bildats grundvatten i markens allra överstadel. Mycket av nederbörden som har infiltrerat i jord och mark rör sig dock nära markytan och delvis på markytan, ovanför det man normalt menar med grundvattensystemet. Det är också vanligt att vattnet i den översta markzonen utströmmar till ytvattensystemet inom ett kort avstånd från där det först infiltrerade i marken, t.ex. i ett mindre dike, för att sedan ånyo infiltrera i marken ett stycke därifrån. Detta diskuteras i bl.a. Grip och Rodhe (1985) och Rodhe (1987).

Varje gång samma vatten infiltrerar i marken kan man säga att det bildar grundvatten. En frågeställning blir då om man ska räkna samma vatten flera gånger när det bildar grundvatten flera gånger? En betydande andel av nederbörden som har infiltrerat i marken tas dessutom upp av växternas rotsystem, på olika djup. Detta upptag sker under markytan, men i praktiken ovanför det egentliga grundvattensystemet. Om marken är mycket genomsläpplig (t.ex. grus) och inga växter förekommer kan teoretiskt hela nederbörden direkt infiltrera och bilda grundvatten, även om grundvattennivån ligger på betydande djup.

Från resonemanget ovan inser man att en rimlig uppskattning av grundvattenbildningen måste relateras till en större area och till ett visst djup under markytan. Vilket betyder att konceptet

grundvattenbildning egentligen avser storleken på det nedåtriktade grundvattenflödet på olika platser och på olika djup.

Eftersom *grundvattenflödet* är tidsberoende och tredimensionellt kommer det nedåtriktade grundvattenflödet att variera från plats till plats, med djupet och med tiden. Eftersom konceptet *grundvattenbildning* egentligen är samma sak som det nedåtriktade grundvattenflödet så kommer således också grundvattenbildningen att variera från plats till plats, med djupet och med tiden. Det finns därför inget enkelt och allmängiltigt svar på frågan: Hur stor är grundvattenbildningen?

Det rimligaste sättet att uppskatta grundvattenbildningen är att beräkna det nedåtriktade grundvattenflödet för en given area på olika djup och att betrakta detta flöde som grundvattenbildning med avseende på det studerade djupet. Grundvattenbildningen anges ofta i enheten längd per tid [mm/år], vilket i sin tur betyder att det beräknade nedåtriktade grundvattenflödet – som normalt beräknas i enheten volym per tid – måste delas med en area för att man ska få flödet i enheten längd per tid. Frågan blir då vilken area? Är det arean för hela det studerade området, eller bara den area över vilken grundvattenflödet är nedåtriktat? Eller arean av någon annan yta i tre dimensioner? Denna fråga visar också på svagheten i konceptet grundvattenbildning i enheten längd per tid (t.ex. mm/år).

Modellen beräknar det nedåtriktade grundvattenflödet för varje beräkningscell i modellen (på olika djup). Detta flöde kan sedan omräknas till en grundvattenbildning (på olika djup) genom att det beräknade nedåtriktade grundvattenflödet (m^3/år) delas med en given area (m^2).

Grundvattenbildningen (eller det nedåtriktade grundvattenflödet) beror alltså på alla olika parametrar som påverkar grundvattenflödet och ytvattenflödet, t.ex. nettonederbörd, topografi, ytvattensystemets geometri, nivån på grundvattenytan, storlek på in- och utströmningsområden, genomsläpplighet och magasinsegenskaper i jord och berg m.m.. Grundvattenbildningen är dessutom beroende av det djup och den tidpunkt för vilken man väljer att beräkna grundvattenbildningen.

Det är viktigt att förstå att i modellen är grundvattenbildningen (eller det nedåtriktade grundvattenflödet) en del av de beräknade grundvattenflödena och inte ett föreskrivet värde. Att föreskriva ett visst värde på grundvattenbildningen är ett felaktigt sätt att beskriva och simulera hydrologiska och hydrogeologiska system. Den föreskrivna variabeln i den upprättade modellen är nettonederbörden – inte grundvattenbildningen.

Modellen inkluderar både grundvattenflöden och ytvattenflöden. En viktig anledning till att grundvattenbildningen begränsas är att grundvattensystemet till stora delar blir mättat under vintermånaderna – grundvattenytan ligger då nära markytan, vilket inte nödvändigtvis förhindrar all grundvattenbildningen, men det begränsar den

Med avseende på den kalibrerade modellenen som motsvarar förhållanden under 2021:
(Scenario LT1B-2021.)

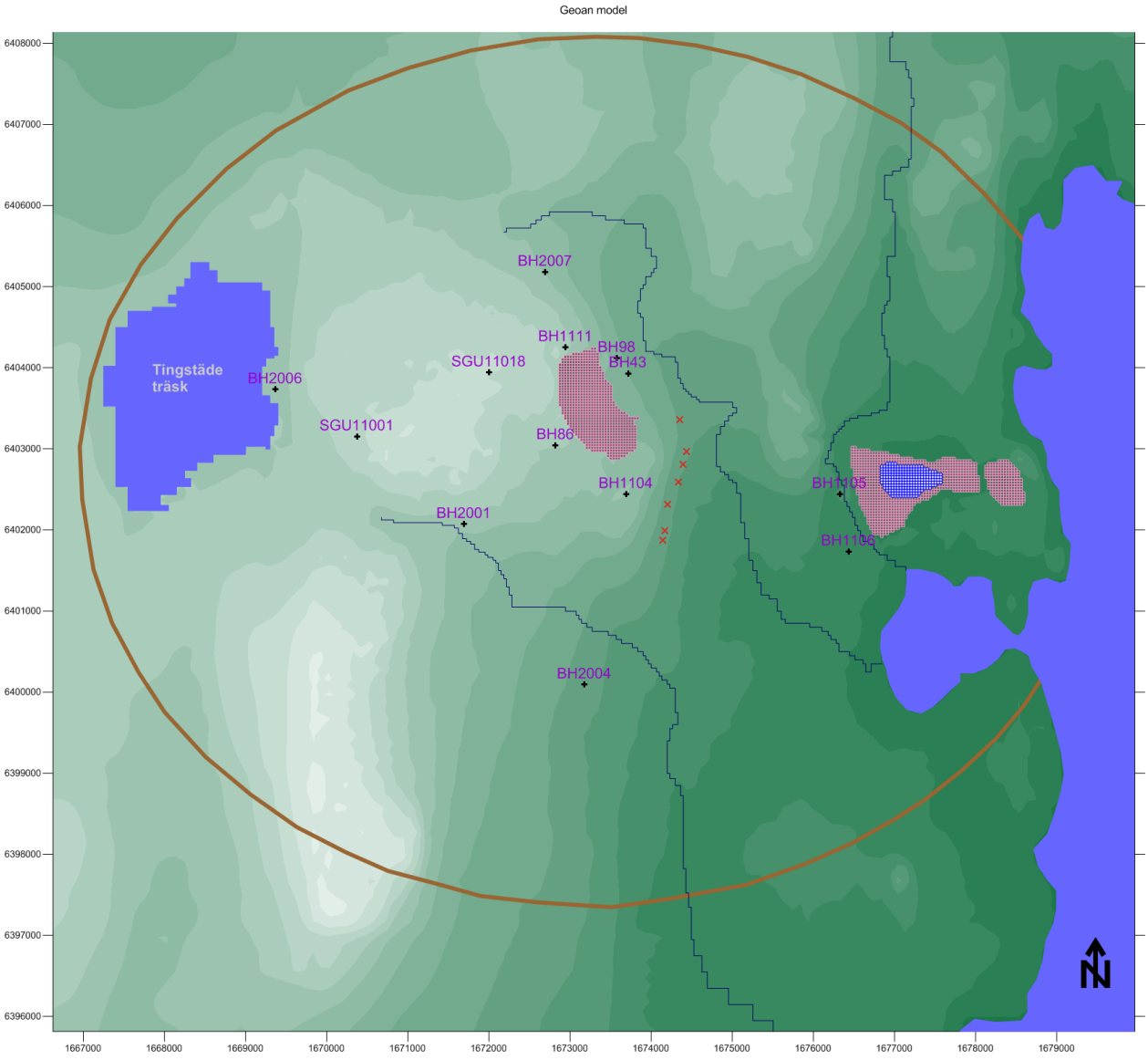
Det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) har beräknats för ett ellipsformat område runt dagbrotten och File hajdar. Området visas i Figur 4-24.

Det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) är störst nära markytan och avtar med djupet – på stora djup är det normalt mycket litet. Årssumman för ett medelår, för det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen), har beräknats för olika djup och för det ellipsformade området; de resulterande flödena visas i Figur 4-25. Flödet i mm/år har beräknats genom att det simulerade nedåtriktade grundvattenflödet inom ett visst område (som visas i Figur 4-24), och på ett visst djup, har delats med hela den studerade områdets area.

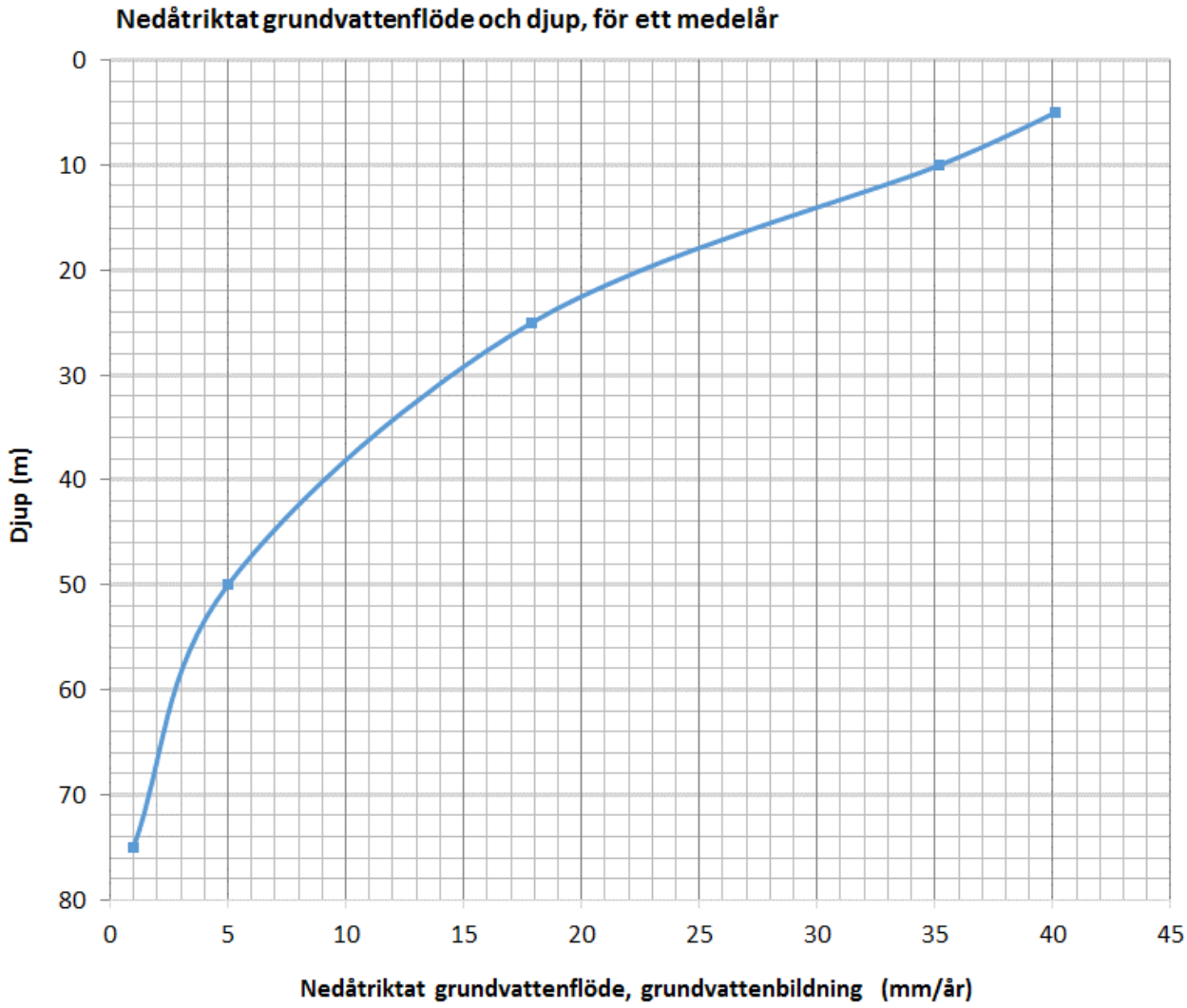
För ett normalår, och på djupet 5 m, beräknas det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) till 40 mm/år.

För ett normalår, och på djupet 50 m, beräknas det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) till 5 mm/år.

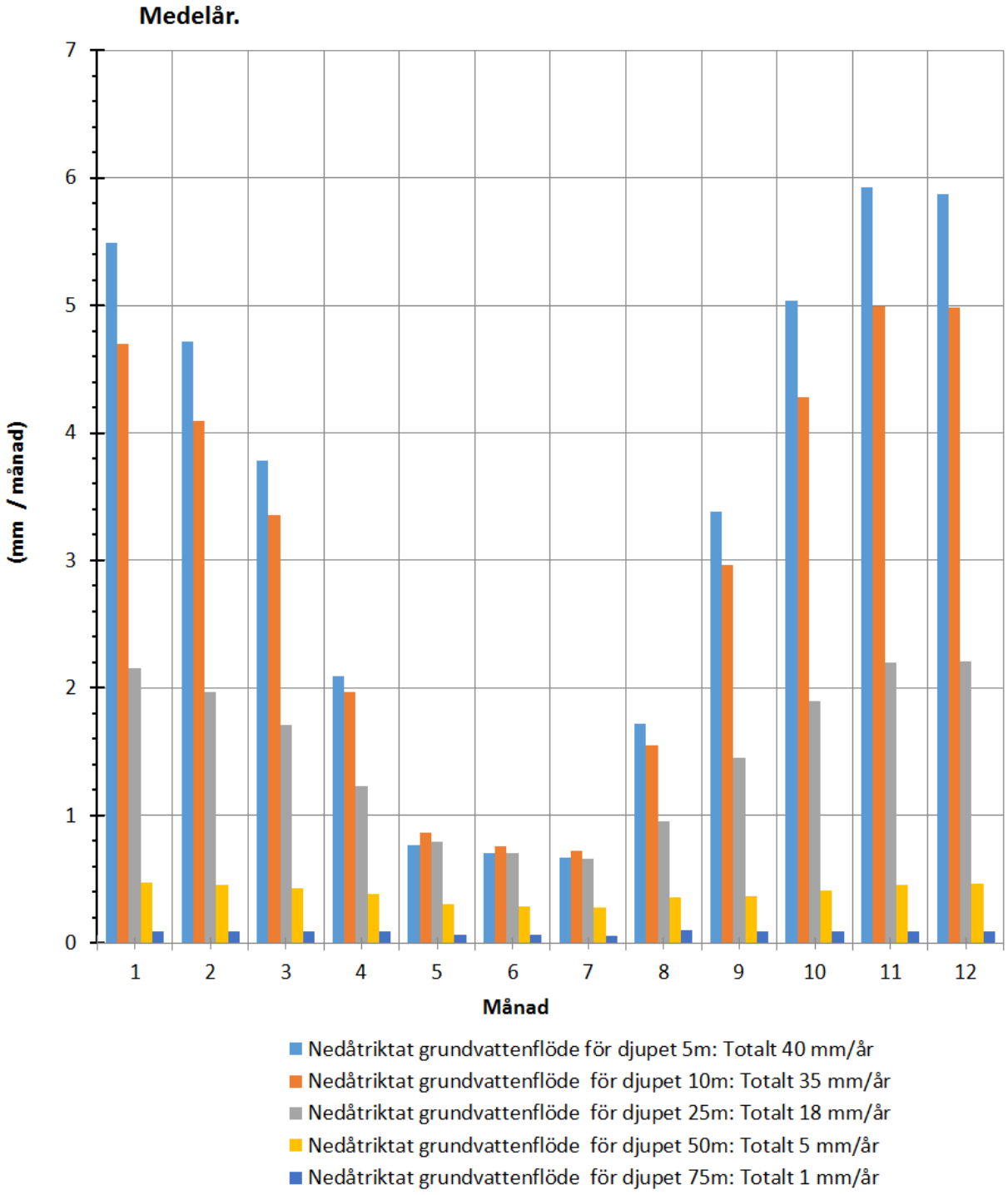
Det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) för varje månad under ett medelår har också beräknats för olika djup. Resultatet visas i Figur 4-26.



Figur 4-24 Grundvattenbildningen (det nedåtriktade grundvattenflödet) har beräknats för ett ellipsformat område runt dagbrotten och File hajdar. Området visas i figuren ovan (brun ellips).



Figur 4-25 *Årssumman för ett medelår, för det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) har beräknats för olika djup, för ett större ellipsformat område kring dagbrotten (se Figur 4-24).*



Figur 4-26 Nedåtriktat grundvattenflöde (grundvattenbildning) för varje månad under ett medelår, för olika djup.

5. Framtida situationer

5.1 Beräkningsfall

Modellen inkluderar Västra brottet, Östra brottet och File hajdar dagbrott. De olika nivåerna i dagbrotten är inkluderade och representeras i modellen av olika numeriska lager. I de fall dagbrotten simuleras som dränerade, definieras dagbrotten med atmosfäriskt tryck. I de simuleringar i vilka en fri vattenyta förekommer i dagbrotten (vattenfyllda dagbrott) simuleras de vattenfyllda delarna med en specificerad vattennivå, som i sin tur skapar olika tryck på olika nivåer. Modellen beräknar inflöde till dagbrotten både genom dagbrottens sidor och genom botten. I modellen läggs också en nettonederbörd över dagbrottet. Inget vatten kan strömma ut från dagbrotten.

Nuvarande situation och olika framtida beräkningsfall har inkluderats i denna studie. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1 och Figur 5-2.

- Referenssituation. Nuvarande situation (2021) Scenario LT1B-2021.
- Framtida situation om c:a 5 år: Ansökt utökning, utbrutet och dränerat Scenario LT2.
- Framtida situation Nollalternativ om c:a 5 år. Succesivt vattenfyllda dagbrott. Scen. LT1noll4aT
- Framtida situation Nollalternativ om c:a 40 år. Vattenfyllda dagbrott Scenario LT1noll40a
- Framtida situation Utbrutna och succesivt vattenfyllda dagbrott om c:a 5 år Scenario LT2noll4a
- Framtida situation Utbrutna och vattenfyllda dagbrott, om c:a 40 år Scenario LT2noll40a
- Saltvattenmodellen. Referenssituation. Nuvarande situation (2021) Scenario 2021
- Saltvattenmodellen. Nollalternativ om c:a 40 år. Vattenfyllda dagbrott Scenario 2021SaltNoll

Nuvarande situation år 2021. Den kalibrerade beskrivningen. Scenario LT1B-2021.
Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån -31 möh.
Pall 1 i File hajdar dagbrottbruten ned till nivån +20 möh. Dränerat.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Framtida situation. Ansökt utökning utbrutet och dränerat. Scenario LT2.
Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån -26.5 möh.
Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Dränerat.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 4 till 5 normalår med successivt utökade dagbrott, från nuvarande situation och framåt. Nettonederbörd enligt ett normalår.

Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllning om c:a 5 år. Scenario LT1noll4a.
Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld till nivån -26.2 möh Stigande nivåer.

Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 5 normalår med stigande vattennivåer, från nuvarande situation och framåt.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Nollalternativ. Framtida situation Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år. Scenario LT1noll40a.
Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Vattenfylld upp till nivån +1 möh.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån +1 möh.
Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Vattenfylld upp till nivån +28 möh.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.

Framtida situation. Utbrutet. Därefter stigande vattennivåer, om c:a 5 år. Scenario LT2noll4a.
Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld till nivån -26.2 möh Stigande nivåer.
Pall 1 i File hajdar dagbrott brutet ned till nivån +20 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 5 normalår med stigande vattennivåer, från nuvarande situation och framåt.
Nettonederbörd enligt ett normalår.
Detta Scenario presenteras inte i detalj i denna rapport (påverkansområden presenteras dock).
Simuleringarna har utförts, resultaten är mycket lika resultaten för **Scenario LT1noll4a.**

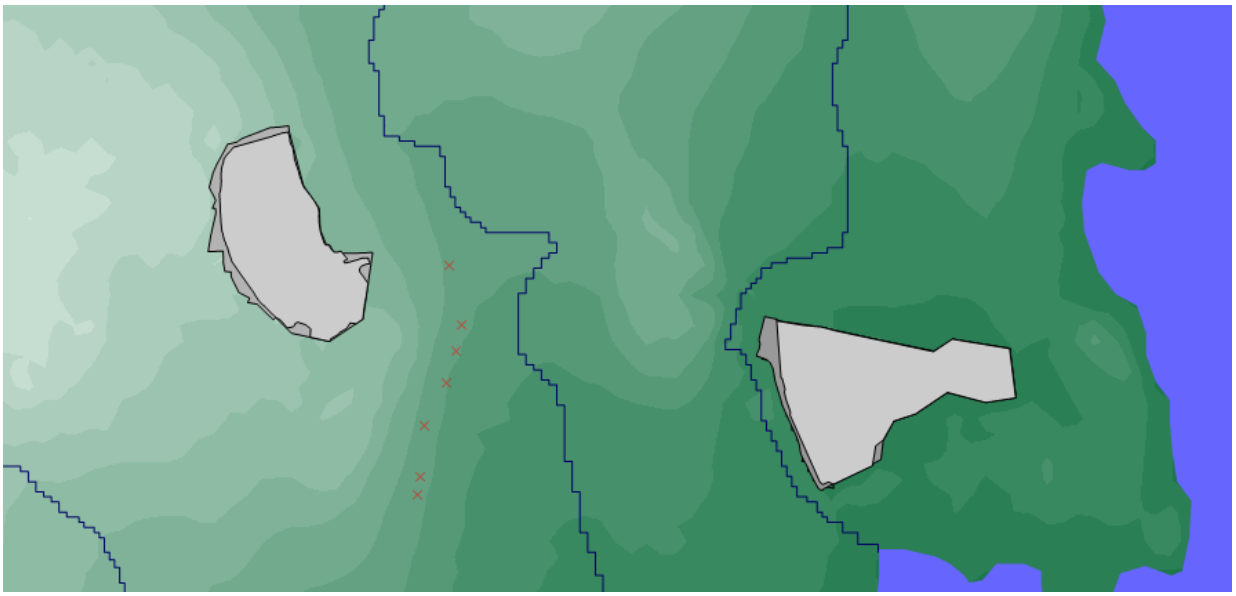
Framtida situation. Utbrutet med vattenfyllda dagbrott, om c:a 40 år. Scenario LT2noll40a.
Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Vattenfylld upp till nivån +1 möh.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån +1 möh.
Pall 1 i File hajdar bruten ned till nivån +20 möh. Vattenfylld upp till nivån +28 möh.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av ett framtida normalår.
Nettonederbörd enligt ett normalår.
Detta Scenario presenteras inte i detalj i denna rapport (påverkansområden presenteras dock).
Simuleringarna har utförts, resultaten är mycket lika resultaten för **Scenario LT1noll40a.**

Grundvattennivåerna i Scenario LT2noll40a är mycket lika grundvattennivåerna i Scenario LT1noll40a. Det är vattenfyllnaden av dagbrotten som är den stora och viktiga förändringen – inte dagbrottens exakta, horisontala storlek. En mindre utökning av dagbrottens horisontala storlek som tex den ansökta utökningen, är av mycket mindre betydelse än vattenfyllningen. Särskilt för File hajdar dagbrott är den stora förändringen att det finns vatten i dagbrottet hela året, vatten som under sommaren kan läcka till grundvattensystemet och därmed hålla uppe grundvattennivåerna under sommaren. Den största påverkan på grundvattensystemet fås då de utökade dagbrotten vattenfylls.

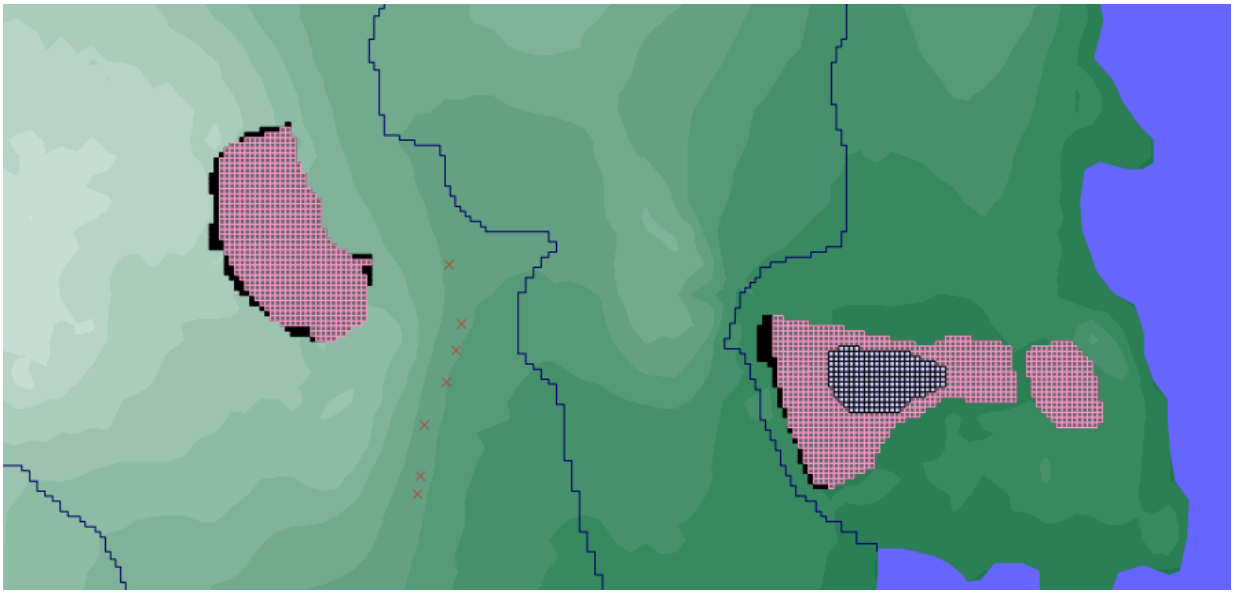
Tiden det kommer att ta att fylla dagbrotten med vatten är svår att förutsäga exakt eftersom det bland annat beror på hur klimatet kommer att utvecklas. Den framtida vattennivån är också svår att förutsäga exakt, eftersom nivån bland annat kommer att bero på hur de framtida vattenfyllda

dagbrotten kommer att användas. Vilken tröskelnivå för utflödet väljer man t.ex. i framtiden för File hajdar dagbrott? Hur stora vattenuttag kommer man i framtiden att göra ur dagbrotten?

Vi kan dock konstatera att det kommer att ta lång tid att fylla dagbrotten med vatten genom naturlig vattenfyllning. En uppskattning är att det kommer att ta c:a 40 år att vattenfylla Västra och Östra brotten, och 20 år att höja vattennivån i File hajdar dagbrott. Vi har för dessa uppskattningar antagit att inget ytvattendrag kommer att ledas in i dagbrotten.



Figur 5-1 *Topografin och Cementas dagbrott med omgivning, som de är geometriskt definierade för: (i) Den initiala situationen, som representerar situationen år 2021, markerat som ljust grått. (ii) Den framtida ansökta situationen fullt utbrutet om 4 till 5 år, markerat som mörk grått.*



Figur 5-2 *Topografin och Cementas dagbrott med omgivning, som de är definierade i modellen för: (i) Den initiala situationen, som representerar situationen år 2021, markerat med skärt raster. (ii) Den framtida ansökta situationen fullt utbrutet om 4 till 5 år, markerat med svart fyllning. Pall 2 i Västra brottet markerat inuti Västra brottet med svart raster.*

6. Ansökt utökning, utbrutet och dränerat

Scenario LT2 - Ansökt utökning utbrutet och dränerat

Tidsberoende

Med avseende på hur det studerade systemet förändas med tiden, har det studerade scenariot simulerats på följande vis i modellen:

Fall T: Utgående från den initiala situationen (den kalibrerade modellen) har en tidsperiod om 5 år simulerats. Nettonederbördens variation under denna period simuleras som 5 normalår efter varandra. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3.75 år. Denna simulering visar hur dagbrottens successiva utökning påverkar det omgivande grundvattensystemet.

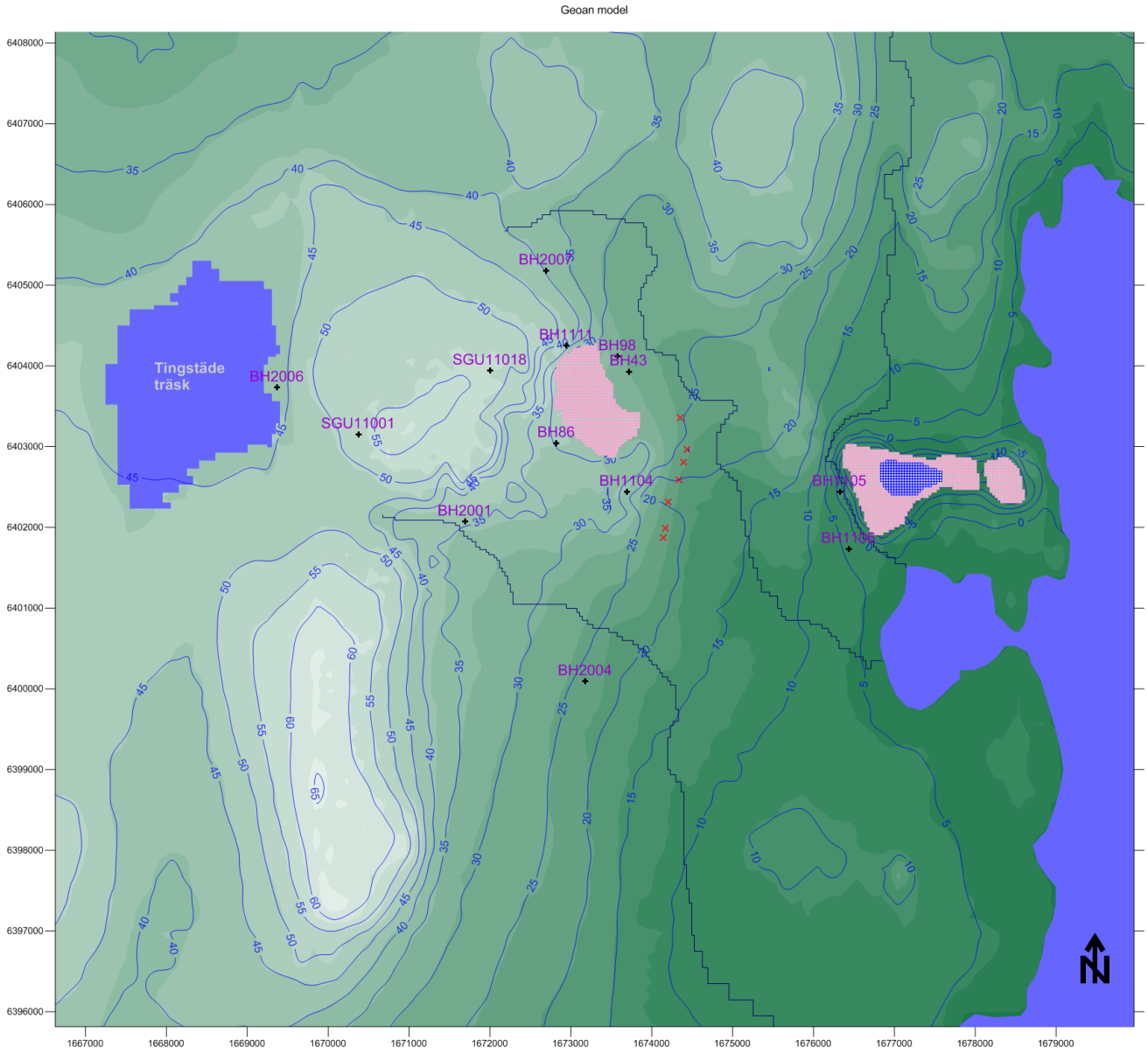
Fall S: Dagbrotten definieras enligt den ansökta utökningen, fullt utbrutet. Simuleringen utförs genom att flera normalår simuleras efter varandra med dränerade dagbrott. Denna simulering visar hur dagbrottets utökning skulle påverka det omgivande grundvattensystemet om de fullt utbrutna dagbrotten bibehålls dränerade något år in i framtiden efter det att de är fullt utbrutna. Det är en något mer konservativ analys av påverkan från de utökade dagbrotten. Skillnaden mellan fall T och fall S är små för Scenario LT2 (ansökt utökning utbrutet och dränerat).

Simulerade grundvattennivåer

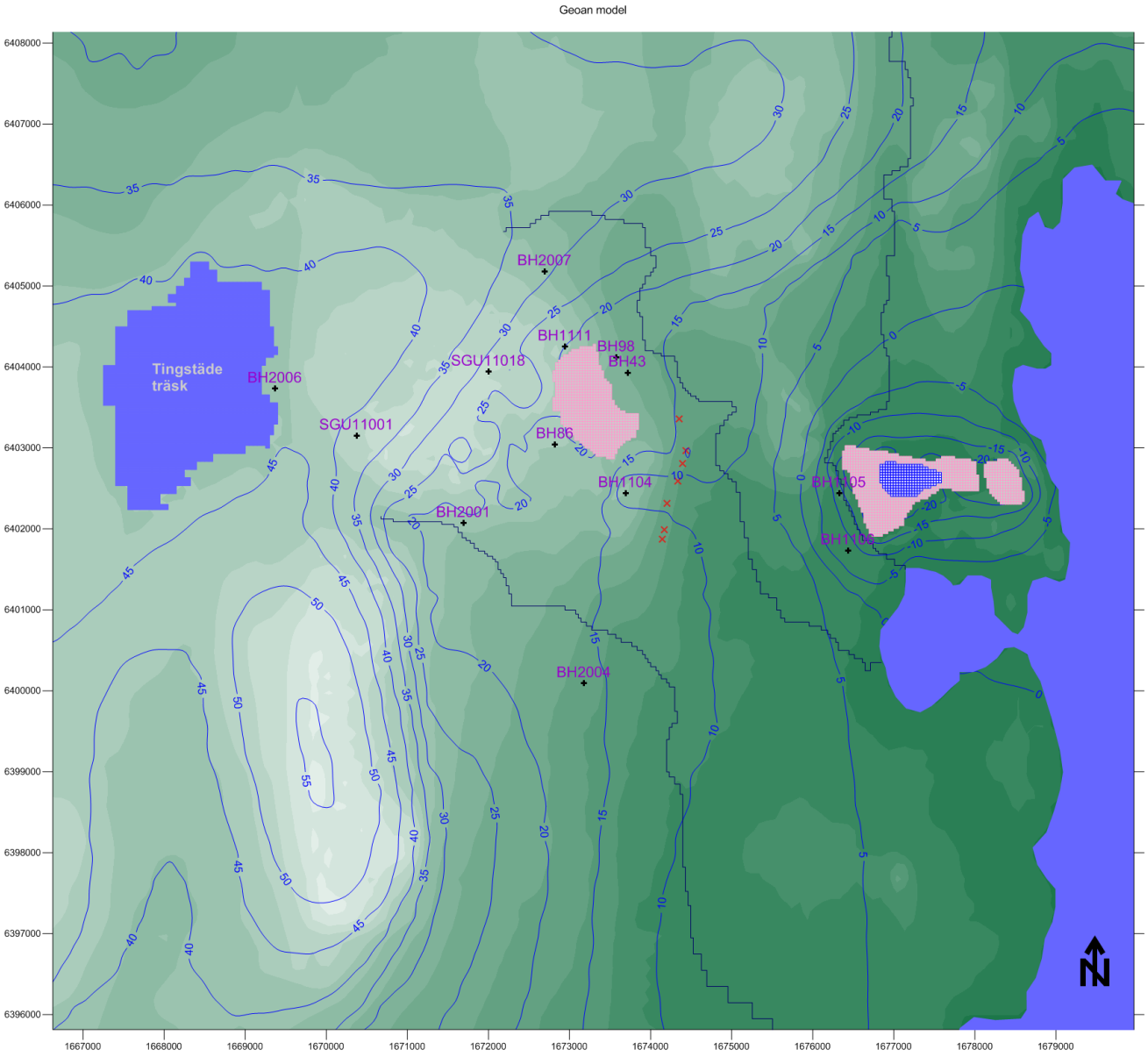
Med avseende på Scenario LT2 och Fall S, visas simulerade grundvattennivåer kring dagbrotten för högvattensituationen (december) i Figur 4-19, och för lågvattensituationen (juli) i Figur 4-20. Figurerna visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Den stora variationen i grundvattennivå under året framgår tydligt av figurerna

Simulerade vattennivåer i ett antal borrhål för en period under vilken dagbrotten har utökats visas i figurer nedan. Från nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen.
För BH2001 i Figur 6-3. Miniminivåerna i slutet på juli avsänks med 0.4 m efter 5 år.
För BH2004 i Figur 6-4. Miniminivåerna i slutet på juli avsänks med 0.3 m efter 5 år.
För BH86 i Figur 6-5. Miniminivåerna i slutet på juli avsänks med 0.5 m efter 5 år.
För BH1105 i Figur 6-6. Miniminivåerna i slutet på juli avsänks med 1.8 m efter 5 år.

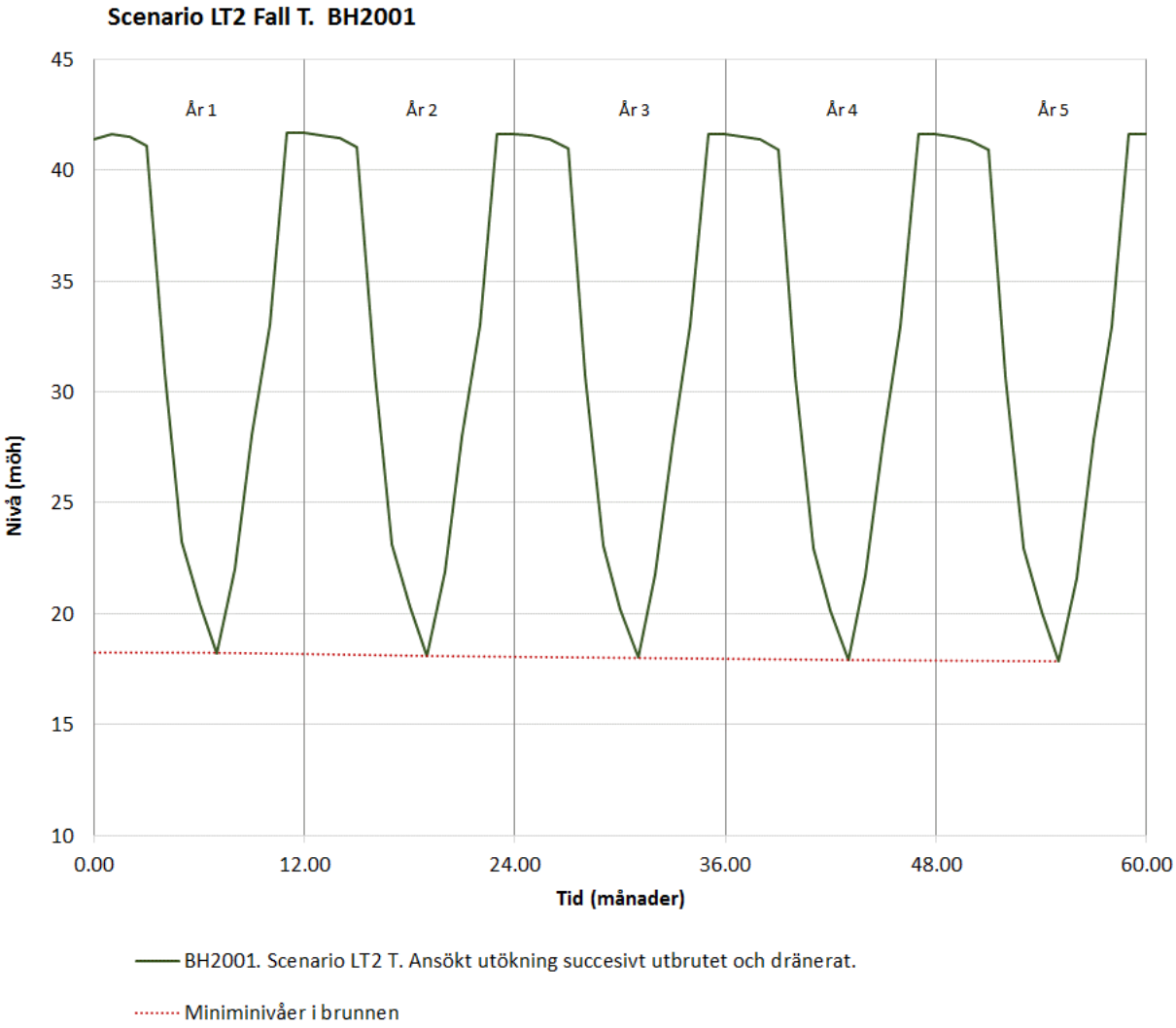
Förändringen i vattennivå (avsänkningen) framgår också av påverkansområdena, se Kapitel 9.



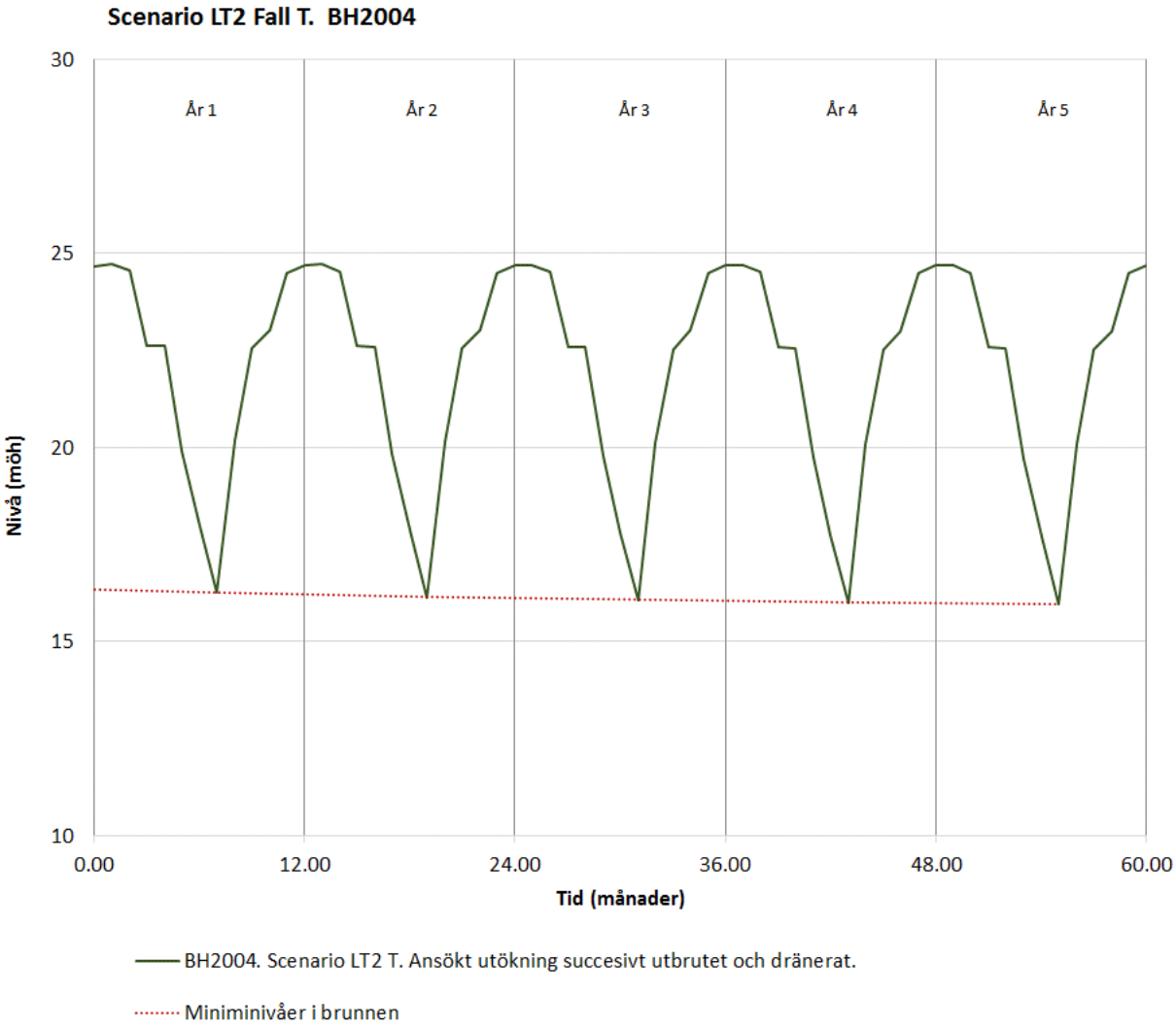
Figur 6-1 *Scenario LT2, Fall S. (Ansökta utökningen, fullt utbrutet). Grundvattennivåer kring dagbrotten för* ***högvattensituationen*** *i december. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).*



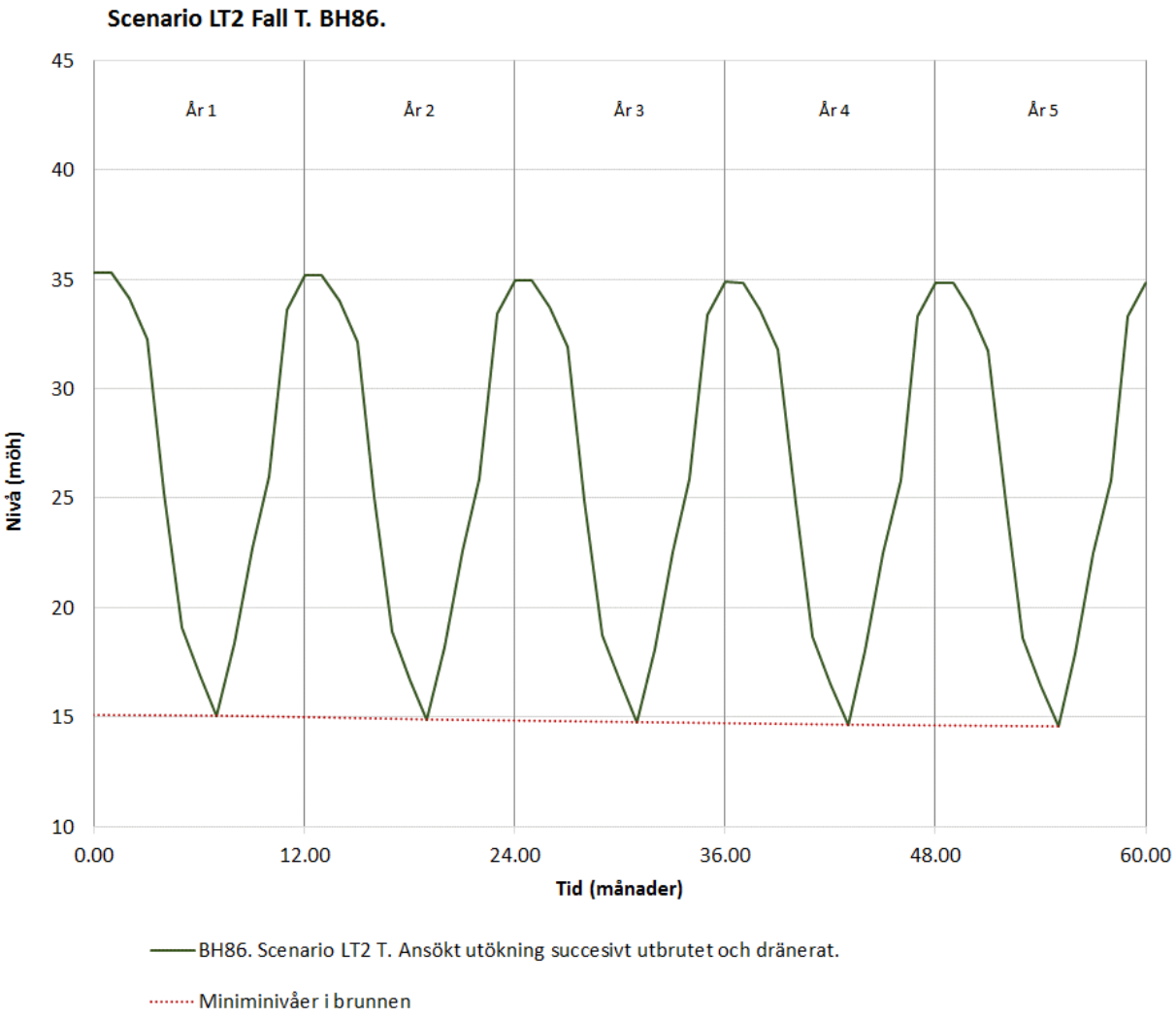
Figur 6-2 *Scenario LT2, Fall S. (Ansökta utökningen, fullt utbrutet). Grundvattennivåer kring dagbrotten för* ***lågvattensituationen*** *i juli. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).*



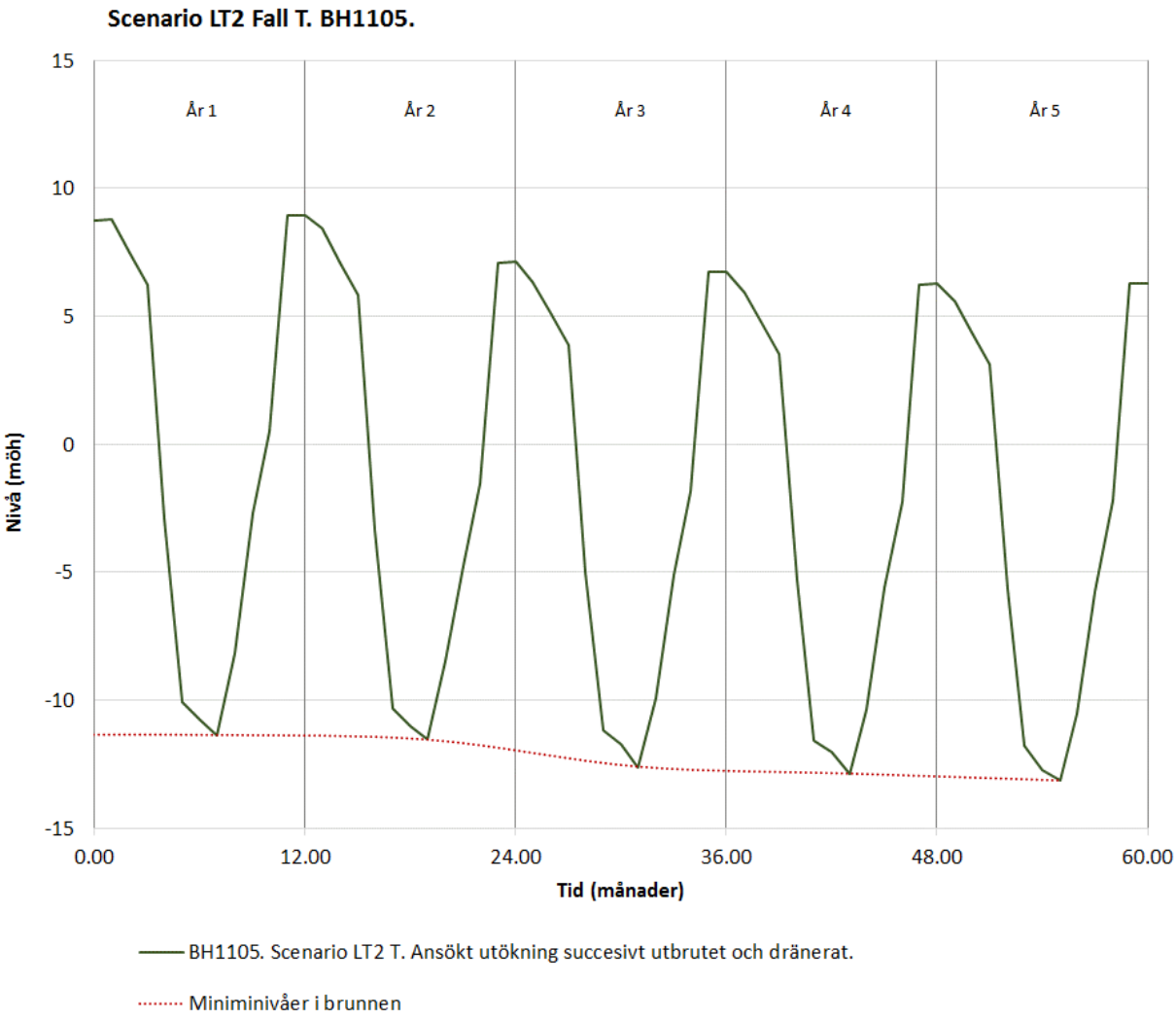
Figur 6-3 *Scenario LT2 Fall T: Simulerade vattennivåer i BH2001 för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3.75 år.*



Figur 6-4 *Scenario LT2 Fall T: Simulerade vattennivåer i BH2004 för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3.75 år.*



Figur 6-5 *Scenario LT2 Fall T: Simulerade vattennivåer i BH86 för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3.75 år.*



Figur 6-6 *Scenario LT2 Fall T: Simulerade vattennivåer i BH1105 för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbrutet. Den slutliga utformningen nås efter 3.75 år.*

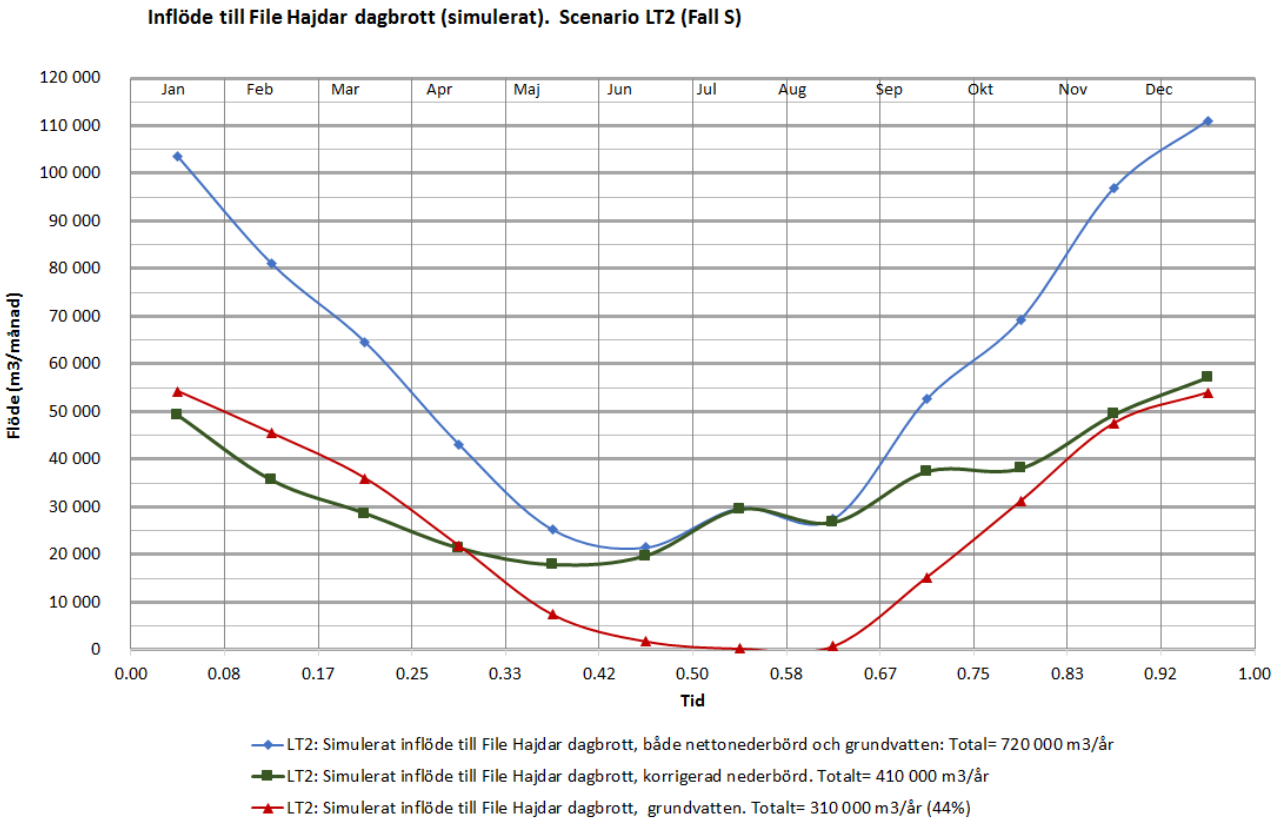
Inflöde till dagbrotten (nettonederbörd och grundvatteninflöde)

Med avseende på Scenario LT2 (Fall S) blir inflödet till File hajdar dagbrott c:a 720 000 m3/år, se Figur 6-7. Vilket motsvarar en ökning med 6% i jämförelse med den nuvarande situationen (2021).

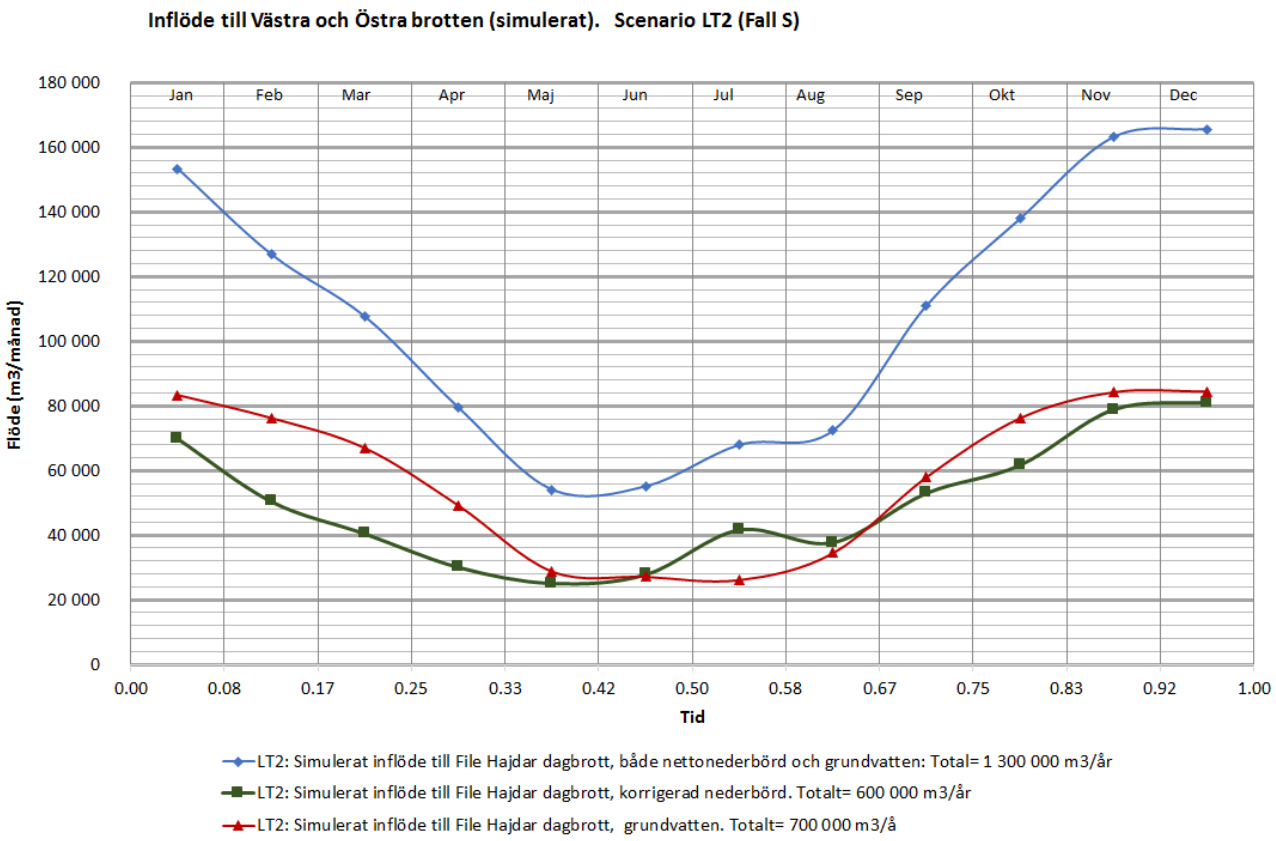
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, grundvatten = 310 000 m^3/år
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, nettonederbörd= 410 000 m^3/år
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, totalt = 720 000 m^3/år

Med avseende på Scenario LT2 (Fall S) blir inflödet till Västra och Östra brotten c:a 1 300 000 m3/år, se Figur 6-8. Vilket motsvarar en ökning med c:a 10% i jämförelse med den nuvarande situationen (2021).

Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, grundvatten = 700 000 m^3/år
Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, nettonederbörd= 600 000 m^3/år
Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, totalt = 1 300 000 m^3/år



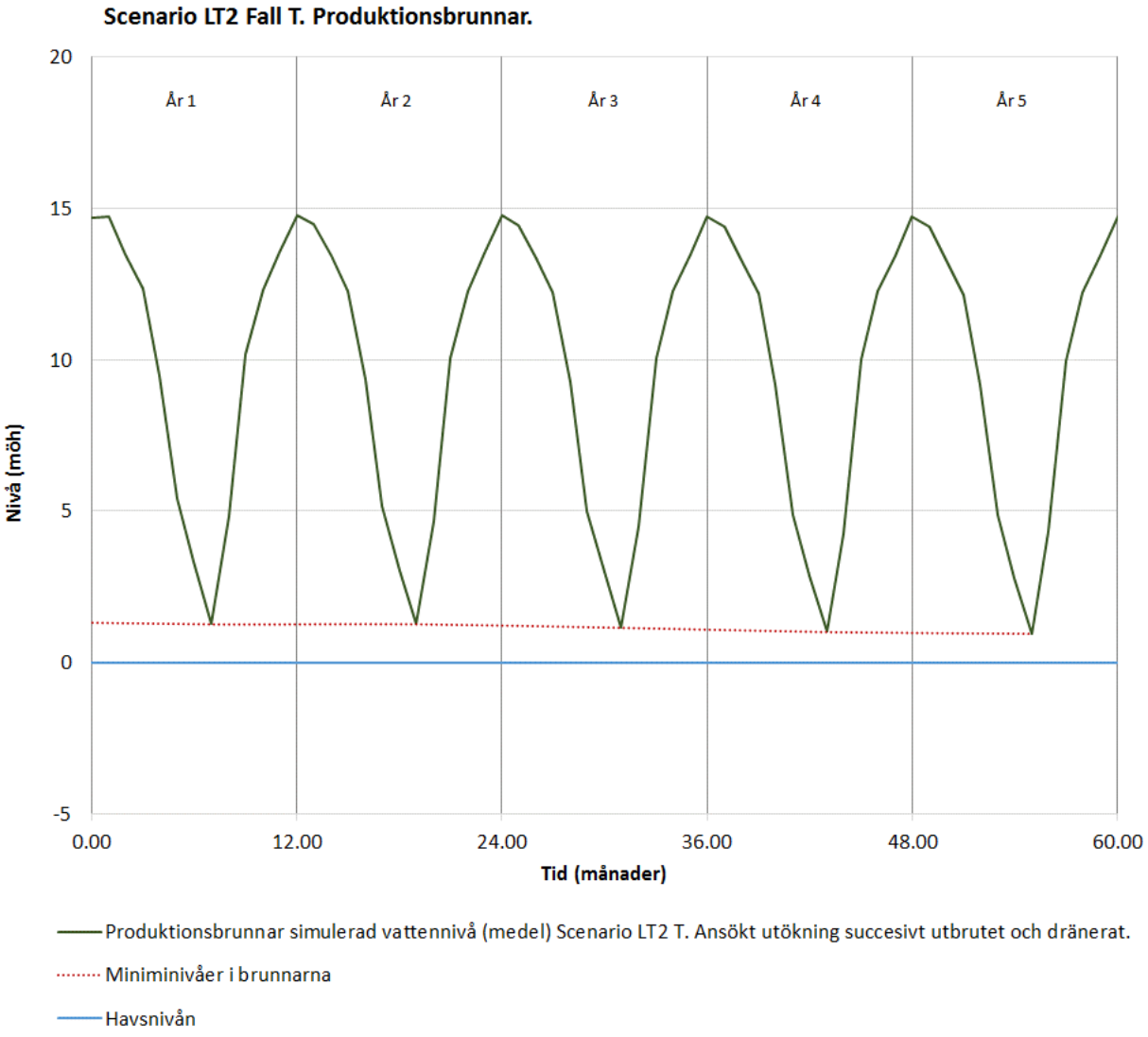
Figur 6-7 Scenario LT2 (Fall S): Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott för den ansökta utökningen.



Figur 6-8 Scenario LT2 (Fall S): Simulerat inflöde till Västra och Östra brotten för den ansökta utökningen.

Produktionsbrunnarna (den kommunala grundvattentäkten)

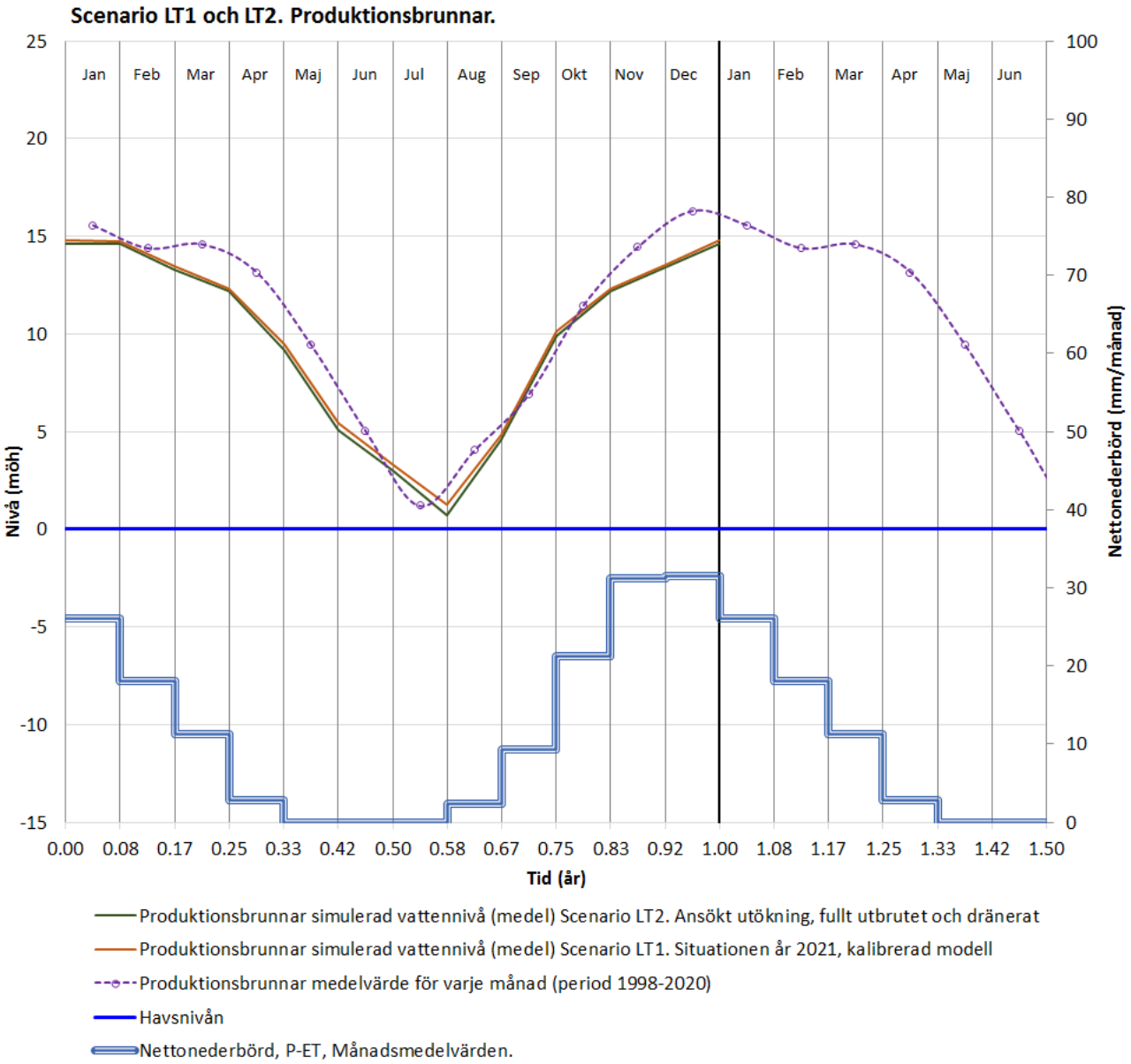
Med avseende på Scenario LT2 (T), som representerar den ansökta utökningen, utbrutet och dränerat, visas simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten har utökats i Figur 6-9. Från nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen om 5 år. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats. Förändringen i vattennivå i brunnarna är mycket liten, i jämförelse med den årliga nivåvariationen i brunnarna. Efter 5 år har miniminivåerna i slutet på juli avsänks med nära 0.4 m i jämförelse med den initiala situationen. För Scenario LT2 Fall S blir avsänkningen i slutet på juli nära 0.5 m, i jämförelse med den initiala situationen.
I modellen pumpas produktionsbrunnarna med 220 000 m^3/år.



Figur 6-9 *Scenario LT2 Fall T: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten har utökats. Från dagens situation (nuvarande situation (2021)) till den ansökta utökningen. Under denna tidsperiod har dagbrottens storlek successivt utökats i fyra steg. Dagbrottens slutliga utformning är den ansökta utökningen fullt utbruten. Den slutliga utformningen nås efter 3.75*

Figur 6-10 visar simulerade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna för situationen år 2021 (kalibrerad modell) och för den ansökta utökningen, fullt utbrutet och dränerat. Figuren visar

simulerade grundvattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. För Scenario LT2 Fall S, blir avsänkningen i slutet på juli nära 0.5 m i jämförelse med den initiala situationen.



Figur 6-10 Simulerade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna för: (i) Scenario LT1. Situationen år 2021, kalibrerad modell och (ii) Scenario LT2- Ansökt utökning, fullt utbrutet och dränerat. Figuren visar simulerade grundvattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår

En frågeställning är vilken betydelse en liten förändring i vattennivå under sommaren har för produktionen i brunnarna. För att kvantifiera detta har vi gjort en simulering där vattennivån i produktionsbrunnarna aldrig tillåts vara lägre än den nuvarande miniminivån. Detta betyder att produktionen måste begränsas, men bara under den sista veckan i juli. Denna begränsning ger ett produktionsbortfall lika med c:a 100 m^3 under juli månad. Vilket är en helt försumbar förändring.

7. Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllning om c:a 5 år. Scenario LT1noll4a.

Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllning om c:a 5 år. Scenario LT1noll4a.

Transient simulering av 5 normalår med stigande vattennivåer, från nuvarande situation och framåt.

Tidsberoende

Med avseende på hur det studerade systemet förändas med tiden, har det studerade scenariot simulerats på följande vis i modellen:

Fall T: Utgående från situationen med dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021 har en tidsperiod om 5 år simulerats. Nettonederbördens variation under denna period simuleras som 5 normalår efter varandra. Under de första 5 åren stiger vattennivåerna i dagbrotten. För File hajdar dagbrott stiger vattennivån linjärt från ett initialt dränerat dagbrott med nivån +20 möh till att bli en sjö med vattennivån +23.5 möh. För Västra och Östra brotten stiger först vattennivån linjärt i pall 2 i Västra brottet från en initial vattennivå på -31 möh till att pall 2 blir ett helt vattenfylld, med vattennivån -26 möh. Denna process tar ett år. Därefter stiger vattennivån i Västra och Östra brotten långsammare och samtidigt från -26 möh till -23 möh (efter 5 år). De stigande vattennivåerna simuleras med hjälp av ett tidsberoende randvillkor av typen föreskriven trycknivå, där trycknivåerna ökar linjärt. Denna simulering visar hur en successiv vattenfyllning av dagbrotten påverkar det omgivande grundvattensystemet.

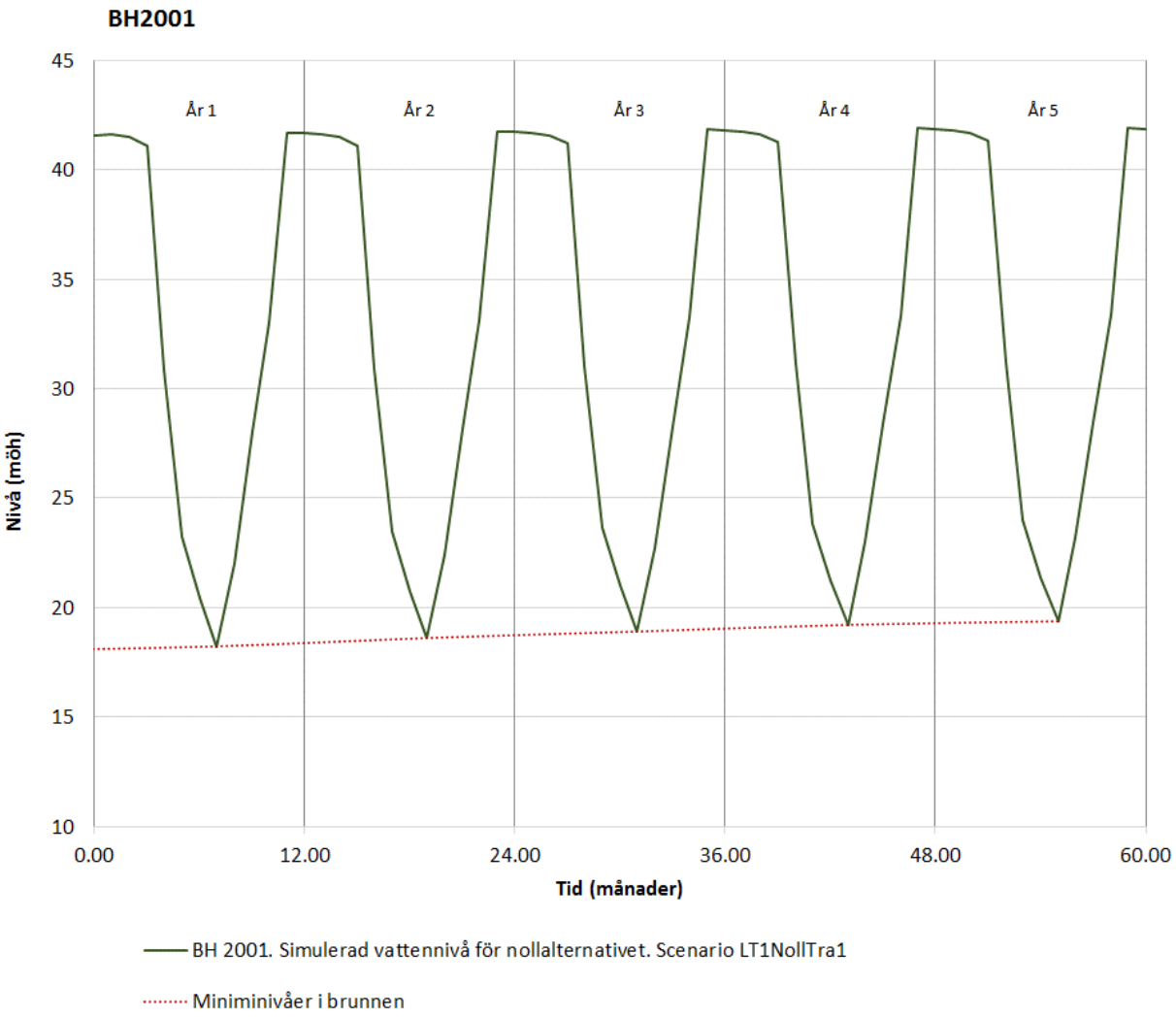
Simulerade grundvattennivåer

Simulerade vattennivåer i ett antal borrhål för en period med successiv vattenfyllning. Från dagens situation (nuvarande situation, 2021) och fem år framåt.
För BH2001 i Figur 7-1. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 1.1 m efter 5 år.
För BH2004 i Figur 7-2. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 0.9 m efter 5 år.
För BH86 i Figur 7-3. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 1.6 m efter 5 år.
För BH1105 i Figur 7-4. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 2.2 m efter 5 år.
Förändringen i vattennivå framgår också av påverkansområdena, se Kapitel 9.

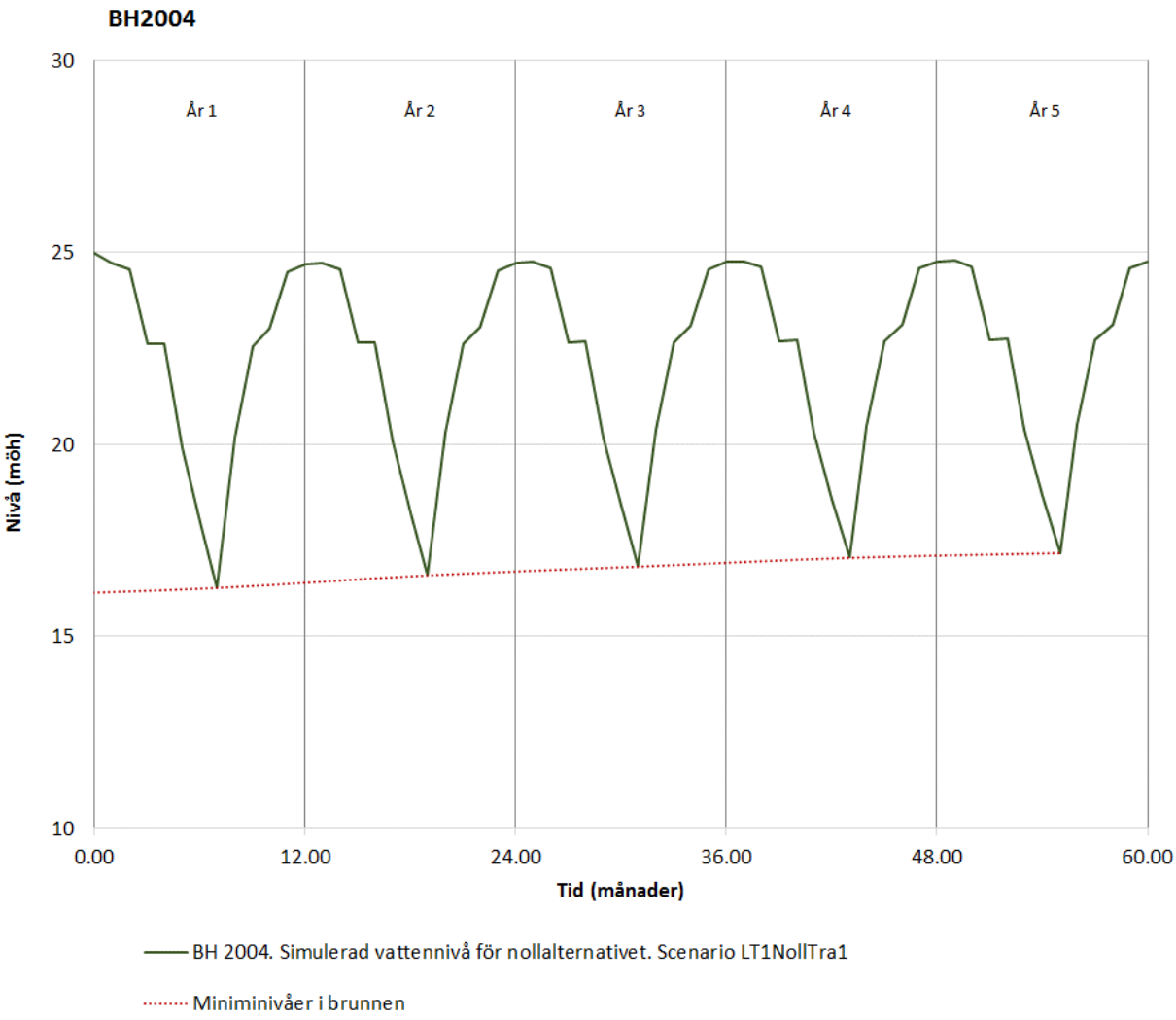
Med avseende på Scenario LT1Noll40a visas simulerade grundvattennivåer för situationen med helt vattenfyllda dagbrott, för högvattensituationen i december i Figur 8-1 och för lågvattensituationen i juli i Figur 8-2. Figurerna visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Den stora variationen i grundvattennivå under året framgår tydligt av figurerna

Inflöde till dagbrotten

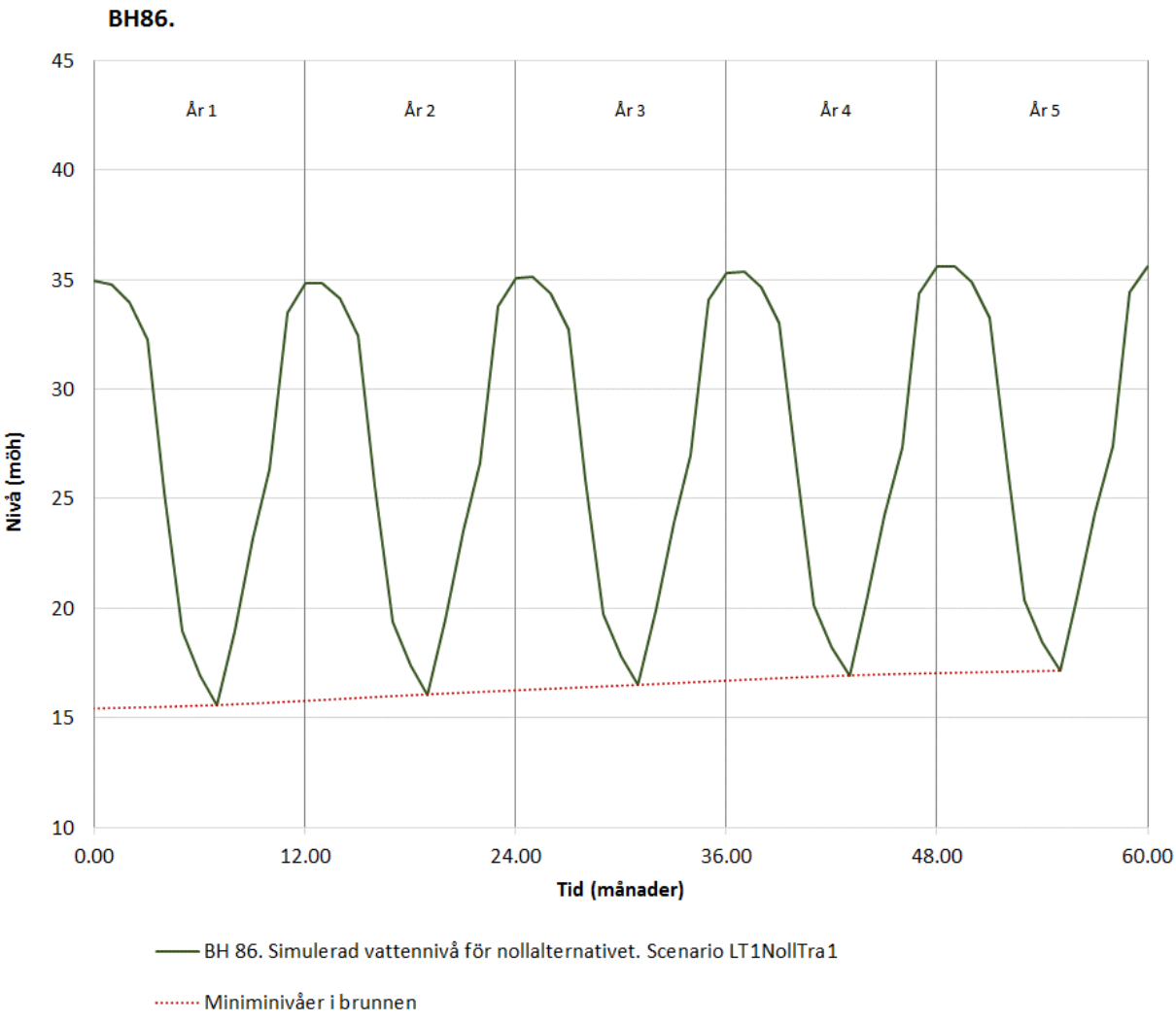
Eftersom dagbrotten inte dräneras har inflödet till dagbrotten inte beräknats.



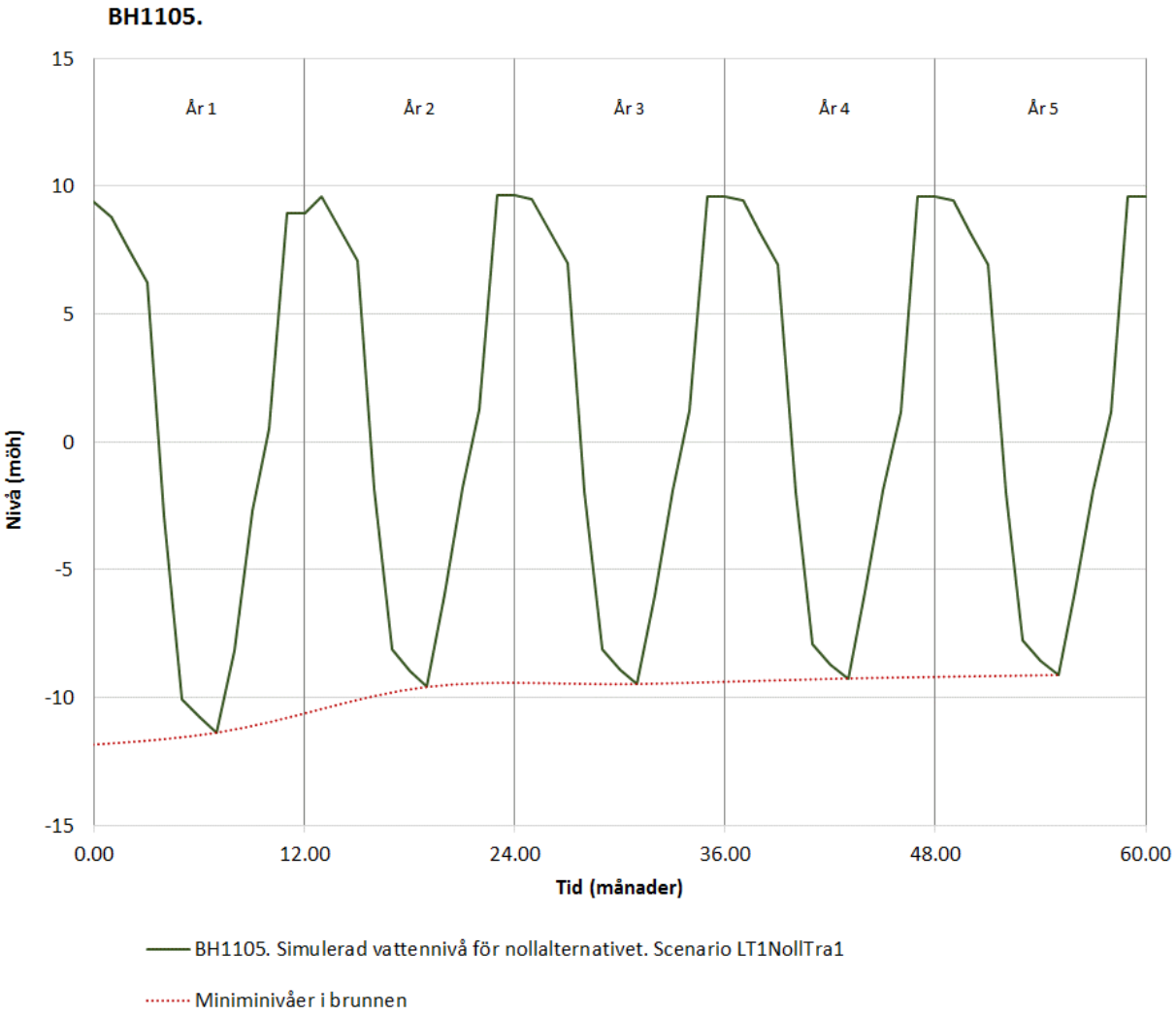
Figur 7-1 *Scenario LT1Noll4a: Nollalternativet med successiv vattenfyllning av dagbrotten, om c:a 5 år. Simulerade vattennivåer i BH2001 för en period under vilken dagbrotten successivt vattenfylls.*



Figur 7-2 *Scenario LT1Noll4a: Nollalternativet med successiv vattenfyllning av dagbrotten, om c:a 5 år. Simulerade vattennivåer i BH2004 för en period under vilken dagbrotten successivt vattenfylls.*



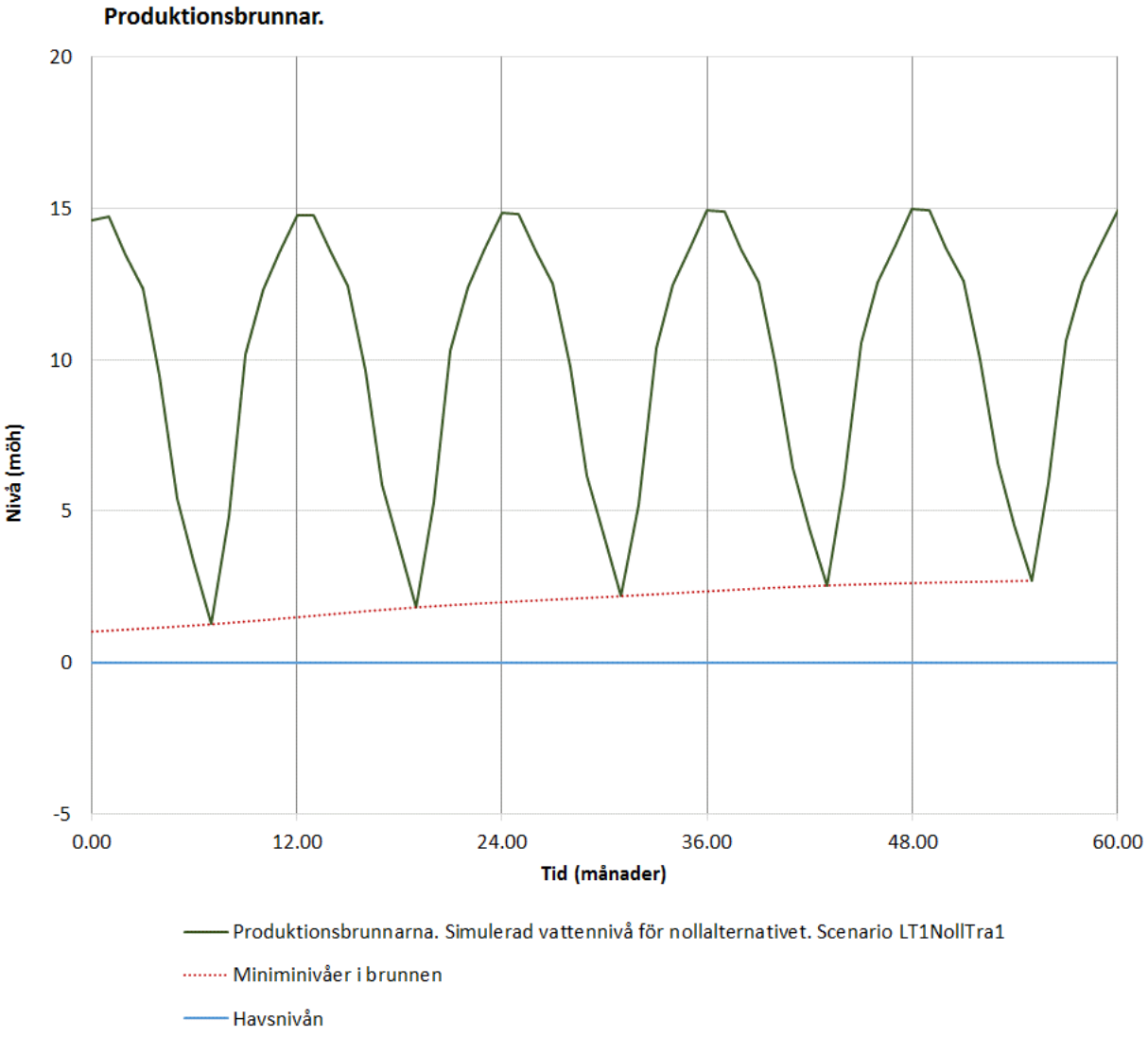
Figur 7-3 *Scenario LT1Noll4a: Nollalternativet med successiv vattenfyllning av dagbrotten, om c:a 5 år. Simulerade vattennivåer i BH86 för en period under vilken dagbrotten successivt vattenfylls.*



Figur 7-4 *Scenario LT1Noll4a: Nollalternativet med successiv vattenfyllning av dagbrotten, om c:a 5 år. Simulerade vattennivåer i BH1105 för en period under vilken dagbrotten successivt vattenfylls.*

Produktionsbrunnarna (den kommunala grundvattentäkten)

Resultaten i Figur 7-5 nedan avser vattennivån i de kommunala produktionsbrunnarna då dagbrotten successivt har vattenfyllts under 5 år. Alltså nollalternativet om 5 år (Scenario LT1noll4a). Figuren visar simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period om 5 år under vilken vattennivån i dagbrotten successivt har höjts. Från nuvarande situation (2021) och 5 år in i framtiden. Under denna period har miniminivåerna i brunnarna i slutet på juli stigit med nära 2 m i jämförelse med den initiala situationen. I modellen pumpas produktionsbrunnarna med 220 000 m^3/år.



Figur 7-5 *Scenario LT1Noll4a: Nollalternativet med successiv vattenfyllning av dagbrotten, om c:a 5 år. Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för en period under vilken dagbrotten successivt vattenfylls.*

8. Nollalternativ om c:a 40 år – Vattenfyllda dagbrott

Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år. Scenario LT1noll40a.

Tidsberoende

Med avseende på hur det studerade systemet förändas med tiden, har det studerade scenariot simulerats på följande vis i modellen:

Fall S: Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021. Dagbrotten är simulerade som vattenfyllda. Simuleringen utförs genom att flera normalår simuleras efter varandra med vattenfyllda dagbrott. Denna simulering visar hur vattenfyllda dagbrott påverkar det omgivande grundvattensystemet. Det bedöms att denna situation kan uppkomma efter att en successiv vattenfyllning av dagbrotten har pågått i c:a 40 år.

Simulerade grundvattennivåer

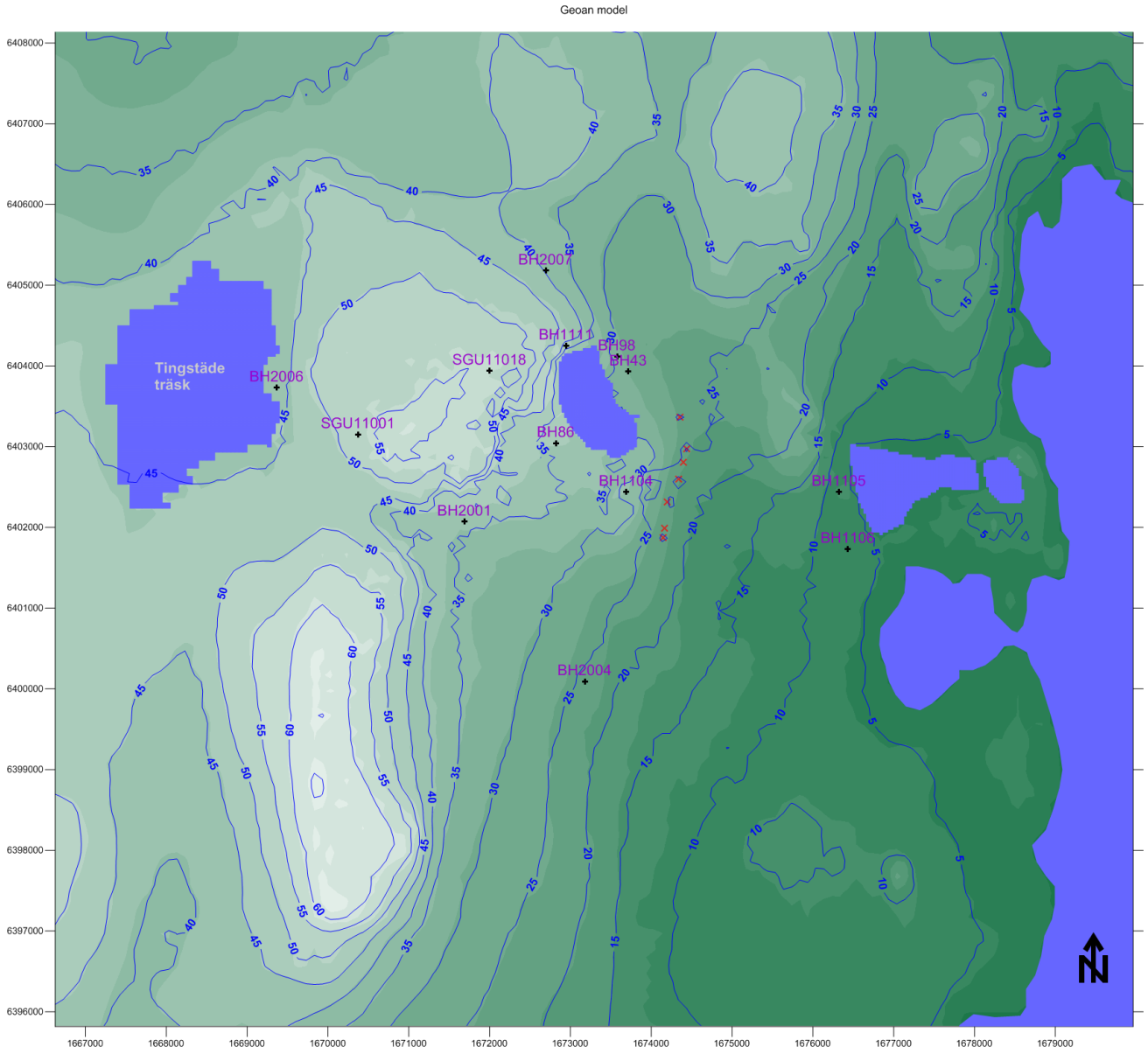
Med avseende på Scenario LT1 och Fall S, helt vattenfyllda dagbrott om 40 år, visas simulerade grundvattennivåer kring dagbrotten för högvatten i december i Figur 8-1. lågvattensituationen i juli i Figur 8-2. Figurerna visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Den stora variationen i grundvattennivå under året framgår tydligt av figurerna

Simulerade vattennivåer i ett antal borrhål för ett normalår då dagbrotten har vattenfyllts (om c:a 40 år) visas i figurer nedan.

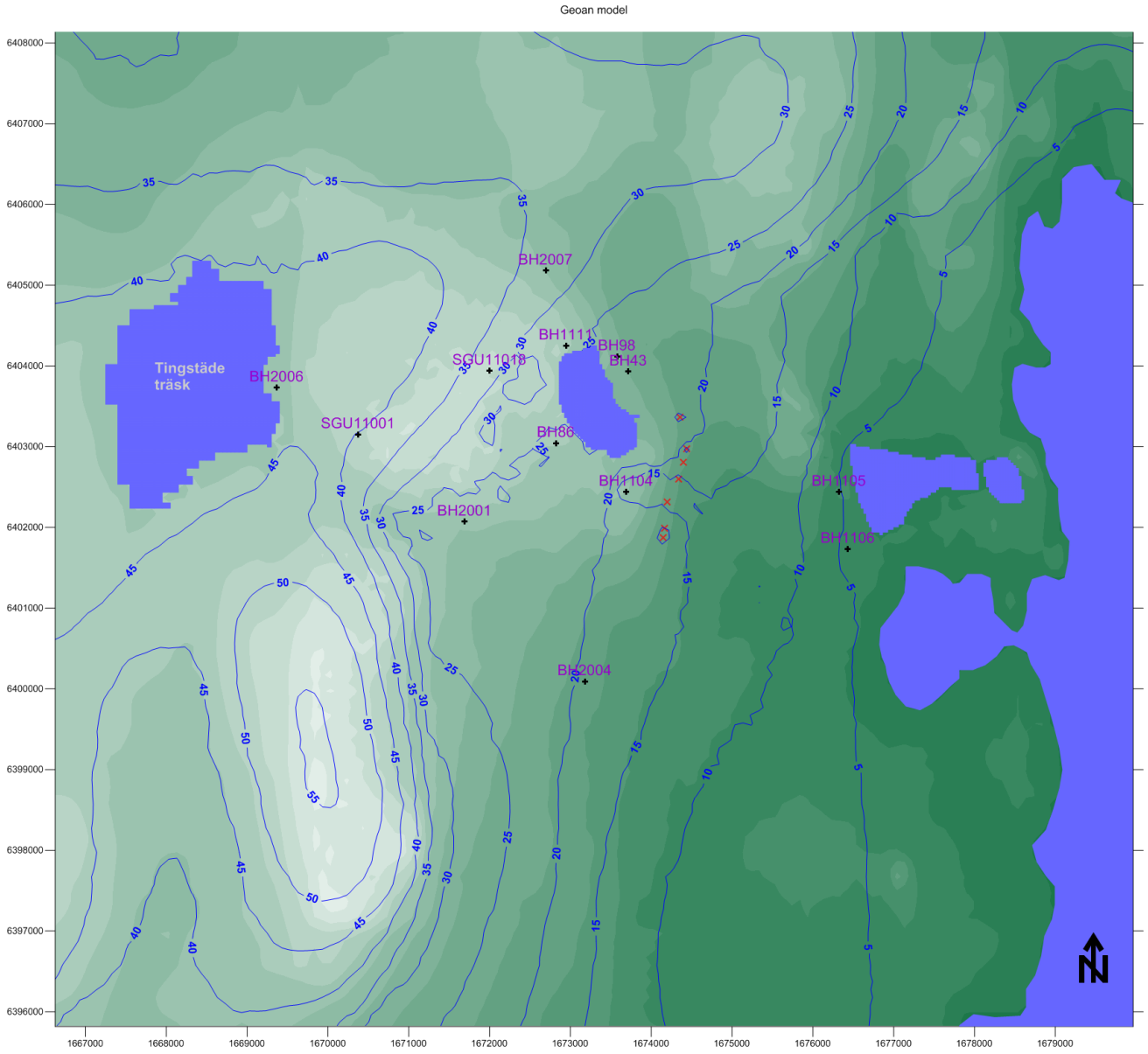
För BH2001 i Figur 8-3. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 4.5 m.
För BH2004 i Figur 8-4. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 3.1 m.
För BH86 i Figur 8-5. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 5.5 m.
För BH1105 i Figur 8-6. Miniminivåerna i slutet på juli höjs med 16.4 m
Förändringen i vattennivå framgår också av påverkansområdena, se Kapitel 9.

Inflöde till dagbrott

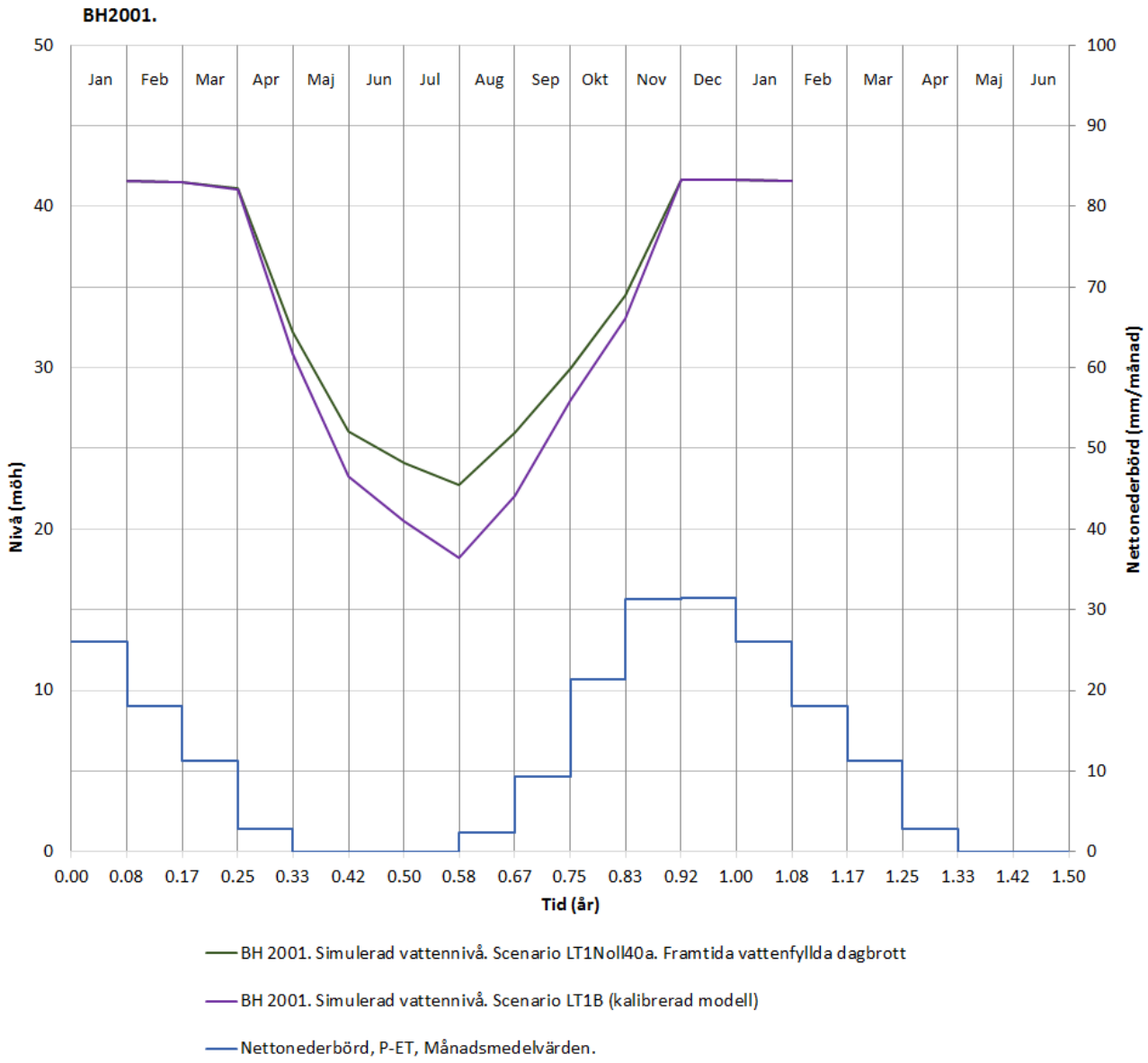
Eftersom dagbrotten inte dräneras har inflödet till dagbrotten inte beräknats.



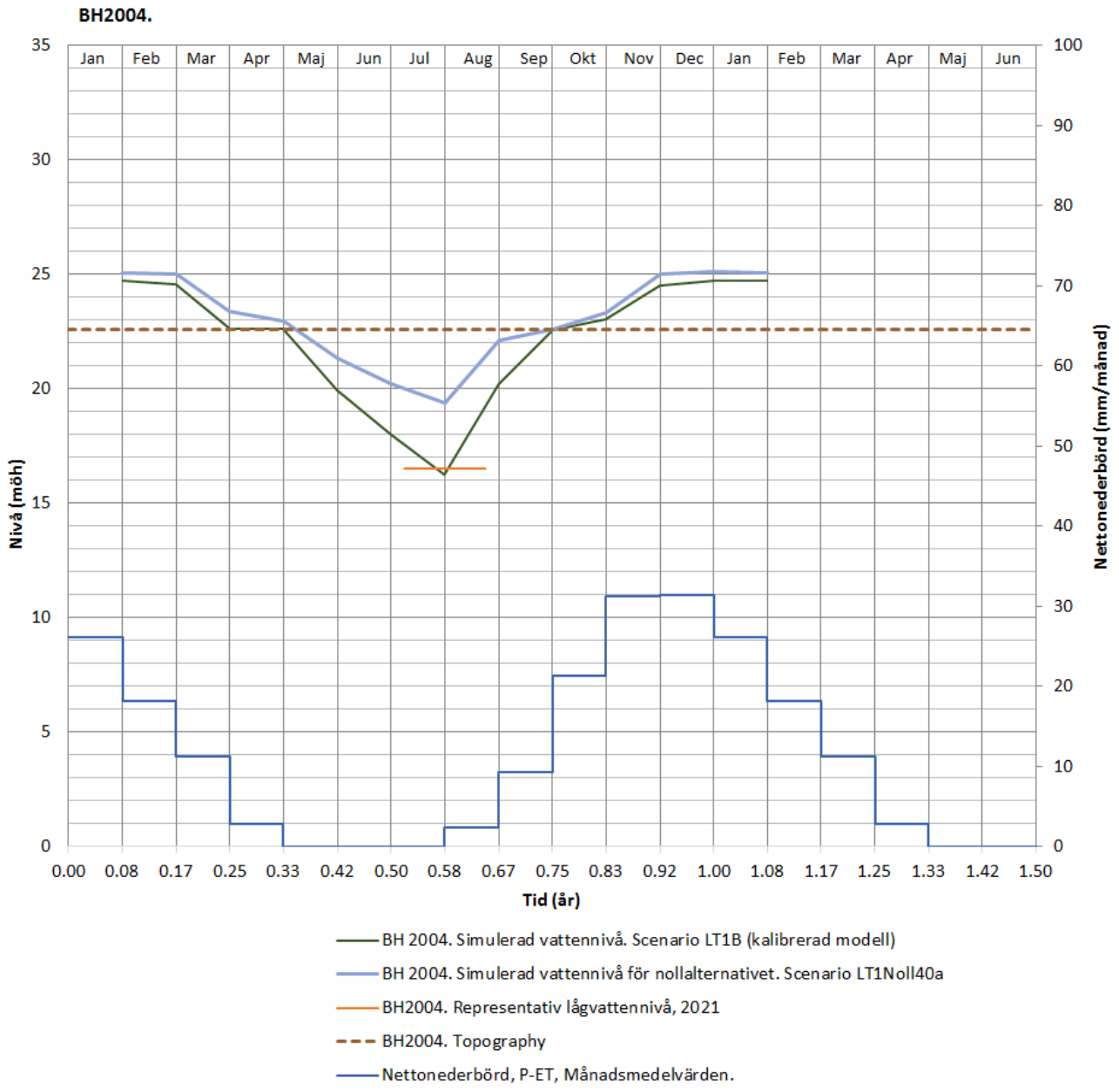
Figur 8-1 *Scenario LT1Noll40a, Fall S. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott. Grundvattennivåer kring dagbrotten för* ***högvattensituationen*** *i december. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).*



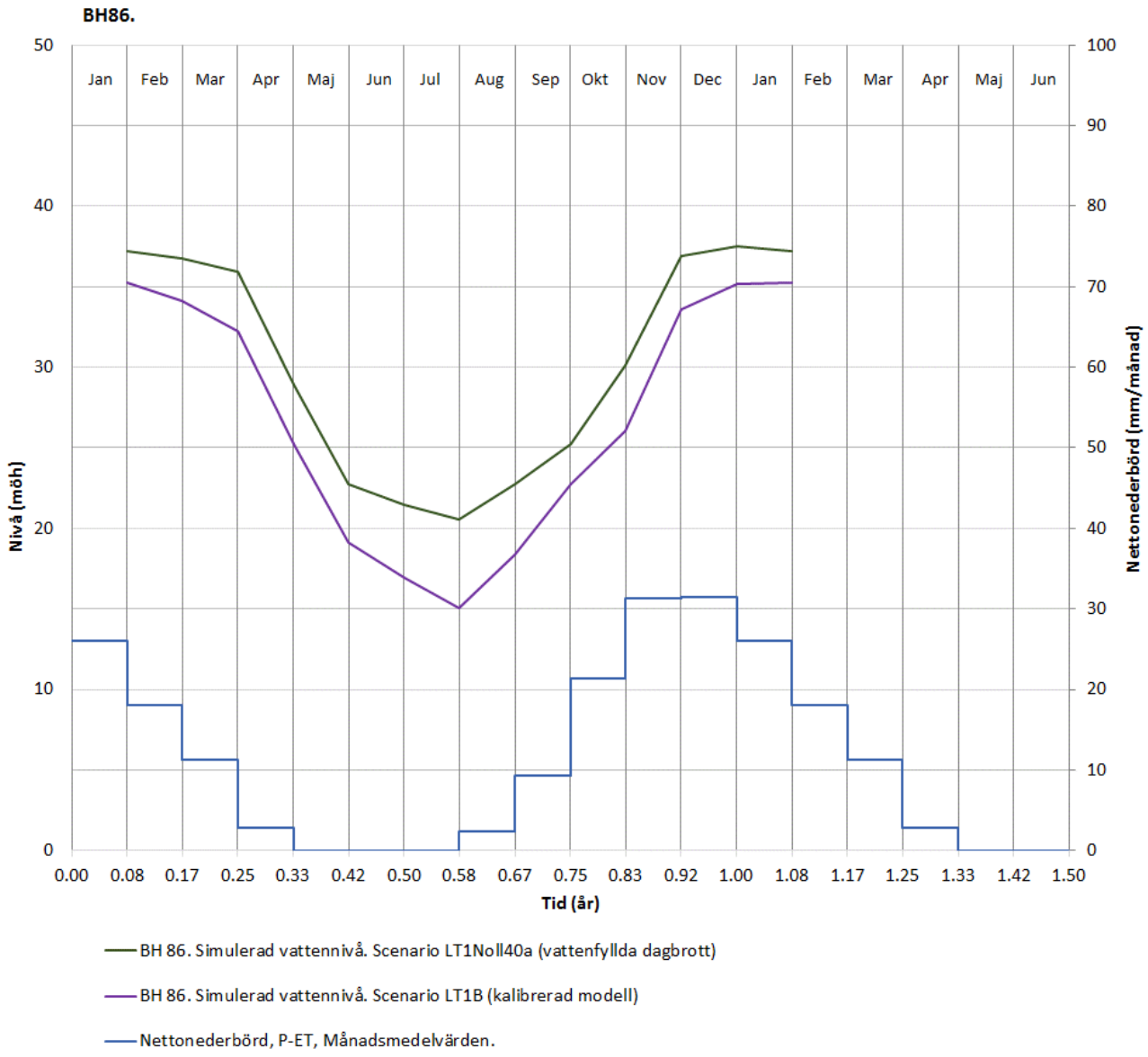
Figur 8-2 *Scenario LT1Noll40a, Fall S. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott. Grundvattennivåer kring dagbrotten för* ***lågvattensituationen*** *i juli. Figuren visar representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).*



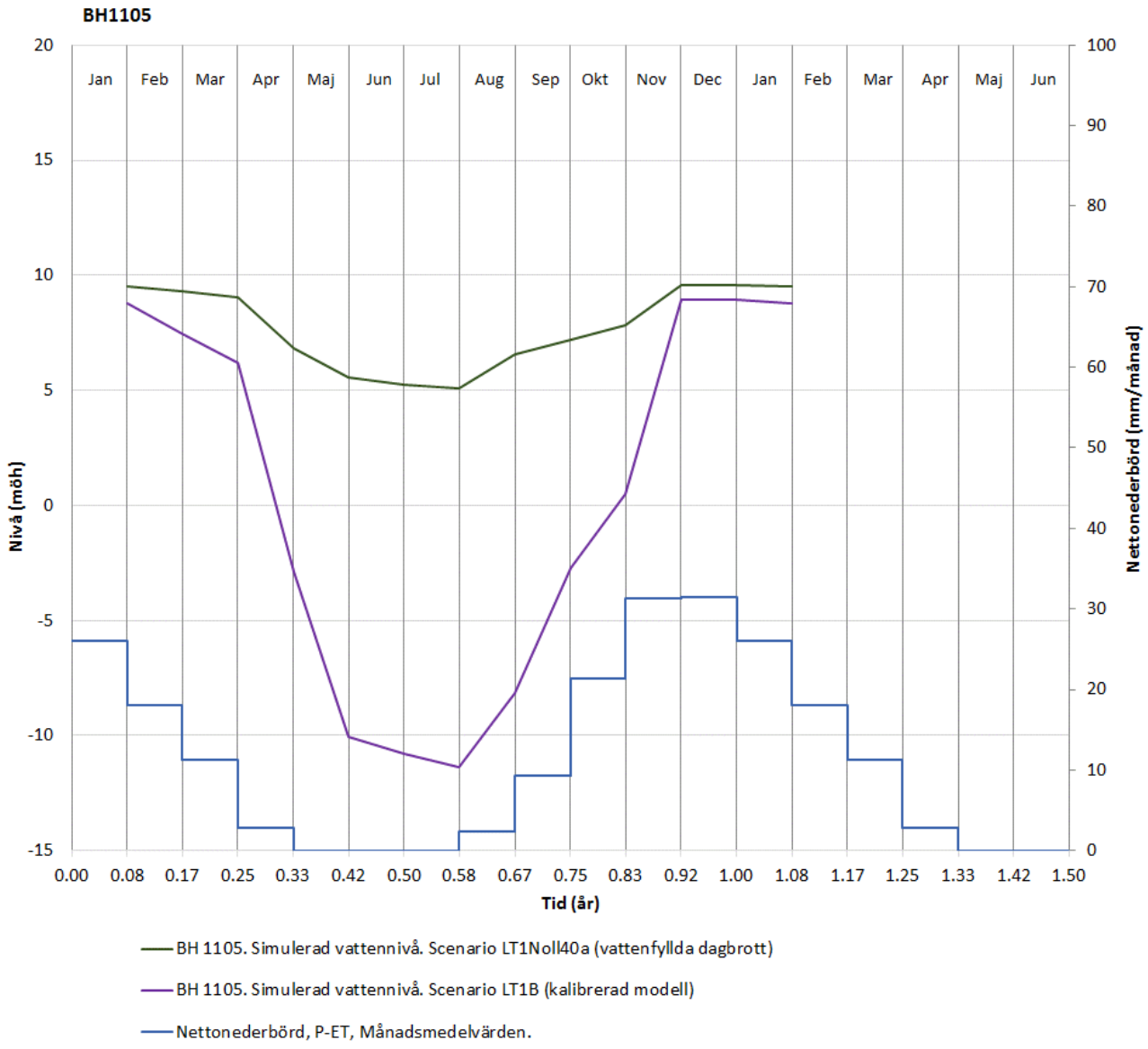
Figur 8-3 *Scenario LT1Noll4a. Simulerade vattennivåer i BH2001 för ett normalår. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott.*



Figur 8-4 *Scenario LT1Noll4a:Simulerade vattennivåer i BH2004 för ett normalår. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott.*



Figur 8-5 *Scenario LT1Noll4a: Simulerade vattennivåer i BH86 för ett normalår. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott.*

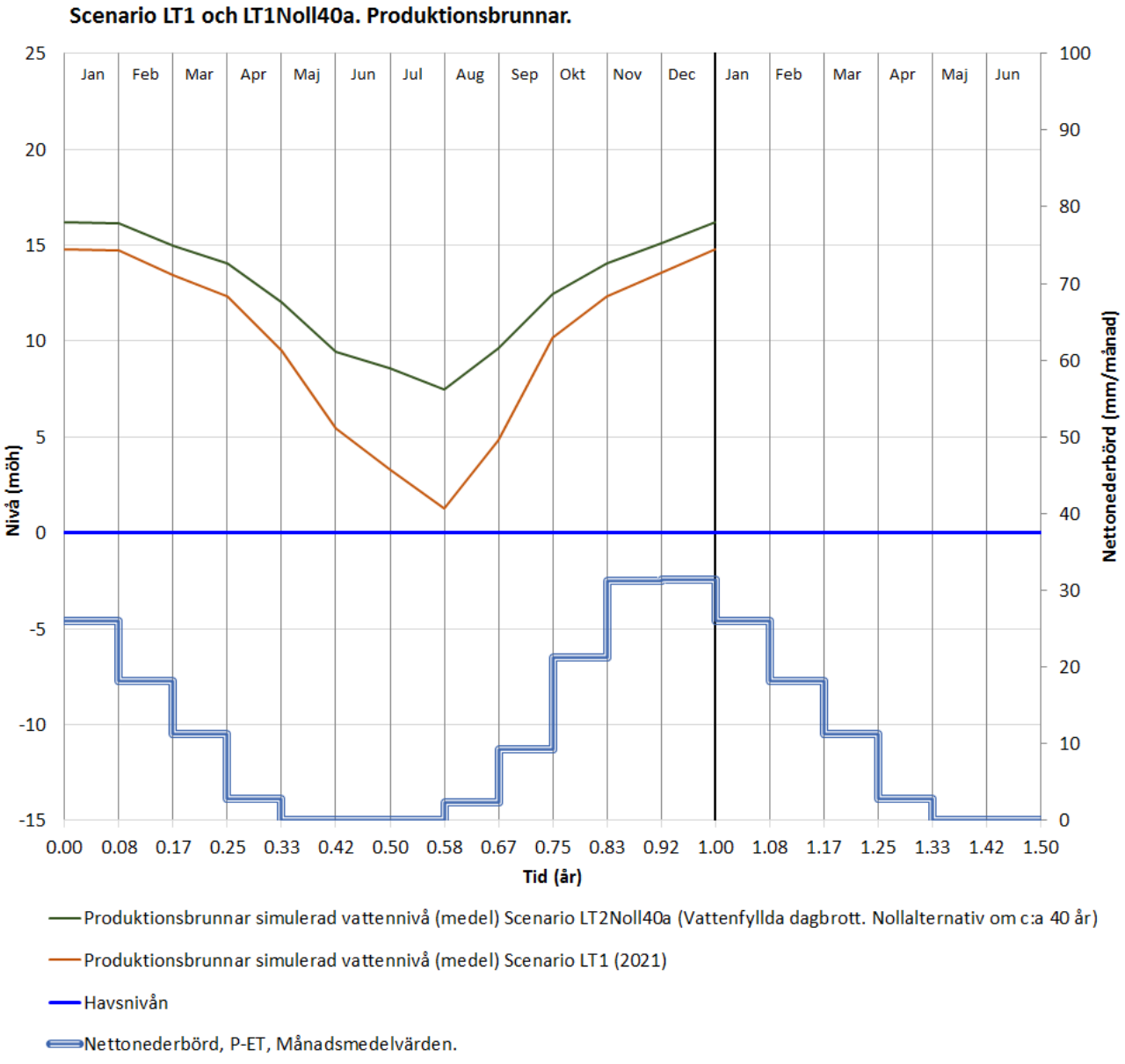


Figur 8-6 *Scenario LT2Noll4a: Simulerade vattennivåer i BH1105 för ett normalår. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott.*

Produktionsbrunnarna (den kommunala grundvattentäkten)

För nollalternativ om c:a 40 år (Scenario LT1noll40a helt vattenfyllda dagbrott) visar Figur 8-7 simulerade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Figuren visar simulerade grundvattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår.

För den framtida situationen har miniminivåerna i brunnarna i slutet på juli stigit med nära 6.2 m i jämförelse med den initiala situationen (Scenario LT1, nuvarande situation 2021). I modellen pumpas produktionsbrunnarna med 220 000 m^3/år.



Figur 8-7 *Scenario LT1Noll40a: Simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott.*

9. Påverkansområden

9.1 Indirekt påverkansområde

Påverkansområden för ett dagbrott kan beräknas som ett direkt påverkansområde och som ett indirekt påverkansområde. Det område från vilket grundvatten strömmar till ett dagbrott kan benämnas som dagbrottets direkta påverkansområde. Ett direkt påverkansområde kan beräknas via en analys av grundvattnets flödesmönster, till exempel via numerisk partikelspårning. Det är inte samma sak som ett indirekt påverkansområde. Ett indirekt påverkansområde beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras. Det indirekta påverkansområdet är normalt större än det direkta påverkansområdet. Det indirekta påverkansområdet inkluderar normalt också områden där grundvatten inte strömmar mot dagbrotten; områden som påverkas genom att grundvattennivåerna har förändrats, utan att grundvattenflödet nödvändigtvis strömmar mot dagbrotten.

Analyserna av dagbrottens indirekta påverkansområde baseras på förändring i grundvattennivå, som orsakas av de utökade dagbrotteten, dränerade eller vattenfyllda. De dränerade dagbrotten fungerar som stora hydrauliska sänkor för grundvattensystemet, dessutom utgör den kommunala grundvattentäkten öster om File hajdar ytterligare en betydande hydraulisk sänka för grundvattnet inom det studerade området. Tillsammans har dessa avledningar av vatten lett till att grundvattennivåerna kring Slite och File hajdar har avsänkts. När dagbrotten görs större leder detta till ett större vatteninflöde till dagbrotten och att grundvattenvattennivåerna kommer att avsänkas ytterligare kring dagbrotten.

Det är den kombinerade effekten av dagbrotten och vattentäkten som orsakar grundvattenavsänkningen.

Dagbrottens indirekta påverkan på de omgivande grundvattennivåerna beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras, enligt nedan.

$H_{diff} = H_{framtida} - H_{nuvarande}$

H_{diff} *= Förändring i grundvattennivå [m]*
$H_{nuvarande}$ *= Nuvarande grundvattennivå [m]*
$H_{framtida}$ *= Framtida grundvattennivå [m]*

Skillnaderna beräknas för ett stort antal punkter (beräkningsceller) inom det studerade området (modellen). Skillnaderna som beräknats enligt ekvationen ovan kan sedan plottas på en karta och isolinjen för en viss förändring kan markeras. Påverkansområdet är området innanför en viss vald isolinje, den studerade isolinjens värde kan vi kalla för **gränsvärdet**.

Det är viktigt att notera att det indirekta påverkansområdet inte är samma sak som en avsänkningstratt kring dagbrotten. Det indirekta påverkansområdet inkluderar flödesvägar riktade mot dagbrottet, men också flödesvägar riktade bort från dagbrottet.

9.2 Gränsvärde för påverkansområde

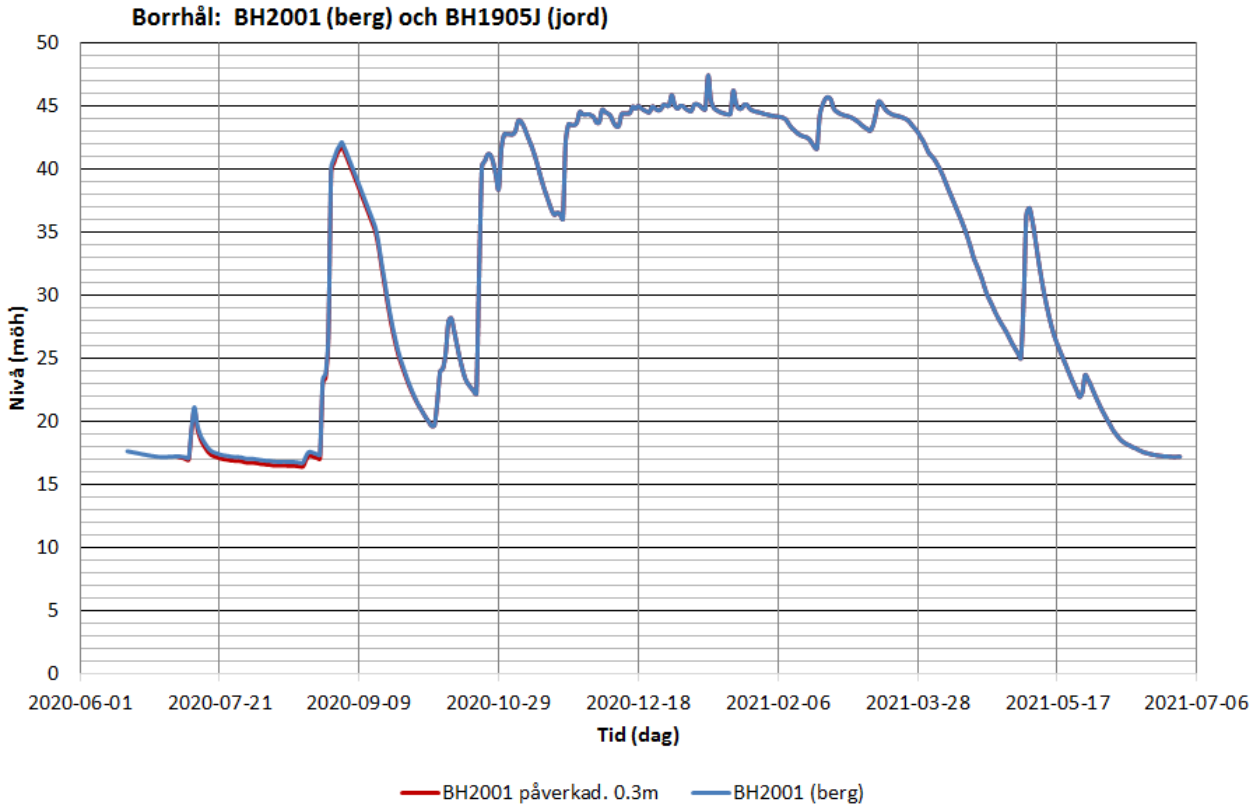
Storleken på påverkansområdet varierar med storleken på gränsvärdet som diskuteras ovan: ju mindre gränsvärde, desto större påverkansområde. Vad som ofta glöms bort när storleken på gränsvärdet diskuteras är dock att analysens osäkerhet också beror av gränsvärdets storlek: ju mindre gränsvärde, desto större är osäkerheten i storleken på det beräknade påverkansområdet. Det är därför orimligt att välja ett gränsvärde som är mycket mindre än naturliga variationer i grundvattennivå och mycket mindre än osäkerheten i topografi och uppmätta grundvattennivåer.

Gränsvärdet bör vara så stort att den förändring i grundvattennivå som gränsvärdet representerar tydligt kan särskiljas från naturliga variationer i grundvattennivåerna. Gränsvärdet bör därför sättas i relation till de naturliga årliga variationerna i vattennivå. Om den naturliga årliga variationen är 1–2 meter, vilket ofta är storleksordningen för en naturlig variation i ett grundvattensystem, så motsvarar ett gränsvärde på 0,3 m 15–30 % av den årliga variationen i vattennivå, och kan troligen urskiljas från den naturliga variationen. Det studerade grundvattensystemet vid File hajdar är dock ett ovanligt grundvattensystem med extremt stora årliga variationer i grundvattennivåer i berg – ofta i storleksordningen 20 meter, en amplitud på 35 m är uppmätt i borrhål BH1104. Om den naturliga årliga variationen är 20 m, motsvarar ett gränsvärde på 0,3 meter 1,5 % av den årliga variationen, och värdet kommer därför i verkligheten att inte kunna urskiljas från naturliga förändringar. Detta illustreras i figurerna nedan (Figur 9-1 och Figur 9-2).

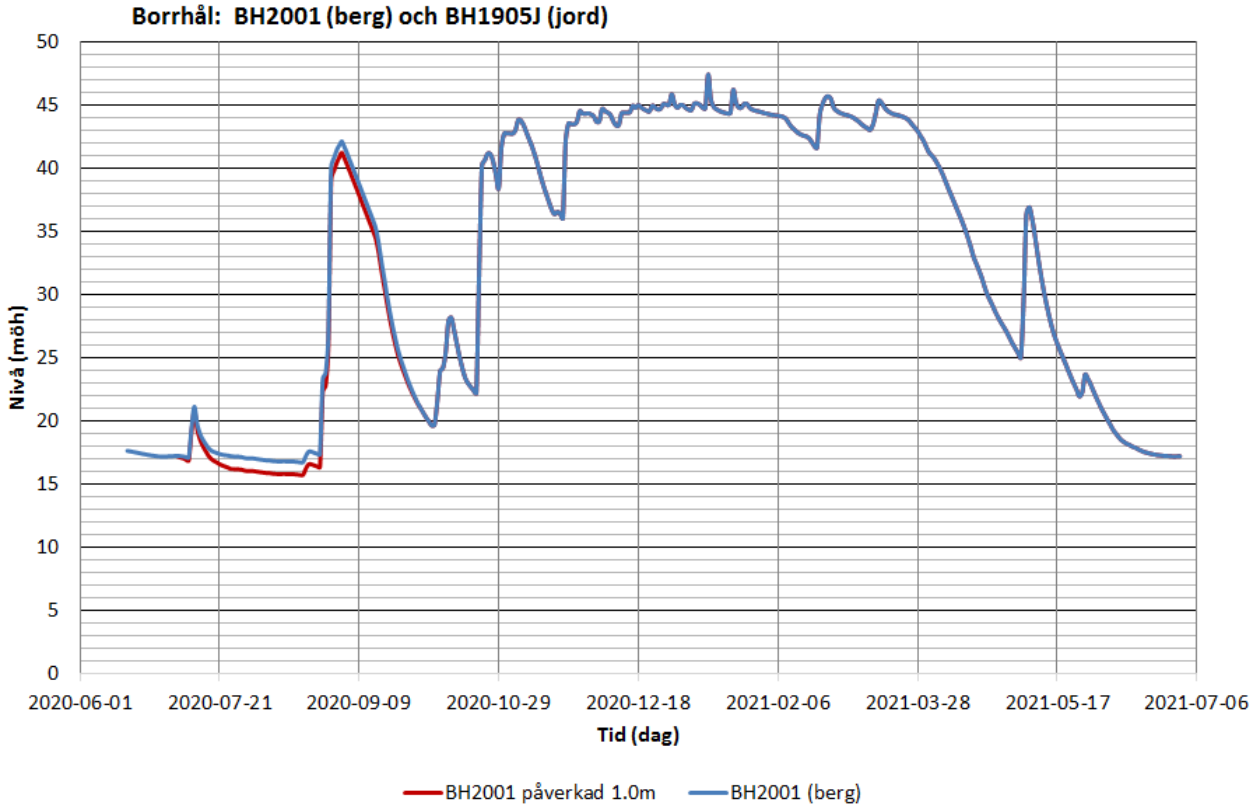
Den blå linjen i figurerna visar uppmätta grundvattennivåer i borrhål BH2001 under 2020-2021. Den röda linjen i Figur 9-1 visar de uppmätta grundvattennivåerna minus en påverkan på 0.3 m i slutet på sommaren 2020. Som man tydligt ser i Figur 9-1 går det inte att i praktiken särskilja de påverkade nivåerna från de opåverkade nivåerna. Teoretiskt kan man räkna ut att påverkan är lika med -0.3 m, men det går inte att i verkligheten särskilja en så liten förändring från den naturliga variationen om den naturliga variationen är stor.

Den röda linjen i Figur 9-2 visar de uppmätta grundvattennivåer minus en påverkan på 1.0 m i slutet på sommaren 2020. Som man ser i Figur 9-2 går det att i figuren särskilja de påverkade nivåerna från de opåverkade nivåerna, men i verkligheten är det fortfarande omöjligt, eftersom amplituden är så stor som 30 m, och mönstret med höga och låga vattennivåer i verkligheten inte infaller på samma tidpunkter för olika år.

Teoretiskt kan man räkna ut att påverkan är lika med -0.3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som tex 20 m (eller större). Ett bättre sätt vore att definiera gränsvärdet i relation till den årliga amplituden, tex att definiera gränsvärdet till 10% av amplituden med ett minimivärde på 0.3 m, vilket för BH2001 skulle betyda ett gränsvärde lika med c:a 3 m.



Figur 9-1 Årlig variation i vattennivå i BH2001, och exempel på påverkad vattennivå (konstruerad).



Figur 9-2 Årlig variation i vattennivå i BH2001, och exempel på påverkad vattennivå (konstruerad).

Detta gör att en analys av påverkansområden som baseras på små gränsvärden, och som appliceras på ett studerat system med stora nivåvariationer, kommer att resultera i en analys med betydande osäkerheter med avseende på påverkansområdets storlek. Det är då en förbättring att välja ett större gränsvärde, som kommer att producera en analys med mindre osäkerheter.

Vi har i denna studie främst använt ett gränsvärde som är lika med 1 m när vi har beräknat påverkansområden. Vi har också beräknat påverkansområden med ett gränsvärde som är lika med 0,3 m för att tillmötesgå önskemål från vissa myndigheter under samrådsprocessen, även om 0,3 m är ett orimligt litet gränsvärde för det studerade systemet.

9.3 Påverkansområden för Scenario LT2 – Ansökt utökning utbrutet och dränerat

Scenario LT2. Ansökt utökning utbrutet och dränerat
Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.

Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli).

Jämförelse görs mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021). Alltså:

Skillnad i grundvattennivå =

[Nivå för Scenario LT2. Ansökt utökning utbrutet och dränerat] minus

[Nivå för Scenario LT1B-2021, den nuvarande situationen (2021), kalibrerade beskrivningen]

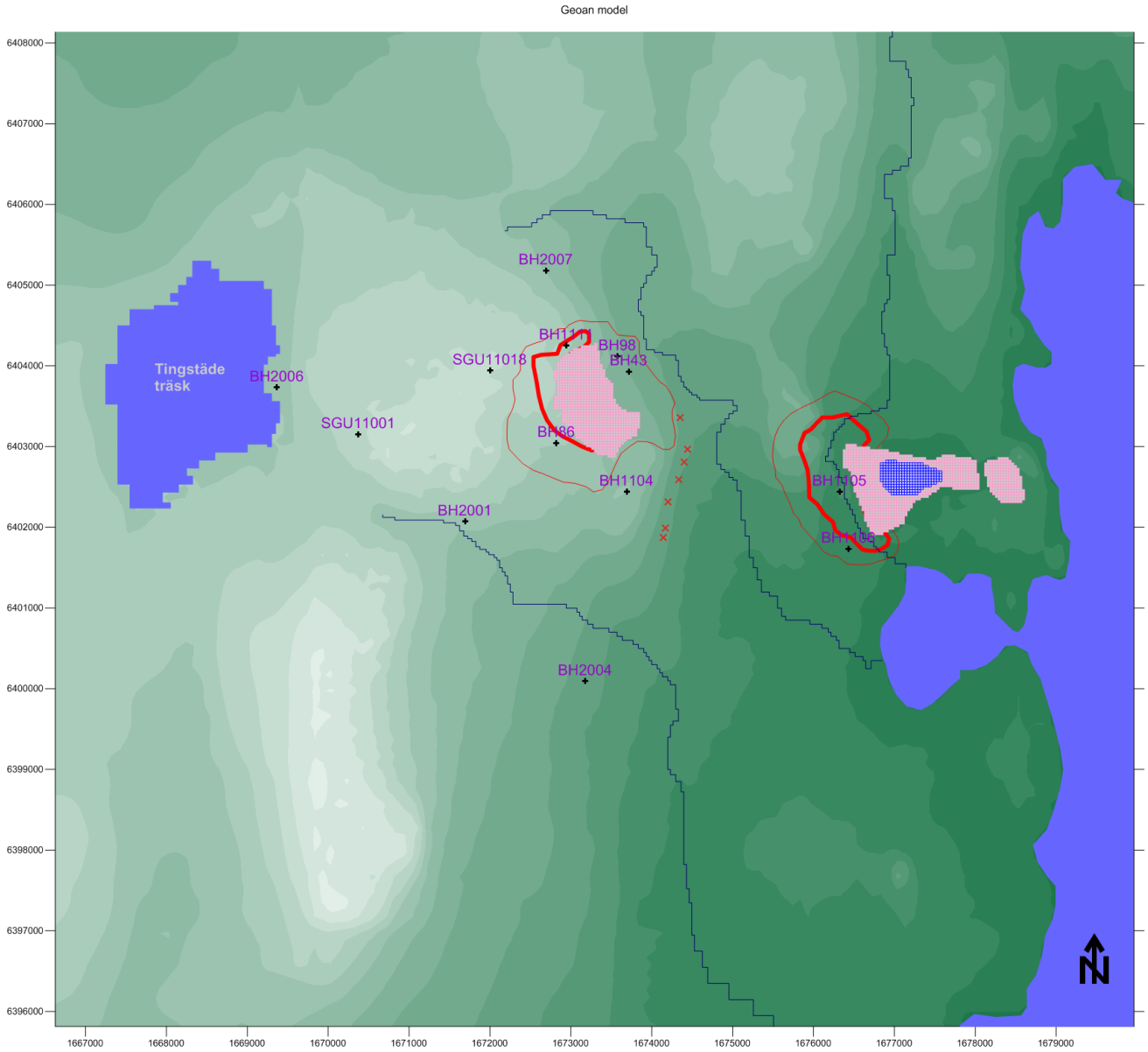
Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).

Beräkningarna är gjorda för [Scenario LT2 fall S] vilket är det beräkningsfall som producerar det största påverkansområdet, [Scenario LT2 fall T] producerar mindre områden.

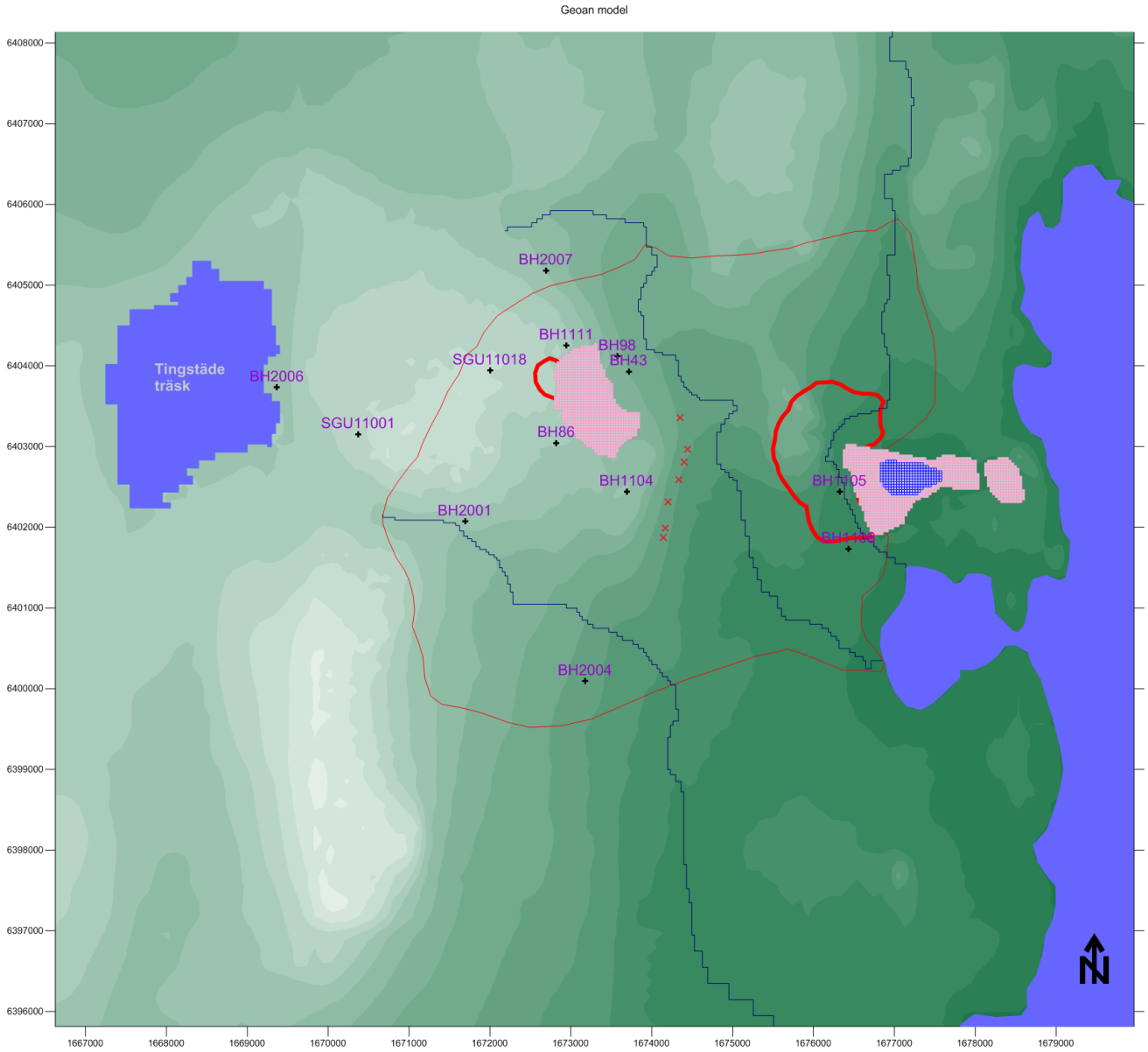
För högvattensituationen visas resultaten i Figur 9-3
För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 9-4

Påverkansområden har beräknats för gränsvärdet 1.0 m. För File hajdar dagbrott är påverkansområdet litet för högvattensituationen och mycket litet för lågvattensituationen. Det mycket lilla området som erhålls för lågvattensituationen beror på att dagbrottets botten till stor del ligger ovanför grundvattenytan under lågvattensituationen (sommaren). För Västra och Östra brotten är påverkansområdena också små och begränsade till dagbrottens närområde.

Det större påverkansområdet som erhålls för gränsvärdet 0.3 m och lågvattensituationen beror inte bara på utökningen av dagbrotten utan också till stor del på vattenuttaget som görs av de kommunala produktionsbrunnarna (vattentäkten). Som tidigare nämnts går det att teoretiskt räkna ut ett påverkansområde för gränsvärdet 0.3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som 20 m (eller större).



Figur 9-3 *Scenario LT2. Ansökt utökning utbrutet och dränerat. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg.* ***Högvattensituationen*** *(december). Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) [Scenario LT2 fall S] minus [Scenario LT1B]. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Fet röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 1 m. Tunn röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 0.3 m. Notera att påverkansområdena har beräknats för en situation då de utökade dagbrotten har varit dränerade i många år.*



Figur 9-4 *Scenario LT2. Ansökt utökning utbrutet och dränerat. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg.* ***Lågvattensituationen*** *(juli). Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021) [Scenario LT2 fall S] minus [Scenario LT1B]. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Fet röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 1 m. Tunn röd linje representerar en avsänkning av vattennivån lika med 0.3 m. Notera att påverkansområdena har beräknats för en situation då de utökade dagbrotten har varit dränerade i många år.*

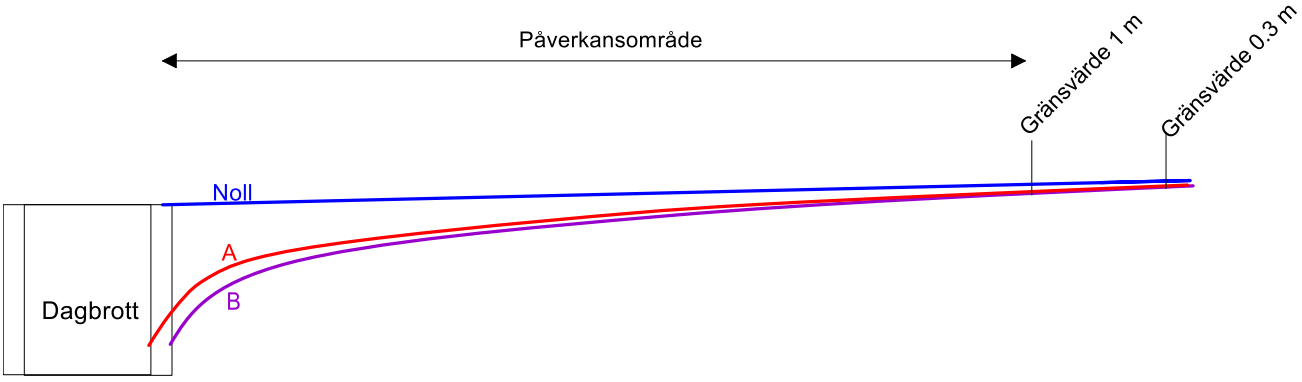
9.4 Påverkansområden för scenarier med vattenfyllda dagbrott

9.4.1 Inledning

Med avseende på påverkansområden för vattenfyllda dagbrott erhålls samma områden både för ett scenario då dagbrotten har den storlek som de hade i oktober 2021, och för ett scenario då dagbrotten har den storlek som de kommer att få när då den ansökta utökningen är fullt utbruten, eftersom skillnaden i dagbrottens storlek är ringa

Då dagbrotten är vattenfyllda blir skillnaden i påverkansområden för dagbrott med något olika horisontal storlek liten, eftersom det är att dagbrotten fylls med vatten, som är den stora och viktiga förändringen. En mindre utökning av dagbrottens horisontala storlek som tex den ansökta utökningen, är av betydligt mindre betydelse än vattenfyllningen. Särskilt för File hajdar dagbrott är den stora förändringen i nollalternativet att det finns vatten i dagbrottet hela året, vatten som under sommaren kan läcka till grundvattensystemet och därmed hålla uppe grundvattennivåerna under sommaren.

När påverkansområdets gränsvärde är litet blir påverkansområdet stort. Vid små gränsvärden får vi i praktiken samma stora påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför med vattenfyllda dagbrott. Detta framgår av principskissen i Figur 9-5. I figuren representerar kurvorna A, B och Noll en viss trycknivå (tex grundvattenytan) vid tre olika situationer. Kurva A är tex grundvattenytan för Scenario A. Kurva B är tex grundvattenytan för Scenario B. Kurva Noll är grundvattenytan för ett vattenfyllt dagbrott.



Figur 9-5 Principskiss som visar påverkansområde och gränsvärde

Påverkansområdets storlek definieras geometriskt av den position där differensen D är lika stor som gränsvärdet. Differensen D definieras som:

Jämförelse A: D_A = Noll – A
Jämförelse B: D_B = Noll – B

Som man ser i Figur 9-5 blir påverkansområdet nästan exakt desamma för Jämförelse A och B, om gränsvärdet sätts som litet, eftersom kurvorna A och B nästan är identiska långt från dagbrottet. Därmed blir differensen D mot kurva Noll i praktiken densamma för A och B, när gränsvärdet är litet.

Om gränsvärdet är stort blir påverkansområdet större för jämförelse B (kurva B), och mindre för jämförelse A (kurva A). Om gränsvärdet är litet blir påverkansområdet (i praktiken) detsamma för jämförelse A och B. Vid små gränsvärden får vi nästan exakt samma påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför med nollalternativet.

Figuren demonstrerar också att för vattenfyllda dagbrott blir kurva Noll i praktiken densamma för rimliga förändringar i dagbrottets horisontala storlek, eftersom höjden på kurva noll främst ges av vattennivån i dagbrottet, inte av dagbrottens horisontala storlek.

9.4.2 Framtida situation. Nollalternativ om c:a 40 år Vattenfyllda dagbrott.

Scenario LT1noll40a. Fall S
Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.

Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda, både för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli). Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden.

Jämförelse görs mellan:

Skillnad i grundvattennivå =

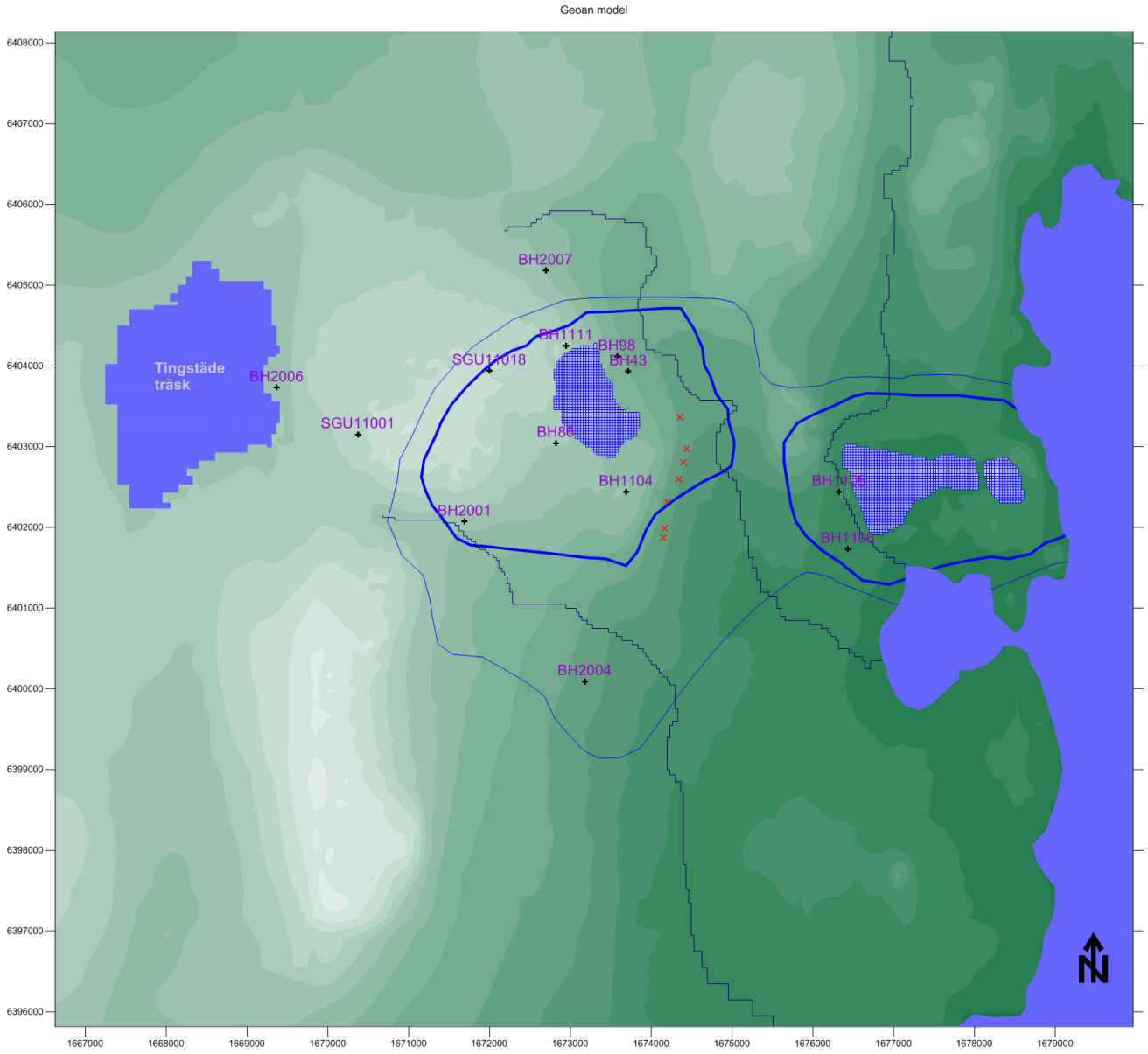
[Nivå för Scenario LT1Noll40a. Vattenfyllda dagbrott] minus

[Nivå för Scenario LT1-2021, den nuvarande situationen (2021), kalibrerade beskrivningen]

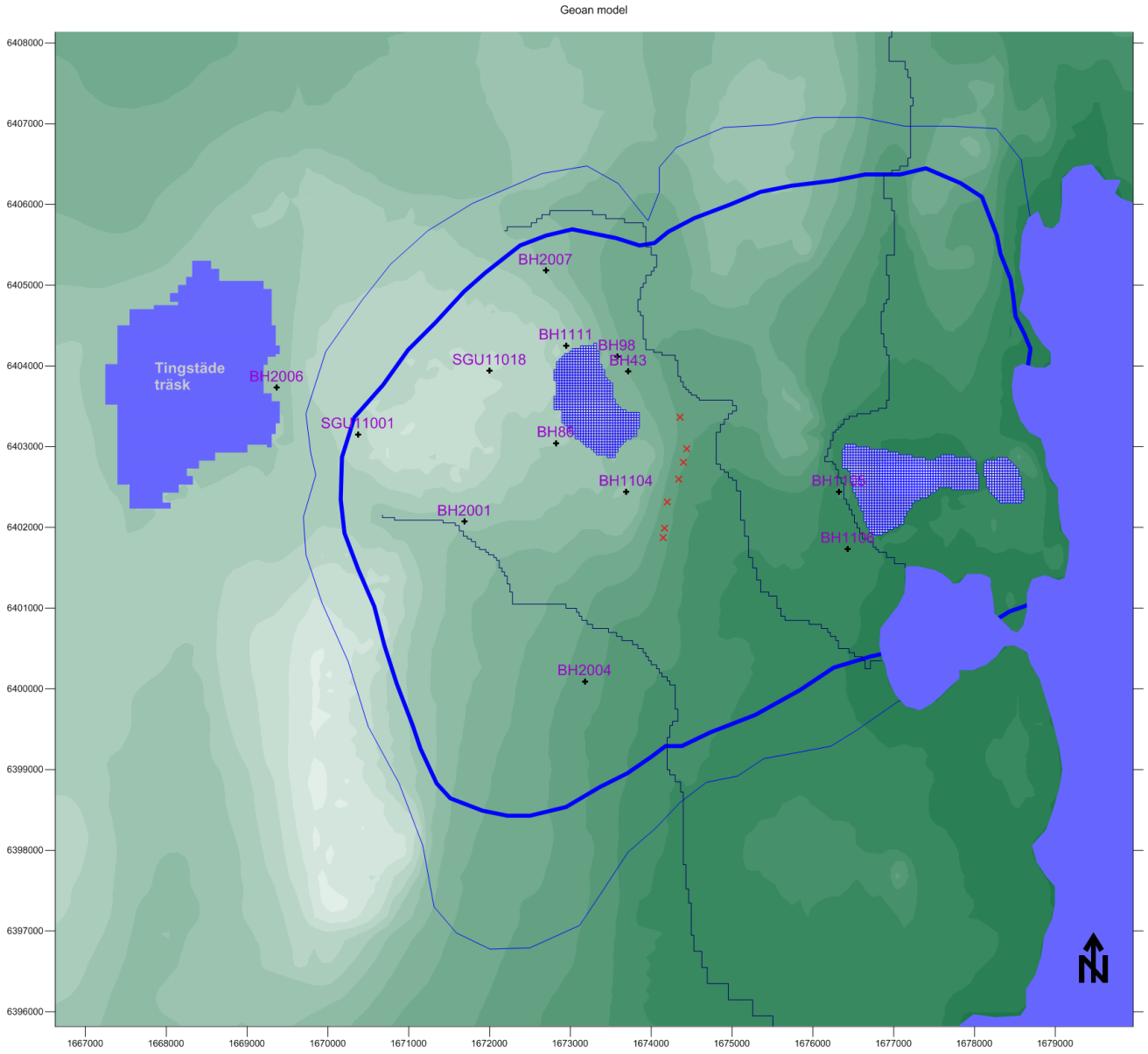
Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).

För högvattensituationen visas resultaten i Figur 9-6
För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 9-7.

Som tidigare nämnts går det att teoretiskt räkna ut ett påverkansområde för gränsvärdet 0.3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som 20 m (eller större).



Figur 9-6 *Scenario LT1. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg.* ***Högvattensituationen*** *(december). Figuren visar det påverkansområde som erhålls med vattenfyllda dagbrott i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0.3 m. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda. Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden.*



Figur 9-7 *Scenario LT1. Nollalternativ om 40 år, vattenfyllda dagbrott. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg.* ***Lågvattensituationen*** *(december). Figuren visar det påverkansområde som erhålls med vattenfyllda dagbrott i jämförelse med en situation med dränerade dagbrott. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8). Fet blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 1 m. Tunn blå linje representerar en höjning av vattennivån lika med 0.3 m. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda. Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden.*

9.4.3 Framtida situation. Utbrutet med vattenfyllda dagbrott, om c:a 40 år

Scenario LT2noll40a. Fall S
Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.

Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda, både för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli). Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden.

Jämförelse görs mellan:

Skillnad i grundvattennivå =

[Nivå för Scenario LT2Noll40a. Vattenfyllda dagbrott] minus

[Nivå för Scenario LT-2021, den nuvarande situationen (2021), kalibrerade beskrivningen]

Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).

Den ansökta utvidgningen är liten. En liten förändring i storlek på dagbrotten är av ringa betydelse i jämförelse med att dagbrotten vattenfylls. När påverkansområdets gränsvärde är litet blir påverkansområdet stort. Vid små gränsvärden får vi i praktiken samma stora påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför med vattenfyllda dagbrott, se Figur 9-5. Alltså erhålls samma påverkansområde som vid Nollalternativet.

För högvattensituationen visas resultaten i Figur 9-6
För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 9-7.

Som tidigare nämnts går det att teoretiskt räkna ut ett påverkansområde för gränsvärdet 0.3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som 20 m (eller större).

9.4.4 Diskussion av påverkansområden vid vattenfyllda dagbrott

När dagbrotten vattenfylls blir förändringarna i grundvattennivå stora, särskilt för lågvattensituationen. När dagbrotten är helt eller delvis vattenfyllda kommer dagbrotten inte att avsänka grundvattennivåerna på det sätt som de gör för den nuvarande situationen. De stora förändringarna i grundvattennivå kring File hajdar dagbrott när dagbrottet vattenfylls kommer sig av att det då finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren, vatten som kan infiltrera till grundvattensystemet. Då kommer grundvattennivåerna i omgivningarna inte att sjunka på sommaren (lågvattensituationen), på det vis som grundvattennivåerna gör under nuvarande förhållande (då File hajdar dagbrott är dränerat). Det spelar roll om vattennivån i dagbrottet är låg eller hög, men för File hajdar dagbrott är det inte nödvändigtvis den mest betydelsefulla faktorn, den stora effekten skapas av att det finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren.

Infiltration av vatten från sjön som bildas i File hajdar dagbrott till omgivningarna förutsätter att det finns en god hydraulisk kontakt mellan sjön i File hajdar dagbrott och det omgivande grundvattensystemet, det är ett rimligt antagande för hur förhållandena ser ut idag. I ett längre perspektiv, många år in i framtiden, är det troligt att sediment kommer att ansamlas i sjön, vilket på lång sikt kommer att förminska den hydrauliska kontakten mellan sjön och det omgivande grundvattensystemet. Därmed kommer också infiltrationen av vatten från sjön till omgivningarna att minska med tiden, och de låga grundvattennivåerna under sommaren kommer med tiden att

åtminstone delvis kunna komma tillbaka. De beräknade alternativen med vattenfyllda dagbrott som presenteras i denna rapport förutsätter en god hydraulisk kontakt mellan täktsjön i File hajdar dagbrott och det omgivande grundvattensystemet.

Grundvattensituationerna som produceras med vattenfyllda dagbrott är situationer som aldrig tidigare har förekommit. Det är alltså inte en återgång till en tidigare situation eller en jämförelse med förhållandena innan Cementas verksamhet i Slite startade i början av 1900-talet. Dagbrotten har omvandlats till två sjöar av en betydande storlek och volym. Dessa sjöar har aldrig tidigare existerat.

Modellen predikterar att med vattenfyllda dagbrott kommer grundvattennivåerna att höjas tydligt inom ett mycket stort område, även nivåerna på större djup påverkas tydligt. Särskilt lågvattensituationen påverkas av att dagbrotten omvandlas till sjöar. Regionens vattentäkt påverkas kraftigt på ett positivt vis med tydligt förhöjda vattennivåer.

9.4.5 Andra påverkansområden och jämförelser

Påverkansområden och jämförelser mellan olika situationer presenteras också i Appendix, Sektion 16.

9.4.6 Påverkansområde med avseende på grävda brunnar i jordlagren

Som nämnts ovan avser de beräknade påverkansområdena en representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn, påverkansområdet med avseende på en brunn grävd i jordlagren kan förväntas vara betydligt mindre.

Vattennivån i en lokal grävd brunn beror normalt på de lokala hydrogeologiska förhållandena. Vattennivån i en grävd brunn beror till exempel på lokal topografi, och jordarternas djup och egenskaper på den plats där brunnen är grävd. En grävd brunn är ofta i god kontakt med ytvattensystemet nära brunnen. Detta gör att vattennivån i en grävd brunn ofta kan vara i det närmaste helt oberoende av grundvattennivåerna djupare ner i berget, vattennivåerna i en grävd brunn beror istället på vattennivån i närliggande vattensamlingar, våtmarker, diken eller vattendrag. Ytvattensystemet påverkas inte alls på samma sätt av dagbrotten som grundvattensystemet i berget, vilket i sin tur betyder att en grävd brunn som står i kontakt med ytvattensystemet inte heller påverkas om inte ytvattensystemet påverkas. Jordarterna har mycket större porositet är berget. Bland annat av den orsaken är den årliga variationen i grundvattennivå i jordarterna ofta mycket mindre än variationen i grundvattennivå i berget. För det studerade området är den årliga variationen i vattennivå betydligt mindre i en grävd brunn än i berget, detta framgår tex av Figur 2-9.

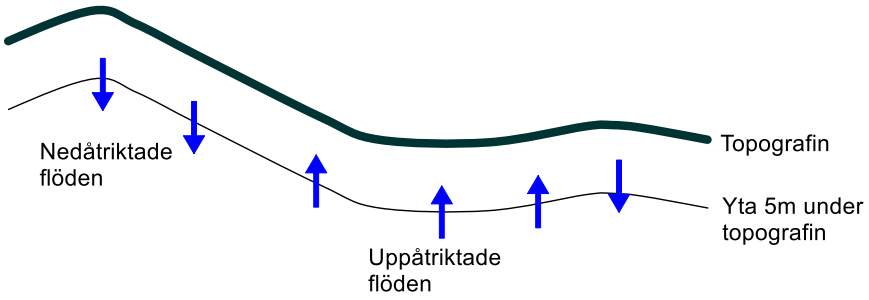
Tillsammans gör detta att påverkansområdet med avseende på grävda brunnar är mycket mindre än påverkansområdet med avseende på brunnar borrade i berget. Det är troligt att dagbrotten bara påverkar grävda brunnar (i jordlagren) om dessa brunnar är placerade i direkt anslutning till dagbrotten. Som en konservativ uppskattning kan man säga att det beräknade påverkansområdet för bergborrade brunnar också kan tillämpas för grävda brunnar.

10. Förändring av grundvattenflöden i lokala områden

10.1 Metodik

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Vi har beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal områden runt dagbrotten. Dessa områdens utbredning är anpassade till topografin och ytvattensystemet – områdena är lokala avrinningsområden. De beräknade flödena som presenteras nedan används i hydrologiska analyser av dessa områden.

Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet beräknats för varje beräkningscell längs med en yta på djupet 5 m. Det finns både uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden inom varje område. Detta visas i Figur 10-1.



Figur 10-1 Principskiss som visar uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden längs med en yta på djupet 5 m

Ett nettoflöde kan beräknas som skillnaden mellan de uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflödena. Det ovan diskuterade nettoflödet är i områdena kring File hajdar och dagbrotten nedåtriktade. Detta beror främst på följande orsaker: (i) Grundvattnets naturliga flödesmönster är nedåtriktat från högre topografiska nivåer till lägre topografiska nivåer. (ii) De kommunala produktionsbrunnarna tar vatten från de djupt liggande vattenförande lagren och (iii) Västra brottet avleder grundvatten från de djupt liggande vattenförande lagren.

De vattenvolymer som tex de kommunala produktionsbrunnarna tar från de djupt liggande vattenförande lagren måste komma någonstans ifrån, och svaret är naturligtvis att dessa vattenvolymer till stor del kommer ovanifrån, från grundvattensystemets översta del via vertikala sprickor. Från detta följer att det vertikala nettoflödet i berget kring dagbrotten på djupet 5 m, blir nedåtriktat.

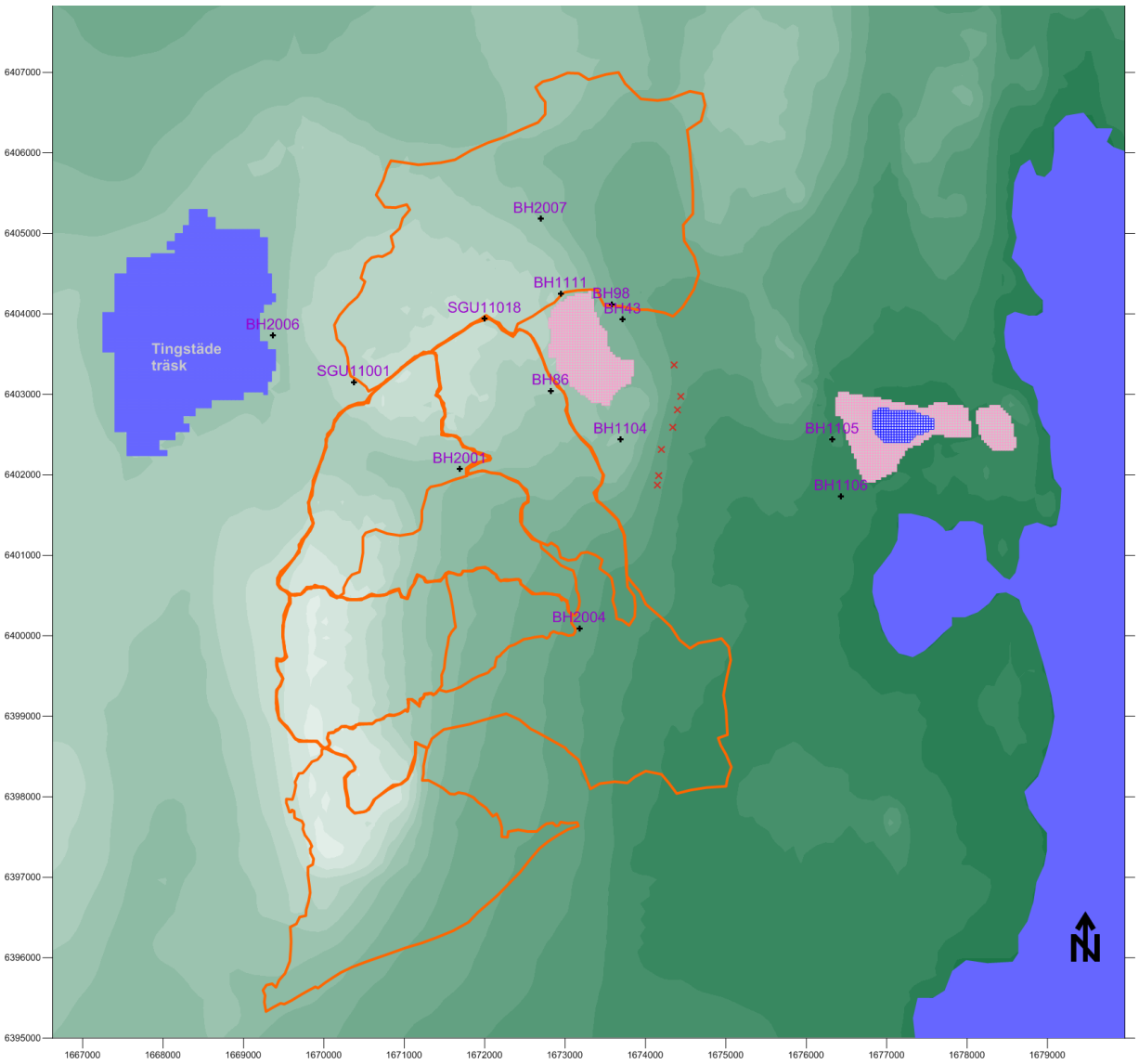
Nettoflödet har beräknats för varje studerat område för följande scenarier:

Referenssituation, år 2021	Scenario LT1B-2021. Nuvarande situation (2021)
Framtida situation	Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat.
Framtida situation Nollalternativ:	Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.

Nettoflödena för de framtida situationerna har jämförts med referenssituationen, som är den nuvarande situationen 2021. Förändringen i nettoflödet är den påverkan som dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten kommer att orsaka.

Om dagbrotten utvidgas kommer ett nedåtriktat nettoflöde bli större, eftersom dagbrotten kommer att avleda mer grundvatten, samtidigt som kommunens produktionsbrunnar kommer att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare. Om dagbrotten vattenfylls kommer ett nedåtriktat nettoflöde att bli mindre, eftersom dagbrotten kommer att avleda mindre grundvatten, samtidigt som kommunens produktionsbrunnar kommer att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare.

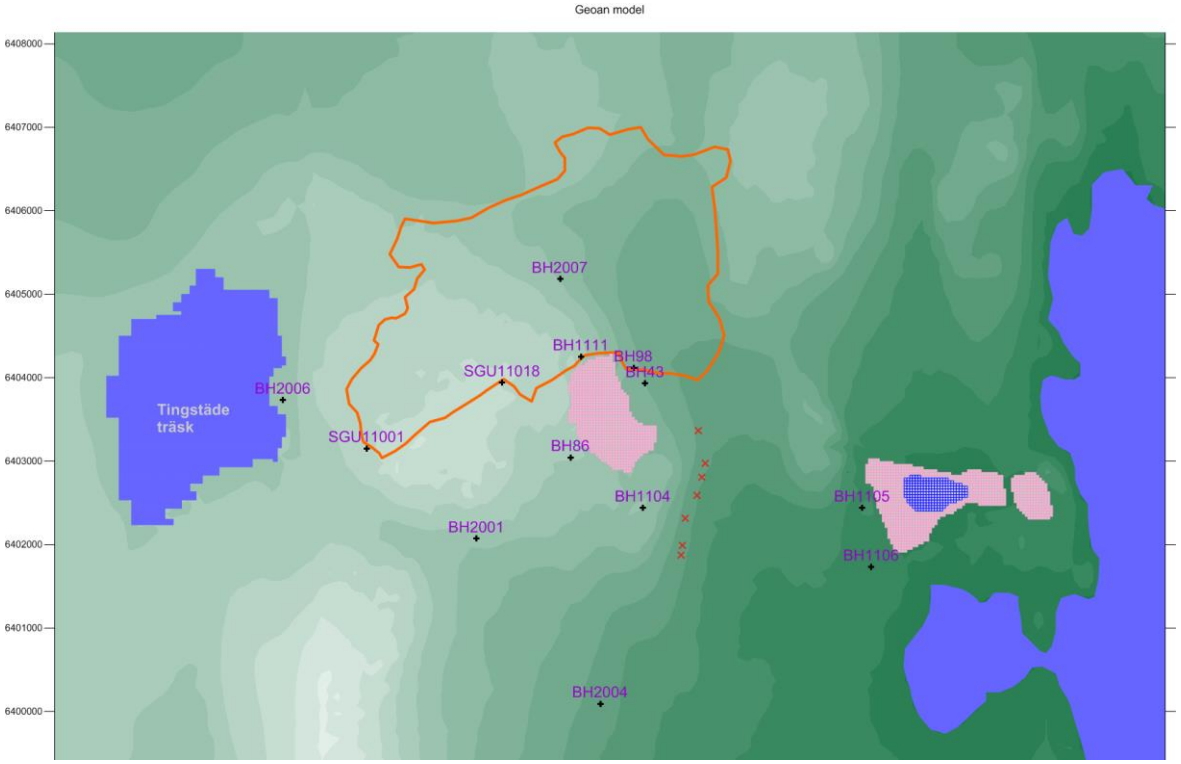
Det studerade grundvattensystemet är tredimensionellt, och inkluderar ytvattenflöden, produktionsbrunnar och dagbrotten. Analysen utförs för en tvådimensionell yta på djupet 5 m. Grundvattenflödena är inte heller nödvändigtvis begränsade av lokala ytvattendelare. Det betyder att summan av flöden från olika områden, som tillsammans täcker ett större område, inte nödvändigtvis blir lika med flödet från det stora området om det stora området analyseras som en enhet.



Figur 10-2 Lokala avrinningsområden för vilka förändringar i grundvattenflödena har beräknats. Markerade med brandgul linje.

10.2 Område 1

Det studerade området visas i Figur 10-3. Arean är 10.7 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 1 650 000 m^3/år.



Figur 10-3 Område 1. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 1.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet ökar med 7 500 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en förlust. Förlusten utgör 0.5% av nettonederbörden.

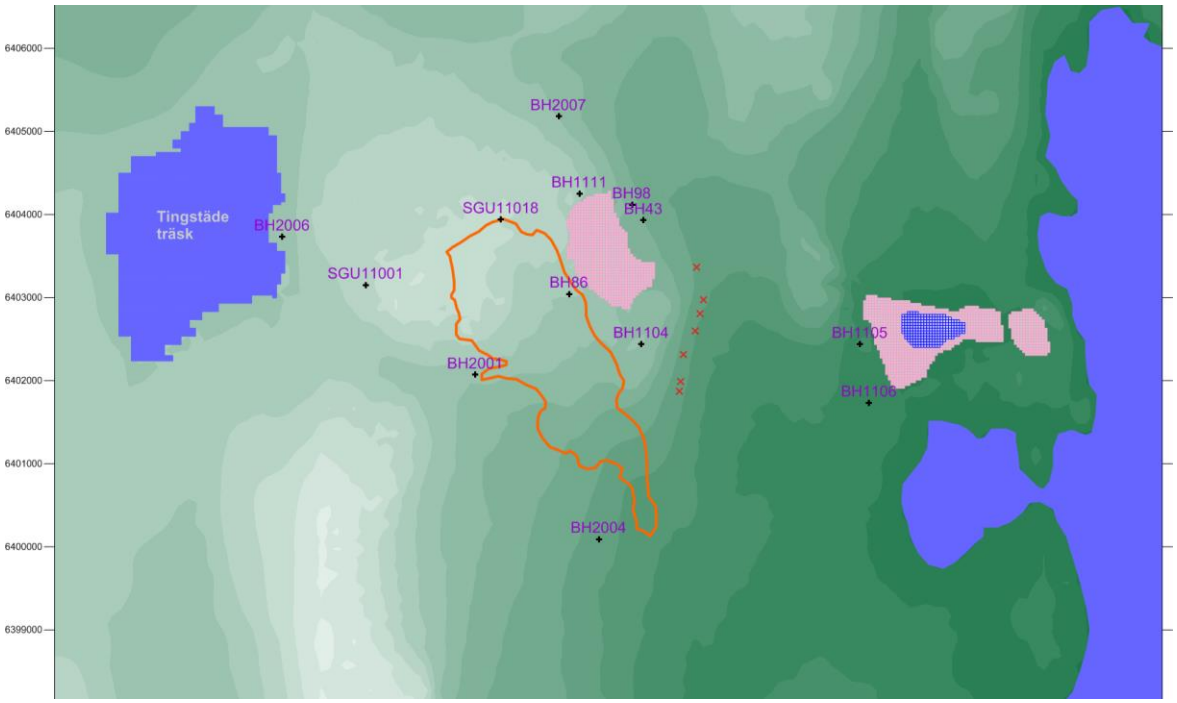
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 16 600 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 1.0% av nettonederbörden.

10.3 Område 2

Det studerade området visas i Figur 10-4. Arean är 4.1 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 636 000 m^3/år.



Figur 10-4 Område 2. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 2.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet ökar med 6 500 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en förlust. Förlusten utgör 1.0% av nettonederbörden.

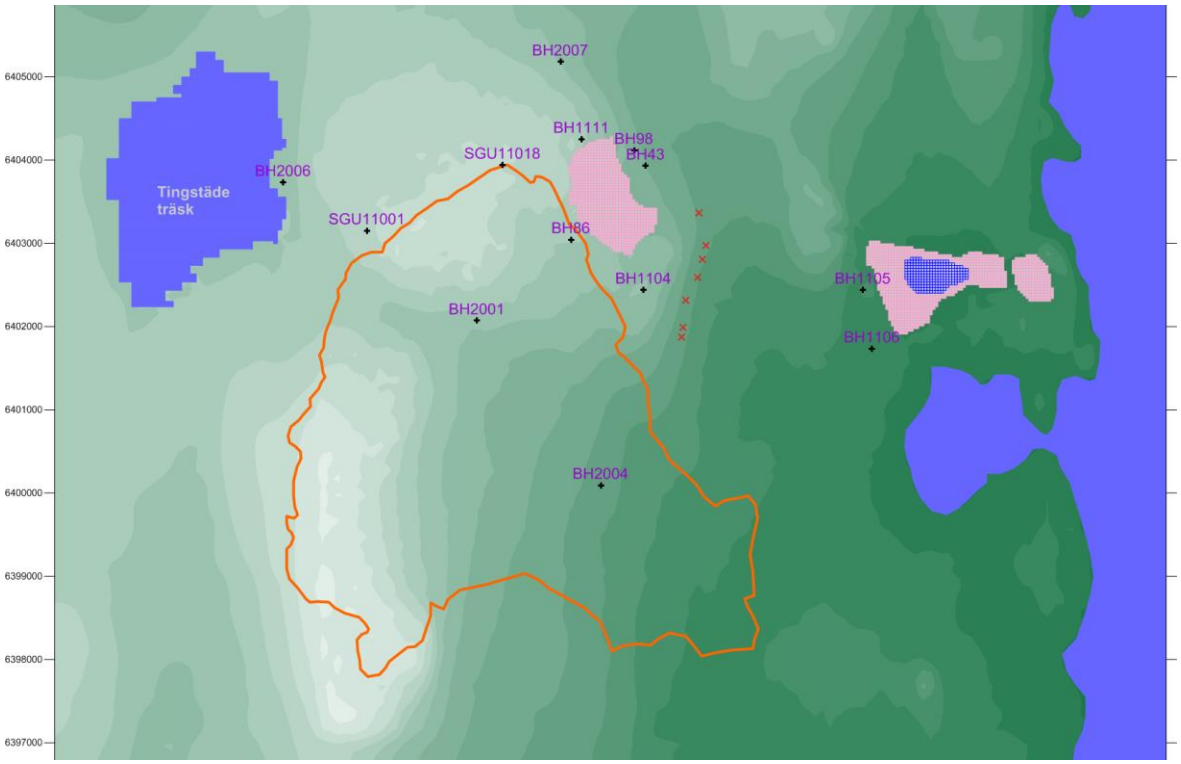
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 33 600 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 5.3% av nettonederbörden.

10.4 Område 3

Det studerade området visas i Figur 10-5. Arean är 22 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 3 386 000 m^3/år.



Figur 10-5 Område 3. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 3.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet ökar med 9 300 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en förlust. Förlusten utgör 0.3% av nettonederbörden.

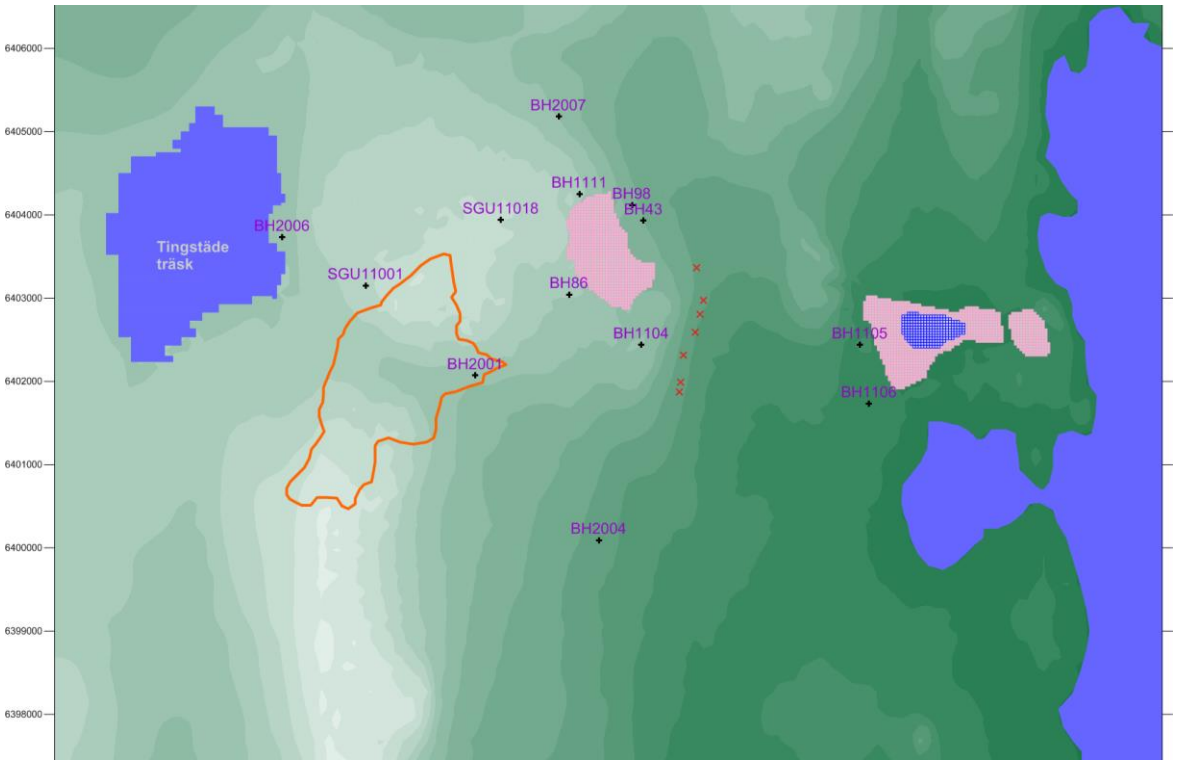
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 52 800 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 1.5% av nettonederbörden.

10.5 Område 4

Det studerade området visas i Figur 10-6. Arean är 3.7 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 5 75 000 m^3/år.



Figur 10-6 Område 4. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 4.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet ökar med 700 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en förlust. Förlusten utgör 0.1% av nettonederbörden.

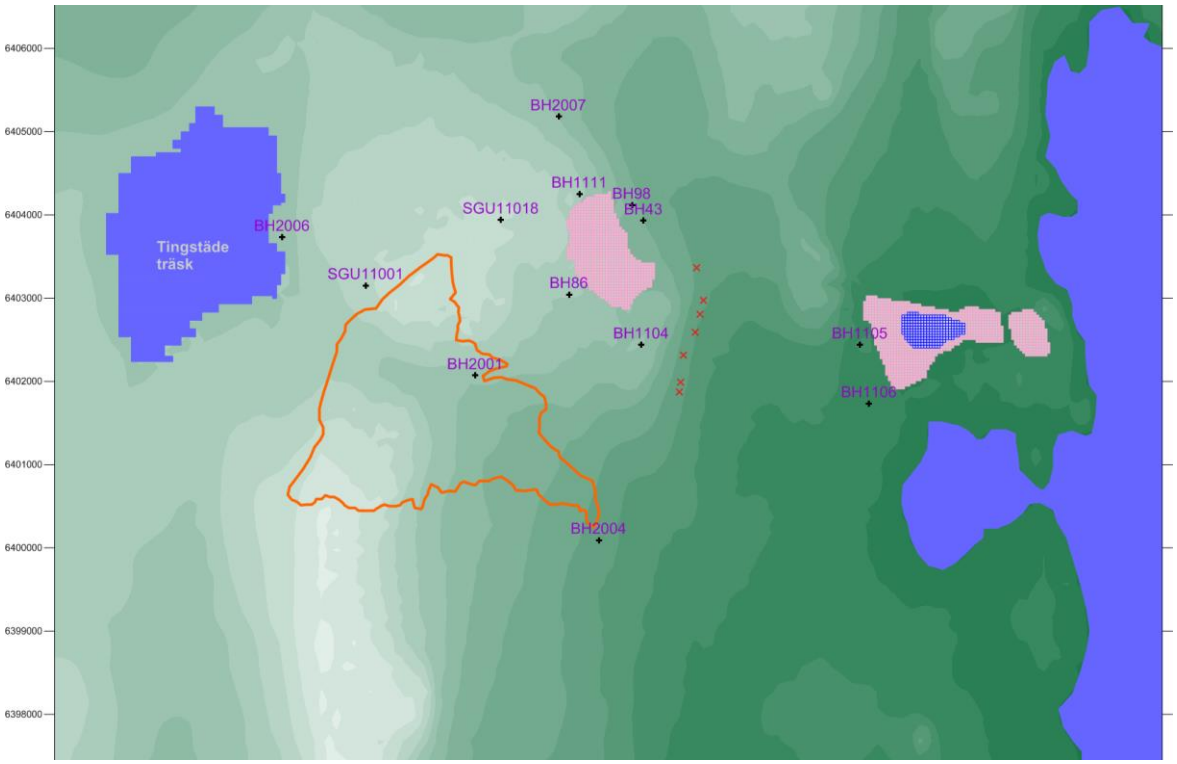
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 4 400 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 0.8% av nettonederbörden.

10.6 Område 5

Det studerade området visas i Figur 10-7. Arean är 6.3 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 970 000 m^3/år.



Figur 10-7 Område 5. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 5.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet ökar med 2 000 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en förlust. Förlusten utgör 0.2% av nettonederbörden.

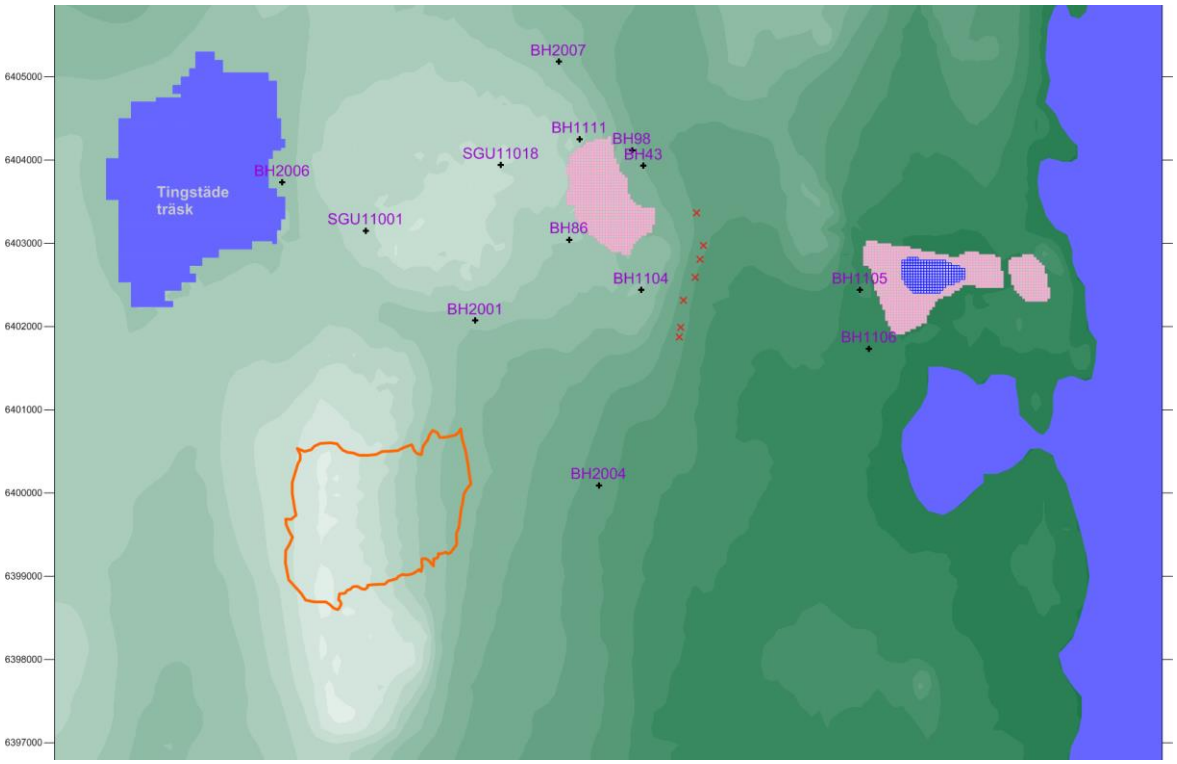
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 12 900 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 1.3% av nettonederbörden.

10.7 Område 6

Det studerade området visas i Figur 10-8. Arean är 3.6 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 558 000 m^3/år.



Figur 10-8 Område 6. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 6.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, förändringarna i det nedåtriktade nettoflödet är försumbara.

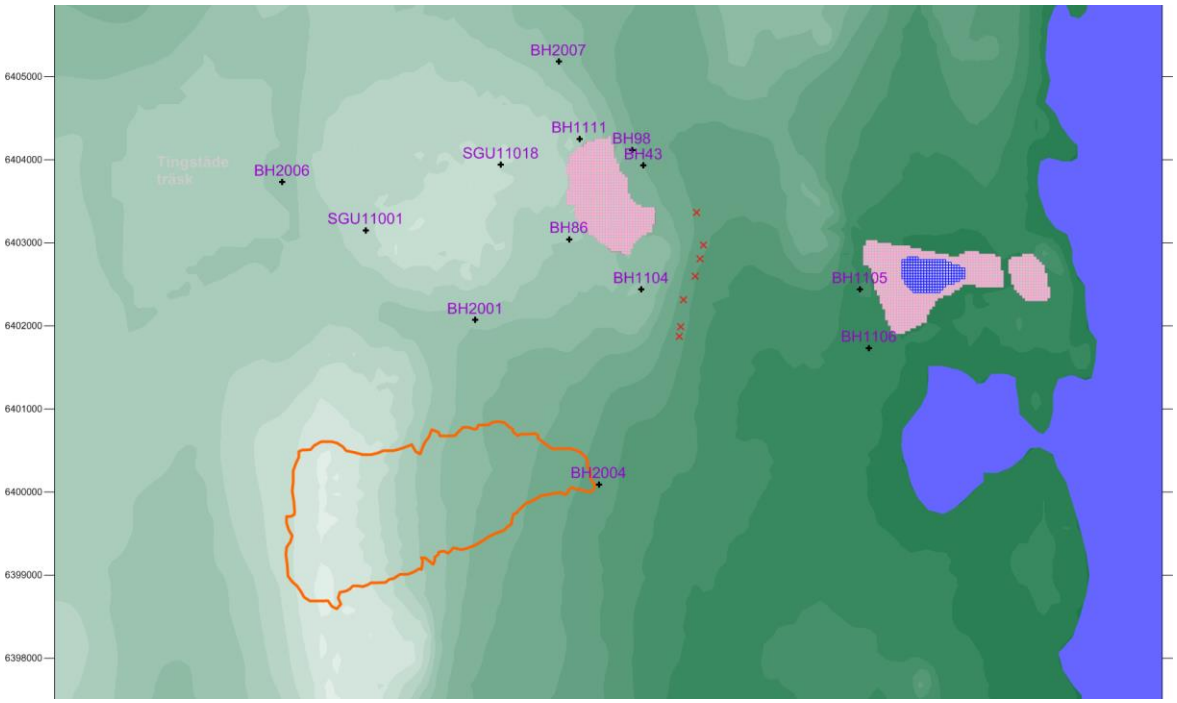
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 1 000 m^3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 0.2% av nettonederbörden.

10.8 Område 7

Det studerade området visas i .Figur 10-9. Arean är 5.1 km^2. Över denna area producerar nettonederbörden ett flöde på 786 000 m^3/år.



Figur 10-9 Område 6. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 7.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet ökar med 500 m3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en förlust. Förlusten utgör 0.1% av nettonederbörden.

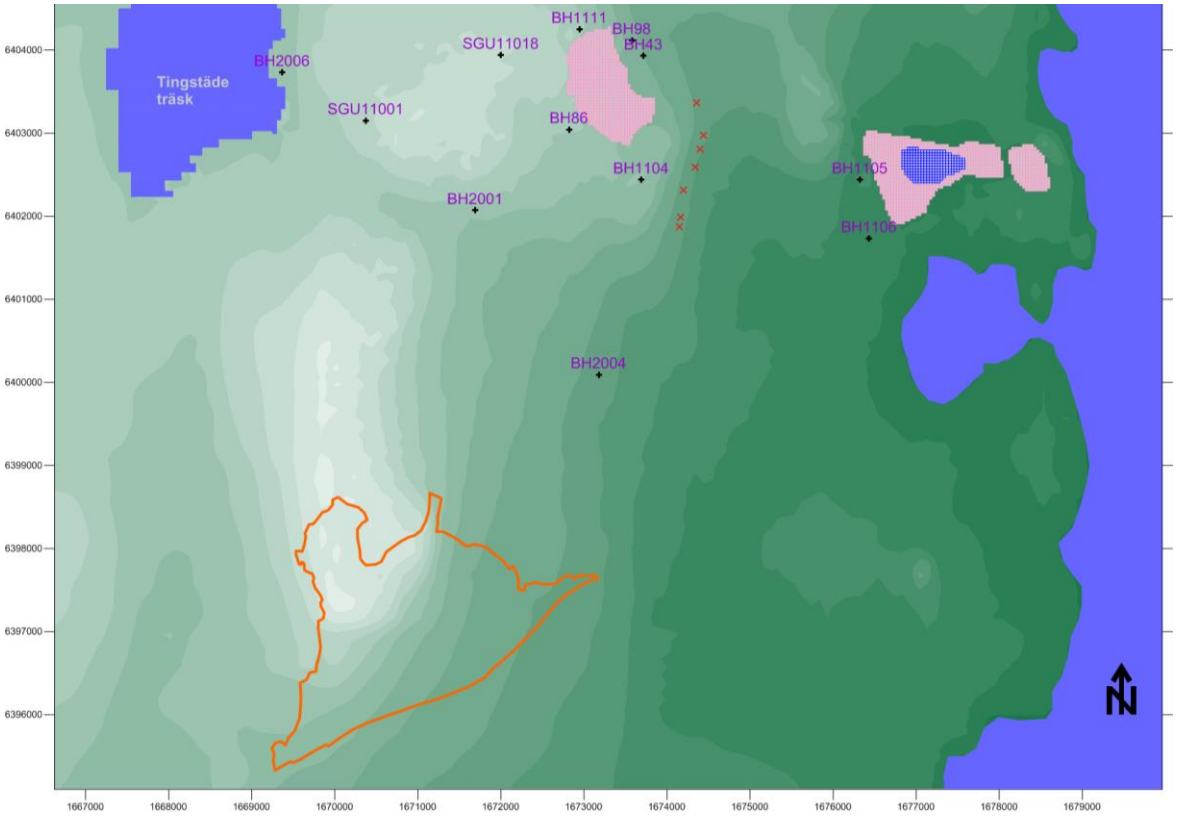
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet minskar med 3 500 m3/år (för ett normalår). För ytvattensystemet och det ytnära grundvattensystemet inom det studerade området är detta en vinst. Vinsten utgör 0.4% av nettonederbörden.

10.9 Område 8

Det studerade området visas i Figur 10-10. Området ligger långt från dagbrotten.



Figur 10-10 Område 6. Markerat med brandgul linje.

Analys och jämförelse av det vertikala grundvattenflödet på djupet 5 m inom område 8.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet inte förändras.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att nettoflödet är nedåtriktat, och att det nedåtriktade nettoflödet inte förändras.

10.10 Fördelning under ett normalår

Beräkningarna har utförts för varje månad under ett normalår. Fördelningen av de flöden som har angetts ovan på normalårets månader framgår av de andelar i procent som anges i tabellerna och figurerna nedan.

För jämförelsen:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021) år 2021]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visas andelarna för varje månad i Tabell 10-1 och Figur 10-11. Det framgår tydligt att förlusten av grundvatten från de lokala avrinningsområdena huvudsakligen äger rum under höst och vinter, eftersom det är då som grundvattenflödena är stora. Under senvåren och sommar (maj till augusti) är de totala förlusterna relativt små (10.6%). Under perioden april till juni är andelen av den totala förlusten 10.1%. Ett exempel: För område 3 är den totala förlusten av berggrundvatten från det studerade området lika med 9 300 m^3/år, av denna förlust sker 10% under perioden april till juni, alltså, 0.10 x 9 300 = 930 m^3.

Tabell 10-1 Förändringen av det vertikala nettoflödet som procent för varje månad under ett normalår. Alltså den totala förändringen i det vertikala grundvattnets nettoflöde för de lokala avrinningsområdena, uppdelad på årets månader i procent, avseende förändringen från den nuvarande situation (2021) till den ansökta utökningen.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Andel %	15.31	10.57	8.99	8.26	1.26	0.62	0.51	8.23	7.27	9.83	14.54	14.62

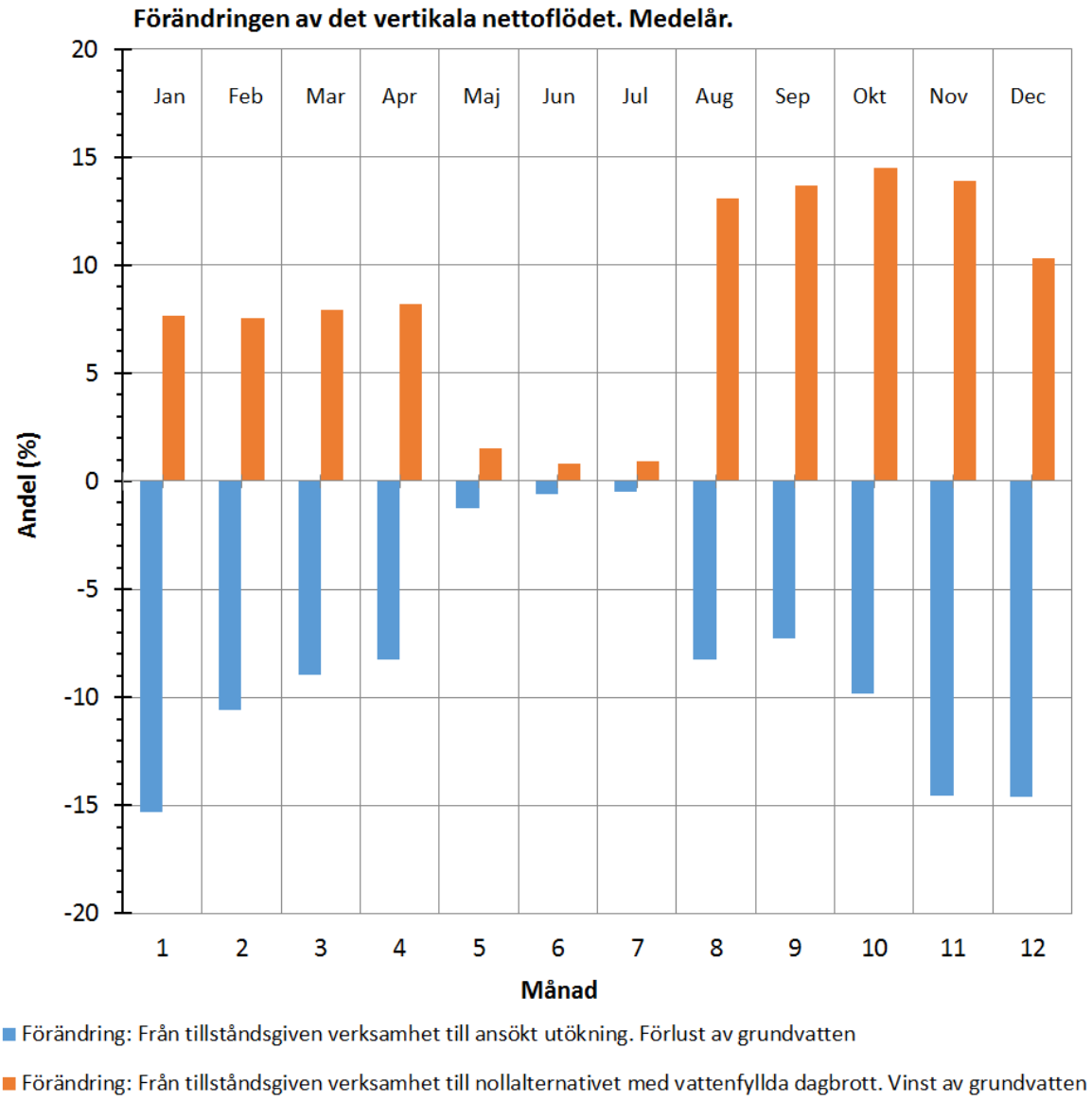
För jämförelsen mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021) år 2021]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visas andelarna för varje månad i Tabell 10-2 och Figur 10-11. Det framgår tydligt att vinsten av grundvatten i de lokala avrinningsområdena huvudsakligen äger rum under höst och vinter, eftersom det är då som grundvattenflödena är stora. Under senvåren och sommar (maj till augusti) är den totala vinsten relativt liten (16.3%). Under perioden april till juni är andelen av den totala vinsten 10.5%. Ett exempel: För område 3 är den totala vinsten av berggrundvatten till det studerade området lika med 52 800 m^3/år, av denna vinst sker 10.5% under perioden april till juni, alltså, 0.105 x 52 800 = 5 560 m^3.

Tabell 10-2 Förändringen av det vertikala nettoflödet som procent för varje månad under ett normalår. Alltså den totala förändringen i det vertikala grundvattnets nettoflöde för de lokala avrinningsområdena, uppdelad på årets månader i procent, avseende förändringen från den nuvarande situationen (2021) till nollalternativet med vattenfyllda dagbrott.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Andel %	7.64	7.56	7.92	8.19	1.54	0.79	0.92	13.08	13.66	14.50	13.92	10.29



Figur 10-11 Förändringen av det vertikala nettoflödet som procent för varje månad under ett normalår. Alltså den totala förändringen i det vertikala grundvattnets nettoflöde för de lokala avrinningsområdena, uppdelad på årets månader i procent.

10.11 Diskussion

De beräknade förändringarna i nettoflöden är mycket små i jämförelse med nettonederbörden och ytvattenflödena. Vad gäller förändringen från den nuvarande situationen (2021) till den ansökta utökningen är förlusten av berggrundvatten från de lokala avrinningsområden som medelvärde 0.3% av nettonederbörden (max= 1% min=0). Vad gäller förändringen från den nuvarande situationen (2021) till nollalternativet med vattenfyllda täkter är vinsten av berggrundvatten till de lokala avrinningsområden som medelvärde 1.3% av nettonederbörden (max= 5% min=0). Förlusten eller vinsten av grundvatten i de lokala avrinningsområdena äger huvudsakligen rum under höst och vinter, eftersom det är då som grundvattenflödena är stora.

10.12 Påverkan på flödena i VISS-områden

VISS-området Norra Gotland - Stenkyrka

En mycket liten del av VISS området Norra Gotland - Stenkyrka ligger innanför påverkansområdet för Nollalternativet. Se Figur 10-12. Figuren visar det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för VISS-området Norra Gotland - Stenkyrka är markerat med en brun linje i figuren. Det största påverkansområdet (Lågvattensituationen för Nollalternativet) är markerat med lila linjer i figuren. Förändringen i grundvattenflöde från VISS-området Stenkyrka har beräknats längs med den gula punktstrejkade linjen (i Figur 10-12).

Areasnittet mellan VISS-området Stenkyrka och det största påverkansområdet markeras med den ljusblå punktstreckade linjen i Figur 10-13. Areasnittet har storleken 8.5 km^2. Nettonederbörden är lika med 154 mm/år. Volymen vatten som produceras av nettonederbörden över areasnittet är lika med 1.31 miljoner m^3/år.

Den gula linjen i Figur 10-12 är inte ett lokalt avrinningsområde. Den metod som har använts för att beräkna påverkan på VISS-området är inte samma metod som har använts för de lokala avrinningsområdena (presenterade i de tidigare sektionerna). Vi tänker oss att VISS-området begränsas av en vertikal yta från markytan och nedåt, längs med den gula linjen. Genom denna vertikala yta kan grundvattenflödet beräknas. Det är det totala utflödet av grundvatten från VISS-området som har beräknats längs med den gula linjen i Figur 10-12; från ett djup från markytan mindre än eller nära 5 m, och ned till nivån c:a -70 möh. Vi har inte beräknat utflödet av grundvatten på markytan, utan utflödet genom den vertikala yta som begränsar VISS-området nere i berget.

Grundvattenflödet har beräknats för följande scenarier:

Referenssituation, år 2021	Scenario LT1B-2021. Nuvarande situation (2021)
Framtida situation	Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat.
Framtida situation Nollalternativ:	Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.

Förändringen i utflöde av grundvatten när de olika scenarierna jämförs visar på hur de framtida situationerna påverkar VISS-området Stenkyrka. De framtida situationerna har jämförts med referenssituationen, som är den nuvarande situationen 2021. Förändringen i utflödet är den påverkan som dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllnad av dagbrotten kommer att orsaka.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

Visar att utflödet ökar med nära 6 000 m^3/år (för ett normalår). Vilket är en förlust för VISS-området Stenkyrka. Vilket kan jämföras med nettonederbörden över areasnittet som är lika med 1.31 miljoner m^3/år. Ökningen i utflöde motsvarar således 0.4% av nettonederbörden över areasnittet.

En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT1noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.]

Visar att utflödet minskar med nära 41 000 m^3/år (för ett normalår). Vilket är en vinst för VISS-området Stenkyrka. Vilket kan jämföras med nettonederbörden över areasnittet som är lika med 1.31 miljoner m^3/år. Minskningen i utflöde motsvarar således 3.1% av nettonederbörden över areasnittet.

VISS-området Mellersta Gotland - Roma

Dagbrotten ligger i VISS-området Mellersta Gotland - Roma. Påverkan på VISS-området Mellersta Gotland - Roma kan uppskattats som förändringen i den totala vattenbortledningen från dagbrotten, alternativt studerar man förändringen i grundvattenbortledningen från dagbrotten. Utökningen av dagbrotten leder till ett förändrat grundvattenflöde från VISS-området Norra Gotland - Stenkyrka till VISS-området Mellersta Gotland - Roma. Detta förändrade flöde blir en vinst för VISS-området Mellersta Gotland - Roma, som tillförs en ringa vattenmängd från VISS-området Norra Gotland Stenkyrka, och en förlust för VISS-området Norra Gotland Stenkyrka.

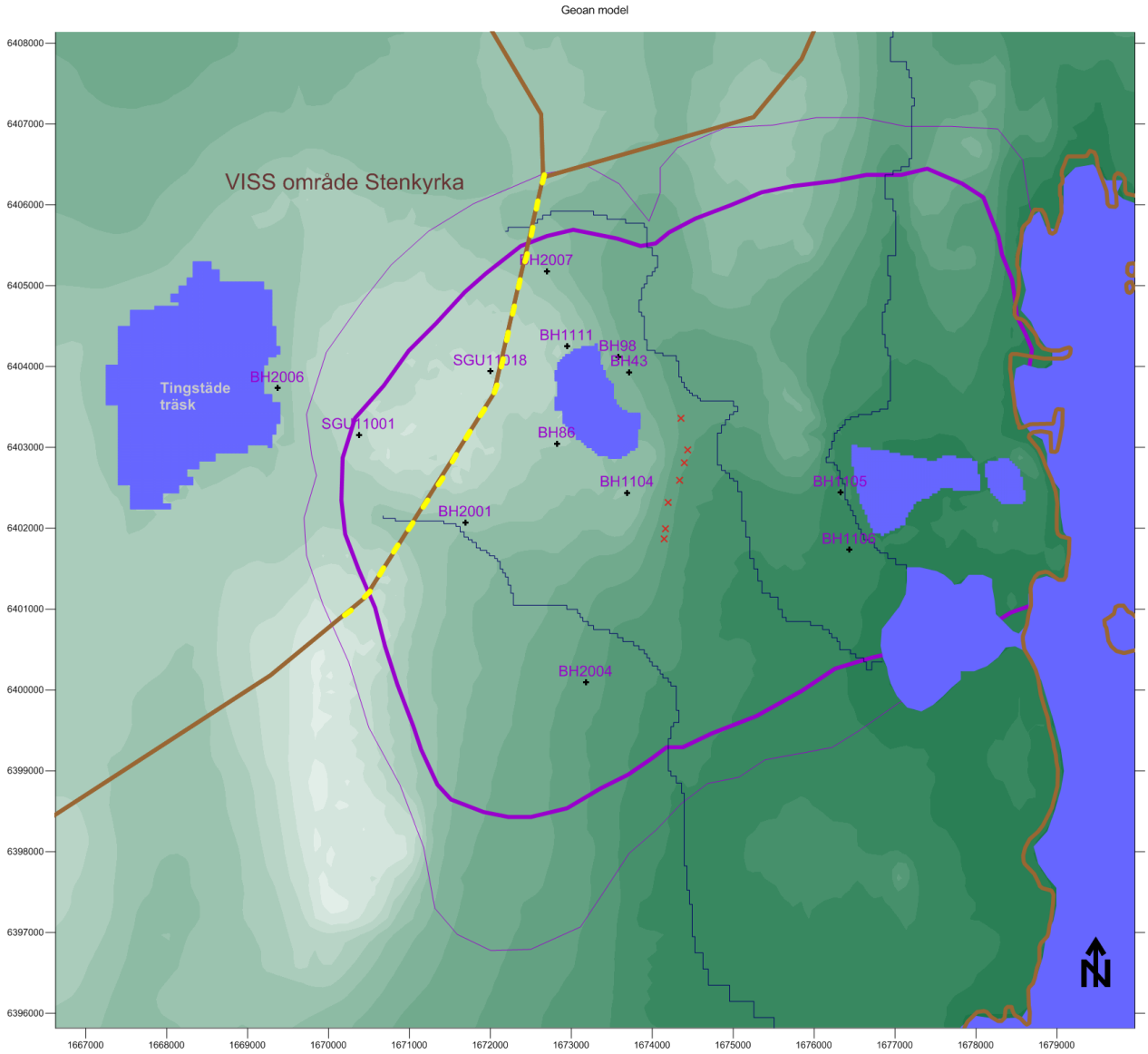
En jämförelse mellan:

[Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021)]
och
[Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat]

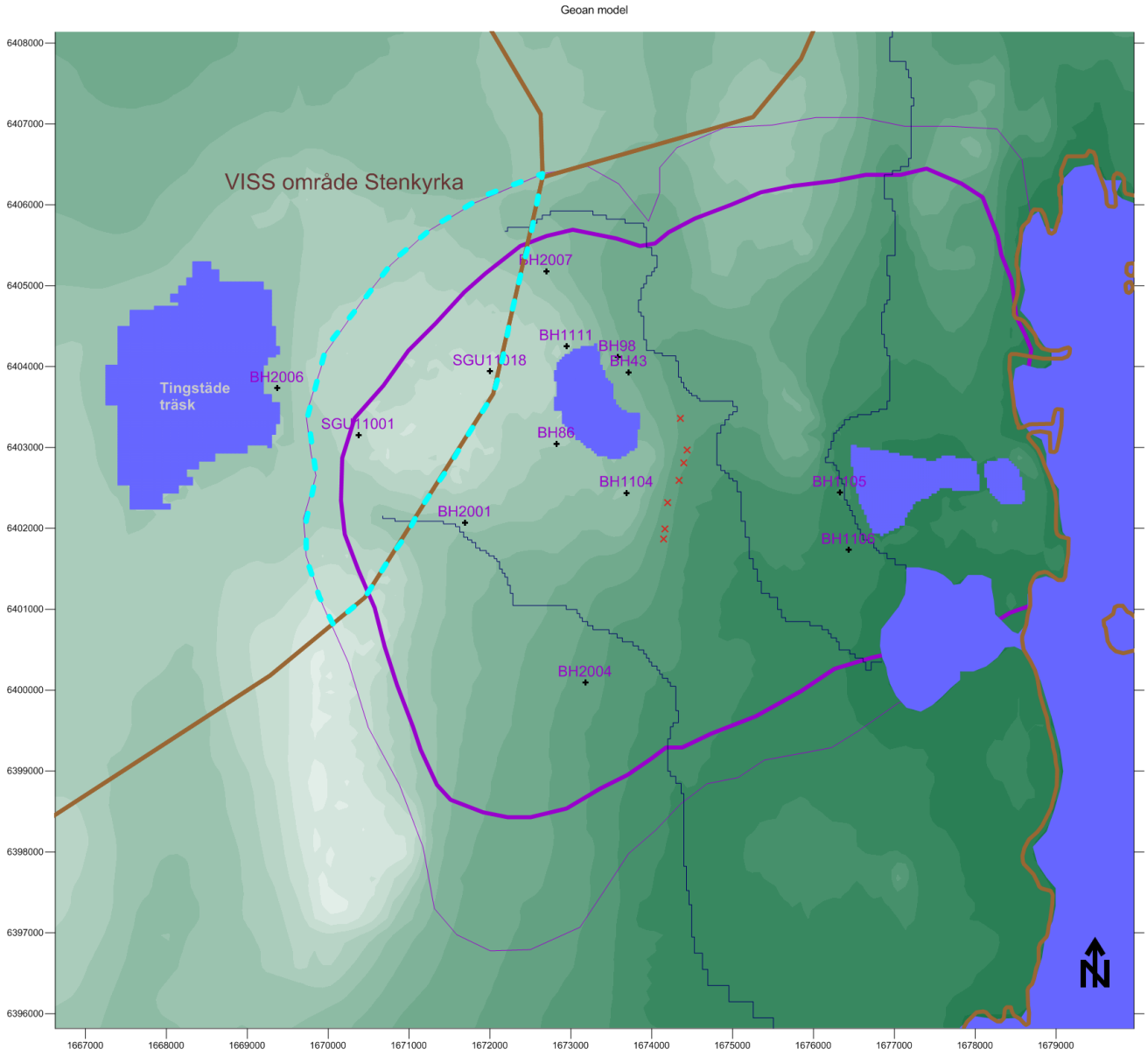
Visar att den totala förändringen av grundvatteninflödet till dagbrotten är en förlust för VISS-området Mellersta Gotland - Roma på 100 000 m^3/år. Av detta kommer 6 000 m^3/år som ett grundvatteninflöde från VISS området Norra Gotland - Stenkyrka till VISS området Mellersta Gotland - Roma. Om man subtraherar bort detta flöde blir den totala förändringen för grundvattensystemet en förlust på 94 000 m^3/år. Alltså blir påverkan på grundvattenflödet i VISS området Mellersta Gotland - Roma lika med en förlust på 94 000 m^3/år (för ett normalår). En del av detta grundvattenflöde samlas i pall 2 i Västra brottet och pumpas inte till havet, och är därför inte en fullständig förlust för det studerade VISS-området.

Jämförelsen visar att den totala förändringen av vattenbortledningen, som består av nettonederbörden över dagbrotten och grundvatteninflödet till dagbrotten, är en förlust på 160 000 m^3/år för VISS området Mellersta Gotland - Roma. Av detta kommer 6 000 m^3/år som ett grundvatteninflöde från VISS området Norra Gotland - Stenkyrka. Om man subtraherar bort detta flöde blir den totala förändringen en förlust på 154 000 m^3/år. Alltså blir påverkan på VISS området Mellersta Gotland - Roma lika med en förlust på 154 000 m^3/år (för ett normalår). En del av detta grundvattenflöde samlas i pall 2 i Västra brottet och pumpas inte till havet, och är därför inte en fullständig förlust för det studerade VISS-området.

I Nollalternativet vattenfylls dagbrotten. Dagbrotten dräneras inte längre. Hela grundvattensituationen förändras kring dagbrotten. I nollalternativet erhålls ingen kvantitativ förlust för VISS området Mellersta Gotland - Roma. Istället erhålls en kvantitativ vinst som motsvarar hela vattenbortledningen från dagbrotten som är nära 1.9 miljoner m^3/år. I det ansökta alternativet kommer också dagbrotten så småningom att vattenfyllas. Samma kvantitativa vinst erhålls då som för Nollalternativet, men några år senare.



Figur 10-12 Det studerade området med dagbrotten (blå) etc. Gränsen för VISS-området Stenkyrka är markerat med en brun linje. Det största påverkansområdet (Lågvattensituationen för Nollalternativet) är markerat med lila linjer. Förändringen i utflöde från VISS-området Stenkyrka har beräknats längs med den gula punktstrejkade linjen.



Figur 10-13 Det studerade området med dagbrotten (blå) etc. Gränsen för VISS-området Stenkyrka är markerat med en brun linje. Det största påverkansområdet (Lågvattensituationen för Nollalternativet) är markerat med lila linjer. Areasnittet mellan VISS-området Stenkyrka och det största påverkansområdet markeras med den ljusblå punktstreckade linjen.

11. Beräkning av salthalter

11.1 Inledning

Salt grundvatten förekommer på Gotland på olika djup beroende på de hydrogeologiska förutsättningarna. Det salta grundvattnet har olika ursprung, vanligtvis kan man identifiera tre olika typer av saltvatten, och naturligtvis blandningar av dessa typer: (i) Vatten som har sitt ursprung i den nuvarande Östersjön (dvs. havsvatten), (ii) Gammalt havsvatten som har sitt ursprung i Östersjöns tidigare faser, normalt avses härmed det salta Littorinahavet (s.k. relikt havsvatten), samt slutligen (iii) Ett mycket gammalt och mycket salt grundvatten, som delvis har sitt ursprung i kemiska processer under mycket lång tid mellan grundvattnet och omgivande berggrund.

Efter den senaste istiden har Östersjön haft en varierande utveckling med ömsom sötvatten och ömsom saltvatten. Östersjöns olika stadier brukar av geologer beskrivas som:

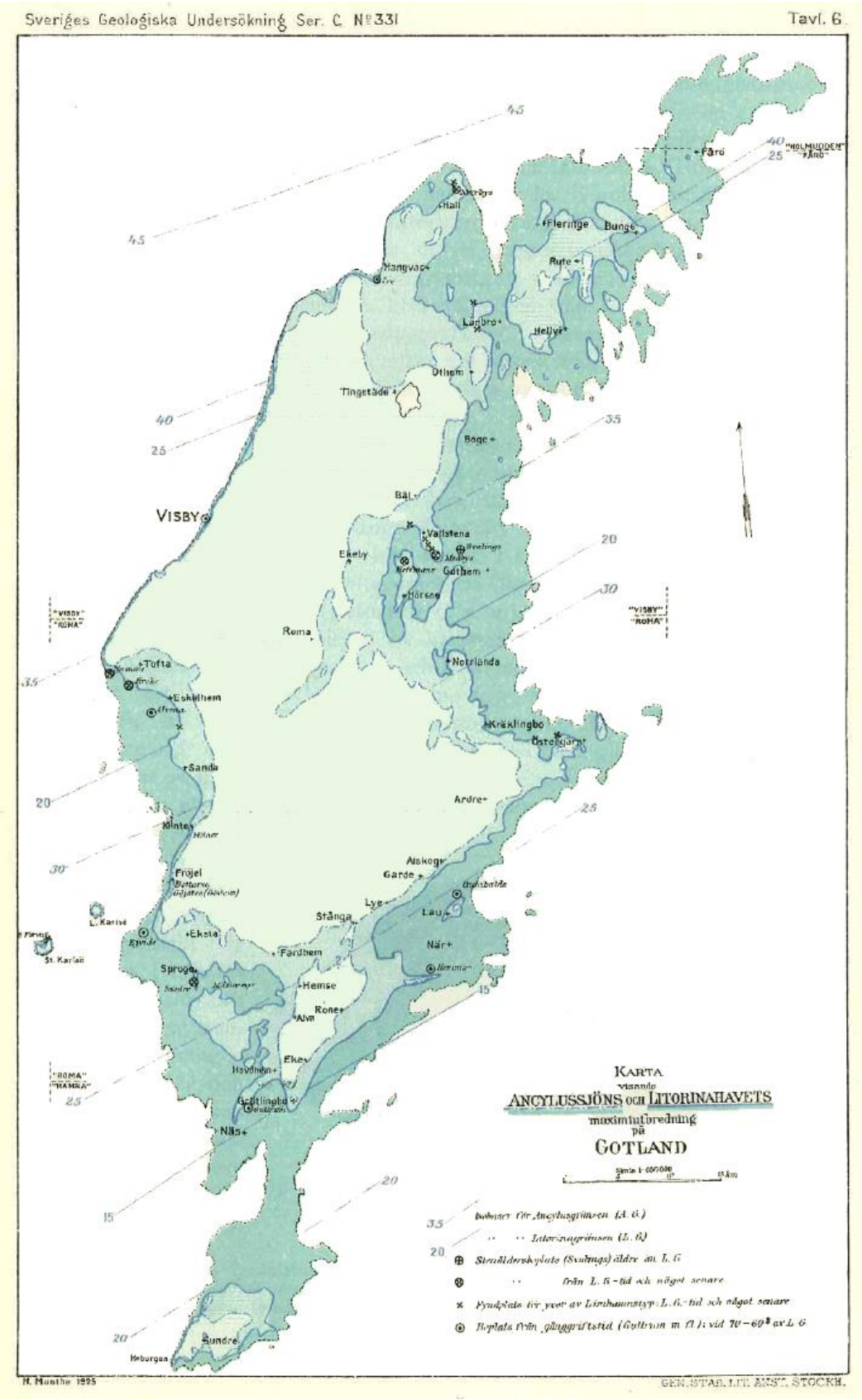
Baltiska issjön 11 500 – 8 300 f.Kr. (sötvatten)
Yoldiahavet 8 300 – 7 500 f.Kr. (bräckt sötvatten/saltvatten)
Ancylussjön 7 500 – 6 000 f.Kr. (sötvatten)
Littorinahavet 6 000 – 1 000 f.Kr. (saltvatten)
Limneahavet 1 000 f.Kr. – nutid (bräckt sötvatten/saltvatten)

Det som nu är Östersjön var under perioden c:a 6000 år f.kr. till 1000 år f.kr. ett salt innanhav. Detta hav brukar benämnas som Littorinahavet. Saltvattnet i Littorinahavet var inte så salt som vattnet i världshaven, men det uppvisade de högsta salthalterna under Östersjöns utvecklingshistoria efter den senaste istiden. De högsta salthalterna i Littorinahavet (vid Gotland) kan antas ha varit ungefär 14 kg/m^3.

Vågerosion längs med havens strandlinjer påverkar markytans lokala undulation vid strandlinjen, särskilt om strandlinjen ligger på en stadig nivå under en längre tidsperiod – en strandvall kan då bildas. Den vall som Littorinahavets högsta kustlinje lämnat efter sig kallas Littorinavallen. På grund av att landhöjningen efter istiden (och efter Littorinahavets period) har varierat i storlek längs med Östersjöbäckenet, påträffas Littorinavallen på olika nivåer, lägre nivåer i söder och högre nivåer i norr (vallen låg på samma nivå när den bildades). På södra Gotland kan Littorinavallen hittas på nivån +15 möh, och på norra Gotland på nivån +27 möh.

Figur 11-1 (nedan) är en kopia på ett kartblad som visar Ancylussjön och Littorinahavets maximala utbredning på Gotland. Av kartan framgår att den s.k. Littorinavallen löper i nord-sydlig riktning mellan Tingstäde träsk och Slite på en bedömd nivå kring +25 möh. (Karta enligt Munthe *et al*. 1933).

Som ett minne av Littorinahavet förekommer ibland ett saltare grundvatten än dagen Östersjövatten på lite större djup längs med Gotlands kuster. Detta saltvatten kan anses ha sitt ursprung i Littorinahavet, och förekommer företrädesvis nära/mellan Littorinavallen och dagens Östersjö.



Figur 11-1 Karta visande Ancylussjön och Littorinahavets maximala utbredning på Gotland. Av kartan framgår att den s.k. Littorinavallen löper i nord-sydlig riktning mellan Tingstäde träsk och Slite på en bedömd nivå kring +25 möh. Karta från SGU, Munthe et al. (1933).

11.2 Gränsvärden

När vi talar om salthalten i grundvatten så menar vi i denna studie kloridhalten. När salthalterna blir för höga blir grundvattnet olämpligt som dricksvatten, vattnet blir korroderande och det smakar bräckt och salt. Vid 100 mg/l klorid (0.1 kg/m^3 eller 0.1 gram/liter) anses dricksvatten som anmärkningsvärt ur teknisk synpunkt pga saltets korroderande egenskaper. Överstiger kloridhalten 300 mg/l (0.3 kg/m^3 eller 0.3 gram/liter) anses vattnet med tvekan tjänligt (främst ur teknisk synpunkt) och vattnet börjar även smaka salt (se 08FS 2016:15).

11.3 Uppmätta salthalter runt Västra och Östra brotten

Höga salthalter i brunnar i Slite uppmättes redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst. Exempelvis uppgick medelhalten klorid vid årliga provtagningar under 50-talet i den kommunala vattentäkten Klint 1 (belägen strax norr om Spillingsmagasinet, vid Västra brottet) till över 0.4 Kg/m^3, vilket är högre än smakgränsen.

Borrhål BH1107 – BH1109 ligger vid sydöstra delen av Västra brottet, vattnet i dessa borrhål uppvisar värden på elektrisk konduktiviteter upp mot 500 mS/m, vilket omräknat till en koncentration av NaCl motsvarar c:a 1.2 Kg/m^3 (som mest). Uppmätta salthalter i dessa hål ligger i samma storleksordning som uppmätta salthalter i inströmmande vatten i Västra brottet, på väggen till pall 2, innan pall 2 började vattenfyllas 2017. Alla borrhål, sydöst om Västra brottet uppvisar en ökande elektrisk konduktivitet mot botten av borrhålet, och därmed ökande koncentrationer av salt.

Borrhål BH1105, BH1106 och BH2202, är belägna i sydvästra kanten av Västra brottet. För vattnet i dessa borrhål har det uppmätts elektrisk konduktivitet från 125 mS/m till 225 mS/m, vilket omräknat till en koncentration av NaCl motsvarar ca 0.5 Kg/m^3 (som mest). Högst elektrisk konduktivitet har uppmätts i BH2202 som är borrat till nivån -52 möh. Vattnet i detta borrhål uppvisar en elektrisk konduktivitet som tydligt ökar vid nivån ca -40 möh, med högst uppmätt elektrisk konduktivitet på nivån -48 möh. Koncentration av NaCl motsvarar ca 0.5 Kg/m^3 (som mest).

Norr om Västra brottet i BH2017 har det också genomförts loggning med avseende på elektrisk konduktivitet och temperatur. Den elektriska konduktiviteten ligger på en lägre nivå i jämförelse med de ovan diskuterade borrhålen, som mest på 70 mS/m högst upp i borrhålet och avtar mot botten av borrhålet, som är ca 20m djupt. Som mest motsvarar den elektriska konduktiviteten en saltkoncentration på c:a 0.17 Kg/m^3 .

<u>Sammanfattningsvis indikerar mätningarna det följande:</u>

Salthalter över 0.4 Kg/m^3, uppmättes i brunnar i Slite redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst.

Relativt höga salthalter >1 Kg/m^3 förekommer vid pall 2 i Västra brottet på nivåer under c:a -30 möh. Även sydöst om Västra brottet förekommer sådana salthalter i borrhål med liknande djup. En salthalt nära1 Kg/m^3 är tydligt över smakgränsen.

Sydväst om Västra brottet är salthalterna lägre och ungefär 0.5 Kg/m^3 , även dessa koncentrationer är över smakgränsen. Mätningarna indikerar att en tydlig förändring i salthalter sker vid nivån c:a -40 möh.

Norr om Västra brottet är salthalterna ytterligare lägre c:a 0.17 Kg/m^3, men dessa mätningar representerar högre nivåer, eftersom det studerade borrhålet endast har ett djup på 20 m.

Från resultaten ovan kan man dra slutsatsen att en salthalt motsvarande smakgränsen kan förväntas förekomma på nivåer över c:a -30 möh sydöst om Västra brottet, på en nivå nära -30 möh sydväst om Västra brottet, och på nivåer under -20 möh norr om Västra brottet.

En uppskattning av förväntat djup till salthalten 0.3 kg/m^3 (smakgränsen), baserat på uppmätta salthalter, är för området kring Västra brottet ungefär 35 m.

11.4 Uppmätta salthalter i de kommunala produktionsbrunnarna

De kommunala produktionsbrunnarna producerar ett råvatten av god kvalité. Vattnet provtas en gång per år med avseende på salthalt, dvs klorid. Provtagningen utförs under sensommaren då grundvattennivån är som lägst och därmed kloridhalten som högst. Under övriga delar av året kan alltså kloridhalten förväntas vara lägre. Eftersom både tidpunkten för provtagning och lägsta grundvattennivå varierar inom ett spann på en dryg månad utan att vara synkroniserade finns det en viss osäkerhet för verkligt högsta halt varje år och man bör undvika att göra trender utifrån enstaka mätvärden. Om man exkluderar mätvärdet från extremsommaren 2018 uppmäts stabila värden inom spannet 0.009 – 0.022 Kg/m^3 (9–22 mg/l) med ett medelvärde på 0.015 Kg/m^3 (15 mg/l) för perioden 2011-2021. År 2018 uppmättes de såväl lägsta uppmätta grundvattennivåerna på 2000-talet i flera brunnar som den klart högsta kloridhalten i produktionsbrunnarna. Kloridhalten uppgick då till 0.059 Kg/m^3 (59 mg/l). Det var dock fortfarande med marginal under riktvärdena för grundvatten, vilka är satta till 0.1 Kg/m^3 (100 mg/l) som teknisk anmärkning, och 0.3 Kg/m^3 (300 mg/l) som brukar benämnas smakgränsen, dvs. den nivå då de flesta upplever att vattnet smakar salt (se 08FS 2016:15).

11.5 Bakgrund och Syfte

Dessa simuleringar har två syften:

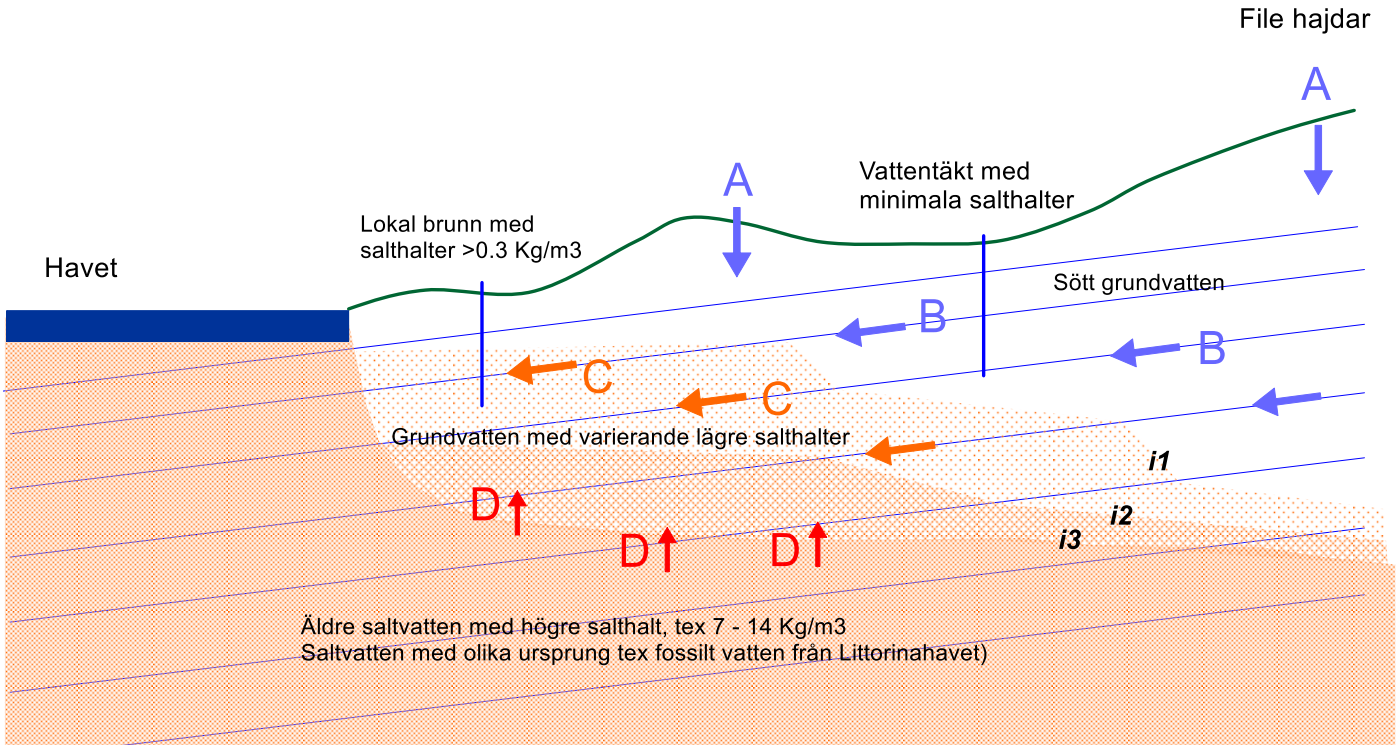
- Att simulera hur saltkoncentrationerna kring Västra och Östra brotten kommer att förändras när dagbrotten successivt vattenfylls. Alltså en analys av hur en vattenfyllning av dagbrotten påverkar saltkoncentrationerna i grundvattnet kring Västra och Östra brotten. Den studerade tidsperioden är c:a 45 år. Den egenskap hos saltvattensystemet som är av störst praktisk betydelse för lokal användning av grundvatten är djupet till grundvatten med en salthalt så hög att grundvattnet inte är lämpligt som dricksvatten. Med andra ord, djupet till en viss given saltkoncentration. Det är på denna egenskap som analysen av grundvattensystemet kring Västra och Östra britten har fokuserats.

- Att simulera salthalterna i kommunens produktionsbrunnar, för den nuvarande situationen (2021) och för den framtida situationen med utökade och dränerade dagbrott enligt ansökan. Alltså en analys av hur utökningen av dagbrotten påverkar salthalterna i kommunens produktionsbrunnar.

Beräkningarna som presenteras i detta kapitel är saltvattenberäkningar, de är utförda med en modell som inkluderar transport av salt.

11.6 Konceptuell beskrivning

Den konceptuella beskrivningen av hur det salta grundvattnet har implementerats i modellen framgår av Figur 11-2. Figuren visar hur grundvatten med högre salthalter förekommer på större djup. Ovanför detta salta grundvatten förekommer grundvatten med lägre salthalter, och överst förekommer grundvatten med minimala salthalter (sött grundvatten). Nettonederbörden (som är sötvatten) infiltrerar i modellen (A). Det söta grundvattnet strömmar nedåt till de subhorisontella vattenförande zonerna, och längs de vattenförande zonerna mot havet (B). När detta vatten närmar sig havet blandas det med saltvatten (C) och tillförs även salt via diffusion/dispersion (D) från djupare lager. Nära havet finns det också ett svagt uppåtriktat flöde av salt grundvatten (D) som blandas med det söta grundvattnet. Eftersom salthalterna generellt är låga (tex i jämförelse med världshavens salthalter) blir densitetseffekterna av liten betydelse, förutom för det allra djupaste salta grundvattnet. Modellberäkningarna inkluderar densitetseffekter, de är dock inte av dominerande betydelse för beräkningarnas resultat.



Figur 11-2 Principskiss som visar den konceptuella beskrivningen av hur det salta grundvattnet har implementerats i modellen.

11.7 Skillnad mellan Saltvattenmodellen och Modell 2021

Saltvattenmodellen som har använts för de simuleringar som presenteras nedan är en uppdaterad version av den saltvattenmodell som togs fram för Cementas ansökan 2017 (Modell 2017). Den nya saltvattenmodellen är uppdaterad på samma sätt som Modell 2021 har uppdaterats i relation till den äldre Modell 2017. Den uppdaterade Saltvattenmodellen inkluderar därför det nya konceptet med revkalk etc, dock är cellstorleken i saltvattenmodellen större än i Modell 2021. Den horisontala cellstorleken i det studerade området är i saltvattenmodellen 100 m x 100 m. Den vertikala indelningen i lager är densamma i saltvattenmodellen som i Modell 2021. Anledningen till att vi inte

direkt har använt Modell 2021 för saltvattensimuleringarna är att det stora antalet beräkningsceller i Modell 2021 gör att denna modell blir beräkningsmässigt mycket tidskrävande när också transportekvationen inkluderas i de numeriska beräkningarna. Som nämnts ovan fokuseras saltvattensimuleringarna på att simulera salthalterna kring Västra och Östra brotten när dagbrotten vattenfylls, och att simulera salthalterna i produktionsbrunnarna när dagbrotten utökas. Salthalter beräknas för alla celler i hela modellen, det är det som gör det så numeriskt beräkningsintensivt. För syftet med saltvattensimuleringarna är den uppdaterade saltvattenmodellen ett adekvat verktyg. Saltvattenmodellen är kalibrerad mot uppmätta salthalter, se Sektion 11.12.

11.8 Randvillkor

Salthalten beräknas med hjälp av en transportekvation, den sk. advektions-dispersion-ekvationen (eller advektions-diffusion-ekvationen), se Ekvation 3-3. Transportekvationen måste definieras med randvillkor, som beskriver hur salthalter och salttransport förekommer längs med modellens sidor. Specificerade koncentrationer har använts som randvillkor på tre olika delar av modellen: (A) längs med modellens bas, (B) längs med nuvarande havsbotten och (C) överst i modellen längs med topografin.

Som nämnts ovan så har Östersjön haft en varierande utveckling med ömsom sötvatten och ömsom saltvatten. Därför förekommer ibland ett saltare grundvatten än havsvattnet på större djup längs med Gotlands kuster, detta saltvatten kan anses ha sitt ursprung i Littorinahavet. Vid Slite nådde Littorinahavet upp till en nivå som i dagens höjdsystem ungefär motsvarar en nivå på +25 möh, och hade en högsta salthalt som vid Gotland kan antas ha varit ungefär 14 kg/m^3.

A: Längs med modellens bas (-200 möh) har specificerade salthalter använts som randvillkor. Under den topografiska nivån för Littorinahavet, som för denna analys sattes till +25 möh, och utåt mot modellens yttre begränsningar, har ett saltvatten definierats längs med modellens botten, med en initial salthalt på 10-14 kg/m^3. Några kilometer innanför den topografiska nivån +25 möh (mot mitten av modellen) har salthalten längs med modellens botten satts till noll. Mellan dessa två områden (Littorinavallen och modellens inre) interpolerades sedan koncentrationerna mjukt från 14 kg/m^3 till noll (längs med modellens botten). Därefter låstes dessa koncentrationer och användes som randvillkor längs med modellens bas. Se Figur 11-3. Av figuren framgår det att under de kommunala vattentäkterna, vid modellens bas, är den specificerade koncentrationen ungefär 8 kg/m^3 (på nivån -200 möh). Under Västra brottet är koncentrationen nära 13 kg/m^3 (på nivån -200 möh).

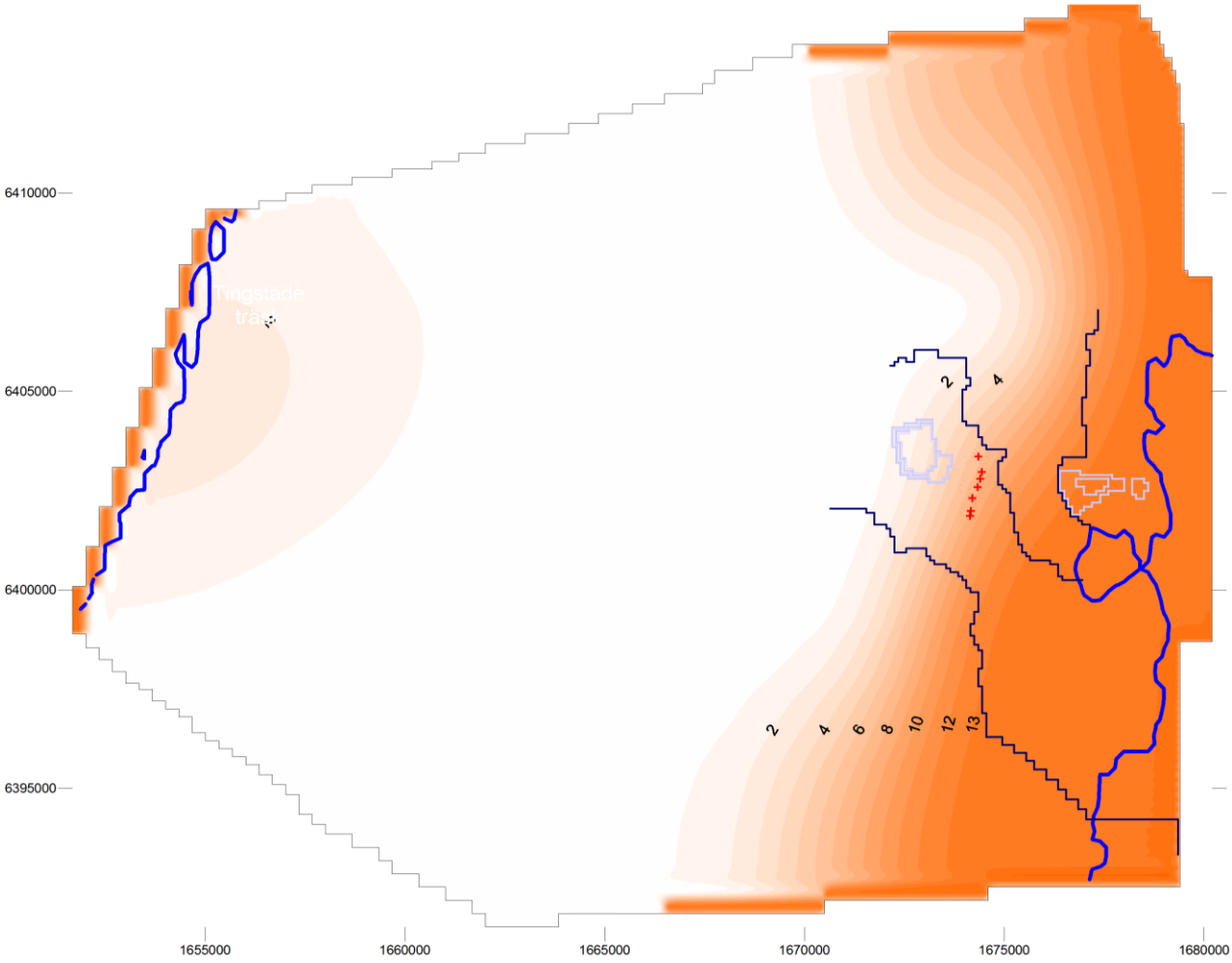
B: De översta cellerna i modellen som har en topografisk nivå som är mindre än 0 möh, definieras med en konstant specificerad koncentration som är lika med havets (Östersjön) nuvarande salthalt, som sätts till 7 kg/m^3. Dessa celler befinner sig under havets nuvarande nivå längs med havsbotten.

C: Övriga celler längs med modellens topografi definieras med en koncentration som är lika med noll.

Nettonederbörden som infiltrerar längs med modellens ovan yta är alltid sötvatten. Modellens laterala gränser har definierats som täta.

Östersjöns vatten har i modellen definierats med salthalten 7 kg/m^3. Fossilt/relikt vatten (Littorina) har i modellen definierats med salthalten c:a 14 kg/m^3. Detta är höga koncentrationer i den upprättade modellen, eftersom inga högre koncentrationer förkommer i modellen, och vi kommer därför att beskriva dem som höga koncentrationer. Det är dock inte höga koncentrationer i ett större perspektiv. Världshaven har koncentrationer kring 40 kg/m^3, och ett mycket salt grundvatten, så

kallat saltlake, förekommer ofta på mycket stort djup i berg (tex på 500m djup), detta vatten kan ha koncentrationer större än 150 kg/m^3. Saltlake är inte inkluderat i den upprättade saltvattenmodellen.



Figur 11-3 Specificerade koncentrationer längs med modellens bas. Enhet= [kg/m^3]. Min=0, Max= 14 kg/m^3.

11.9 Beräkningsmetodik

Transportekvationen (se Ekvation 3-3) är betydligt mer komplicerad att lösa numeriskt än ekvationerna som beskriver grundvattenflödet i den mättade zonen, och även i vissa avseenden svårare att numeriskt lösa än ekvationerna som beskriver flödet i den omättade zonen (Ekvation 3-1 och Ekvation 3-2). Beräkningskoden som har använts i denna studie (Geoan) inkluderar ett antal robusta lösningsmetoder som kan lösa transportekvationen med god noggrannhet även för mycket komplicerade system, t.ex. Crank-Nicolsons metod och Split-operator-metoder, och kombinationer av dessa metoder.

Beräkningsproceduren består av att varje månad indelas i ett antal tidsteg, för varje tidsteg löses först flödesekvationerna (med densitetseffekter) med avseende på tryck, sedan löses transportekvationen med avseende på koncentration och därefter löses flödesekvationerna med densitetseffekter igen. Denna procedur upprepas många gånger för varje månad. Densitetseffekterna är dock av mycket liten betydelse för grundvattnet i de vattenförande lagren vilka förser dagbrotten och

produktionsbrunnarna med grundvatten. På större djup i berget förekommer saltvatten med högre halter, men eftersom salthalterna på djupet i modellen aldrig når över de salthalter som förekom i Littorinahavet (c:a 14 kg/m^3) så blir densitetseffekterna inte av dominerande betydelse.

11.10 Initialvillkor

Med avseende på saltkoncentrationer har en approximativ stationär situation använts som initialvillkor. Av matematiska orsaker är simuleringar med transportekvationen alltid tidsberoende simuleringar (transienta simuleringar). Detta betyder att det applicerade initialvillkoret har uppnåtts efter en lång icke stationär (transient) simulering av flöden och salthalter, som avslutades när saltkoncentrationerna approximativt stabiliseras och ej länge förändrades nämnvärt. Den initiala situationen representerar en medelsituation för den nuvarande situationen (2021).

11.11 Beräkningsfall

Följande beräkningsfall har simulerats och analyserats i dessa beräkningar.

Scenario 2021: Initial situation. Nuvarande situationen (2021)
Dagbrottens storlek enligt 2021.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån -31 möh.
Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Dränerat.
Produktionsbrunnarna pumpas i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.

Ansökt utökning, utbrutet och dränerat
Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när den ansökta utökningen är fullt utbruten.
Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh. Dränerat.
Pall 2 i Västra brottet brutet ned till -50 möh. Vattenfylld upp till nivån -26.5 möh.
Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Dränerat.
Produktionsbrunnarna i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.
Transient simulering av 4 till 5 normalår med successivt utökat dagbrott, från nuvarande situation och framåt. Nettonederbörd enligt ett normalår.

Nollalternativ – Vattenfyllning av dagbrott. Tidsperiod 40 år.
Dagbrottens storlek enligt 2021.
Västra brottet. Pall 1 brutet ned till -26 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd till +1 möh
Västra brottet. Pall 2 brutet ned till -50 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd till +1 möh
Östra brottet. Pall 1 brutet ned till -26 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd till +1 möh
Pall 1 i File hajdar dagbrott bruten ned till nivån +20 möh. Stigande vattennivåer från dränerat tillstånd till +28 möh (stigande nivåer under 20 år).
Transient simulering av 40 år med stigande vattennivåer, från nuvarande situation och framåt.
Produktionsbrunnarna pumpas i enlighet med vattendomen 220 000 m^3/år.

Beräkningsfallet då de utökade täkterna vattenfylls produceras resultat som är mycket lika resultatet för Nollalternativet och presenteras inte separat.

11.12 Kalibrering

Salthalterna i saltvattenmodellen för den initial situationen (2021), är kalibrerade med avseende på djup till salthalten 0.3 kg/m^3 (smakgränsen) i området kring Västra och Östra brotten, se Sektion 11.13.3. Saltvattenmodellen är också kalibrerad mot de uppmätta salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna, se Sektion 11.14.2.

11.13 Saltvattensituationen vid Västra och Östra brotten

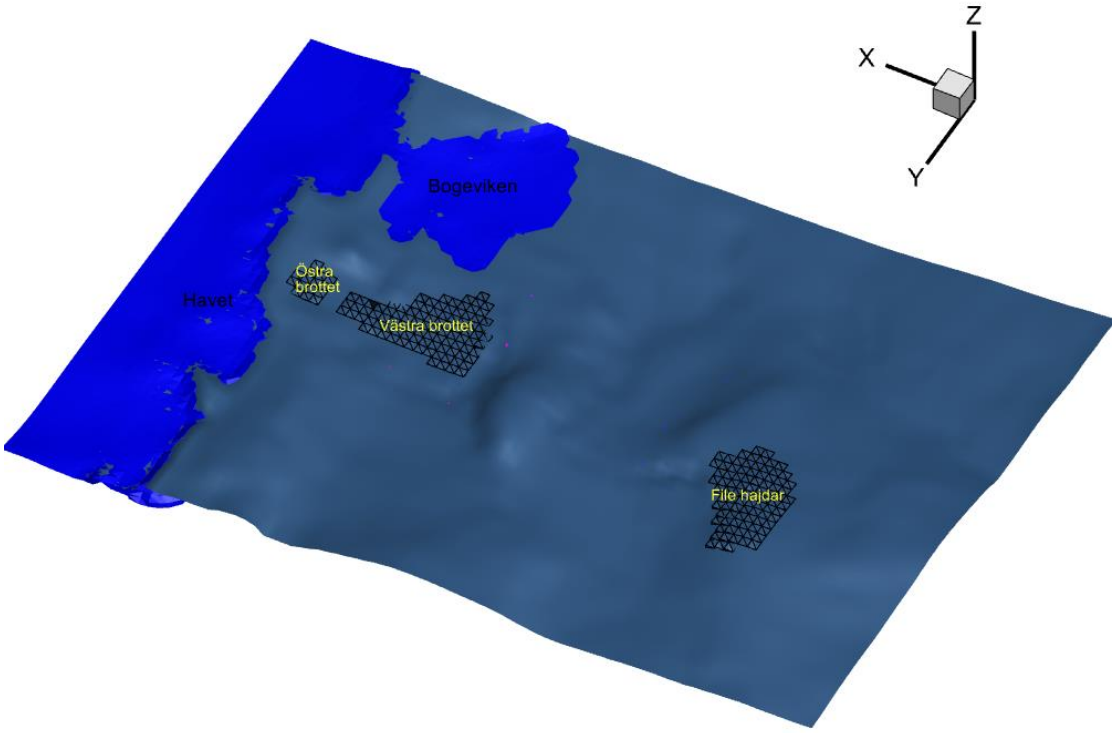
11.13.1 Nettonerbörd

I den utförda simuleringen av en 40-årsperiod har inte den årstidsbundna variationen i nettonederbörd inkluderats. Istället har nettonederbörden för mars månad använts som ett konstant värde som representerar en medelsituation. Syftet är att simulera den långsamma förändringen av saltkoncentrationer i berget under en tidsperiod av 40 år, utifrån det syftet är förenklingen rimlig och oproblematisk.

11.13.2 Visualisering av beräknade salthalter för den initiala situationen och för nollalternativet om 40 år

En principskiss som visar den konceptuella beskrivningen av hur det salta grundvattnet har implementerats i modellen visas som Figur 11-2. I figuren finns tre markeringar i svart: ***i1***, ***i2*** och ***i3***. Dessa markeringar visar på isolinjer som representerar ett värde på saltkoncentrationen, markering ***i1*** kan tex representera koncentrationen 0.3 Kg/m^3, som motsvarar smakgränsen. Markeringen ***i2*** kan tex representera koncentrationen 5 Kg/m^3, och markeringen ***i3*** representerar då högre koncentrationer. Figur 11-2 är ett vertikalt tvådimensionellt snitt, isolinjerna i Figur 11-2 motsvaras i en tredimensionell beskrivning av isoytor. En isoyta representerar alltså en viss koncentration, under isoytan är koncentrationerna högre (i det studerade fallet) och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den upprättade modellen är tredimensionell, diskussionen nedan fokuseras därför på isoytor.

Resultaten av saltvattenmodelleringen är fokuserade på ett rektangulärt område kring dagbrotten, Området visas i Figur 11-4. Saltvattenmodellen är större än detta område, se Figur 11-3.

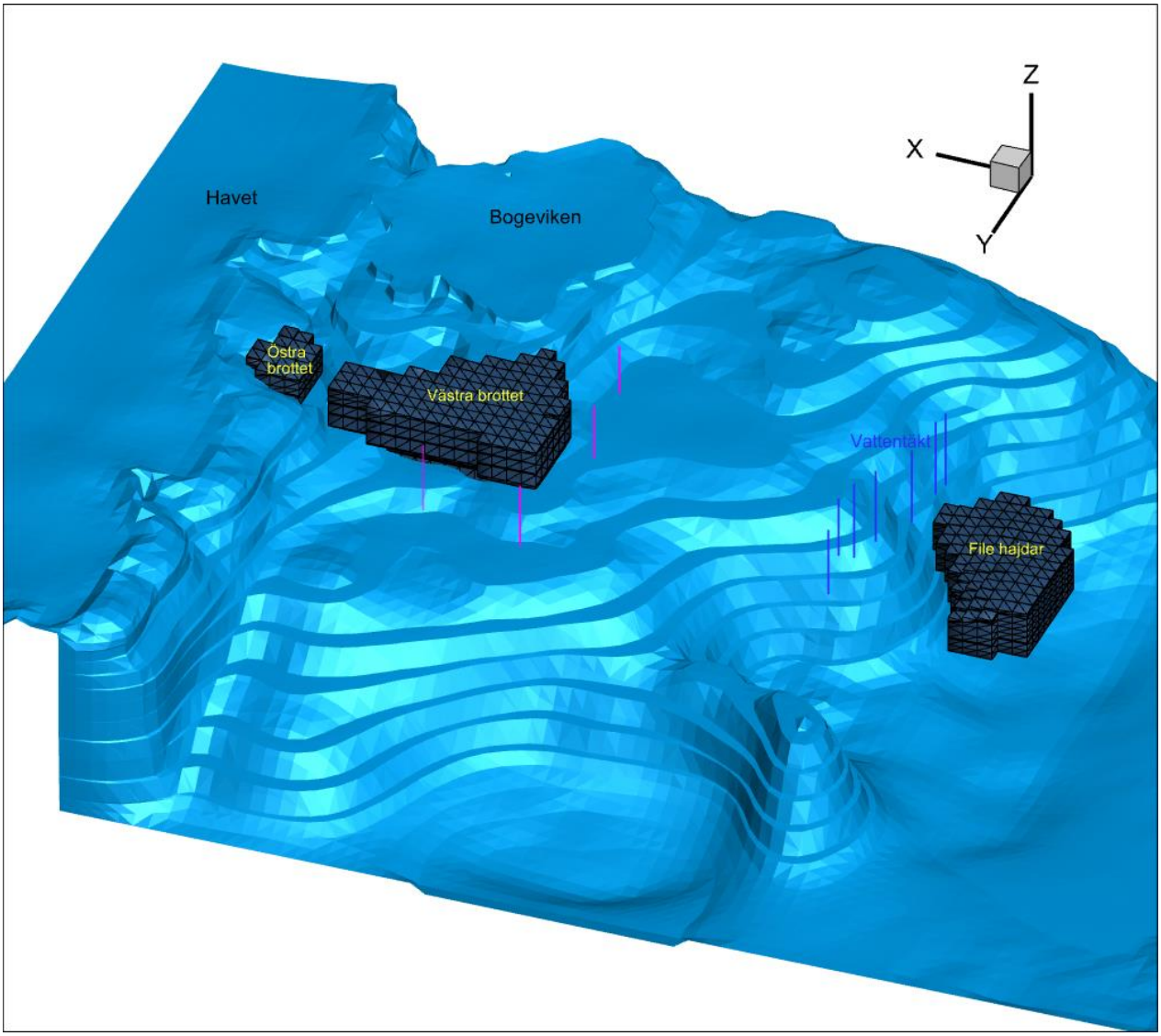


Figur 11-4 Resultaten av saltvattenmodelleringen är fokuserade på ett rektangulärt område kring dagbrotten, området visas i figuren. Saltvattenmodellen är större än detta område, se Figur 11-3. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.

Scenario 2021: Nuvarande situationen (2021)

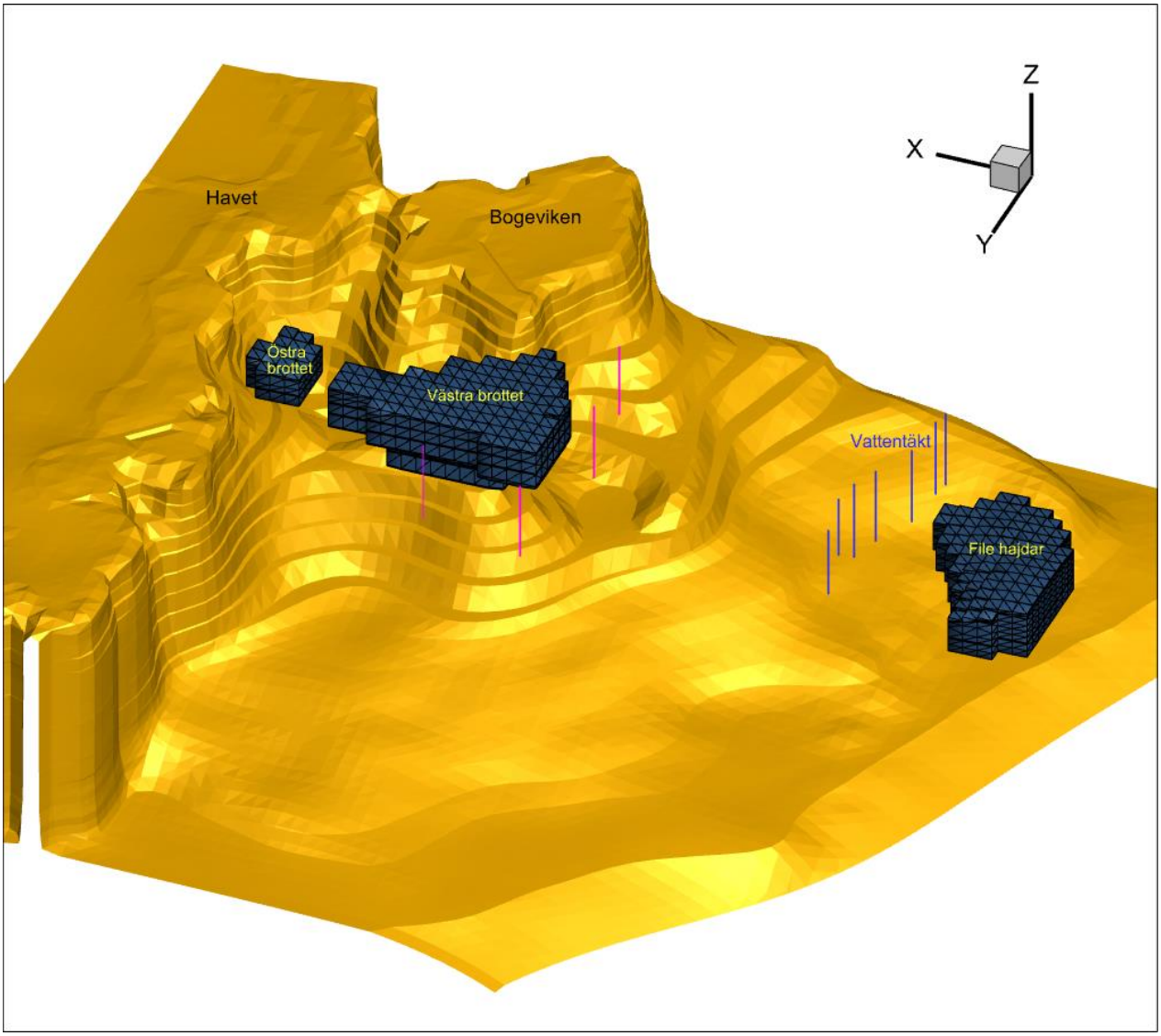
Resultat av en saltvattensimulering av den nuvarande situationen (2021) med (dränerade dagbrott) visas i Figur 11-5 och Figur 11-6. Den blå ytan i Figur 11-5 är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 0.3 Kg/m3, vilket är smakgränsen. Av figuren framgår det tydligt att salt grundvatten med koncentrationen 0.3 Kg/m^3,förekommer på ett relativt ringa djup inom ett stort område vid dagbrotten vid Slite. De lägre delarna av Västra och Östra brotten är i direkt kontakt med isoytan. Det betyder att grundvattnet som inströmmar till de lägre delarna av dessa två dagbrott har en koncentration som är högre än 0.3 Kg/m^3. Detta stämmer med observationer i fält.

Vid File hajdar dagbrott ligger isoytan på stort djup långt under dagbrottet. Grundvattnet som inströmmar till File hajdar dagbrott är sött. Den kommunala vattentäktens produktionsbrunnar ligger ovanför isoytan som representerar koncentrationen 0.3 Kg/m^3, alltså är vattnet i brunnarna sötvatten (med en minimal salthalt).



Figur 11-5 *Saltvattensimulering. Nuvarande situation (2021), med dränerade dagbrott. Den blå ytan är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 0.3 Kg/m3 (smakgränsen). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.*

Den gula ytan i Figur 11-6 är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 5 Kg/m^3. Figuren visar att höga salthalter förekommer på ringa djup under havet och under Bogeviken. Att höga salthalter förekommer på ringa djup under havet och under Bogeviken är naturligt eftersom havet har höga koncentrationer. Höga koncentrationer förekommer också under Västra och Östra brotten, detta är kanske mer intressant. Grundvattnets flödesmönster kring de dränerade dagbrotten gör att djupare grundvatten med höga koncentrationer strömmar mot dagbrottens botten. Även diffusion/dispersion är av betydelse för koncentrationerna under dagbrotten. Som följd av detta erhålls höga koncentrationer under de dränerade dagbrotten. Detta fenomen kallas ofta för saltvattenuppkoning. I figuren framkommer detta genom att den gula ytan buktar uppåt under Västra brottet.



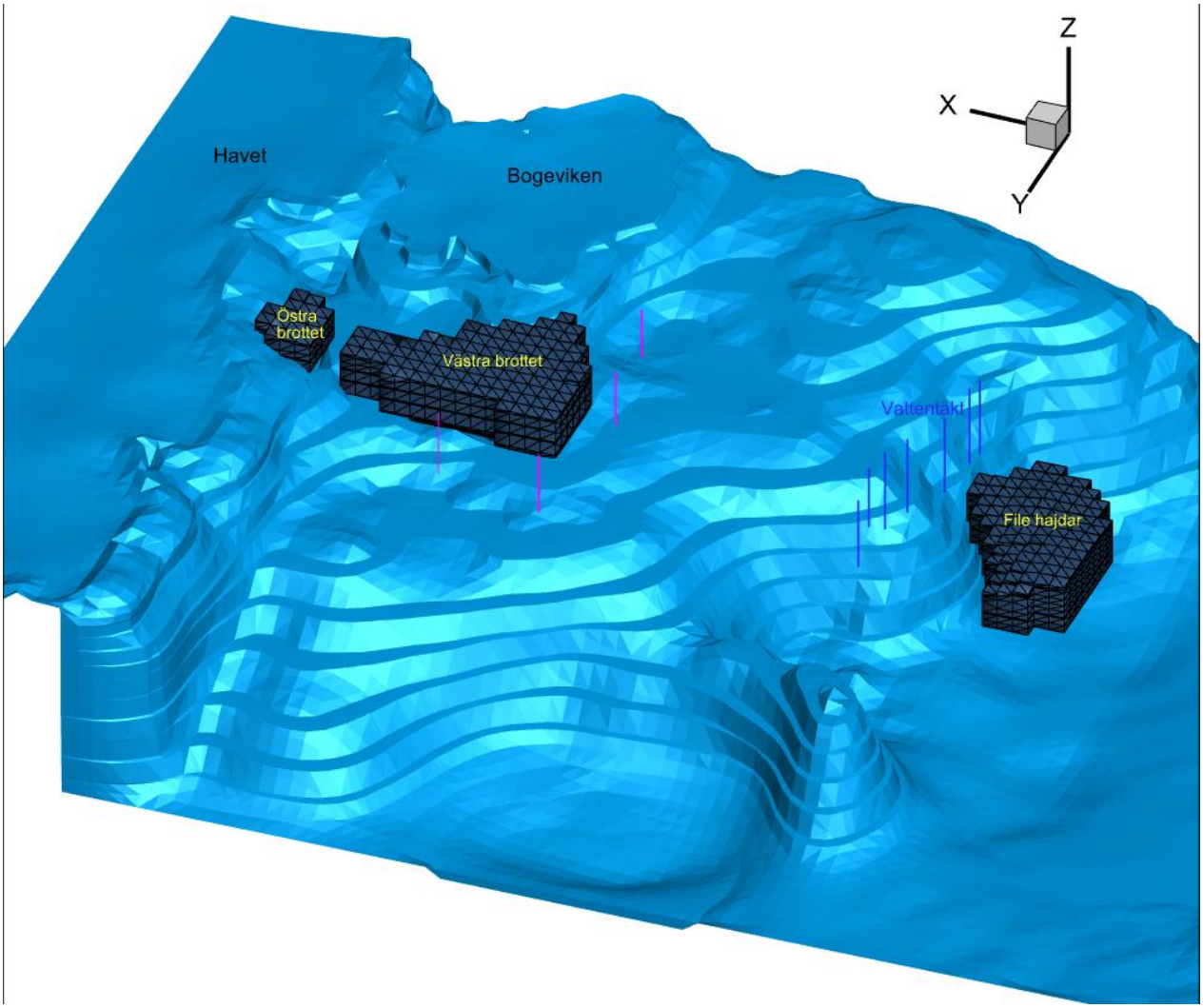
Figur 11-6 Saltvattensimulering. Nuvarande situation (2021), med dränerade dagbrott. Den gula ytan är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 5 Kg/m3 (Östersjön har koncentrationen 7 Kg/m3). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.

Nollalternativ – Vattenfyllda dagbrott

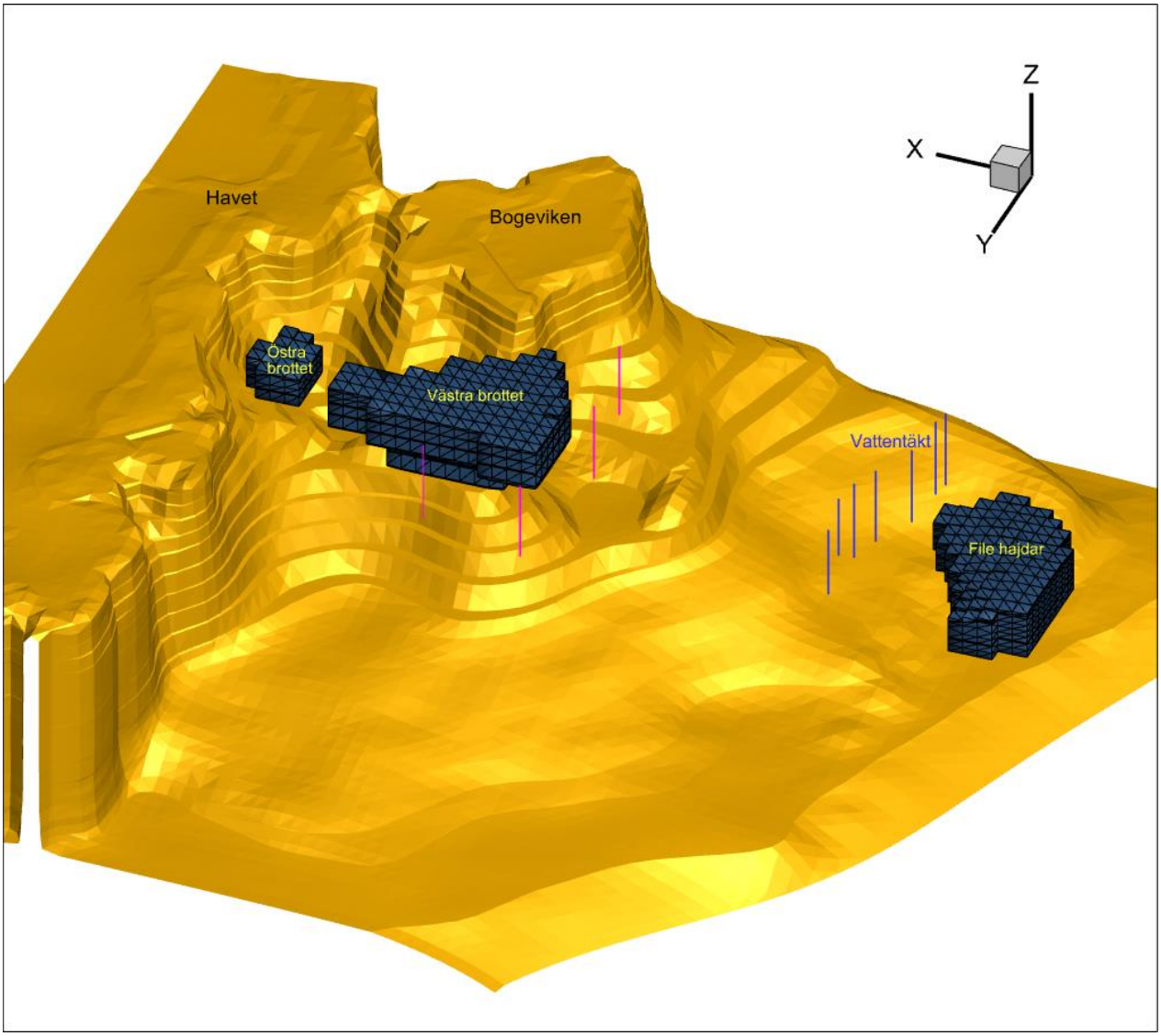
Saltvattenmodellen har använts för att simulera 40 år av successiv vattenfyllning av dagbrotten. Resultat visas i Figur 11-7. Den blå ytan i figuren är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 0.3 Kg/m^3 (smakgränsen). En jämförelse av Figur 11-5 och Figur 11-7 visar på små skillnader. Grundvattennivåerna har höjts runt dagbrotten och isoytan för 0.3 Kg/m^3 har förflyttats nedåt vid Västra och Östra brotten, men förändringarna i koncentration är inte så stora att de syns tydligt i figuren. En kvantitativ analys presenteras i nästa sektion (Sektion 11.13.3).

Den gula ytan i Figur 11-8 är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 5 Kg/m^3. En jämförelse av Figur 11-6 och Figur 11-8 visar på små skillnader. Saltvattenuppkoningen under dagbrotten sjunker något, men förändringen går långsamt, eftersom de hydrauliska gradienterna under dagbrotten är mycket mindre för nollalternativet med vattenfyllda dagbrott, än då dagbrotten

var dränerade. När dagbrotten var dränerade förekom stora hydrauliska gradienter riktade mot dagbrotten, när dagbrotten är vattenfyllda reverseras inte dessa gradienter till motsatsen, utan istället blir gradienterna mycket mindre. Vid vattenfyllda dagbrott förekommer både inflöden och utflöden av grundvatten till och från dagbrotten.



Figur 11-7 *Saltvattensimulering. Nollalternativet efter 40 år av successiv vattenfyllning av dagbrott. Den blå ytan är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 0.3 Kg/m3 (smakgränsen). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.*



Figur 11-8 *Saltvattensimulering. Nollalternativet efter 40 år av successiv vattenfyllning av dagbrott. Den gula ytan är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 5 Kg/m3 (Östersjön har koncentrationen 7 Kg/m3). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.*

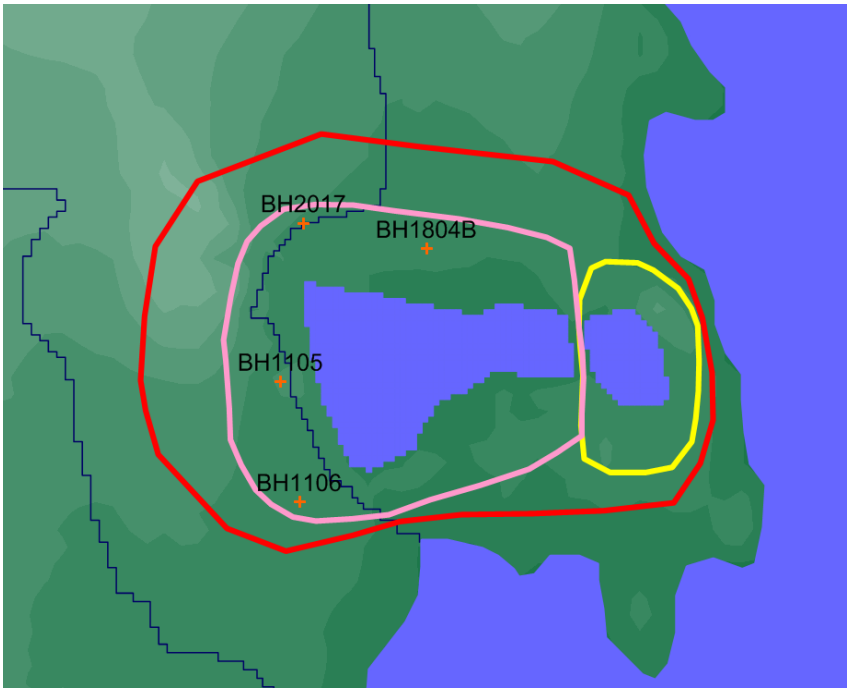
11.13.3 Simulerat djup till salthalten 0.3 Kg/m^3

En uppskattning av förväntat djup till salthalten 0.3 kg/m^3 (smakgränsen) baserat på uppmätta salthalter är för området kring Västra brottet ungefär 35 m. Detta diskuteras i Sektion 11.3.

Med hjälp av saltvattenmodellen har vi beräknat djupet till en viss given saltkoncentration vid varje beräkningscell längs med markytan. För varje cell längs med markytan erhålls ett värde på djupet till en viss given koncentration. Fördelningsfunktioner tas sedan fram för dessa värden och från fördelningsfunktionerna kan medianvärden och percentiler beräknas. Analyser av denna typ har utförts för olika områden kring dagbrotten. Områdena framgår av Figur 11-9.

Följande (beräknade) värden på mediandjupet erhålls för Scenario 2021, avseende djupet till koncentrationen 0.3 Kg/m^3
För område VB1, som sträcker sig c:a 500 m från Västra brottet blir mediandjupet 34 m.
För område OB1, som sträcker sig c:a 300 m från Östra brottet blir mediandjupet 20 m
För område VBOB1 som sträcker sig c:a 1 km runt Västra brottet, och 300 m till 500m från Östra brottet blir mediandjupet 34 m.

Som nämnts ovan är det uppskattade djupet till salthalten 0.3 kg/m^3 (smakgränsen) baserat på uppmätta salthalter, lika med c:a 35 m. En jämförelse med de simulerade mediandjupen visar att modellen har en god förmåga att simulera och beräkna djupet till salthalten 0.3 kg/m^3 . En intressant iakttagelse är att modellen simulerar högre koncentrationer sydöst om Västra brottet och lägre koncentrationer norr om Västra brottet, vilket syns tydligt i Figur 11-5, dessa resultat stämmer väl med uppmätta halter. Orsaken till de högra koncentrationerna sydöst om Västra brottet är avståndet till havet. För området sydöst om Västra och Östra brotten ligger havet nära, både åt öster och åt söder.



Figur 11-9 De olika områdena för vilka djupet till en viss given koncentration har beräknats. Rödlinje = område VBOB1. Skär linje = område VB1. Gul linje = område OB1.

11.13.4 Jämförelse av nivån på olika isoytor, för den initiala situationen och för situationen om 40 år med vattenfyllda dagbrott

När dagbrotten vattenfylls höjs alla grundvattennivåer runt dagbrotten. Detta påverkar salthalterna. Som tidigare beskrivits så är densitetseffekterna för grundvatten med låga salthalter försumbara. Av detta följer att stigande grundvattennivåer kan betyda att grundvatten med låga salthalter lyfts till högre nivåer. Denna effekt gör att isoytan för en ringa saltkoncentration (tex 0.3 Kg/m^3) kan lyftas till en högre nivå. Den andra följden av minskande inflöden och stigande grundvattennivåer kring dagbrotten är att flödet mot dagbrottet av djupt grundvatten med noterbara eller höga salthalteter blir mindre, för att till slut bli ganska litet. När djupt grundvatten med noterbara eller höga salthalter inte längre strömmar mot dagbrotten, blir saltkoncentrationerna runt dagbrottet lägre, och isoytan för en ringa saltkoncentration kommer att sjunka till lägre nivåer. Slutresultatet efter 40 år av successiv vattenfyllning blir en balans mellan dessa två effekter, där den senare får överhanden.

Vi har beräknat djupet till en viss given saltkoncentration vid varje beräkningscell längs med markytan för olika områden kring dagbrotten, detta diskuterades i Sektion 11.13.3 (områdena framgår av Figur 11-9).

Det är inte de absoluta djupen till en viss given koncentration som är det mest intressanta resultatet, det mest intressanta resultatet är förändringen av djupet till en viss given koncentration när dagbrotten vattenfylls.

En successiv vattenfyllning av dagbrotten får följande effekt på mediandjupet till koncentrationen 0.3 Kg/m^3.

För område VB1, som sträcker sig c:a 500 m från Västra brottet ökar mediandjupet med nära 3 m När mediandjupet ökar blir djupet till det salta grundvattnet större.

För område OB1, som sträcker sig c:a 300 m från Östra brottet ökar mediandjupet med nära 4 m

För område VBOB1 som sträcker sig c:a 1 km runt Västra brottet, och 300 m till 500m från Östra brottet, ökar mediandjupet med nära 2 m.

För områden närmare dagbrotten blir förändringen större. För områden längre bort från dagbrotten blir förändringen mindre.

11.13.5 Diskussion och slutsatser

När Västra och Östra brotten är dränerade inströmmar grundvatten till dagbrotten, en del av detta grundvatten kommer från djupare delar av det omgivande berget och innehåller relativt höga koncentrationer av salt (klorid). Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Brytningen av kalksten i Västra brottet påbörjades i slutet av 1960-talet och i File hajdar-brottet runt 1983. Höga salthalter i brunnar i Slite uppmättes redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst. Exempelvis uppgick medelhalten klorid vid årliga provtagningar under 50-talet i den kommunala vattentäkten Klint 1 belägen strax norr om Spillingsmagasinet vid Västra brottet till över 0.4 Kg/m^3, vilket är högre än smakgränsen. Tydliga parametrar som påverkar salthalterna i en kustnära brunn är brunnens djup och uttaget i brunnen – djupa brunnar har höga salthalter, och stora uttag ger höga salthalter. Dessa förhållanden gäller kustnära brunnar oavsett dagbrottens påverkan.

För närvarande är Östra brottet helt dränerat, och i Västra brottet är pall 1 helt dränerat , men i pall 2 ansamlas vatten och där finns en fri vattenyta som sakta stiger. När Västra och Östra dagbrotten vattenfylls, då kommer det betydande grundvatteninflödet till de dränerade dagbrotten att minska tydligt. Grundvatten från stort djup kommer inte längre att på samma sätt strömma mot dagbrottet. Därmed kommer grundvatten från stort djup, som innehåller salt, inte längre att strömma mot dagbrotten – detta är en positiv effekt av att vattenfylla Västra och Östra dagbrotten med avseende på salthalter i det omgivande grundvattnet. Så småningom kommer även grundvattennivåerna i ett större område kring dagbrottet att stiga betydligt. Detta betyder att mängden sött grundvatten i dagbrottens omgivningar kommer att öka. Detta är positivt med avseende på vattenuttag i brunnar i omgivningarna, bland annat därför att det gör det möjligt att göra uttag i brunnarna med mindre risk för att ett djupare salthaltigt grundvatten kan tränga fram till brunnarna. Dessa förändringar kommer dock att inträffa långsamt, inga tydliga förändringar kan förväntas inträffa på många år, bland annat eftersom det bedöms ta c:a 40 år att vattenfylla Västra och Östra dagbrotten.

En uppskattning av förväntat djup till salthalten 0.3 kg/m^3 (smakgränsen), baserat på uppmätta salthalter, är för området kring Västra brottet ungefär 35 m (se Sektion 11.3). En successiv vattenfyllning av dagbrotten under 40 år har simulerats i saltvattenmodellen. Dessa simuleringar visar att djupet till ett saltvatten med en koncentration lika med smakgränsen (0.3 Kg/m^3) kommer att öka. För område VBOB1 som sträcker sig c:a 1 km runt Västra brottet, och 300 m till 500m från Östra brottet, ökar mediandjupet med nära 2 m. Det blir alltså ett större djup till det salta grundvattnet när dagbrotten vattenfylls. För områden närmare dagbrotten blir förändringen större. Att djupet till smakgränsen ökar med c:a 2 m är inte att betrakta som en stor förbättring av saltvattensituationen i området kring Västra brottet.

Att vattenfylla Västra och Östra brotten kommer inte förändra de historiska naturliga förutsättningarna för grundvattenuttag i området kring dagbrotten. Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Risken för saltvatteninträngning i en lokal brunn nära havet kommer att vara betydande även då Västra och Östra brotten är vattenfyllda.

Kring File hajdar dagbrott är salthalterna i grundvattnet mycket låga, vilket demonstreras av att salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna är mycket låga för nuvarande situation. Vattenfyllning av File hajdar dagbrott är därför av ringa betydelse för salthalterna i observationsbrunnarna kring dagbrottet. För de kommunala produktionsbrunnarna öster om dagbrottet är vattenfyllning av File hajdar dagbrott av större intresse, eftersom det möjliggör en ökad produktion i brunnarna (vilket diskuteras i tidigare kapitel). I det sammanhanget är också vattenfyllning av File hajdar dagbrott av intresse för salthalterna, eftersom det minskar risken för saltvatteninträngning i produktionsbrunnarna när produktionen ökas.

11.14 Salthalter i de kommunala produktionsbrunnarna

11.14.1 Nettonerbörd

I de utförda simuleringarna av salthalter i de kommunala produktionsbrunnarna har den årstidsbundna variationen i nettonederbörd inkluderats i simuleringarna. Simuleringarna avser ett normalår.

11.14.2 Kalibrering - Scenario 2021 nuvarande situation

Salthalter har uppmätts i de kommunala produktionsbrunnarna, se Sektion 11.4. Om man exkluderar mätvärdet från extremsommaren 2018 uppmäts stabila värden inom spannet 0.009 – 0.022 Kg/m^3 (9–22 mg/l) med ett medelvärde på 0.015 Kg/m^3 (15 mg/l) för perioden 2011-2021.

Saltkoncentrationerna i modellen har kalibrerats så att de initiala koncentrationerna i de kommunala produktionsbrunnarna stämmer väl med uppmätta värden. Kalibreringen av salthalterna baserades på justeringar av den hydrauliska genomsläppligheten i de vattenförande lagren, men främst genom justering av randvillkoret för saltkoncentration längs med modellens bas. Generellt kan sägas att ju större genomsläpplighet i de övre lagren desto lägre koncentrationer i de övre lagren. Detta följer av att stor genomsläpplighet ger en stor inströmning av sötvatten via markytan. Ju högre koncentrationer längs med modellens bas, desto högre koncentrationer i grundvattnet på alla nivåer. Ett större djup till modellens bas ger en lägre koncentration i de övre lagren.

Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde skall motsvara salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna (och från de olika vattenförande lagren i brunnarna) har blandats.

Nuvarande situation (2021):

För högvattensituationen under februari månad producerar den kalibrerade modellen en (blandad) salthalt i produktionsbrunnarna som ligger nära 0.01 kg/m^3.

För lågvattensituationen i slutet på juli och början på augusti månad producerar den kalibrerade modellen en (blandad) salthalt i produktionsbrunnarna som ligger nära 0.015 kg/m^3.

Den transienta kalibreringen av salthalterna i brunnarna får därmed anses vara god.

Variation i simulerad salthalt i produktionsbrunnarna (blandat och flödesviktat värde) visas i Figur 11-12 (nedan). Totalproduktionen i brunnarna är konstant och satt till 220 000 m^3/år.

Under lågvattenperioden, när grundvattennivåerna är låga, är salthalterna de högsta. Under högvattenperioden när grundvattennivåerna är höga är salthalterna de lägsta. Detta är ett naturligt samband, som följer av att när vattennivåerna i brunnarna är låga, så är andelen större av vatten som kommer från större djup, och vatten från större djup tenderar att innehålla mer salt. Det förkommer alltså en variation av salthalter under året, mellan högvatten- och lågvattensituationerna (se Figur 11-12), men om man analyserar de simulerade koncentrationerna med djupet, så framgår det att det inte förekommer några större förändringar i salthalterna på större djup under ett år. Det är egentligen bara i zonen mellan sött grundvatten med minimala salthalter och salt grundvatten med låga salthalter som man kan se några tydliga förändringar i koncentrationer under ett normalår.

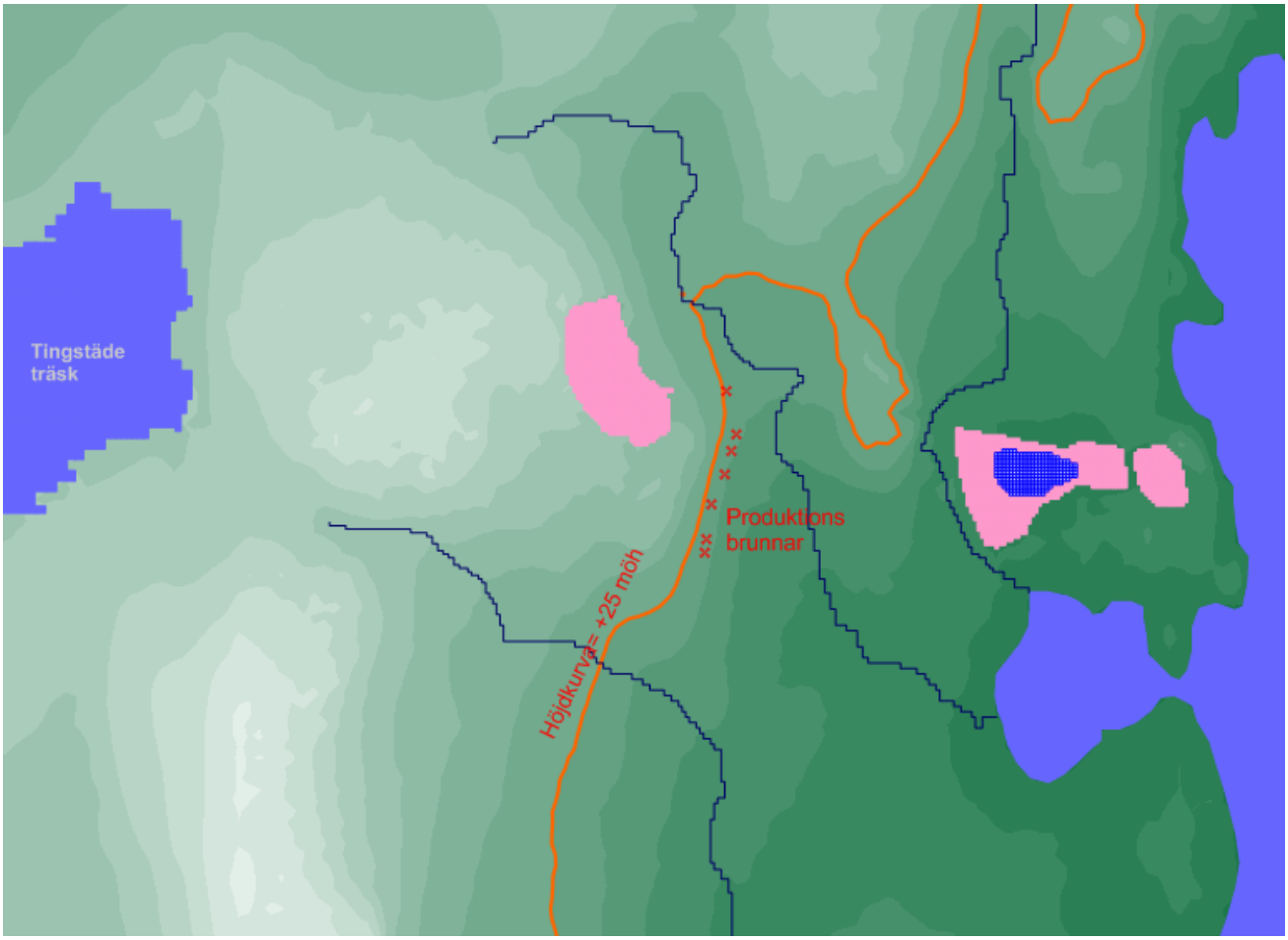
Som diskuterats ovan kan Littorinavallen hittas på en ungefärlig topografisk nivå lika med +25 möh vid Slite. De kommunala produktionsbrunnarna är placerade alldeles nära Littorinavallen. Detta visas i Figur 11-10. Ett av skälen till att brunnarna placerades vid Littorinavallen var att man inte ville att brunnarna skulle placeras långt nedanför Littorinavallen. Littorinavallen motsvarar ungefär det forntida Littorinahavets högsta nivå. Mellan Littorinavallen och det nutida havet är det sannolikt att äldre grundvatten rikt på salt kan påträffas på ringa djup, detta salt har sitt ursprung i det gamla Littorinahavet. Genom att placera brunnarna nedanför höjdområdet File hajdar och nära Littorinavallen hoppades man kunna undvika att få salt grundvatten i produktionsbrunnarna. Detta var ett klokt beslut och brunnarna har fungerat väl i många år. Grundvattnet som strömmar mot brunnarna innehåller mycket lite salt (som medelvärde); mycket av vattnet som når fram till brunnarna kommer från väster där det inte förekommer salt grundvatten på ringa djup.

Saltvattenmodellen baseras en konceptuell beskrivning, denna beskrivning bygger också på antagandet att det finns salt grundvatten på ringa djup öster om produktionsbrunnarna mellan Littorinavallen och det nutida havet. Från detta följer att i modellen står de kommunala produktionsbrunnarna precis väster om området där salt grundvatten förekommer på ringa djup. I modellens visualisering av salthalten 0.3 Kg/m^3 framgår detta som att det finns ett område med salt grundvatten på ringa djup strax öster om produktionsbrunnarna, se Figur 11-11. Det framgår också tydligt att brunnarna inte når ned till grundvatten med salthalten 0.3 Kg/m^3.

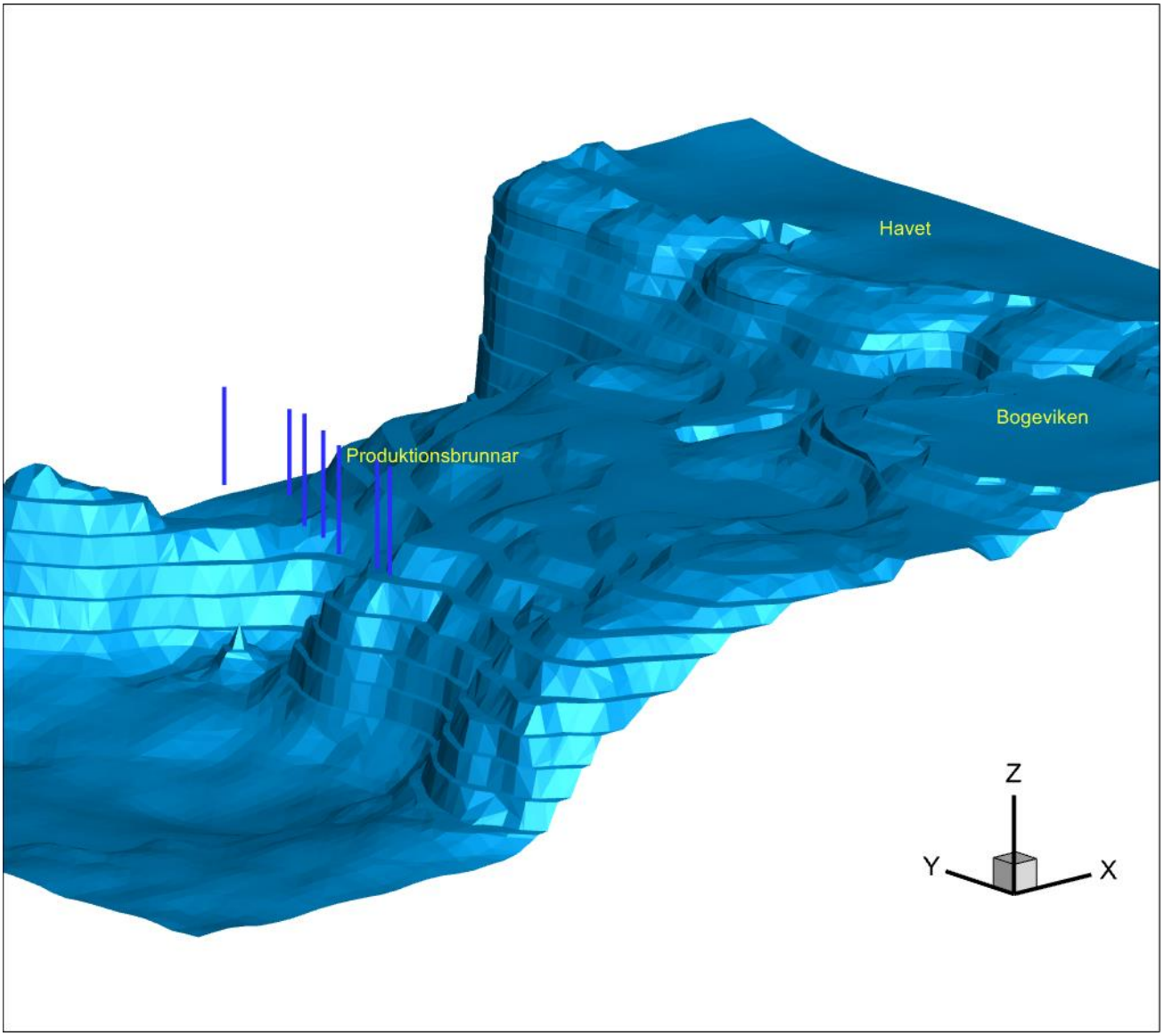
Området med salt grundvatten på ringa djup öster om produktionsbrunnarna, och den lutande vägg av grundvatten med salthalten 0.3 Kg/m^3 (se Figur 11-11) öster om brunnarna, har inte skapats av dagbrotten eller av produktionsbrunnarna. Detta är en naturlig förekomst av salt grundvatten på ringa djup. Enligt vår konceptuella beskrivning har detta saltvatten funnits där i minst 3 000 år, sedan Littorinahavet drog sig tillbaka. Produktionsbrunnarna placerades medvetet väster om detta område, för att undvika det salta grundvattnet.

11.14.3 Ansökt utökning, utbrutet med dränerade dagbrott

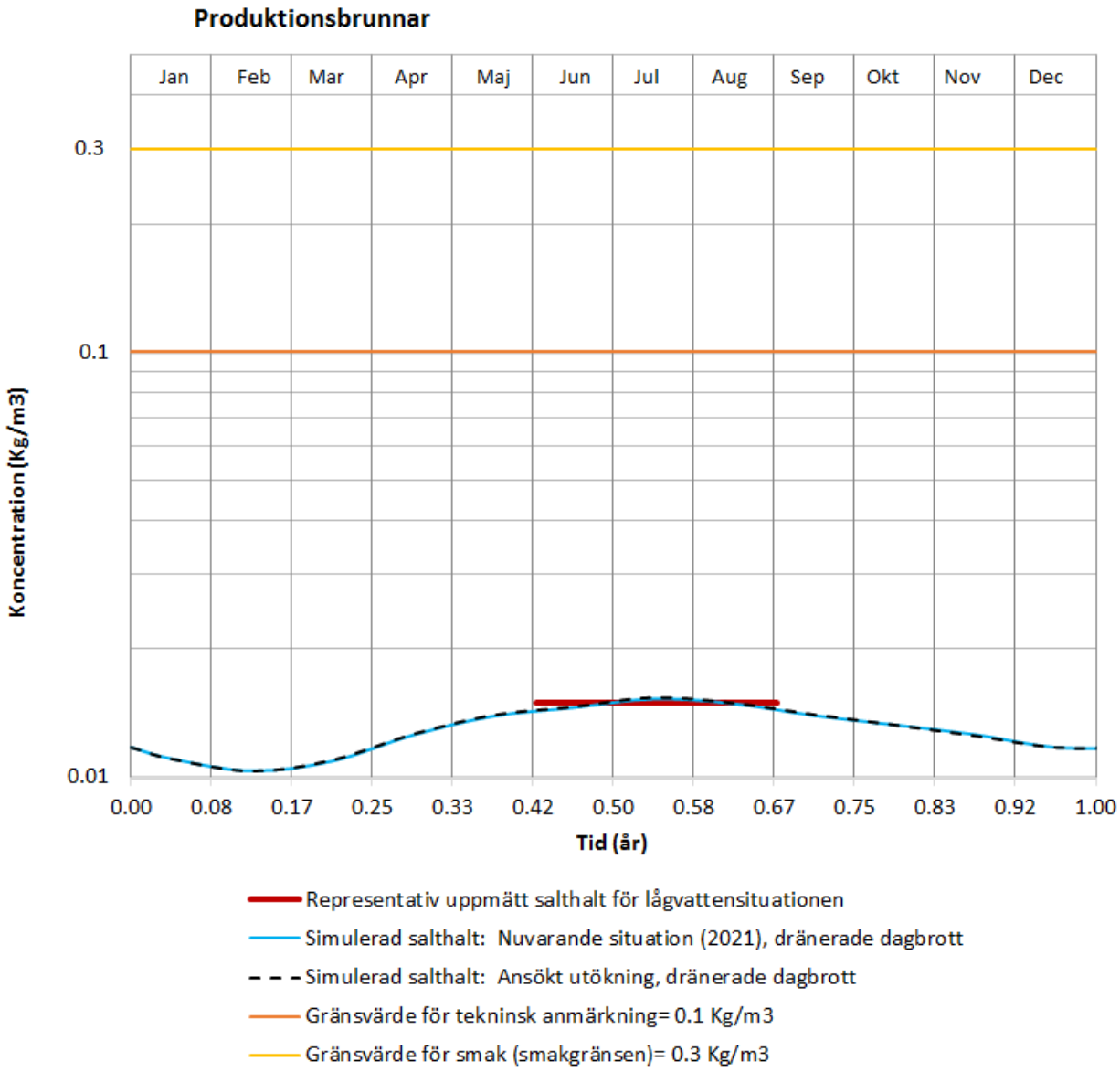
För den ansökta utökningen av dagbrotten, utbrutet och dränerat, visas variation i simulerad salthalt i produktionsbrunnarna (blandat och flödesviktat koncentrationsvärde) i Figur 11-12 (nedan). Totalproduktionen i brunnarna är konstant och satt till 220 000 m^3/år. Figuren visar samma variation i salthalt både för den nuvarande situationen och för den framtida situationen med den ansökta utökningen, utbrutet och dränerat. Således påverkar inte den ansökta utökningen av dagbrotten salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna.



Figur 11-10 De kommunala produktionsbrunnarna (röda kryss) och den topografiska nivåkurvan +25 möh (brandgul), som ungefärligen överensstämmer med Littorinavallens läge i det studerade området. Dagbrotten i skär färg, Pall 2 i Västra brottet är markerat med blått.



Figur 11-11 Saltvattensimulering. Nuvarande situation (2021), med dränerade dagbrott. Lågvattensituationen. Den blå ytan är en isoyta som representerar en saltkoncentration lika med 0.3 Kg/m3 (smakgränsen). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.



Figur 11-12 Variation i simulerad salthalt i produktionsbrunnarna (blandat och flödesviktat värde). Gränsvärden för salthalter i grundvatten också markerade.

12. Sammanfattning och slutsatser

De observerade grundvattennivåerna i bergets spricksystem visar på mycket stora variationer under året. Grundvattennivåerna i tex borrhål BH2001 uppvisar en amplitud som är hela 31 meter. De stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå i bergets spricksystem – som har observerats i ett stort antal borrhål – är en naturlig variation i grundvattennivå; orsakad av nettonederbördens variation under året, bergets hydrogeologiska egenskaper och områdets topografi. De låga nivåerna under sommaren är också orsakade av den kommunala dricksvattentäkten vid Dyhagen som avsänker grundvattennivåerna, i synnerhet under sommaren. Nivåerna påverkas också av dagbrotten som avleder inströmmande nederbörd och grundvatten.

De stora variationerna i grundvattennivå i berget är något som karaktäriserar hela det studerade området vid Slite och File hajdar, förutom i det berg som består av revkalksten. Undersökningsborrhål som bedöms ligga i revkalksten, och som inte når ned till det underliggande lagrade berget, indikerar att nivåvariationen är betydligt mindre i revkalkstenen.

De observerade grundvattennivåerna i jordlagren visar på betydligt mindre variationer under året. Grundvattennivåerna i tex BH1905J uppvisar en amplitud som är 1 meter, att jämföra med 31meter i berggrundvattnet vid BH2001. Båda borrhålen är placerade sydväst om File hajdar vid kanten av Hejnum Kallgate Natura 2000-område.

Syftet med denna studie är att utvärdera hur grundvattensituationen i området påverkas av en ansökt mindre utökning av brytfronterna i File hajdar dagbrott och Västra brottet. Dessutom analyseras hur grundvattensituationen påverkas av att dagbrotten i framtiden vattenfylls.

Följande scenarier har studerats, dessa scenarier benämns i denna rapport som:

- Referenssituation. Nuvarande situation (2021) Scenario LT1B-2021.
- Framtida situation om c:a 5 år: Ansökt utökning, utbrutet och dränerat Scenario LT2.

- Framtida situation Nollalternativ om c:a 5 år. Succesivt vattenfyllda dagbrott. Scen. LT1noll4aT
- Framtida situation Nollalternativ om c:a 40 år. Vattenfyllda dagbrott Scenario LT1noll40aS

- Framtida situation Utbrutna och succesivt vattenfyllda dagbrott om c:a 5 år Scenario LT2noll4a T
- Framtida situation Utbrutna och vattenfyllda dagbrott, om c:a 40 år Scenario LT2noll40a S

- Saltvattenmodellen. Referenssituation. Nuvarande situation (2021)
- Saltvattenmodellen. Ansökt utökning, utbrutet och dränerat
- Saltvattenmodellen. Nollalternativ om c:a 40 år. Vattenfyllda dagbrott

De dränerade dagbrotten fungerar som stora hydrauliska sänkor för grundvattensystemet, dessutom utgör den kommunala grundvattentäkten öster om File hajdar ytterligare en betydande hydraulisk sänka för grundvattnet inom det studerade området. Tillsammans har dessa avledningar av vatten lett till att grundvattennivåerna kring Slite och File hajdar har avsänkts. När dagbrotten görs större leder detta till ett större vatteninflöde till dagbrotten och att grundvattenvattennivåerna kommer att avsänkas ytterligare kring dagbrotten. Det är den kombinerade effekten av dagbrotten och vattentäkterna som orsakar grundvattenavsänkningen.

Kalibrering

Kalibreringen har utförts för en situation som motsvarar förhållanden under 2021, Scenario LT1B-2021, Nuvarande situation (2021). Det är kalibreringens syfte att reproducera uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans:

- Transient inflöde till File hajdar dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/Östra dagbrotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna.
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål.

Kalibreringen är tidsberoende (transient) och redovisar det studerade systemets variation under ett medelår/normalår. Syftet med att utföra en transient kalibrering, som är komplicerad och tidsödande, är att upprätta en modell som kan simulera hur de framtida grundvattennivåerna kommer att variera under ett teoretiskt medelår/normalår. Detta möjliggör en analys av både högvattensituationen (vinter) och lågvattensituationen (sommar).

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv. Kalibreringen diskuteras också i en sensitivitetsanalys, se Appendix, Sektion 15.

Vatteninflödet till dagbrotten

Inflödet till dagbrotten består av nettonederbörd och grundvatteninflöde.

Med avseende på Scenario LT2 (Fall S), ansökt utökning, utbrutet och dränerat:

- För File hajdar dagbrott ökar inflödet med 6% i jämförelse med den nuvarande situationen (2021) se Figur 6-7.

- För Västra och östra brotten ökar inflödet med 10% i jämförelse med den nuvarande situationen (2021) se Figur 6-8.

För vattenfyllda dagbrott har inflödet till dagbrotten inte beräknats, eftersom dagbrotten då inte dräneras.

Grundvattennivåer och påverkansområden

Dagbrottens indirekta påverkan på de omgivande grundvattennivåerna beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras. Storleken på påverkansområdet varierar med storleken på ett gränsvärde som definierar påverkansområdets gräns. Ett gränsvärde lika med 1.0 m är huvudalternativet i denna studie.

<u>Jämförelse mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021)</u>

Grundvattennivåerna kommer att avsänkas då dagbrotten görs större och då dagbrotten fortsätter att vara dränerade. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli).

Jämförelse har gjorts mellan ansökt utökning och den nuvarande situationen (2021). Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).
För högvattensituationen visas resultaten i Figur 9-3.
För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 9-4.

För File hajdar dagbrott är påverkansområdet litet för högvattensituationen och mycket litet för lågvattensituationen. Det lilla området som erhålls för lågvattensituationen beror på att dagbrottets botten till stor del ligger ovanför grundvattenytan under lågvattensituationen (sommaren). För Västra och östra brotten är påverkansområdena också små och begränsade till dagbrottens närområde.

Jämförelse mellan vattenfyllda dagbrott och nuvarande situationen (2021)

Grundvattennivåerna kommer att höjas då dagbrotten vattenfylls. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för ett normalår då dagbrotten är helt vattenfyllda, både för högvattensituationen (december) och för lågvattensituationen (juli). Denna situation bedöms kunna uppnås c:a 40 år in i framtiden. Jämförelsen avser representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.8).

För högvattensituationen visas resultaten i Figur 9-6.
För lågvattensituationen visas resultaten i Figur 9-7.

Den ansökta utvidgningen är liten. En liten förändring i storlek på dagbrotten är av ringa betydelse i jämförelse med att dagbrotten vattenfylls. Utvecklingen i nollalternativet och ansökt alternativ på längre sikt (vattenfyllda täkter) blir i princip densamma, trots att täkterna är något större i det ansökta alternativet. När påverkansområdets gränsvärde är litet blir påverkansområdet stort. Vid små gränsvärden får vi i praktiken samma stora påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför dränerade dagbrott med helt vattenfyllda dagbrott.

Påverkansområde för grävda brunnar

Som nämnts ovan avser de beräknade påverkansområdena en representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn, påverkansområdet med avseende på en brunn grävd i jordlagren kan förväntas vara betydligt mindre. Det är troligt att dagbrotten bara påverkar grävda brunnar (i jordlagren) om dessa brunnar är placerade i direkt anslutning till dagbrotten. Som en konservativ uppskattning kan man säga att det beräknade påverkansområdet för bergborrade brunnar också kan tillämpas för grävda brunnar.

Diskussion

När dagbrotten vattenfylls blir förändringarna i grundvattennivå stora, särskilt för lågvattensituationen. När dagbrotten är helt eller delvis vattenfyllda kommer dagbrotten inte att avsänka grundvattennivåerna på det sätt som de gör för den nuvarande situationen.

För File hajdar dagbrott blir förändringen under lågvattensituationen stor, eftersom det dränerade File hajdar dagbrott till stor del ligger ovanför grundvattenytan under sommaren. I situationen med vattenfyllda dagbrott finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren, vatten som kan infiltrera till grundvattensystemet. Då kommer inte grundvattennivåerna i omgivningarna att sjunka på sommaren (lågvattensituationen), på det vis som de gör under nuvarande förhållanden (då File hajdar dagbrott är dränerat). Det spelar roll om vattennivån i dagbrottet är låg eller hög, men för File

hajdar dagbrott är det inte nödvändigtvis den mest betydelsefulla faktorn, den stora effekten skapas av att det finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren.

Infiltration av vatten från sjön i File hajdar dagbrott till omgivningarna förutsätter att det finns en god hydraulisk kontakt mellan sjön i File hajdar dagbrott och det omgivande grundvattensystemet, det är ett rimligt antagande baserat på hur förhållandena ser ut idag. I ett längre perspektiv, många år in i framtiden, är det troligt att sediment kommer att ansamlas i sjön, vilket på lång sikt kommer att förminska den hydrauliska kontakten mellan sjön och det omgivande grundvattensystemet. Därmed kommer också infiltrationen av vatten från sjön till omgivningarna att minska med tiden, och de låga grundvattennivåerna under sommaren kommer med tiden åtminstone delvis kunna komma tillbaka. Beräkningarna med vattenfyllda dagbrott, som presenteras i denna rapport, förutsätter en god hydraulisk kontakt mellan sjöarna i dagbrotten (tex sjön i File hajdar dagbrott) och det omgivande grundvattensystemet.

Grundvattensituationerna som erhålls då dagbrotten vattenfylls är situationer som aldrig tidigare har förekommit. Det är alltså inte en återgång till en tidigare situation eller en jämförelse med förhållandena innan Cementas verksamhet i Slite startade i början av 1900-talet. Dagbrotten har omvandlats till två sjöar av en betydande storlek och volym. Dessa sjöar har aldrig tidigare existerat.

Modellen predikterar att då dagbrotten vattenfylls kommer grundvattennivåerna att höjas tydligt inom ett mycket stort område, även nivåerna på större djup kommer att påverkas tydligt. Särskilt lågvattensituationen påverkas av att dagbrotten omvandlas till sjöar. Regionens vattentäkt påverkas kraftigt på ett positivt vis med tydligt förhöjda vattennivåer.

Påverkansområden och jämförelser mellan olika situationer presenteras också i Appendix, Sektion 16.

Den kommunala vattentäkten öster om File hajdar (de kommunala produktionsbrunnarna)

I modellen pumpas produktionsbrunnarna med 220 000 m^3/år. Med avseende på Scenario LT2, som motsvarar det ansökta alternativet när täkterna är fullt utbrutna och dränerade, visas simulerade vattennivåer i produktionsbrunnarna i Figur 6-9 och Figur 6-10.

Förändringen i vattennivå i brunnarna är mycket liten, i jämförelse med den årliga nivåvariationen i brunnarna som är nära 15 m. Miniminivåerna i slutet på juli avsänks med nära 0.5 m i jämförelse med den initiala situationen (den nuvarande situationen 2021).

En frågeställning är vilken betydelse en liten förändring i vattennivå under sommaren har för produktionen i brunnarna. För att kvantifiera detta har vi gjort en simulering där vattennivån i produktionsbrunnarna aldrig tillåts vara lägre än den nuvarande miniminivån. Detta betyder att produktionen måste begränsas, men bara under den sista veckan i juli. Denna begränsning ger ett produktionsbortfall lika med c:a 100 m^3 under juli månad. Detta är att anse som en helt försumbar förändring.

Med avseende på nollalternativet Scenario LT2noll4a har vattennivån i dagbrotten successivt höjts under 5 år. Under denna period har miniminivåerna i brunnarna i slutet på juli stigit med nära 2 m i jämförelse med den initiala situationen (nuvarande situation 2021), se Figur 7-5.

Med avseende på nollalternativet Scenario LT2noll40a, helt vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år, visas de simulerade vattennivåerna i produktionsbrunnarna för ett normalår i Figur 8-7. För den framtida situationen (om c:a 40 år) har miniminivåerna i brunnarna i slutet på juli stigit med nära 6 m i jämförelse med den initiala situationen (nuvarande situation 2021). Samma utveckling är att förvänta sig i ansökt alternativ, när dagbrotten vattenfylls efter avslutad verksamhet.

Grundvattenflöden i berget i de lokala avrinningsområdena nära File hajdar

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal områden runt dagbrotten. Dessa områdens utbredning är anpassade till topografin och ytvattensystemet – områdena är lokala avrinningsområden. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet beräknats längs med en yta på djupet 5 m. Det finns både uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden inom varje område. Ett nettoflöde kan beräknas som skillnaden mellan de uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden. Det ovan diskuterade nettoflödet är i områdena kring dagbrotten nedåtriktade.

Nettoflödet har beräknats för varje studerat område för följande scenarier:

Referenssituation, år 2021	Scenario LT1B-2021 S. Nuvarande situation (2021).
Framtida situation	Scenario LT2 S. Ansökt utökning fullt utbrutet och dränerat.
Framtida situation Nollalternativ:	Scenario LT2noll40a S. Vattenfyllda dagbrott om c:a 40 år.

Nettoflödena för de framtida situationerna har jämförts med referenssituationen (Nuvarande situation 2021). Förändringen i nettoflödet är den påverkan som dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrottens kommer att orsaka.

Om dagbrotten utvidgas kommer ett nedåtriktat nettoflöde att bli större, eftersom dagbrotten kommer att avleda mer grundvatten, samtidigt som kommunens produktionsbrunnar kommer fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare. Om dagbrotten vattenfylls kommer ett nedåtriktat nettoflöde att bli mindre, eftersom dagbrotten kommer att avleda mindre grundvatten, samtidigt som kommunens produktionsbrunnar kommer att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare. Detta inträffar både i nollalternativet och för det ansökta alternativet, när dagbrotten vattenfylls efter avslutad verksamhet.

De beräknade flödena visas i kapitel 10. De beräknade förändringarna i nettoflöden är mycket små i jämförelse med nettonederbörden och ytvattenflödena. Vad gäller förändringen från den nuvarande situationen (2021) till den ansökta utökningen är förlusten av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena som medelvärde 0.3% av nettonederbörden (över samma områden). Vad gäller förändringen från den nuvarande situationen (2021) till nollalternativet med vattenfyllda täkter är vinsten av berggrundvatten till de lokala avrinningsområdena som medelvärde 1.3% av nettonederbörden. Förlusten eller vinsten av grundvatten i de lokala avrinningsområdena äger huvudsakligen rum under höst och vinter, eftersom det är då som grundvattenflödena är stora. Detta inträffar både i nollalternativet och för det ansökta alternativet, när dagbrotten vattenfylls efter avslutad verksamhet.

Salthalter i grundvattnet kring Västra och Östra brotten vid vattenfyllning av dagbrotten

När Västra och Östra brotten är dränerade inströmmar grundvatten till dagbrotten, en del av detta grundvatten kommer från djupare delar av det omgivande berget och innehåller relativt höga koncentrationer av salt (klorid). Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Brytningen av kalksten påbörjades i slutet av 1960-talet i Västra brottet och runt 1983 i File hajdar dagbrott. Höga salthalter i brunnar i Slite uppmättes redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst. Exempelvis uppgick medelhalten klorid vid årliga provtagningar under 50-talet i den kommunala vattentäkten Klint 1 (belägen strax norr om Spillingsmagasinet, vid Västra brottet) till över 0.4 Kg/m^3, vilket är högre än smakgränsen. Tydliga parametrar som påverkar salthalterna i en kustnära brunn är brunnens djup och uttaget i brunnen – djupa brunnar har höga salthalter, och stora uttag ger höga salthalter. Dessa förhållanden gäller kustnära brunnar oavsett dagbrottens påverkan.

För närvarande är Östra brottet helt dränerat, och i Västra brottet är pall 1 helt dränerat , men i pall 2 ansamlas vatten och där finns en fri vattenyta som sakta stiger. När Västra och Östra dagbrotten vattenfylls, då kommer det betydande grundvatteninflödet till de dränerade dagbrotten att minska tydligt. Grundvatten från stort djup kommer inte längre att på samma sätt strömma mot dagbrotten. Därmed kommer grundvatten från stort djup, som innehåller salt, inte längre att strömma mot dagbrotten – detta är en positiv effekt av att vattenfylla Västra och Östra dagbrotten med avseende på salthalter i det omgivande grundvattnet. Så småningom kommer även grundvattennivåerna i ett större område kring dagbrotten att stiga betydligt. Detta betyder att mängden sött grundvatten i dagbrottens omgivningar kommer att öka. Detta är positivt med avseende på vattenuttag i brunnar i omgivningarna, bland annat därför att det gör det möjligt att göra uttag i brunnarna med mindre risk för att ett djupare salthaltigt grundvatten kan tränga fram till brunnarna. Dessa förändringar kommer dock att inträffa långsamt, inga tydliga förändringar kan förväntas inträffa på många år, bland annat eftersom det bedöms ta c:a 40 år att vattenfylla Västra och Östra dagbrotten.

En successiv vattenfyllning av dagbrotten under 40 år har simulerats i saltvattenmodellen. Dessa simuleringar visar att djupet till ett saltvatten med en koncentration lika med smakgränsen (0.3 Kg/m^3) kommer att öka. För ett område som sträcker sig c:a 1 km runt Västra brottet, och 300 m till 500m från Östra brottet, ökar mediandjupet med nära 2 m. Det blir alltså ett större djup till det salta grundvattnet när dagbrotten vattenfylls. För områden närmare dagbrotten blir förändringen större. För områden längre bort från dagbrotten blir förändringen mindre.

Att vattenfylla Västra och Östra brotten kommer inte förändra de historiska naturliga förutsättningarna för grundvattenuttag i området kring dagbrotten. Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Risken för saltvatteninträngning i en lokal brunn nära havet kommer att vara betydande även då Västra och Östra brotten är vattenfyllda

Salthalter i den kommunala vattentäkten öster om File hajdar

Den ansökta utökningen av dagbrotten är ringa i jämförelse med dagbrottens nuvarande storlek. En så liten utökning av dagbrotten kommer endast ha en försumbar påverkan på salthalterna i de

kommunala vattentäkterna. Denna slutsats stöds av simuleringar av salthalter i produktionsbrunnarna, se Sektion 11.14. Simuleringarna visar att den ansökta utökningen av dagbrotten inte påverkar salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna.

Påverkan på grundvattenflödena i VISS-området Mellersta Gotland - Stenkyrka

En mycket liten del av VISS området Stenkyrka ligger innanför påverkansområdet för Nollalternativet (och därmed även för påverkansområdet när de utökade täkterna vattenfylls). Se Figur 10-12. Grundvattenflödet i detta lilla område kommer att påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Vi har beräknat hur stor denna påverkan blir för grundvattenflödet i berget.

Beräkningarna visar att den ansökta utökningen och länshållningen av dagbrotten kommer att orsaka en förlust för VISS-området på nära 6 000 m^3/år (för ett normalår) i jämförelse med nuvarande situation (2021).

Beräkningarna visar att en vattenfyllning av dagbrotten (vilket tar många år) kommer att orsaka en vinst för VISS-området på nära 41 000 m^3/år (för ett normalår) i jämfört med nuvarande situation (2021).

Påverkan på VISS-området Mellersta Gotland - Roma

Dagbrotten ligger i VISS-området Mellersta Gotland - Roma. Påverkan på VISS-området Mellersta Gotland - Roma kan uppskattats som hela förändringen i den totala vattenbortledningen från dagbrotten, alternativt studerar man bara grundvattenbortledningen från dagbrotten.

Beräkningarna visar att den ansökta utökningen och länshållningen av dagbrotten kommer att orsaka en förlust för grundvattensystemet i VISS-området på nära 94 000 m^3/år (för ett normalår) i jämfört med nuvarande situation (2021). En del av detta grundvattenflöde samlas i pall 2 i Västra brottet och pumpas inte till havet, och är därför inte en fullständig förlust för det studerade VISS-området.

Vad gäller den totala förändringen av vattenbortledningen, som består av nettonederbörden över dagbrotten och grundvatteninflödet till dagbrotten, visar beräkningarna att den ansökta utökningen och länshållningen av dagbrotten kommer att orsaka en förlust på 154 000 m^3/år i jämfört med nuvarande situation (2021). En del av detta vattenflöde samlas i pall 2 i Västra brottet och pumpas inte till havet, och är därför inte en fullständig förlust för det studerade VISS-området.

I Nollalternativet vattenfylls dagbrotten. Dagbrotten dräneras inte längre. Hela grundvattensituationen förändras kring dagbrotten. I nollalternativet erhålls ingen kvantitativ förlust för VISS området Mellersta Gotland - Roma. Istället erhålls, i jämförelse med nuvarande situation (2021), en kvantitativ vinst som motsvarar hela vattenbortledningen från dagbrotten som är nära 1.9 miljoner m^3/år. I det ansökta alternativet kommer också dagbrotten så småningom att vattenfyllas. Samma kvantitativa vinst erhålls då som för Nollalternativet, men några år senare.

13. Referenser

Bear and Verruit (1987) ”Modelling of groundwater flow an pollution”. ISBN1-55608-014-X

Geoan Users Guide, Holmén (2017). Se också: Holmén (1992), Holmén (1997) , Holmén (2022).

Golder (1991). Konsultrapport till Cementa.

Golder (2017). Konsultrapport till Cementa.

Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003.

Gotlands kommun (2016) "Dricksvattensituationen på Gotland" Aaw och Bjergegaard-Pettersson.

Munthe et al. (1933), Kartblad. Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C. No 331.

SGI, 1991, Termiska egenskaper i jord och berg, Jan Sundberg

Van Genuchten (1980) "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils." Soil Science Society of America Journal. 44 (5): 892–898.

Mualem (1976) "A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media." Water Resour. Res., 12:513-522, 1976

Viak 1974 och 1981. Konsultrapport. Provpumpningsrapporter.

Från: SGU: Rapporter och meddelanden 140 SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2 Peter Dahlqvist, Carl-Axel Triumf, Lena Persson, Mehrdad Bastani, Mikael Erlström & Kristian Schonning

Grip och Rodhe (1985) ”Vattnets väg från regn till bäck.” ISBN 91 73826707

Rodhe, Allan (1987) ” The origin of streamwater traced by oxygen-18”. Ph.D. Thesis. Uppsala : s.n., 1987. Uppsala university. Department of physical geography. Hydrological division. Report series A 41

08FS 2016:15 Riktvärden

14. Simulation ID

Nedan anges de filnamn som definierar de olika beräkningsfallen.

Nuvarande situation år 2021. Den kalibrerade beskrivningen. Scenario LT1B-2021.
M2021--M83S-K-LT1B-S0.dat

Framtida situation. Ansökt utökning utbrutet och dränerat, om 5 år. Scenario LT2.
M2021--M83S-K-LT2Tra1-S0.dat

Framtida situation. Ansökt utökning utbrutet och dränerat. Scenario LT2.
M2021--M83S-K-LT2-S0.dat

Nollalternativ. Framtida situation. Vattenfyllning om c:a 5 år. Scenario LT1noll4a.
M2021--M83S-K-LT1NollTra1-S0.dat

Nollalternativ. Framtida situation Vattenfyllning om c:a 40 år. Scenario LT1noll40a.
M2021--M83S-K-LT1Noll-S0.dat

Framtida situation. Utbrutet och vattenfyllning om c:a 5 år. Scenario LT2noll4a
M2021--M83S-K-LT2Tra1-S0.dat

Framtida situation. Utbrutet med vattenfyllda dagbrott, om c:a 40 år. Scenario LT2noll40a.
M2021--M83S-K-LT2Noll-S0.dat

Sensitivitetsanalys
M2021--M83S-K-LT1B-Sen005-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1B-Sen01-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1B-Sen05-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1B-Sen5-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1B-Sen10-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1B-Sen50-S0.dat

Olika dagbrott vattenfyllda
M2021--M83S-K-LT1-VBV-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1-VBV2-S0.dat
M2021--M83S-K-LT1-OBV-S0.dat

Saltvattenmodellen
CEM95-sc1-M7-v2022-Salt5-ini.dat
CEM95-sc1-M7-v2022-Salt5.dat
CEM95-sc1-M7-v2022-Salt11.dat
CEM95-sc1-M7-v2022-Salt11-LT2.dat

15. Appendix: Sensitivitetsanalys av modellens kalibrering

15.1 Syfte

Vad som är av störst betydelse för den etablerade modellen är den grundläggande hydrogeologiska beskrivningen av grundvattensystemet på File hajdar och des omgivning, tex, geometri, typ av bergart, lagerföljder, sprickzoner, samt systemets dynamiska beteende som det har observerats i borrhål etc (detta kallas ofta för en konceptuell modell). Den hydrogeologiska beskrivningen inkluderar ett antal subhorisontella vattenförande lager, som försörjs av vatten via vertikala sprickor. Dessa strukturer har observerats i fältstudier, bland annat med hjälp av hydrauliska tester i borrhål, och geofysiska undersökningar, mm. Den övergripande hydrogeologiska beskrivningen är inte en del av sensitivitetsanalysen. Syftet med studien som presenteras nedan är att utföra en begränsad sensitivitetsanalys av den etablerade modellens kalibrering med avseende på den viktigaste parametern för modellens kalibrering, nämligen bergets genomsläpplighet. Det är denna parameter som har störst betydelse för modellens beteende. Den upprättade modellen är kalibrerad, det betyder att modellen förmår att reproducera ett antal olika observationer av det studerade systemets beteende. Detta gör att osäkerheten i de viktiga parametervärdena blir betydligt mindre än om parametervärden inte baserades på en kalibrering.

15.2 Den kalibrerade modellen

Den upprättade modellen är kalibrerad. Det går att spekulera kring alternativa beskrivningar av det studerade hydrogeologiska systemet, men den etablerade och kalibrerade modellen är den beskrivning som bedöms vara mest trolig. Det är inte så att modellen kan kalibreras för vilken hydrogeologisk beskrivning som helst, eller för vilka parametervärden som helst. Endast beskrivningar som ligger mycket nära den etablerade modellen kan kalibreras mot uppmätta data. Om vi utgår från den kalibrerade modellen, så är det endast för mindre förändringar av de betydelsefulla parametrarna som det är möjligt att erhålla en kalibrerad modell, genom att olika betydelsefulla egenskaper noggrant balanseras mot varandra. Detta gör den etablerade modellen trovärdig.

Kalibreringen har utförts för en situation som motsvarar förhållanden under 2021, Scenario LT1B-2021 (Nuvarande situation (2021)). Modellen är kalibrerad mot följande uppmätta data. Det är kalibreringens syfte att reproducera dessa uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans:

- Transient inflöde till File hajdar-dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellenen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv.

En sensitivitetsanalys av hur betydelsefulla parametrar påverkar vattennivåer i observationsbrunnar och produktionsbrunnar, samt grundvatteninflöden till dagbrotten är en intressant analys, men det är viktigt att komma ihåg att när viktiga parametervärden förändras så erhålls en modell som inte är kalibrerad.

Den studerade modellen är en stor och komplex tredimensionell modell som både inkluderar grundvattenflöden och ytvattenflöden. Modellen är dessutom kalibrerad för transienta (tidsberoende) förhållanden där grundvattennivåerna varierar med mycket stor amplitud under ett år. Detta gör att de resultat som produceras av modellen (tex grundvatteninflöden till dagbrotten) varierar med modellens egenskaper (tex genomsläpplighet) via ett icke linjärt förhållande (tex enligt en fjärdegradsfunktion). Vilket i sin tur gör både kalibreringen och sensitivitetsanalysen till komplicerade och intressanta processer.

15.3 Sensitivitet med avseende på bergets genomsläpplighet

En sensitivitetsanalys har utförts som visar hur vattennivåer i observationsbrunnar och produktionsbrunnarna förändras, och hur inflöden till dagbrotten förändras, då genomsläppligheten för berget varieras.

Genomsläppligheten (K-värdena) i modellen varierar från lager till lager, med vattenförande lager och tätare berg däremellan, dessutom är genomsläppligheten definierad som heterogen, dvs K-värdena varierar från beräkningscell till beräkningscell, detta diskuteras mer i detalj i Kapitel 4.9. De vattenförande lagrens genomsläpplighet efter kalibrering (korrigering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-11. De icke vattenförande lagrens genomsläpplighet efter kalibrering (korrigering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-12.

I sensitivitetsanalysen har bergets genomsläpplighet varierats. Genomsläppligheten för de vattenförande lagren och för berget mellan dessa lager har förändrats genom att alla de heterogena K-värdena i de studerade lagren multipliceras med en K-faktor, tex 10.0 (eller 0.1). Genomsläppligheten på stort djup har inte förändrats.

I sensitivitetsanalysen är alltså bergets genomsläpplighet definierad som en K-faktor. Med detta menas att olika simuleringar med olika K-värden anges i relation till K-värdet för den kalibrerade modellen. Den kalibrerade modellen får då det relativa värdet 1.0, och en simulering (sensitivitetfall) med K-värden som är dubbelt så stora som i den kalibrerade modellen får det relativa värdet 2.0, osv.

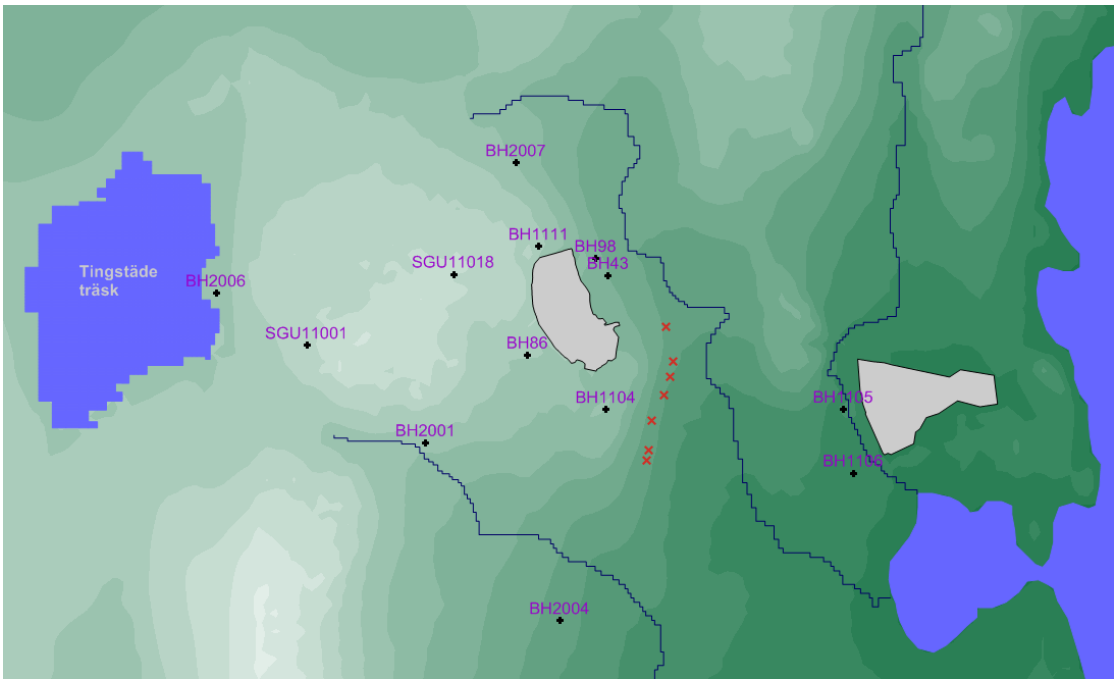
Simuleringarna utfördes med en modell som representerar situationen år 2021 (Scenario LT1B-2021). Simuleringarna utfördes för transienta förhållanden, där nettonederbördens variation under ett år representerar ett normalår. Nettonederbörden förändrades inte för de olika studerade fallen, däremot förändras grundvattenbildningen och det vertikala grundvattenflödet i modellen, eftersom dessa egenskaper är storheter som modellen beräknar, utifrån bland annat bergets genomsläpplighet.

Modellens särskilda magasinsegenskaper (tex magasinskoefficient) förändrades inte under sensitivitetsanalysen.

15.3.1 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i observationsbrunnarna

Modellen har kalibrerats mot vattennivåerna i ett antal observationsbrunnar runt dagbrotten, 12 borrhål, se Figur 15-1, med avseende på lågvattensituationen och amplituden på den årliga variationen i vattennivå. Vattennivåerna i borrhålen varierar inte bara under året utan också från plats till plats. Låga nivåer (mindre än noll under sommaren) nära Västra brottet, till höga nivåer uppe på File hajdar.

För varje borrhål jämförs simulerad nivå (slutet på juli) mot uppmätt nivå i slutet på sommaren. Skillnaden kallas residual. Syftet med kalibreringen är att för varje borrhål minimera residualerna.



Figur 15-1 Borrhål som inkluderats i kalibreringen

Medelvärdet för de olika residualerna i borrhålen kallas för modellens residual. För den kalibrerade modellen är medelvärdet för residualerna lika med +0.6 m. Hur modellens residual förändras med bergets genomsläpplighet visas i Figur 15-2.

Y-axeln representerar medelvärdet för residualerna (linjär skala), X-axeln representerar bergets genomsläpplighet via en faktor (logaritmisk skala). Om tex faktorn är lika med 10 har bergets genomsläpplighet ökat 10 gånger. Eftersom resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen så är K-faktorn för den kalibrerade modellen lika med 1.0

Figuren visar ett samband i lin-log-skala som är icke linjärt, inom K-värdes variationen 0.1 till 10 är sambandet nära linjärt i den studerade lin-log skalan. Sambandet som visas i Figur 15-1 är inte ett komplext samband med flera nollställen utan ett relativt simpelt samband.

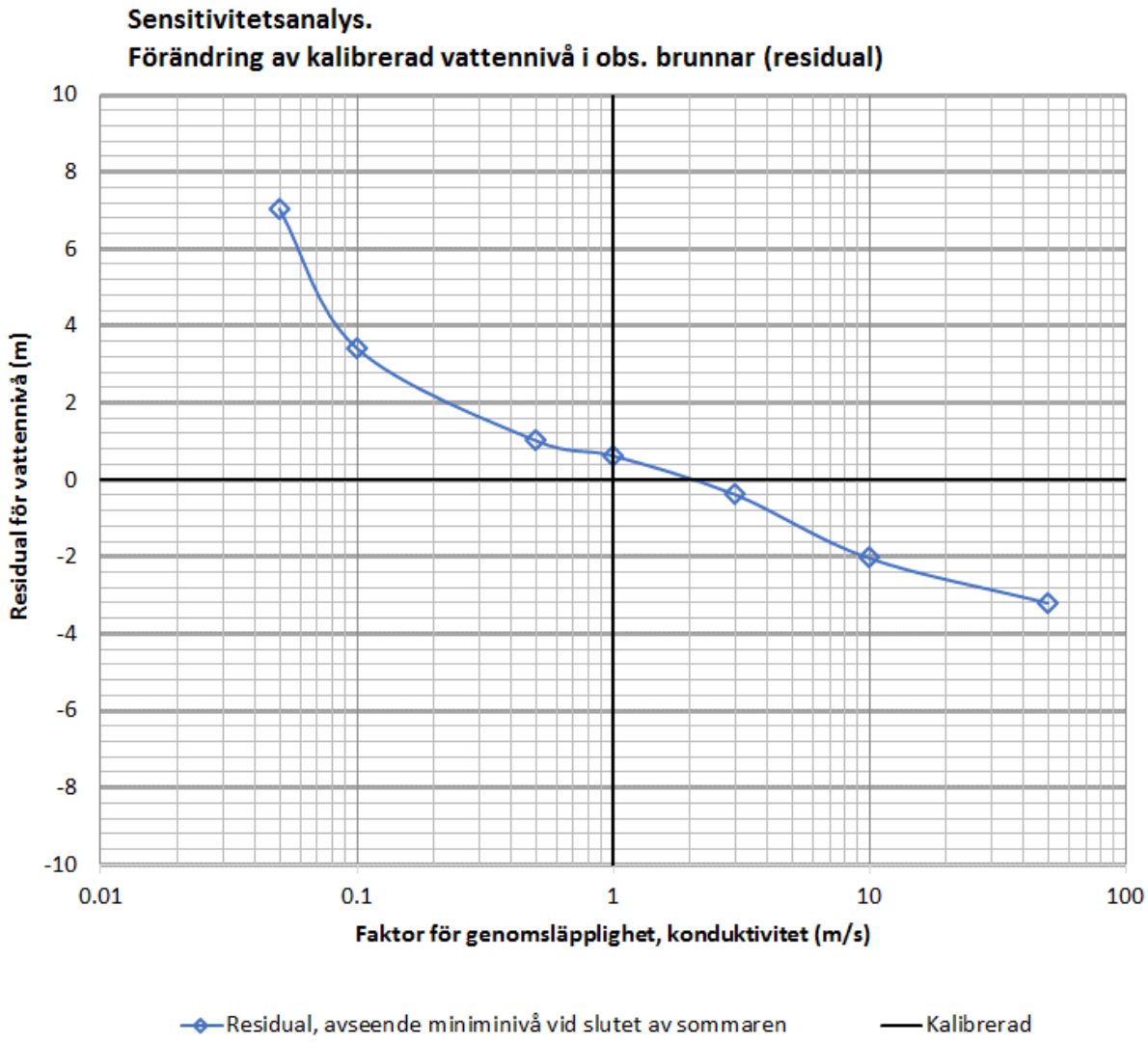
Av Figur 15-2 framgår det att när genomsläppligheten ökar, sjunker vattennivåerna. Detta indikeras av att värdet på residualen minskar och värdet blir mindre än noll. Om residualen förändras från att ha varit positiv till att bli negativ sjunker vattennivåerna i observationsbrunnarna. Om genomsläppligheten ökar med en faktor lika med 10 minskar residualen med nära 2.5 m (från +0.6 m till -2 m). Vilket motsvarar att medelvärdet för vattennivåerna i observationsbrunnarna minskar med nära 2.5 m.

Av Figur 15-2 framgår det att när genomsläppligheten minskar, då ökar värdet på residualen. När residualen ökar i värde, då stiger vattennivåerna i observationsbrunnarna. Om genomsläppligheten minskar med en faktor lika med 0.1 ökar värdet på residualen med nära 3 m (från +0.6 m till +3.5 m). Vilket motsvarar att medelvärdet för vattennivåerna i observationsbrunnarna stiger med nära 3 m.

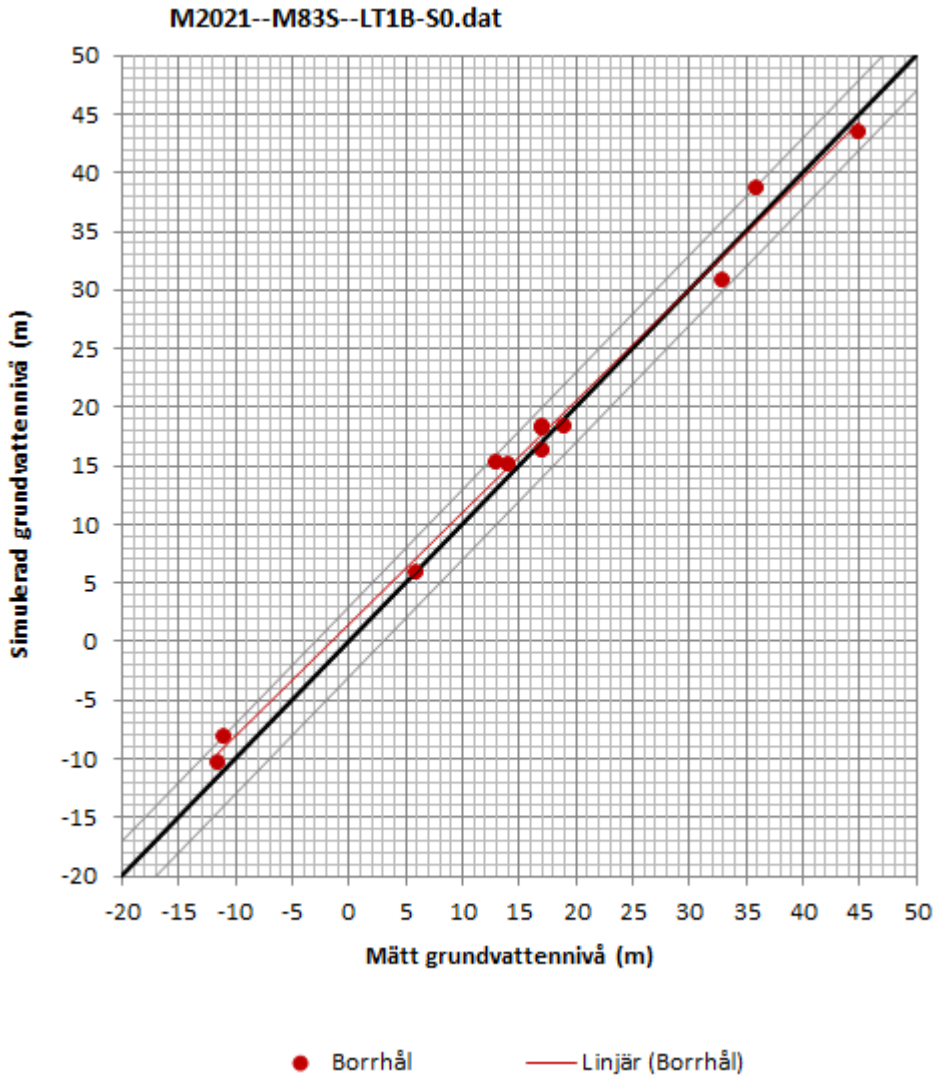
Analysen visar att kalibrering via bergets K-värden har en god bestämmande kraft på vattennivån i observationsbrunnarna, särskilt i ljuset av att de studerade borrhålen är utspridda över ett stort område, och demonstrerar en stor rumslig variation i vattennivå, och dessutom en stor dynamisk (tidsberoende) variation i vattennivå. Det studerade sambandet som visas i Figur 15-1 är inte ett komplext samband med flera nollställen utan ett relativt simpelt samband vilket underlättar modellens kalibrering.

Simuleringen med faktorn 3.0 uppvisar en mindre residual än den kalibrerade modellen. Det betyder dock inte att den är en bättre matchning mot uppmätta data än den valda kalibreringen, eftersom spridningen av de enskilda residualerna för borrhålen är betydligt större i den simuleringen än i den valda kalibrerade simuleringen.

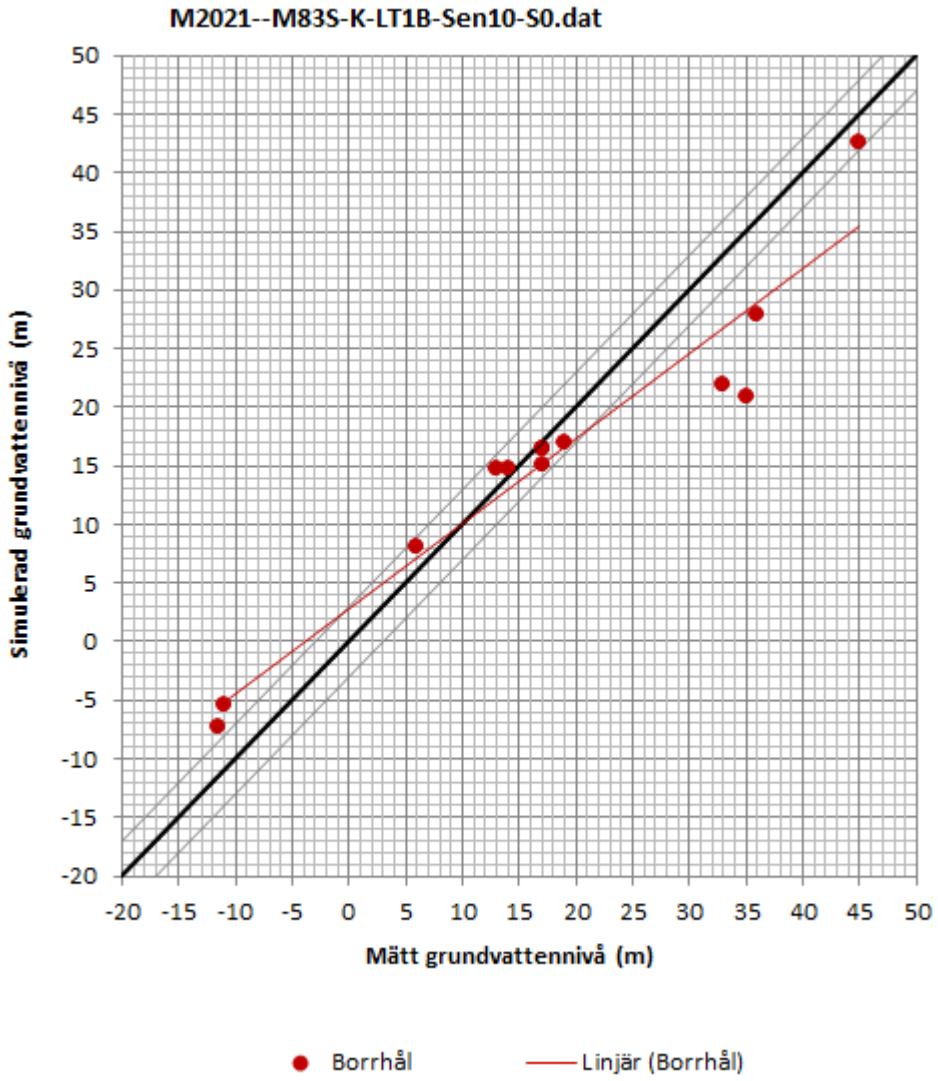
Exempel på residualerna för de olika borrhålen visas i Figur 15-3 (kalibrerad modell), Figur 15-4 (faktor= 10) och Figur 15-5 (faktor= 0.1)



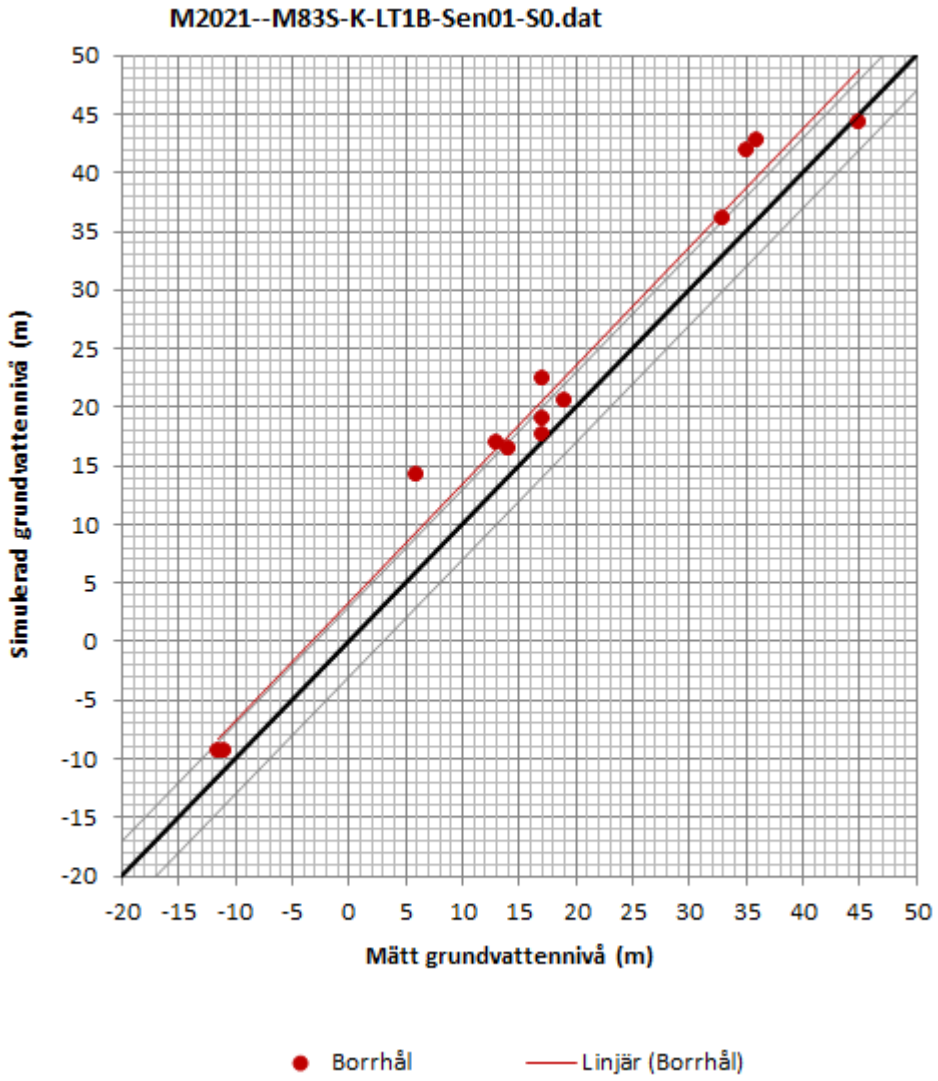
Figur 15-2 Sensitivitetsanalys av vattennivån i observationsbrunnar. Förändring av residualvärdet då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor).



Figur 15-3 *Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunnar. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. Notera att de kalibrerade grundvattennivåerna varierar från -12 möh till +45 möh.*



Figur 15-4 *Sensitivitetsanalys av modellens kalibrering, avseende grundvattennivåer i observationsbrunnar. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. För detta beräkningsfall har bergets genomsläpplighet multiplicerats med en faktor = 10.*



Figur 15-5 Sensitivitetsanalys av modellens kalibrering, avseende grundvattennivåer i observationsbrunnar. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. För detta beräkningsfall har bergets genomsläpplighet multiplicerats med en faktor = 0.1

15.3.2 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i produktionsbrunnarna

Modellen inkluderar de sju kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar (se tex Figur 2-14 och Figur 4-7). I alla simuleringar är produktionsbrunnarna inkluderade med en total produktion som är lika med 220 000 m^3/år. Vattennivåerna i de enskilda brunnarna varierar under året. I denna rapport när vi redovisar och diskuterar vattennivån i de kommunala produktionsbrunnarna så är det medelnivån i brunnarna som presenteras.

Brunnarna skär igenom flera av de vattenförande lagren. Därför definieras brunnarna i flera olika lager i modellen. Grundvattennivån (potentialen) i en brunn definieras så att den är densamma i alla lager som genomskärs av brunnen. Randvillkoret för brunnen är en specificerad grundvattennivå (potential). Brunnens produktion (uttaget i brunnen) är också specificerat i modellen. Under

modellsimuleringen så justerar en algoritm i modellen (automatiskt) vattennivån i varje brunn så att uttaget i brunnarna stämmer med uttaget (produktionen). Algoritmen justerar vattennivåerna i varje brunn individuellt, för varje tidsteg i den transienta simuleringen.

Med avseende på produktionsbrunnarna så kalibreras både vattennivå och vattenflöde samtidigt för brunnarna. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

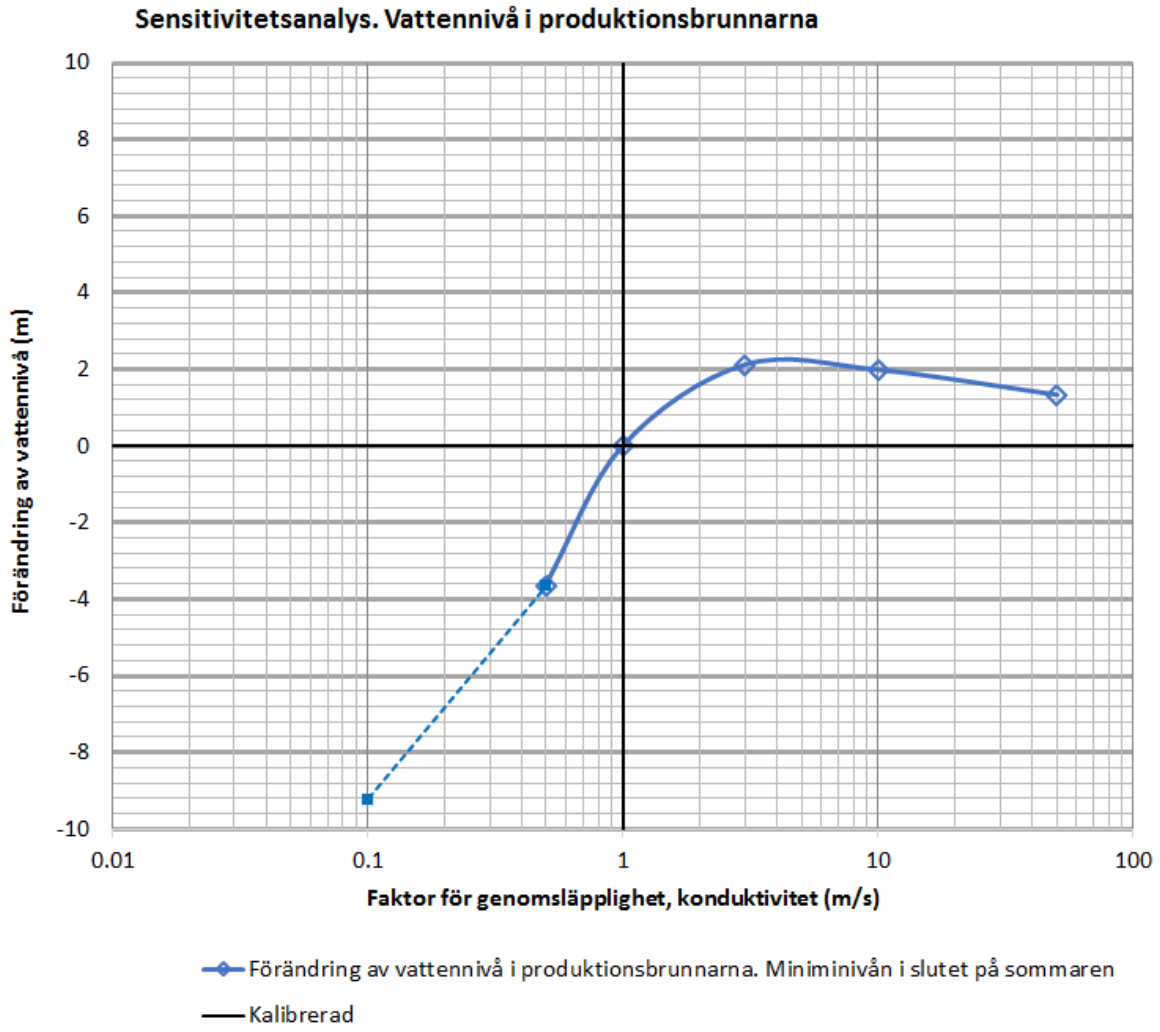
Lågvattensituationen representeras i modellen av vattennivåerna i slutet på juli. Hur dessa miniminivåer i produktionsbrunnarna (medelvärde) varierar med genomsläppligheten i berget visas i Figur 15-6. Figuren visar i en lin-log-skala förändring av vattennivån i brunnarna för lågvattensituationen då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor). Figuren visar ett icke linjärt samband.

Punkten i mitten av figuren representerar den kalibrerade modellen. Eftersom resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen så är K-faktorn för den kalibrerade modellen lika med 1.0 och förändring i vattennivå lika med noll.

Av figuren framgår det att när genomsläppligheten ökar, då stiger vattennivåerna i produktionsbrunnarna så länge genomsläppligheten inte ökas med mer än en faktor c:a 3. Om genomsläppligheten ökas med en faktor lika med 3.0 då stiger vattennivån med nära 2 m. Om ökningen i genomsläpplighet blir större än 3.0 då börjar nivåerna svagt sjunka. Detta beror på att förutsättningarna för produktionen förändras kraftigt när bergets genomsläpplighet blir stor.

Av figuren framgår det att när genomsläppligheten minskar, då sjunker vattennivåerna i produktionsbrunnarna - tydligt. Om genomsläppligheten minskas med en faktor lika med 0.5 då sjunker vattennivån med nära 4 m. Om genomsläppligheten minskas ytterligare så går det inte att producera 220 000 m^3/år, och vattennivåerna sjunker därmed också dramatiskt under sommaren.

Analysen visar att kalibrering via bergets K-värden har en god bestämmande kraft på kombinationen av rätt produktion i brunnarna, och samtidigt rätt vattennivå under lågvattenperioden (sommaren). Det studerade sambandet som visas i Figur 15-6 är inte ett komplext samband med flera nollställen utan ett relativt simpelt samband vilket underlättar modellens kalibrering, och ger god bestämmande kraft till kalibreringen.



Figur 15-6 Sensitivitetsanalys av vattennivån i produktionsbrunnarna. Figuren visar förändring av vattennivån i brunnarna för lågvattensituationen då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor).

15.3.3 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott

Hur inflöde till File hajdar dagbrott förändras då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor) visas i Figur 15-7. Figuren avser det totala årliga inflödet av grundvatten till File hajdar dagbrott för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av inflöde.

Figuren visar i en lin-log-skala ett komplext icke linjärt samband. Grundvatteninflöden till dagbrottet varierar med bergets genomsläpplighet i ett icke linjärt förhållande, som följer en fjärdegradsfunktion, med fyra nollställen (A, B C och D). Nollställena representerar situationer då inflödet till dagbrottet är lika med det kalibrerade inflödet (uppmätta representativa inflödet). Det finns alltså fyra olika faktorer för bergets genomsläpplighet som alla producerar samma inflöde till dagbrottet.

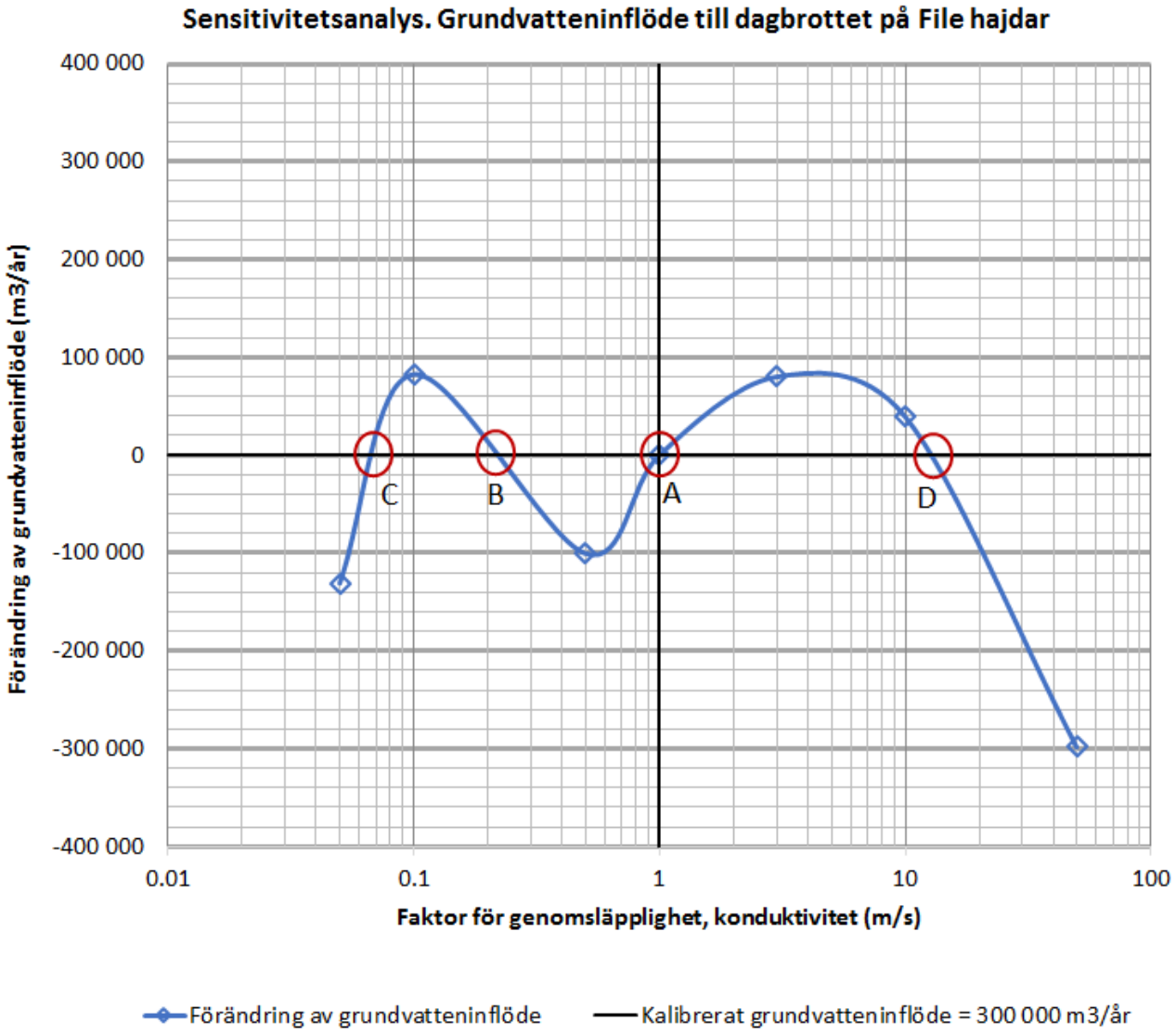
De fyra nollställena följer av (i) de stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå, av att (ii) File hajdar dagbrott till stora delar ligger ovanför grundvattenytan under sommaren, och av att (iii) bergets egenskaper är definierat som heterogent med bland annat flera vattenförande lager under dagbrottet. Diskussionen nedan avser den blå linjen i Figur 15-7 och de fyra nollställena markerade som A. B, C och D.

A är den kalibrerade situationen. Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget något tätare, minskar först inflödet till dagbrottet, men om berget görs ännu något tätare stiger grundvattennivåerna tydligt runt dagbrottet, och eftersom grundvattennivåerna blir högre strömmar mer vatten in i dagbrottet, särskilt under sommaren. För den kalibrerade modellen är inflödet mycket litet under sommaren, eftersom grundvattennivåerna då är låga. En höjning av grundvattennivåerna betyder därför mycket för inflödena. Tätare berg betyder ökade grundvatteninflöden (under sommaren), och så småningom kommer vi fram till nollställe B. Om berget görs ytterligare något tätare så ökar inflödet ännu mera eftersom grundvattennivåerna stiger ännu mera under sommaren, våren och hösten. Så småningom blir dock berget så tätt att grundvatteninflödet minskar igen och vi når fram till nollställe C. Om berget görs ännu tätare sjunker grundvatteninflödet stadigt.

Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget mer genomsläppligt, ökar inflödet och blir större än det kalibrerade inflödet. Ökningen i inflöde sker då främst under vintern när grundvattennivåerna är höga. Gör vi berget ytterligare mera genomsläppligt börjar inflödet minska, eftersom grundvattennivåerna sjunker tydligt och inflödet till dagbrottet minskar, inte bara på sommaren utan också under vår och höst. Vi når fram till nollställe D. Om vi gör berget ännu mera genomsläppligt än vid nollställe D minskar grundvatteninflödet stadigt, och inflödet blir så småningom lika med noll, detta inträffar när grundvattennivåerna har sjunkit så långt att hela dagbrottet ligger ovanför grundvattenytan under hela året.

Analysen av Figur 15-7 visar att kalibrering via bergets K-värden inte nödvändigtvis har en god bestämmande kraft med avseende på grundvatteninflödet till File hajdar dagbrott, eftersom det finns fyra nollställen. Modellens kalibrering består dock av flera olika parametrar inte bara inflödet till File hajdar dagbrott, och om Figur 15-7 kombineras med Figur 15-2 och Figur 15-6 framgår det tydligt att nollställe A är det korrekta nollstället för modellens kalibrering. För nollställe B och C blir grundvattennivåerna för höga i observationsbrunnarna och för låga i produktionsbrunnarna, och stämmer inte med uppmätta värden. För nollställe D blir grundvattennivåerna för låga i observationsbrunnarna och för höga i produktionsbrunnarna, och stämmer inte med uppmätta värden.

När man diskuterar kalibrering (regularisering eller systemoptimering) kallas kurvan i Figur 15-7 för en objektsfunktion. Det är ovanligt att objektsfunktionen för en kalibreringsparameter i ett naturligt grundvattensystem är en fjärdegradsfunktion, med fyra tydliga nollställen, orsaken till detta är de extremt stora årliga variationen i grundvattennivå på File hajdar.



Figur 15-7 *Sensitivitetsanalys av det totala årliga inflödet av grundvatten till File hajdar dagbrott för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av inflöde då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor).*

15.3.4 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till Västra och Östra brotten

Hur inflöde till Västra och Östra brotten förändras då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor) visas i Figur 15-8. Figuren visar det totala årliga inflödet av grundvatten till de två dagbrotten för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av inflöde.

Figuren visar i en lin-log-skala ett komplext icke linjärt samband. Grundvatteninflöden till dagbrottet varierar med bergets genomsläpplighet i ett icke linjärt förhållande, som följer en tredjegradsfunktion, med tre nollställen (A, B och C). Nollställena representerar situationer då inflödet till dagbrottet är lika med det kalibrerade inflödet (uppmätta representativa inflödet). Det finns alltså tre olika faktorer för bergets genomsläpplighet som alla producerar samma inflöde till dagbrottet.

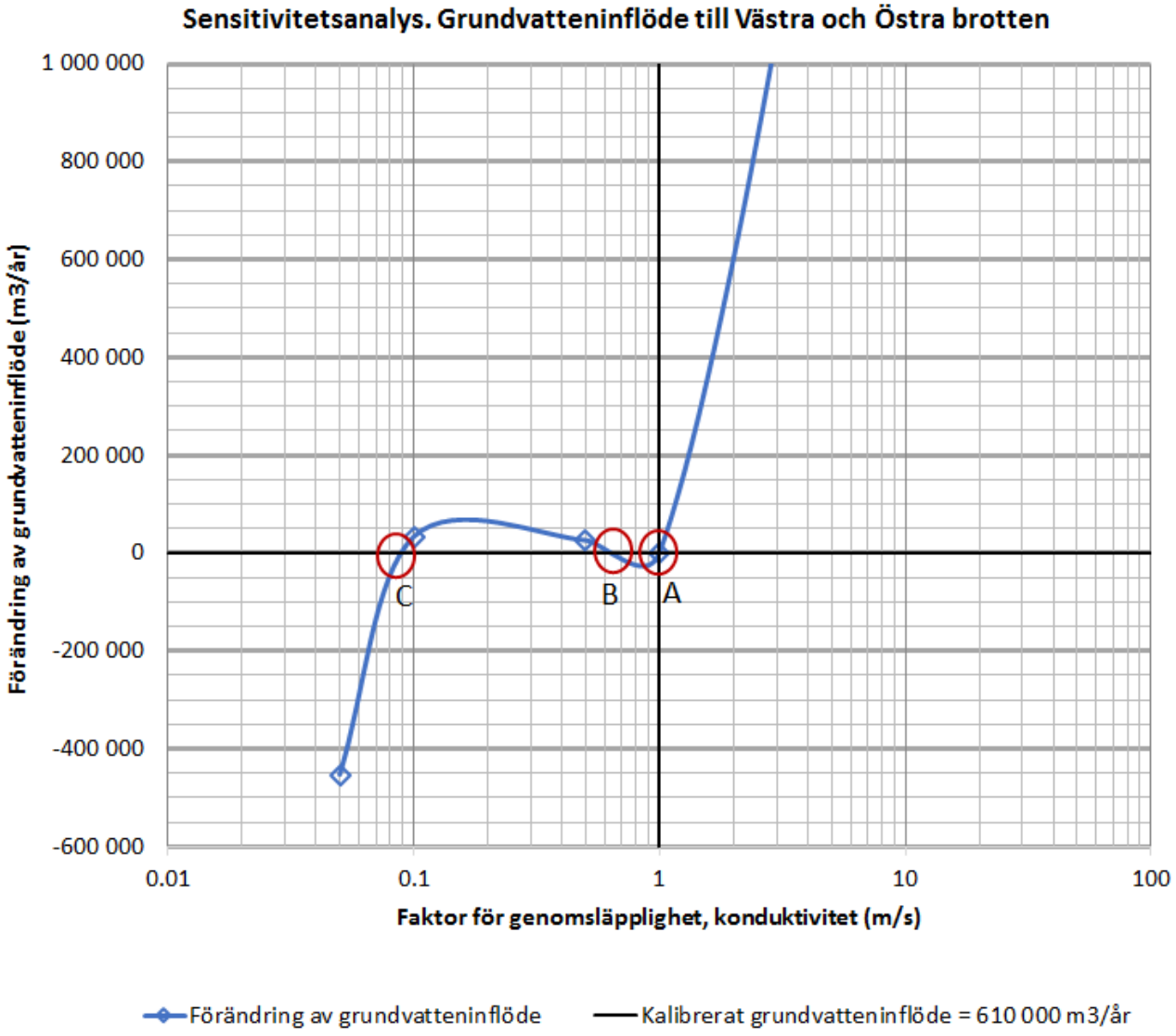
De tre nollställena följer av (i) de stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå, (ii) av att delar av botten på pall 1 i västra brottet (nära pall 2) ligger ovanför grundvattenytan under lågvattenperioder, och av att (iii) bergets egenskaper är definierat som heterogent med flera vattenförande lager under dagbrottet. Anledningen till att delar av botten på pall 1 ligger ovanför grundvattenytan under lågvattenperioder är att pall 2 är djupare än pall 1 och pall 2 tenderar att dränera berget under pall 1 (nära pall 2). Diskussionen nedan avser den blå linjen i Figur 15-8 och de tre nollställena markerade som A. B, och C.

A är den kalibrerade situationen. Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget något tätare minskar först inflödet till dagbrotten, men om berget görs ännu något tätare stiger alla grundvattennivåer runt dagbrotten tydligt, och eftersom grundvattennivåerna blir högre strömmar mer vatten in i dagbrotten, särskilt under sommaren, bland annat från djupare lager. När grundvattennivåerna stiger ökar alltså grundvatteninflödet (särskilt under sommaren). Så småningom kommer vi fram till nollställe B. Om berget görs ytterligare något tätare så ökar inflödet ännu mera eftersom grundvattennivåerna stiger ännu mera, och mer vatten från djupare lager strömmar mot dagbrotten. Så småningom blir dock berget så tätt att grundvatteninflödet minskar igen och vi når fram till nollställe C. Om berget görs ännu tätare sjunker grundvatteninflödet stadigt. Förändringen i inflöde är dock mycket liten mellan nollställen A, B och C.

Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget mer genomsläppligt ökar inflödet tydligt och inflödet blir snabbt mycket större än det kalibrerade (uppmätta) inflödet. Detta beror bland annat på att havet delvis omger Västra och Östra brotten. Havsnivån påverkas inte av bergets genomsläpplighet, och om berget görs mer genomsläppligt strömmar mer vatten in i dagbrotten från havet.

Om vi jämför lutningarna på kurvan (i Figur 15-8) nedanför nollställe C och ovanför nollställe A så är de ganska lika. Nedanför nollställe C och ovanför nollställe A är förhållandet mellan förändring av inflöde och faktorn för genomsläppligheten ungefär densamma i lin-log-skala. Vi kan säga att nedanför nollställe C och ovanför nollställe A är modellens beteende inte så komplicerat med avseende på inflöde till dagbrotten. I området mellan nollställe C och nollställe A är det studerade systemets beteende mer komplicerat, och inflödet förändras inte särskilt mycket när faktorn för genomsläppligheten förändras. Från denna observation kan man notera att kalibrering via bergets K-värden inte nödvändigtvis har en god bestämmande kraft med avseende på grundvatteninflödet till File hajdar dagbrott mellan nollställe A och nollställe C. Modellens kalibrering består dock av flera olika parametrar inte bara inflödet till File hajdar dagbrott, och om Figur 15-8 kombineras med Figur

15-7, Figur 15-2 och Figur 15-6 framgår det tydligt att nollställe A är det korrekta nollstället för modellens kalibrering. För nollställe B och C blir grundvattennivåerna för höga i observationsbrunnarna och för låga i produktionsbrunnarna, och stämmer inte med uppmätta värden.



Figur 15-8 *Sensitivitetsanalys av det totala årliga inflödet av grundvatten till Västra och Östra dagbrotten för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av inflöde då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor).*

15.4 Diskussion

Som tidigare nämnts är modellen kalibrerad mot olika kalibreringsmål:

- Transient inflöde till File hajdar-dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål

Sensitivitetsanalysen visar att kalibreringen får en god bestämmande kraft när alla de olika kalibreringsmålen utvärderas tillsammans och samtidigt. Det är viktigt att modellen tidsberoende kalibreras mot både vattennivå och vattenflöde samtidigt. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

16. Appendix – Påverkansområden och jämförelser av olika hydrogeologiska situationer

Jämförelser av ett antal olika hydrogeologiska situationer har efterfrågats. Dessa jämförelser redovisas nedan.

Jämförelse 1.
Ansökt alternativ när täkterna är maximalt vattenfyllda jämförs med oktober 2021.
En höjning av vattennivåerna.
Skillnad i grundvattennivå =
[Ansökt utökning utbrutet och vattenfyllt. Scen. LT2Noll40a] minus
[Den nuvarande situationen (2021). Dränerade dagbrott. Scenario LT1-2021]
Den ansökta utvidgningen är liten. En liten förändring i storlek på dagbrotten är av ringa betydelse i jämförelse med att dagbrotten vattenfylls. När påverkansområdets gränsvärde är litet blir påverkansområdet stort. Vid små gränsvärden får vi i praktiken samma stora påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför med helt vattenfyllda dagbrott.
Samma figurer som för Nollalternativet, se Figur 9-6 och Figur 9-7

Jämförelse 2.
Nollalternativet när täkterna är maximalt vattenfyllda jämförs med oktober 2021.
En höjning av vattennivåerna.
Skillnad i grundvattennivå =
[Nollalternativ. Dagbrotten enligt 2021, vattenfyllda. Scen. LT1Noll40a] minus
[Den nuvarande situationen (2021). Dränerade dagbrott. Scenario LT1-2021]
Nollalternativet, se Figur 9-6 och Figur 9-7

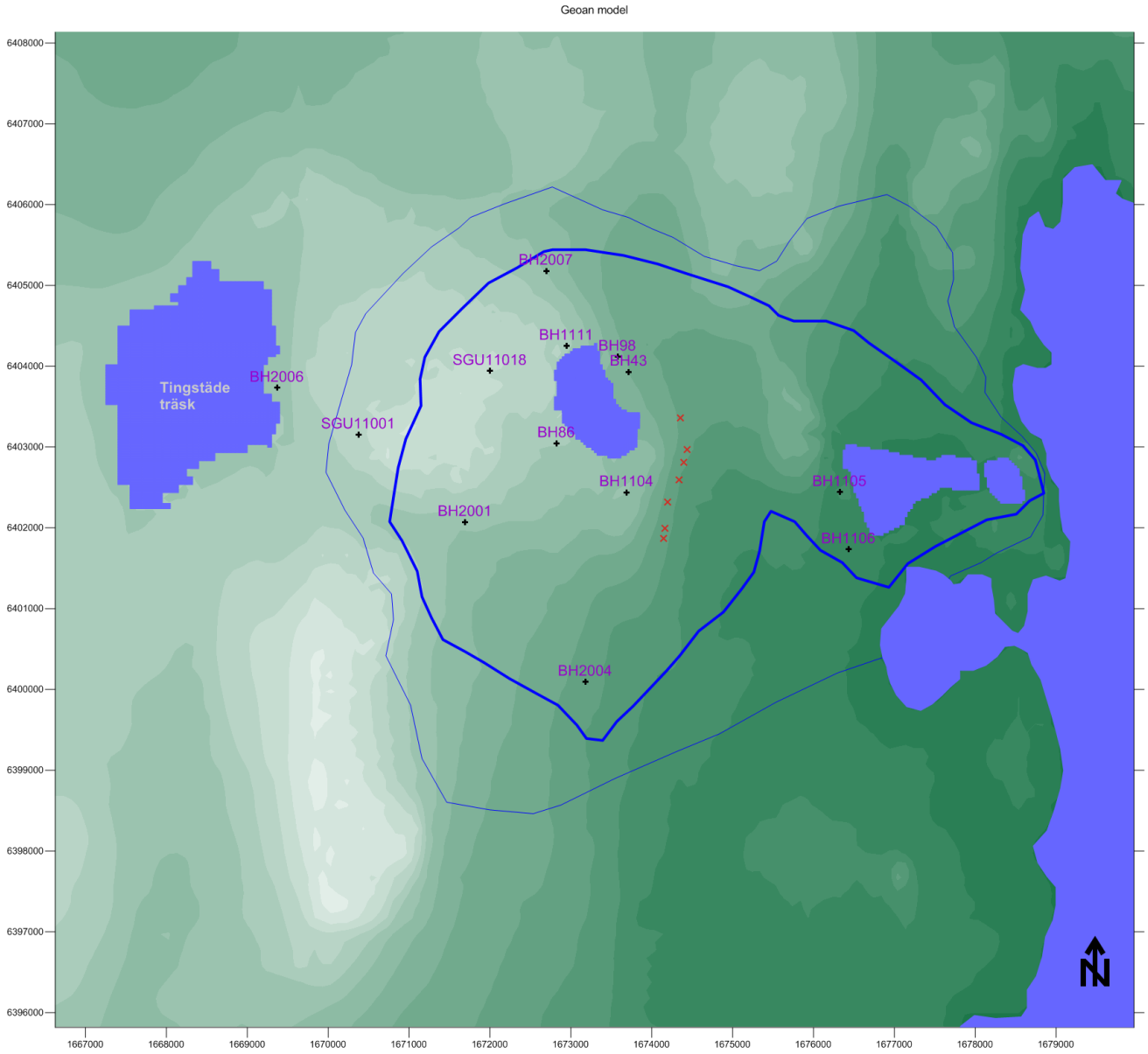
Jämförelse 3.
Nollalternativet när täkterna är maximalt vattenfyllda jämförs med grundvattensituationen vid Ansökt alternativ 4 år efter att tillståndet tagits i anspråk .
En höjning av vattennivåerna.
Skillnad i grundvattennivå =
[Nollalternativ. Dagbrotten enligt 2021, vattenfyllda. Scen. LT1Noll40a] minus
[Ansökt utökning helt utbrutet, dränerat, efter 4-5år. Scen. LT2-5a]
Den ansökta utvidgningen är liten. En liten förändring i storlek på dagbrotten är av ringa betydelse i jämförelse med att dagbrotten vattenfylls. När påverkansområdets gränsvärde är litet blir påverkansområdet stort. Vid små gränsvärden får vi i praktiken samma stora påverkansområde vid olika storlek på dagbrotten, när vi jämför med helt vattenfyllda dagbrott.
Samma figurer som för Nollalternativet, se Figur 9-6 och Figur 9-7

Jämförelse 4.
Nollalternativet 4 år efter att länshållning upphört jämförs med grundvattensituationen vid Ansökt alternativ 4 år efter att tillståndet tagits i anspråk
En höjning av vattennivåerna.
Skillnad i grundvattennivå =
[Nollalternativ. Dagbrotten enligt 2021, successivt vattenfyllda efter 4-5 år. LT1Noll4a] minus
[Ansökt utökning helt utbrutet, dränerat, efter 4-5år. Scen. LT2-5a]
Se Figur 16-1 och Figur 16-2

Jämförelse 5.
Ansökt alternativ när täkterna är maximalt vattenfyllda jämförs med Nollalternativet när täkterna är maximalt vattenfyllda.
Jämförelse av två framtida situationer.
Skillnad i grundvattennivå =
[Ansökt utökning utbrutet och vattenfyllt. Scen. LT2Noll40a] minus
[Nollalternativ. Dagbrotten enligt 2021, vattenfyllda. Scen. LT1Noll40a]
Se Figur 16-3 och Figur 16-4

Jämförelse 6.
Ansökt alternativ 4 år efter att tillståndet tagits i anspråk jämförs med grundvattensituationen i oktober 2021.
Avsänkning av vattennivåerna.
[Ansökt utökning helt utbrutet, dränerat, efter 4-5år. Scen. LT2-5a] minus
[Den nuvarande situationen (2021). Dränerade dagbrott. Scenario LT1-2021]
Påverkan av att dagbrotten utvidgas, se Figur 9-3 och Figur 9-4

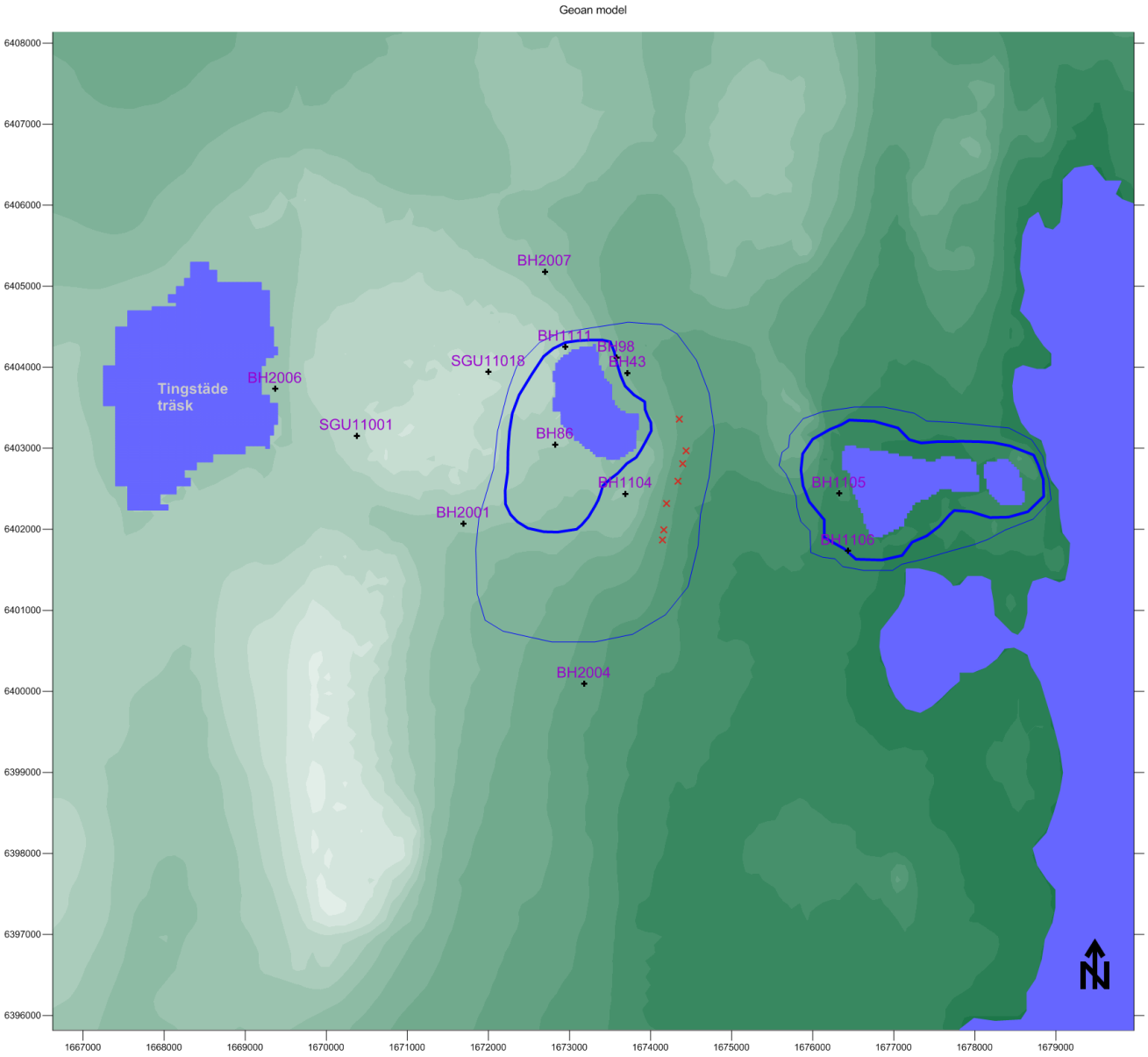
Jämförelse 7.
Nollalternativet 4 år efter att länshållning upphört jämförs med grundvattensituationen i oktober 2021.
En höjning av vattennivåerna.
[Nollalternativ. Dagbrotten enligt 2021, successivt vattenfyllda efter 4-5 år. LT1Noll4a] minus
[Den nuvarande situationen (2021). Dränerade dagbrott. Scenario LT1-2021]
Se Figur 16-5 och Figur 16-6



Figur 16-1 Jämförelse 4. Lågvattensituationen.

Fet linje representerar en höjning med 1 m

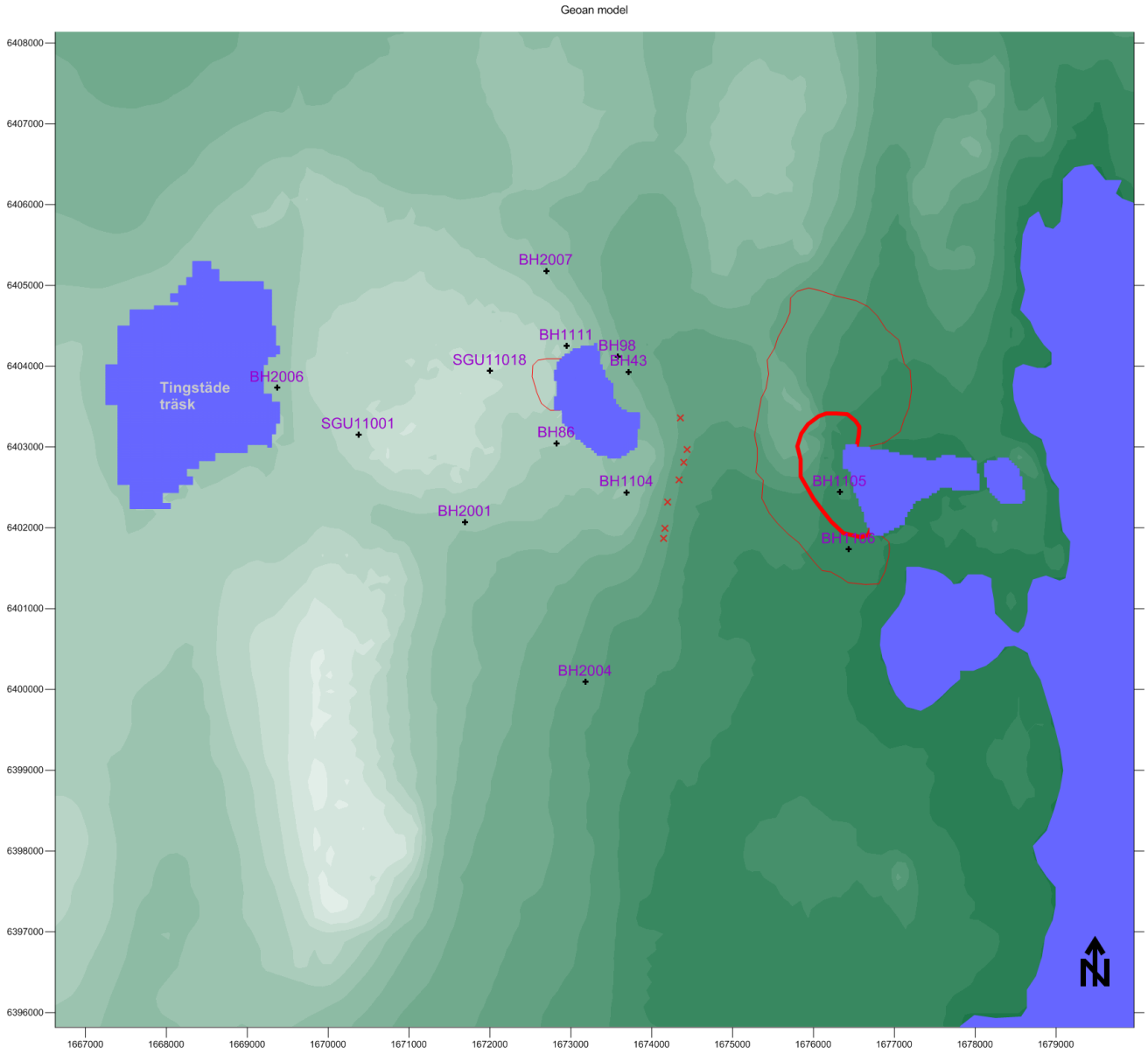
Tunn linje representerar en höjning med 0.3 m



Figur 16-2 Jämförelse 4. Högvattensituationen.

Fet linje representerar en höjning med 1 m

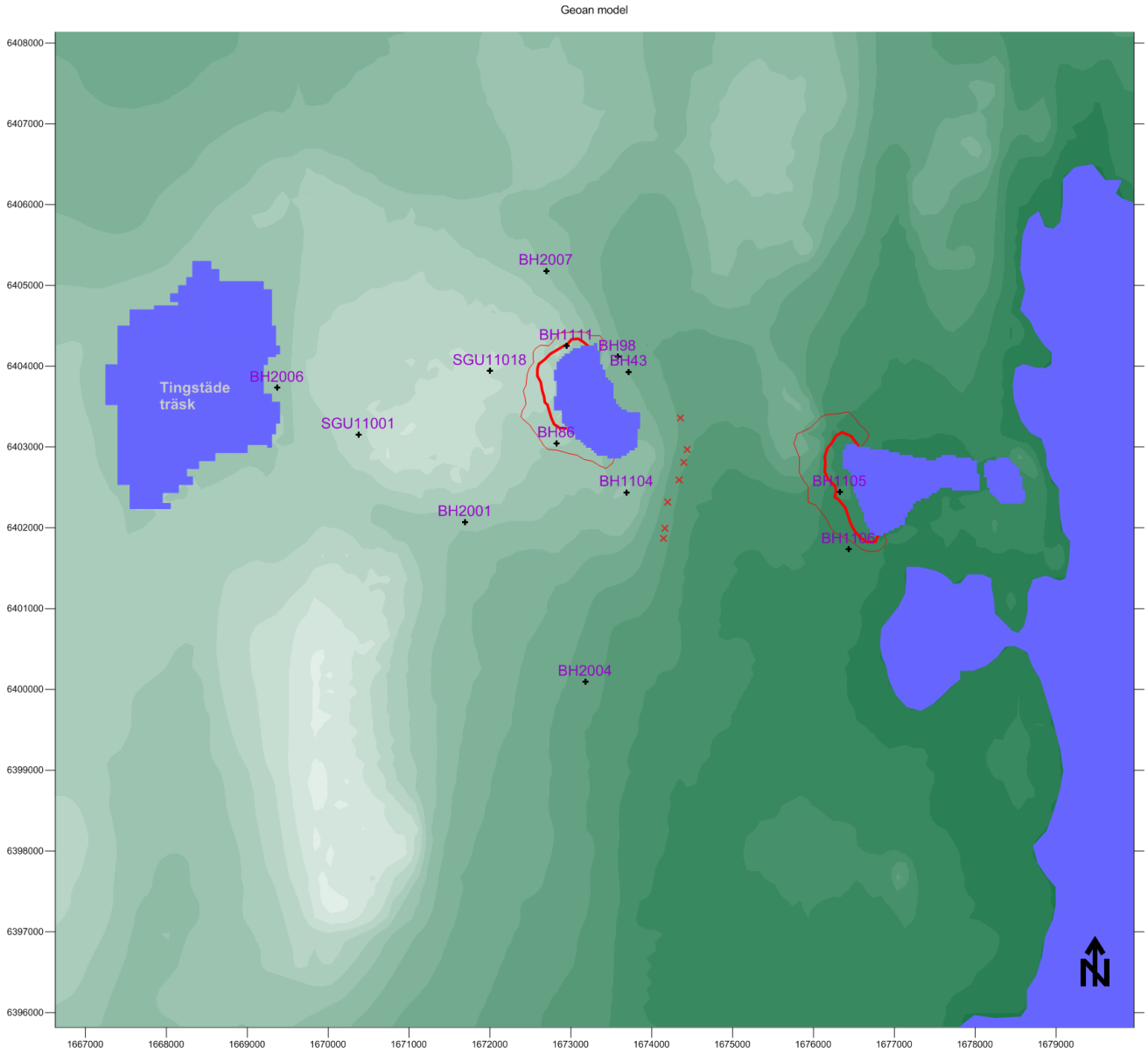
Tunn linje representerar en höjning med 0.3 m



Figur 16-3 Jämförelse 5. Lågvattensituationen. Jämförelse av två framtida situationer.

Fet linje representerar en sänkning med 1 m

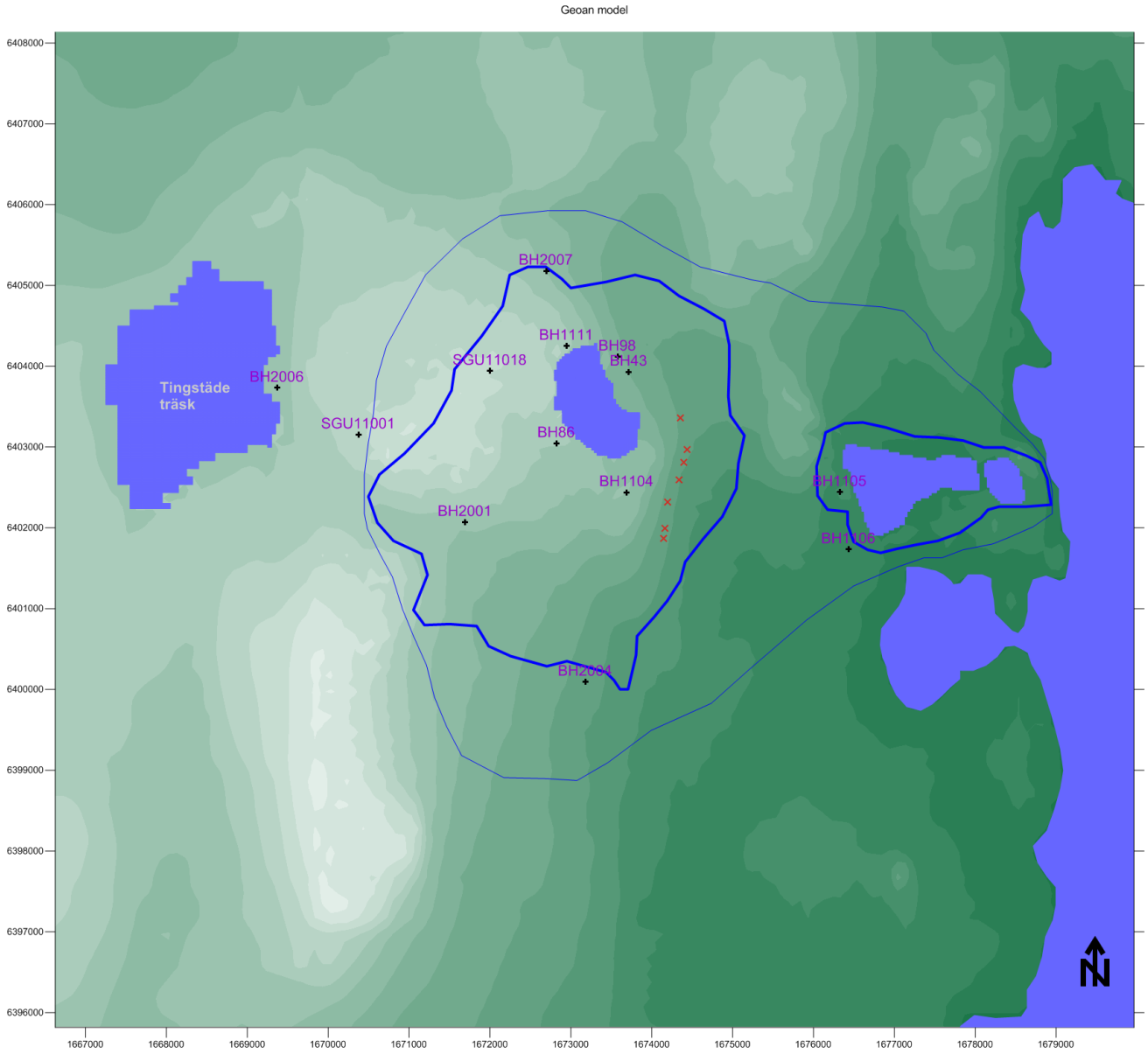
Tunn linje representerar en sänkning med 0.3 m



Figur 16-4 Jämförelse 5. Högvattensituationen. Jämförelse av två framtida situationer.

Fet linje representerar en sänkning med 1 m

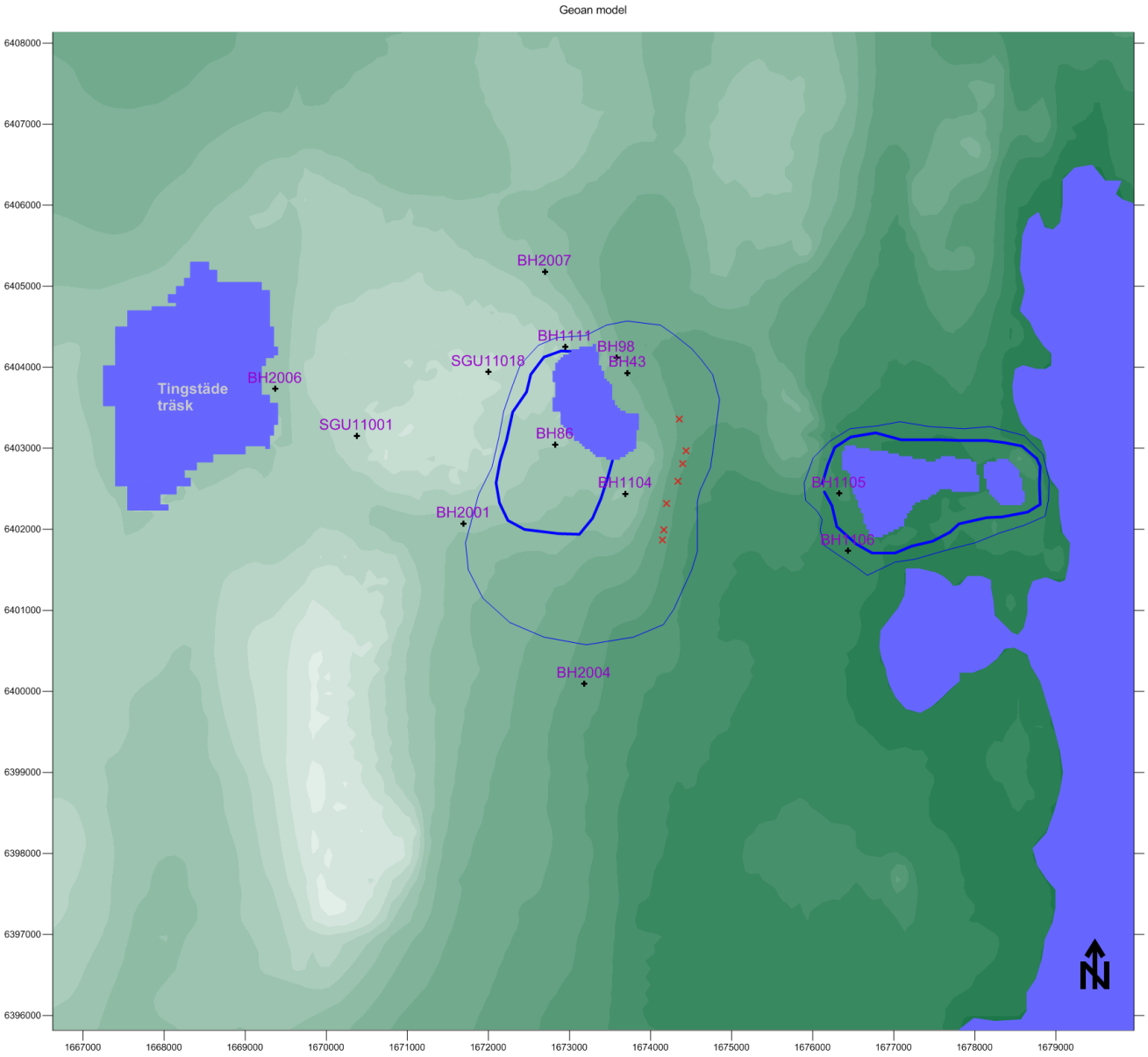
Tunn linje representerar en sänkning med 0.3 m



Figur 16-5 Jämförelse 7. Lågvattensituationen.

Fet linje representerar en höjning med 1 m

Tunn linje representerar en höjning med 0.3 m



Figur 16-6 Jämförelse 7. Högvattensituationen.

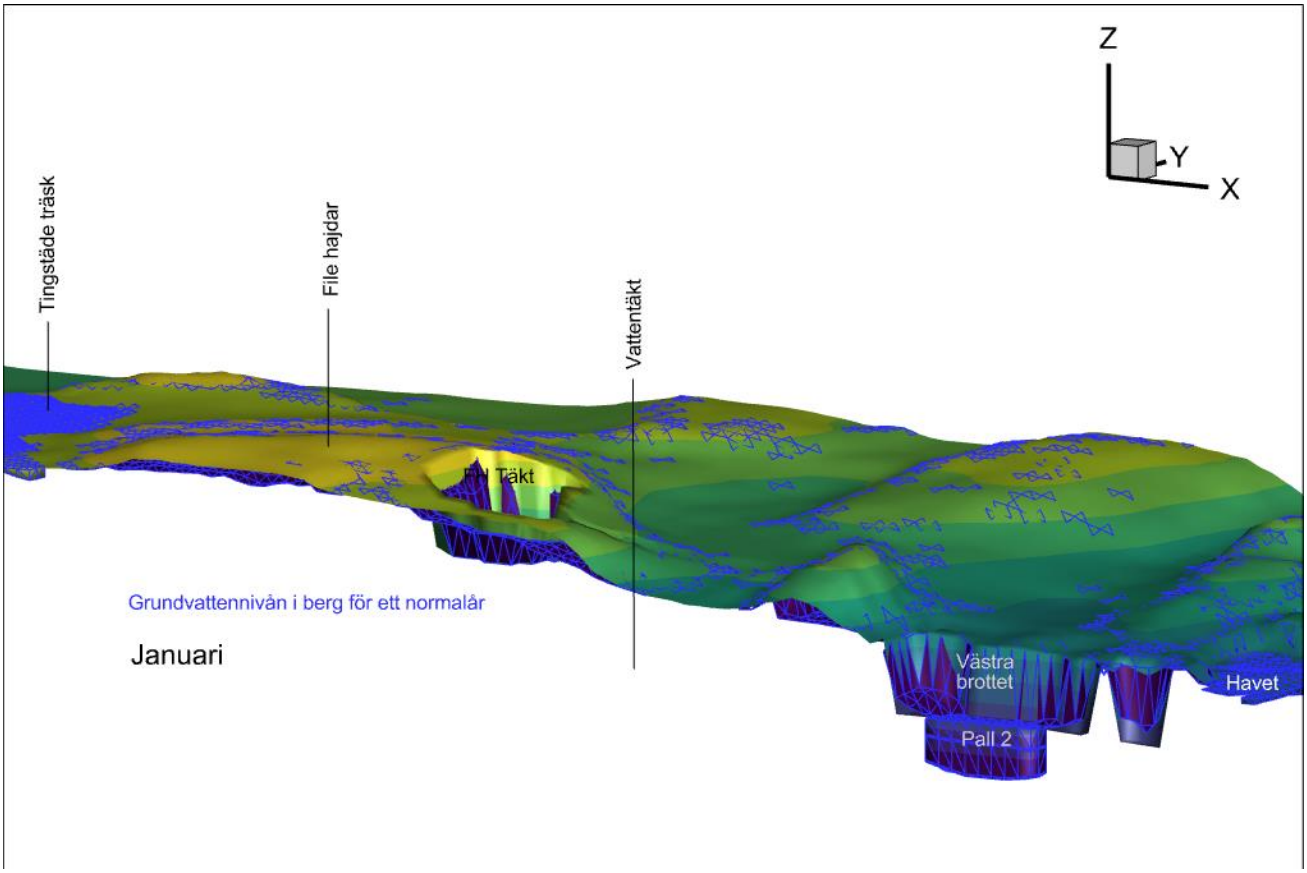
Fet linje representerar en höjning med 1 m

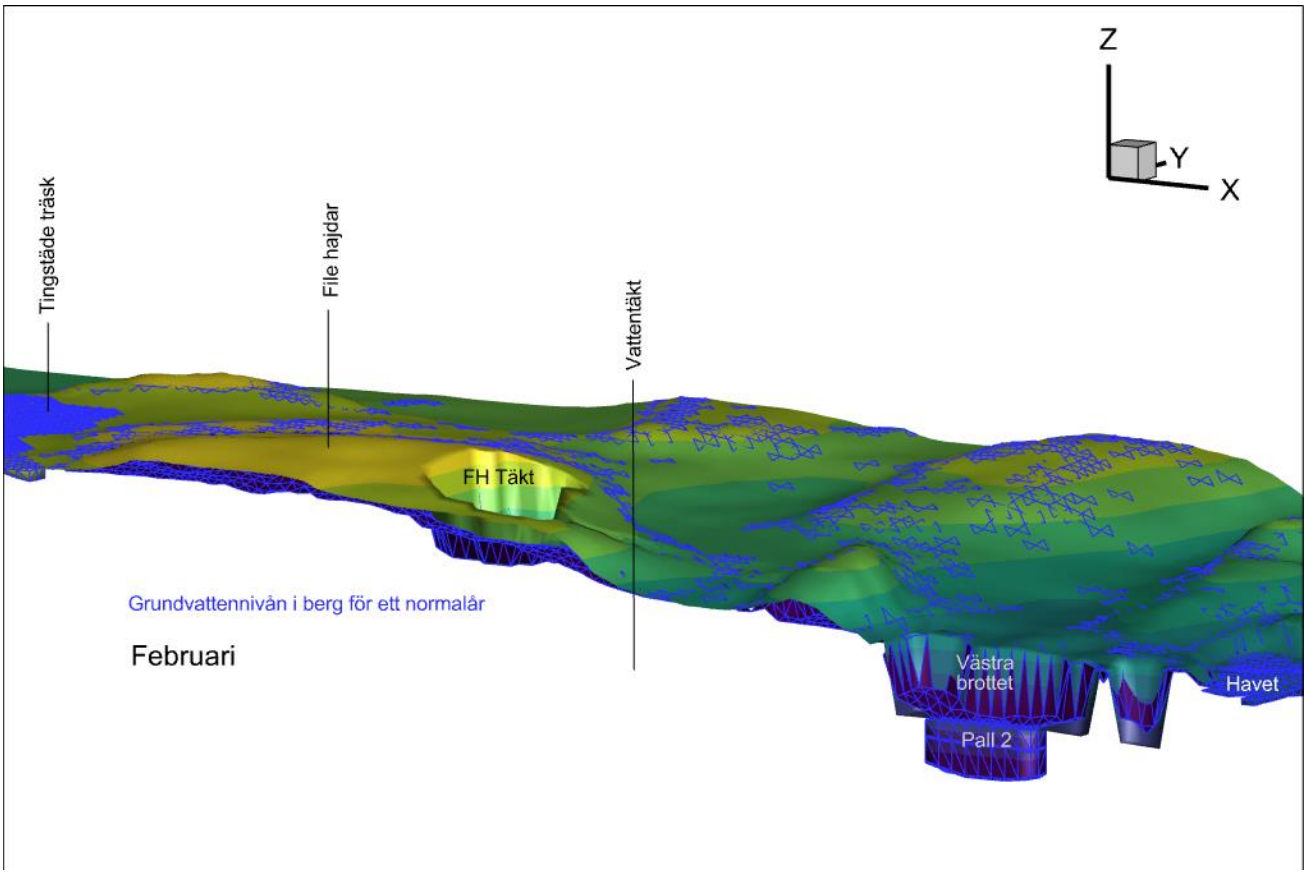
Tunn linje representerar en höjning med 0.3 m

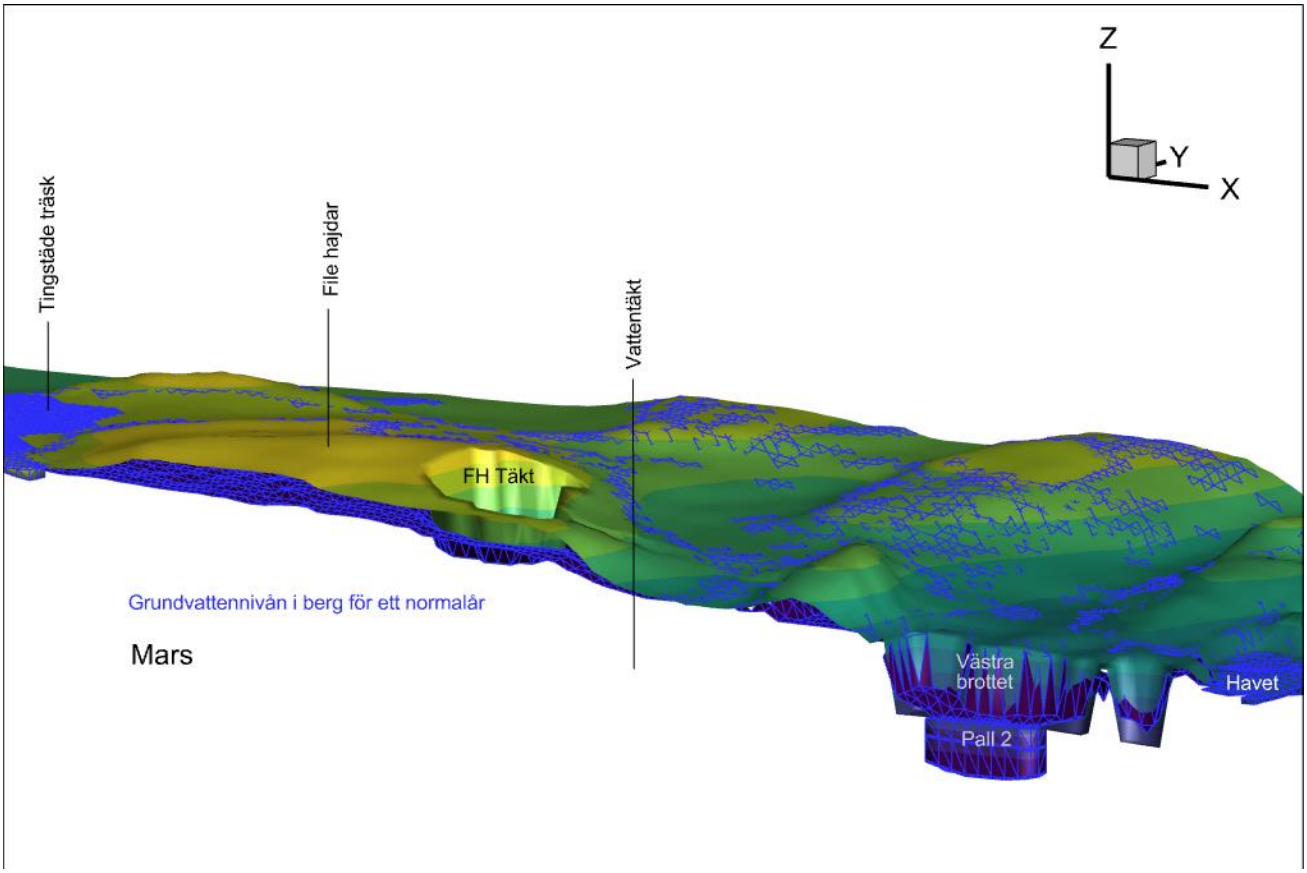
17. Appendix – Visualisering av grundvattenytans variation under ett normalår

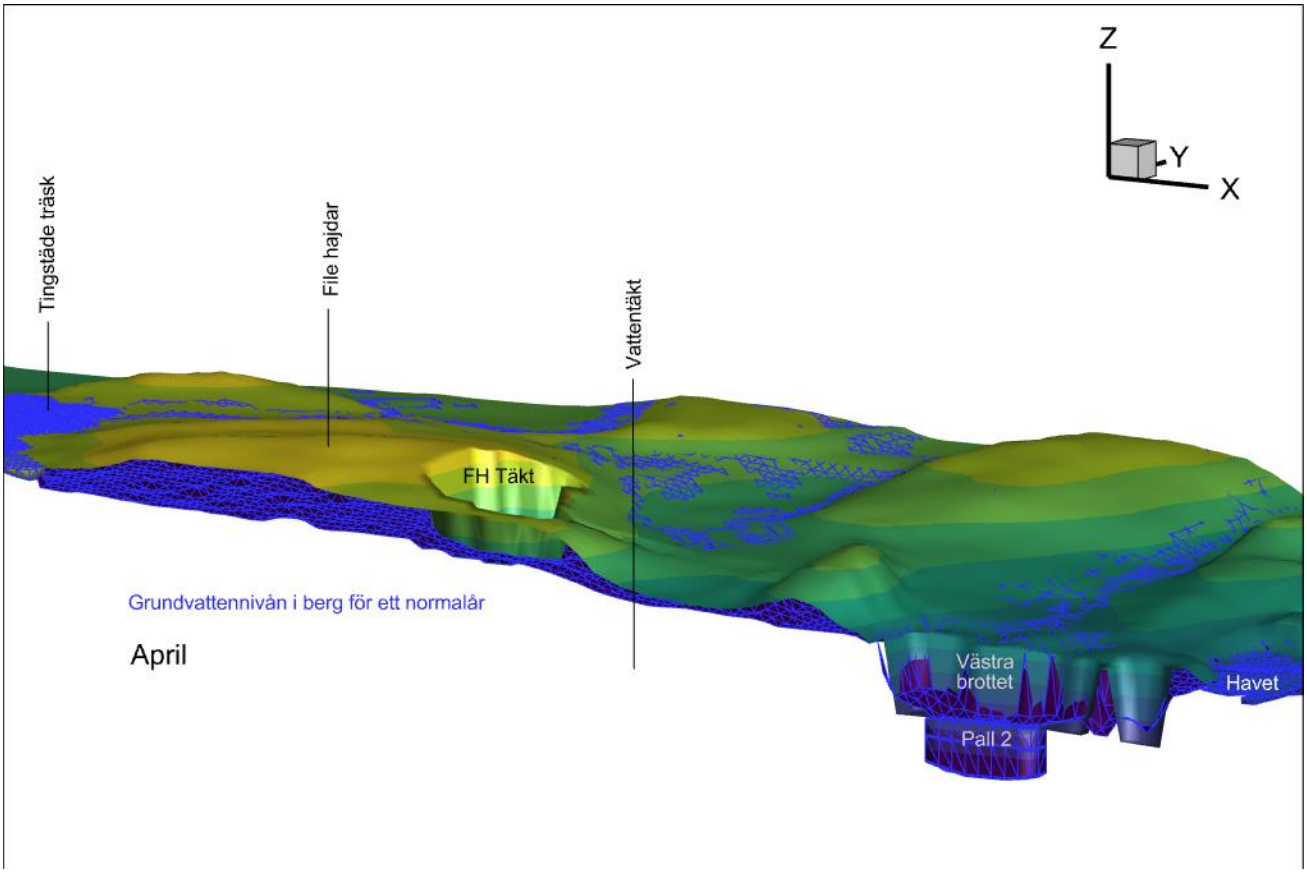
Figurerna i detta appendix visar hur grundvattennivåerna i berg varierar under ett normalår. Visualiseringen baseras på den beräknade grundvattenytan för den ansökta situationen. Figurerna är dock inte baserade på den slutliga kalibrerade modellenen och stämmer därför inte nödvändigtvis med uppmätta värden. Figurerna visar principen för hur grundvattennivån (grundvattenytan) varierar. Figurerna visar tex att botten på File hajdar dagbrott under sommaren kan ligga ovanför grundvattenytan.

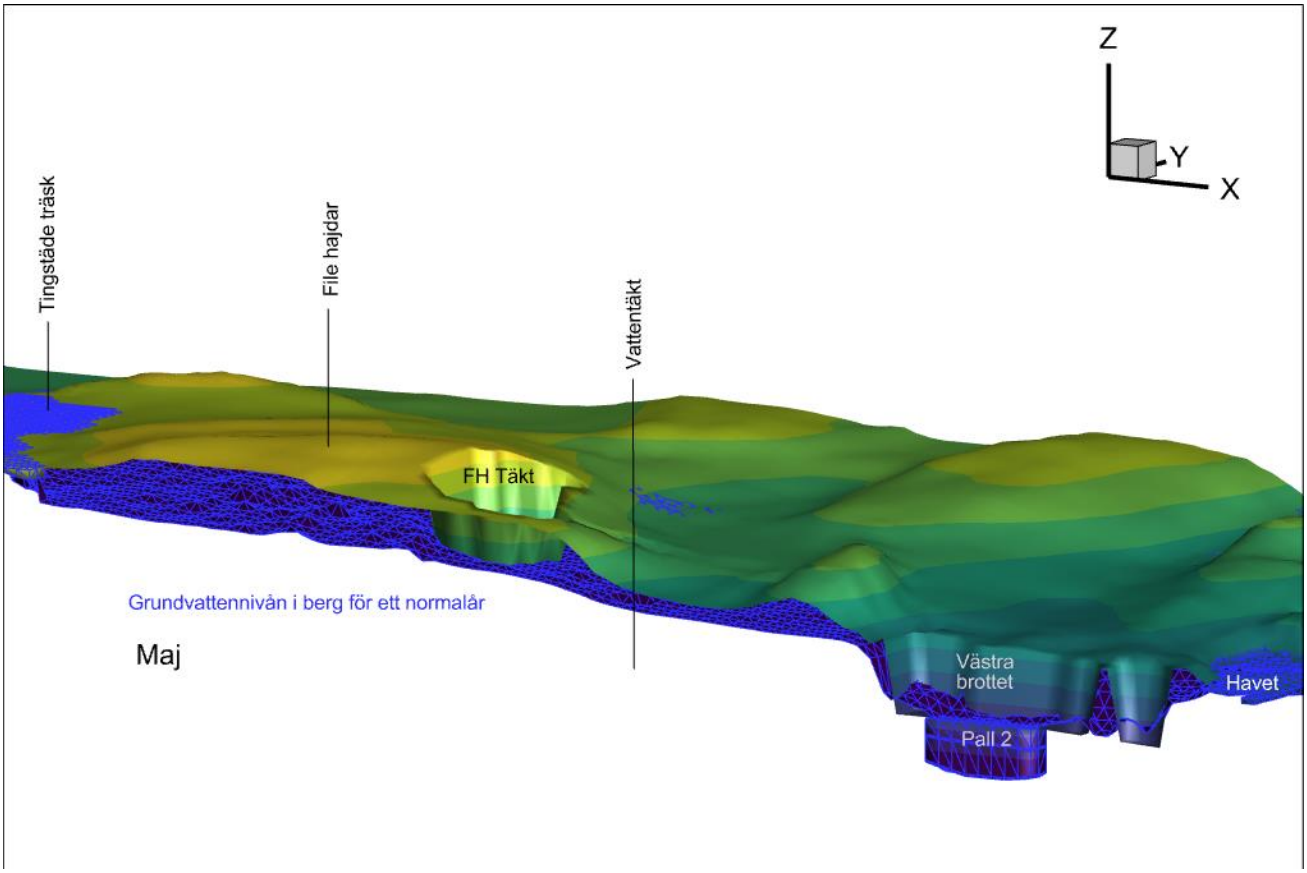
Grundvattnet finns i bergets sprickor, främst i de stora horisontala sprickplanen. Grundvattennivån (grundvattenytan) skall inte förstås som vattenytan på en underjordisk sjö. Grundvattennivån (grundvattenytan) är en teoretisk trycknivå där grundvattentrycket i sprickorna är lika med atmosfärstrycket. Det finns grundvatten även i sprickorna ovanför grundvattenytan, men det är kapillärt grundvatten och det strömmar inte ut i ett öppet borrhål.

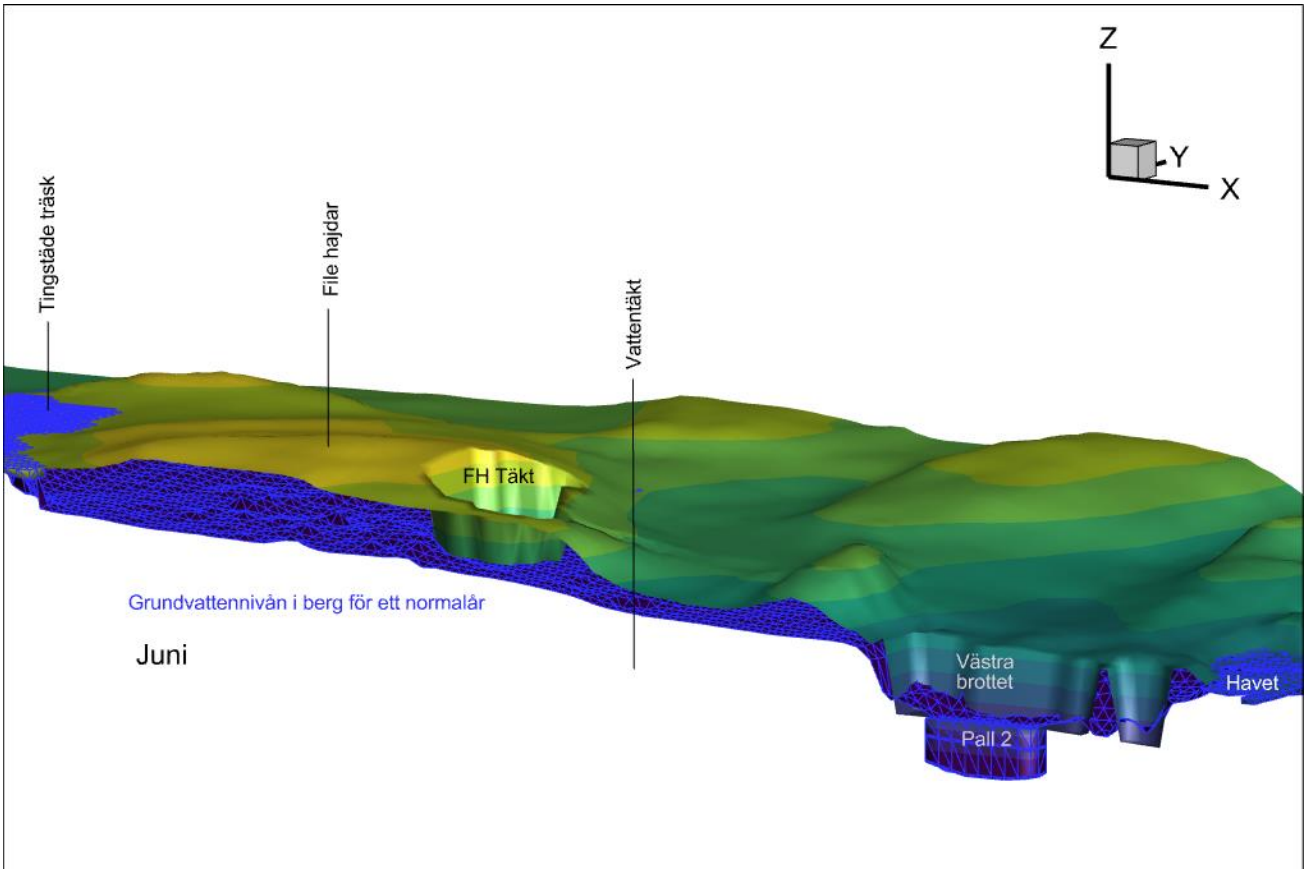

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Januari
Västra brottet
Havet
Pall 2

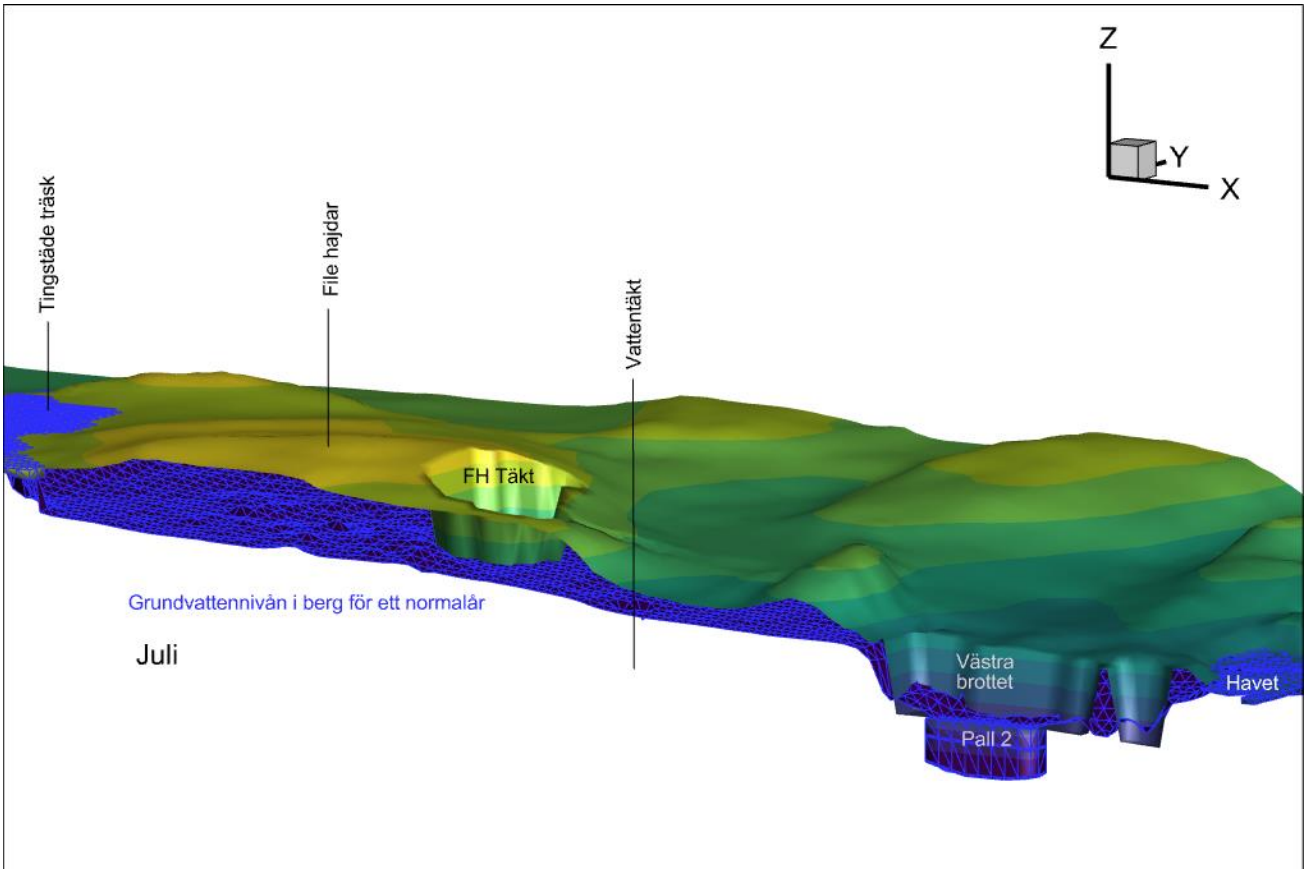

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Februari
Västra brottet
Havet
Pall 2

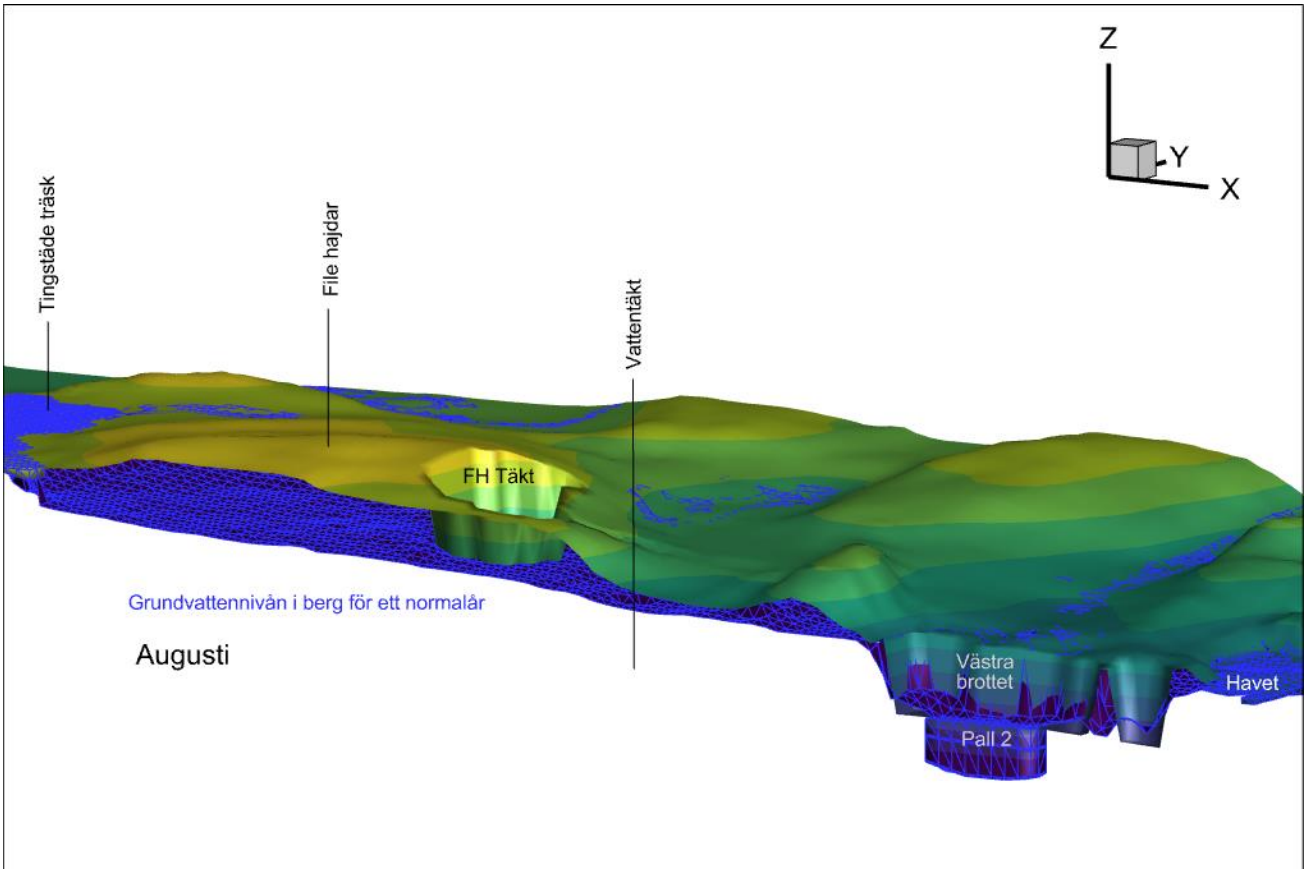

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Mars
Västra brottet
Havet
Pall 2

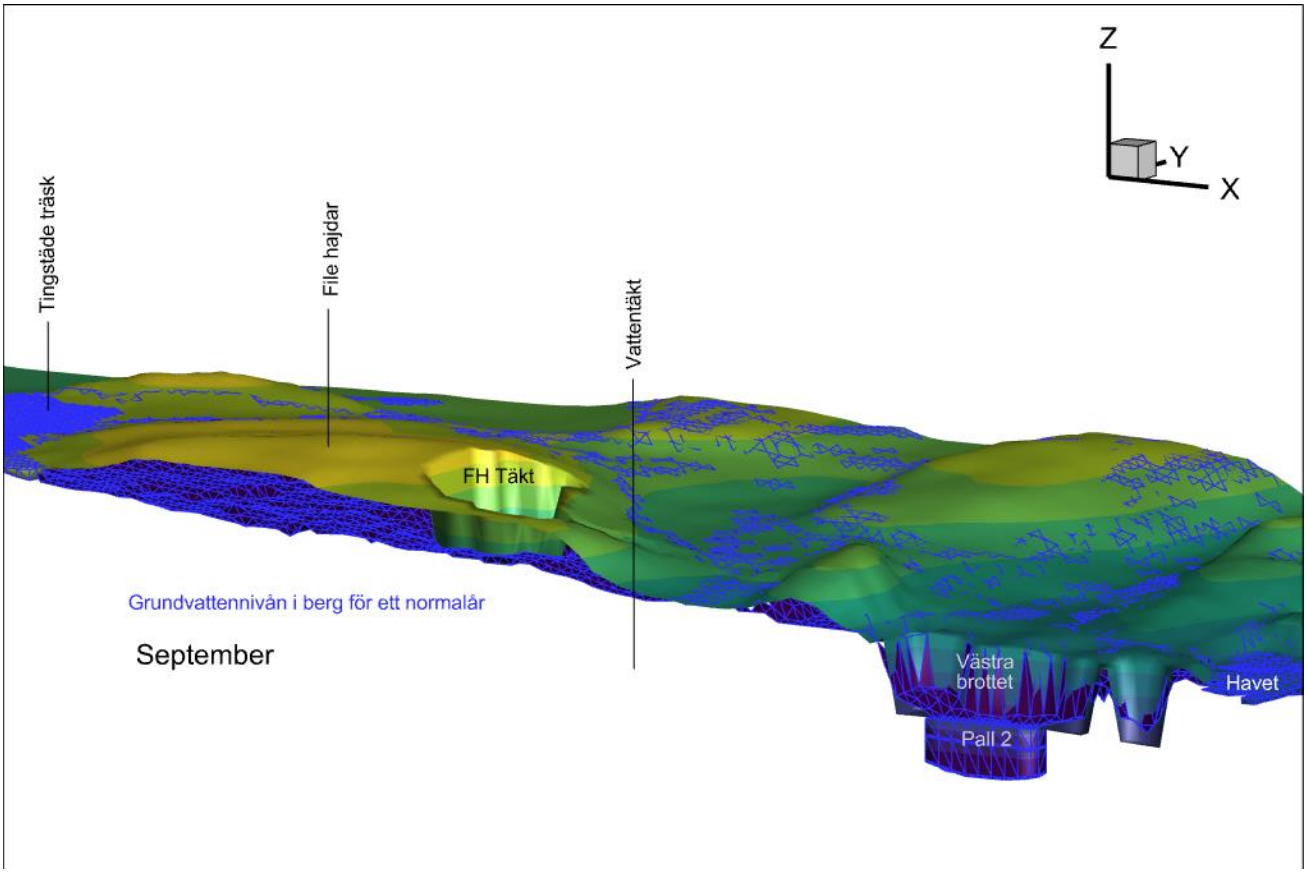

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
April
Västra brottet
Havet
Pall 2

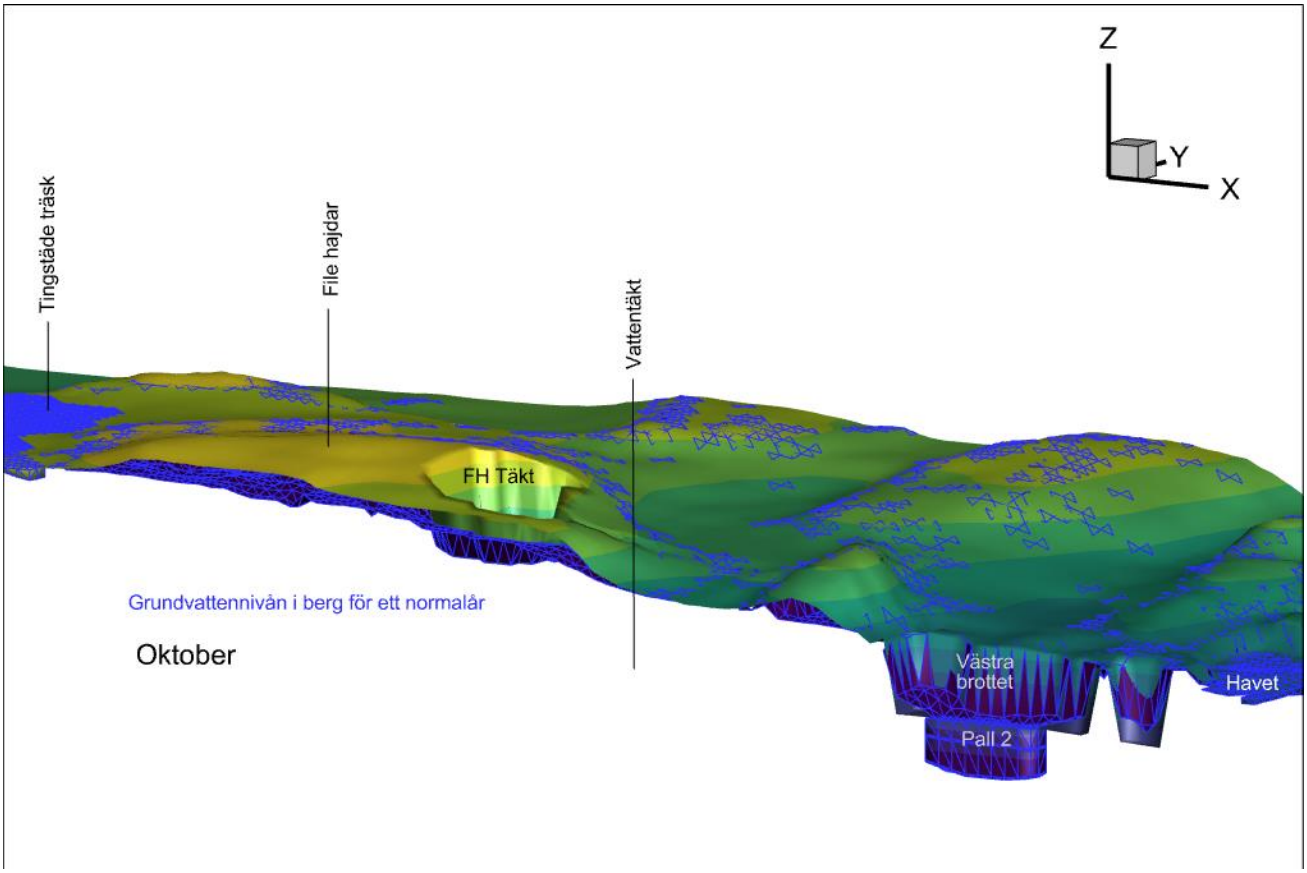

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Maj
Västra brottet
Havet
Pall 2

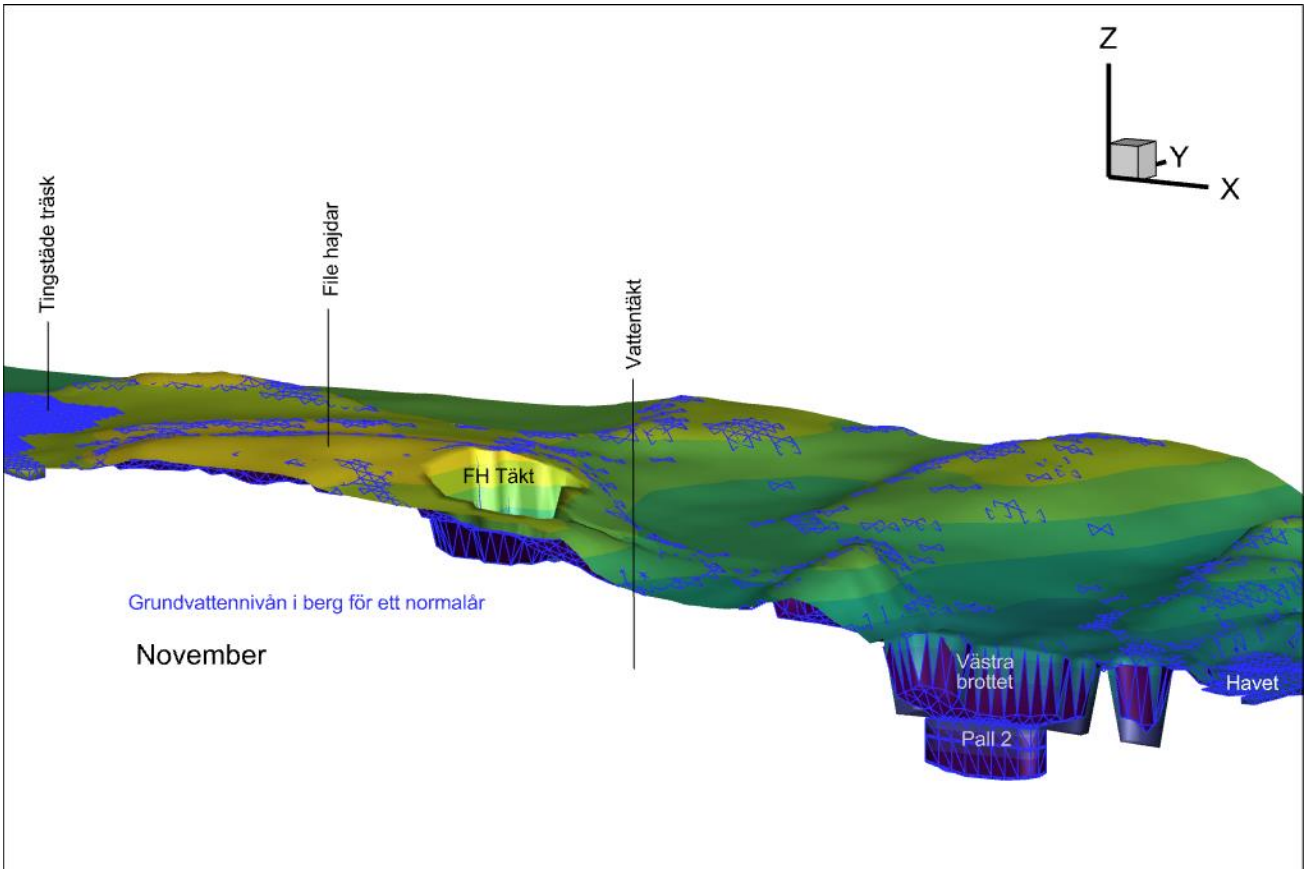

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Juni
Västra brottet
Havet
Pall 2

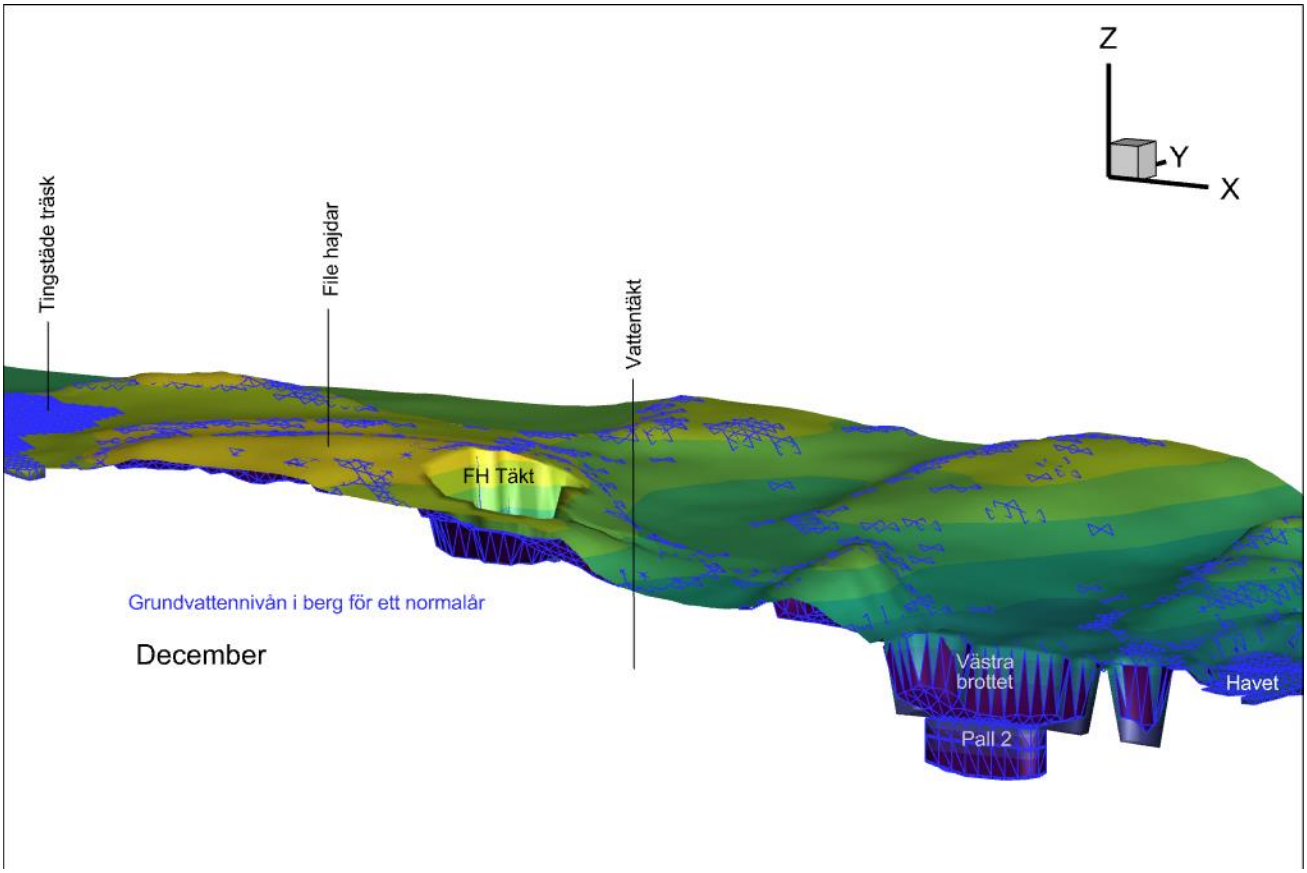

Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Juli
Västra brottet
Havet
Pall 2


Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Augusti
Västra brottet
Havet
Pall 2


Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
September
Västra brottet
Havet
Pall 2


Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
Oktober
Västra brottet
Havet
Pall 2


Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
November
Västra brottet
Havet
Pall 2


Z
Y
X
Tingstäde träsk
File hajdar
Vattentäkt
FH Täkt
Grundvattennivån i berg för ett normalår
December
Västra brottet
Havet
Pall 2

BILAGA E

Referenser, tidigare utredningar för Cementa

VIAK AB
Ledamöter av Svenska Konsulterande Ingenjörers Förening

GOTLANDS KOMMUN

PM ang. ökat vattenuttag från grundvattentäkter vid Filehajdar och Klints, Slite, Gotlands kommun

Daterad den 1 mars 1974 36.6296

VISBYKONTORET Strandgatan 13, 621 00 Visby Telefon 0498/170 20

GOTLANDS KOMMUN

PM angående ökat vattenuttag från grundvattentäkter vid Filehajdar och Klints, Slite, Gotlands kommun

Referens	1	Statens Naturvårdsverk: Gotlands vattenförsörjning - Publikation 1969:7
	2	SGU:s kartblad Ser Aa N:o 169 Slite med beskrivning
	3	Tullström, H: Preliminärt meddelande om hydrologiska undersökningar på Gotland. Grundförbättring Nr 4, 1954
	4	Tullström, H: Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland. SGU, Ser C, No 538, 1956
	5	Redogörelse för provpumpning av vattentäkt vid Spillings för Slite köping jämte utlåtande angående vattentillgång, AIB AB, 12 juni 1951
	6	Yttrande över förberedande grundvattenundersökningar för Slite köping, Gotlands län, VIAK AB, 20 mars 1958
	7	Yttrande över grundvattenundersökning med provpumpning år 1959 för Slite köping, Gotlands län, VIAK AB, 27 januari 1960
Bilaga	A	Uttag ur Slites grundvattentäkter
	B	Prognos över invånarantal, specifik vattenförbrukning samt vattenbehov (m^3/dygn) i Slite
	C	Sammanställning av vattenanalyser
	D	Översiktsplan, ritning nr 36.6296-01 i skala 1:50 000
	E	Plan, ritning nr 36.6296-02 i skala 1:10 000

Orientering

Vattentäkterna för vattenförsörjningen i Slite är belägna inom två vattentäktsområden, benämnda Klints och Filehajdar, se översiktskarta nr 36.6296-01 (bilaga D).

Enligt dom, meddelad av Söderbygdens Vattendomstol den 28 november 1957 (Dom A 113/1957), erhöll dåvarande Slite köping rätt att ur grundvattentäkt på fastigheterna Spillings 1:29 och 1:31 tillgodogöra sig grundvatten till en vattenmängd av högst 550 m³/dygn. Då denna vattentäkt visade sig vara otillräcklig och vattenbeskaffenheten mindre god, rekognoserades en ny vattentäkt, belägen inom delar av fastigheterna Klints 1:16 och Ytings 1:45. Enligt Österbygdens Vattendomstols dom den 18 oktober 1962 (Dom A 86/1962) erhöll köpingen tillstånd att ur den nya vattentäkten uttaga grundvatten till en mängd av i medeltal 600 m³/dygn, dock högst 900 m³/dygn. Vid den nya vattentäkten och den gamla på Spillings-fastigheterna är uttaget enligt domen begränsat till högst 1200 m³/dygn. Begränsningen berör dock ej uttaget vid den gamla vattentäkten i vidare mån än som föreskrivs i domen den 28 november 1957. Då dessa vattentäkter nu icke är tillräckliga har en ny vattentäkt tagits i bruk. Denna är belägen på fastigheterna Klints 1:16 och Laxarve 1:38.

Vattenförbrukning och vattenbehov

Vattenförbrukningen under 1971 och 1972 redovisas månadsvis i bilaga A. Det största uttaget sker i juli, då förbrukningen 1971 uppgick till 973 m³/dygn och 1972 till 1208 m³/dygn. Vattenuttaget har under vintermånaderna varit större än förbrukningen. Detta har berott på att råvattenledningen från täkten till samhället delvis varit förlagd ovan jord och att man tvingats eliminera frysrisken genom kontinuerlig pumpning under den kalla årstiden. Genom att råvattenledningen nu till hela sin längd förlagts i frostfri rörgrav är detta missförhållande avhjälpt. Under tiden 13/1 - 12/4 1971 förelåg läckage på en vattenledning i Slite, vilket medförde vattenförluster på 300-400 m³/dygn.

I bilaga B redovisas en prognos över vattenbehovet i Slite för åren 1985 och 2000. Prognosen grundar sig delvis på prognoser, framförda i referens 1. Vattenbehovet år 1985 beräknas i medeltal vara 1400 m³/dygn och maximidygnsförbrukningen 2300 m³/dygn. Det senare värdet hänför sig till juli månad, då förbrukningen till följd av turismen är högre än under övriga delar av året.

Medelvattenbehovet år 2000 uppskattas till 1800 m³/dygn och maximidygnsförbrukningen till 2850 m³/dygn.

Vattentäkter

Vattentäkterna utgörs av åtta borrade brunnar, nedförda i kalkberget, se ritning 36.6296-02 (bilaga E). Brunnarna är öppna i praktiskt taget hela sin längd i berget, då skyddsrören i allmänhet endast når någon meter under berggrundsytan. Uppgifter rörande marknivåer, nivåer på skyddsrörens överkant, djup samt rördiametrar framgår av nedanstående uppställning.

Brunn	Markhöjd	Skyddsrörs-överkant	Totalt djup från överkant skydds-rör, m	Rördiameter
Filehajdar 1	+22,77	+22,82	40,10	ø 150
Filehajdar 2	+17,99	+18,01	39,40	ø 150
Filehajdar 3	+17,47	+17,39	40,00	ø 150
Filehajdar 3 a	+18,17	+18,34	-	ø 200
Filehajdar 4	+20,55	+20,53	49,00	ø 200
Filehajdar 5	+20,15	+20,15	56,60	ø 200
Filehajdar 6	+19,99	+20,23	52,80	ø 200
Klints 1	+11,29	+ 9,17	37,20	ø 150

Geohydrologiska förhållanden

De geologiska förhållandena i området framgår av SGU:s kartblad Ser Aa 169 Slite samt referens 4.

Av bladet Slite framgår, att berget går i dagen inom Filehajdar, Klints backar och Hajdhagen. Berggrunden, som stupar mot sydost, utgöres av kalksten tillhörande den s k Slitegruppen. Kalkstenen består i regel av lagrad, kristallinisk kalksten, men även revbildande komponenter förekommer. Revkalksten är speciellt vanlig inom Klints backar, där den delvis täcker den lagrade kalkstenen. Kristallinisk kalksten och revkalksten uppträder som klintar eller platårester på den s k Slitemärgelstenen, vars mäktighet har uppskattats till 40-50 meter (referens 4). Märgelstenen underlagras sannolikt av vattenförande, hård kalksten.

Brunnarna Filehajdar 1-6 (bilaga E) är belägna inom en äldre strandzon, som i ytan består av strandgrus. Området mellan Filehajdar och Klints backar täckes

till större delen av sand, som troligtvis underlagras av moränmärgel. Öster om brunnarna Filehajdar 2 och 3 finns ett mindre torvområde.

Grundvattnet i området uppvisar mycket stora nivåvariationer. Man har observerat höjningar av vattennivån i brunnarna på 20-30 meter efter nederbördsrika dagar, trots att uttag skett från brunnarna. En mycket snabb infiltration sker således i den sprickrika kalkberggrunden.

Salt grundvatten förekommer på varierande djup över i stort sett hela Gotland. Gränsen mellan sött och salt grundvatten framgår av en nivåkarta i referens 3. Enligt denna karta torde saltvattengränsen i vattentäktsområdet förväntas ligga på nivån 20-30 meter under havets yta. Vid stort vattenuttag under perioder med lågt grundvattenstånd finns uppenbar risk för uppsugning av salt grundvatten från djupare belägna, grundvattenförande formationer. Grundvatten med relativt höga kloridhalter (i vissa fall 500 mg Cl/l) har erhållits i brunn Klints 1.

Grundvattenbildning

En uppskattning av uttagbara vattenmängder i området är mycket vanskligt att göra, bl a beroende på svårigheterna att bedöma den geologiska uppbyggnaden av berggrunden. En ungefärlig beräkning av grundvattenbildningen kan göras utgående från nederbörds-, avdunstnings- och avrinningsdata.

Nederbördsvärden föreligger från två av SMHI:s stationer, belägna i närheten av Filehajdar. Den ena stationen är Rings, se bilaga D, från vilken data finns från åren 1954-1970, och den andra är Hejnum, som ersatte Rings vid årsskiftet 1970/71.

Det är svårt att bedöma nederbördsvärdenas riktighet för Filehajdar och Klints backar. Bl a har avståndet samt de topografiska förhållandena betydelse. En väsentlig del av nederbörden under sommarhalvåret faller i form av lokala regn- och åskskurar (referens 1), vilket kan medföra att nederbörden över t ex Filehajdar i hög grad avviker från den uppmätta vid Hejnum-Rings.

Vid Rings varierade nederbörden under perioden 1954-1970 mellan 395 och 816 mm/år, d v s ett medeltal av 598 mm/år. I Hejnum uppmättes nederbörden 1971 och 1972 till 495 resp 528 mm.

Avdunstningen för Gotland som helhet uppskattas i referens 1 till i genomsnitt 350 mm/år och till 325 mm/år under torrår. Det är osäkert om dessa

värden är representativa för Filehajdar och Klints backar, eftersom dessa områden utgör speciella geografiska miljöer på Gotland. Avdunstningen varierar även med årstiderna och är vanligen större än nederbörden under sommarhalvåret (referens 1).

Det vatten, som inte avdunstar, avrinner som ytvatten eller grundvatten. Ytvattenavrinningen inom framför allt Filehajdar torde vara mycket liten, varför så gott som all nederbörd, som ej avdunstar, infiltrerar i den kraftigt uppspruckna berggrunden. Inom de områden, som täcks av moränmärgel, avrinner en del av nederbörden som ytvatten. Grundvattenbildningen kan inom dessa områden möjligtvis uppgå till ca 100 mm/år.

Den för grundvattenbildning tillgängliga vattenmängden torde av ovan redovisade nederbörds- och avdunstningsdata i medeltal uppgå till omkring 250 mm/år och under torrår till omkring 100 mm/år inom de områden där kalkberggrunden går i dagen och där ytvattenavrinningen är försumbar. Dessa värden är som tidigare påpekats mycket osäkra, men kan fungera som vägledning vid bedömning av tillgängliga grundvattenmängder. Med utgångspunkt från den beräknade infiltrerbara nederbörden uppskattas den totala grundvattenbildningen inom det på bilaga E redovisade skyddsområdet till 2500-5000 m^3/dygn i medeltal under året. Hela denna kvantitet är dock inte möjlig att ta ut ur de befintliga vattentäkterna då grundvattenbildningen är ojämnt fördelad över året och magasineringsförmågan i berggrunden inte är tillräckligt stor för att kvarhålla all infiltrerad nederbörd.

Det största problemet torde inte vara att täcka det framtida medelvattenbehovet utan den högre vattenförbrukningen under sommarmånaderna, då grundvattenbildningen i allmänhet är som minst. Viss försiktighet bör iakttas vid uttag under sommarhalvåret för att inte grundvattenavsänkningen skall medföra risk för saltvattenuppträngning från djupare belägna lager. Regelbunden registrering av grundvattennivåer och kloridhalter bör utföras vid de enskilda vattentäkterna.

Provpumpningar

Vid de provpumpningar, som utfördes 1951 vid Klints 1 och 2, konstaterades, att det var möjligt uttaga en kontinuerlig vattenmängd av maximalt 5 l/s (432 m^3/dygn) ur de båda brunnarna (referens 5). Tillfälliga större uttag ansågs dock kunna tillåtas.

Brunnarna Filehajdar 1 och 2 provpumpades 1957 under ca 2 månader med ett totalt uttag av ca 650 m³/dygn. Vattentäkternas totala kapacitet kunde dock inte bedömas med ledning av provpumpningsresultaten (referens 6).

Förnyade provpumpningar vid Filehajdar 1 och 2 samt vid en ny brunn, Filehajdar 3, utfördes under ca 4 månader 1959. Provpumpningen, som gjordes under en extrem torrperiod, gav vid handen att ett vattenuttag ur de tre brunnarna tillsammans av minst 400 l/min (576 m³/dygn) torde kunna ske även under synnerligen nederbördsfattiga perioder (referens 7).

Uttagbara vattenmängder

Bedömningen av uttagbara grundvattenmängder baseras framför allt på meteorologiska och geologiska data, provpumpningsresultat, vattenståndsobservationer samt mätningar av uttagna vattenmängder. Föreliggande data tyder på att den normalt uttagbara grundvattenmängden inom vattentäktsområdena vid Filehajdar och Klints borde kunna uppgå till 1400 m³/dygn i medeltal per år samt till maximalt 2300 m³ under enstaka dygn.

Vattenbeskaffenheten

Vattenbeskaffenheten under april 1971 och 1972 framgår av vattenanalys (bilaga C). Råvattnet från Filehajdar utgöres av blandvatten från brunnarna i området. Enligt de utförda analyserna har vattnet för vattenförsörjningsändamål lämpliga egenskaper och kan utnyttjas utan föregående behandling. Enligt bilaga C uppvisar vattentäkten Klints 1 en låg kloridhalt. Normalt torde denna vara betydligt högre. Vattenprovet har tagits efter några dygns driftsstopp av pumpen, vilket med all sannolikhet påverkat vattenbeskaffenheten.

Fixpunkt

Som fixpunkt anges en punkt, belägen 24 m NO om polygonpunkt 103 och ca 75 m SV om brunn Filehajdar 1. Fixen utgörs av koppardubb i kryss i 6 dm hög, slät, jordfast sten. Höjden är uppgiven till +23,12 m ö h enligt RAK 1970.

VIAK AB
Visbykontoret

K H Bergström Jerker Perers

Uttag ur Slites grundvattentäkter

1971

	Filehajdar		Klints		Totalt	Totalt
Månad	m³	m³/dygn	m³	m³/dygn	m³	m³/dygn
Januari	21999	710	5726	185	27725	895
Februari	19976	713	4437	158	24413	871
Mars	21896	706	6130	198	28026	904
April	21116	704	7718	257	28834	961
Maj	20810	671	9518	307	30328	978
Juni	19269	642	8520	284	27789	926
Juli	19600	632	10578	341	30178	973
Augusti	20074	648	6968	225	27042	873
September	20166	672	3247 x)	108	23413	780
Oktober	21872	706	2288	74	24160	780
November	22344	745	1783	59	24127	804
December	23345	753	1281	41	24626	794
Årsuttag	252467	692	68194	187	320661	879

x) Anm. 10/9 fel på mätaren

1972

	Filehajdar		Klints		Totalt	Totalt
	m³	m³/dygn	m³	m³/dygn	m³	m³/dygn
Januari	26642	859	2782	90	29424	949
Februari	27448	946	2744	95	30192	1041
Mars	29051	937	7102	229	36153	1166
April	23756	792	3620	121	27376	913
Maj	22328	720	1637	53	23965	773
Juni	23272	776	6984	233	30256	1009
Juli	25514	823	11946	385	37460	1208
Augusti	24788	800	6089	196	30877	996
September	23498	783	4592	153	28090	936
Oktober	24762	799	4328	140	29090	938
November	25587	853	4372	146	29959	999
December	26146	843	3439	111	29585	954
Årsuttag	302792	827	59635	163	362427	990

Anm. Rörbrott 14/1 - 12/4

Prognos över invånarantal, specifik vattenförbrukning samt vattenbehov (m^3/dygn) i Slite

År	1972	1985	2000
Vattenbehov för hushålls- och samhällsändamål			
Invånarantal	1900	2500	2500
Spec vattenförbrukning l/p,d	300	350	400
Vattenbehov	570	875	1000
Vattenbehov för turiständamål			
Antal turister	1000	3000	3300
Spec vattenförbrukning l/p,d	100	125	150
Vattenbehov (under turistsäsong, ca 4 mån)	100	375	500
Vattenbehov (i medeltal under året)	30	125	200
Vattenbehov för turiständamål	400	400	600
Totalt vattenbehov			
Medeldygn	1000	1400	1800
Maxdygn	1400	2300	2850

VVL

VATTENANALYS

VATTENVÅRDSLABORATORIET AB

Uppdragsnr
Uppdragsgivare
Provtagare:
Provet taget den 19 kl
Provet inkom den 19 kl

UNDERSÖKNING	ENHET	20/4-71 Råvatten vtnverk	19/4-72 Råvatten Klints	19/4-72 Råvatten Filehaidar		
Temperatur enl uppgift	°C	< 5	6	6		
Färg	mg/l Pt	ingen	ingen	ingen		
Grumlighet	ZP-enheter	ingen	ingen	ingen		
Lukt, styrka						
Lukt, art		ingen	ingen	ingen		
Bottensats						
pH (pot)		8,0	7,8	7,8		
Ledningsförmåga	x10⁶	401	425	430		
Permanganatförbrukning	mg/l $KMnO_4$	10	9	9		
Suspenderade ämnen	mg/l					
Järn Fe	"	< 0,10	< 0,10	0,15		
Mangan Mn	"	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Fosfat PO_4	"	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Totalfosfor P	"					
Ammonium NH_4	"	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Nitrit NO_2	"	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
Nitrat NO_3	"	< 2	< 2	< 2		
Totalkväve (enl Kjeldahl) N	"					
Sulfat SO_4	"	22	27	27		
Bikarbonat HCO_3	"	242	248	247		
Klorid Cl	"	18	32	28		
Kalcium Ca	"					
Magnesium Mg	"					
Totalhårdhet	°dH	11,2	11,9	11,8		
Kolsyra, marmoraggressiv ber CO_2	mg/l					
Syre O_2	"					
Biokemisk syreförbrukning d O_2	"					
Kiselsyra SiO_2	"					
Totala ant bakterier 22 °C	antal/ml	1	2	3		
Totala ant coliforma bakt 35 °C	antal/100 ml	< 2	< 2	< 2		
Ant termostabila colif bakt 44 °C	antal/100 ml	< 2	< 2	< 2		

Analyserna utförda av Lantbrukskemiska stationen i Visby.

10. 12. 69.

Stockholm den

Attest

VATTENVÅRDSLABORATORIET AB

Vällingbyplan 26 Pa Fack, 162 10 Vällingby 1 Telefon 08-87 03 70

Othem
Tingstäde
Vattentäkts-
område Klints
Vattentäktsområde
Filehaidar
CJ
Nederbördsstation
Rings
Nederbördsstation
Hejnum
Hejnum hällar
Slite
Österby
Boge
Hejnum
Bäl
Vägumeviken
St. Hammars
Hideviken
Asunden
Tjälderviken
Friggars
Filehajdar
VIAK AB
GOTLANDS KOMMUN
SLITE
Grundvattenskydd
Översiktsplan
KONSTRUERAD P.E.
GRANSKAD J.P.
Visby den 1.11.1973
SKALA 1:50000
ARBETSNUMMER 36-6296
RITNINGSNUMMER 01

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING (SGU) Carl-Gunnar Axelsson

HYDROGEOLOGISKA SYNPUNKTER PÅ PLANERAD BRYTNING AV KALKSTEN OCH MÄRGELSTEN PÅ FILE HAJDAR, GOTLAND

Rapport utarbetad på uppdrag av regeringen

Utredningsarbetet har utförts vid Sveriges geologiska undersökning under ledning av Lars Nordberg med biträde av Charlie Axelsson, Leif Carlsson, Torbjörn Fagerlind, Carl-Fredrik Müllern och Leif Särnblad samt Gunnar Gustafson, Jerker Perers och Per Arne Ryttar från VIAK AB.

1977-10-31

I utredningen förekommande kartor är av statens lantmäteriverk 1977-10-28 godkända för spridning.

1 INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 Innehållsförteckning..... 1
2 Sammanfattning..... 5
3 Inledning..... 7
3.1 Utredningsuppdragets bakgrund..... 7
3.2 Utredningens genomförande..... 9
3.3 Definitioner..... 10
4 Tidigare publicerade arbeten av relevans för utredningsarbetet..... 11
5 Undersökningsområdets läge och begränsning..... 12
6 Geologi och geomorfologi..... 13
6.1 Berggrund..... 13
6.1.1 Stratigrafi..... 13
6.1.2 Tektonik..... 13
6.1.3 Vittring..... 17
6.2 Lösa jordlager..... 18
6.2.1 Morän..... 18
6.2.2 Sorterade jordarter..... 18
6.2.3 Vittringsjord..... 19
6.2.4 Organogena jordar..... 19
6.3 Landhöjningsfenomen..... 20
7 Hydrometeorologi och hydrologi..... 21
7.1 Hydrologiska kretsloppet..... 21
7.2 Nederbörd..... 22
7.3 Avdunstning..... 24
7.4 Avrinning..... 25
7.5 Grundvattenförhållanden..... 28
7.5.1 Observationsnät..... 28
7.5.2 Grundvattnets variationsmönster..... 28
7.5.3 Ytnära vattenmagasin..... 29
7.5.4 Källor..... 29
7.5.5 Vattentäkter..... 29
8 Särskilda hydrogeologiska undersökningar..... 31
8.1 Grundvattennivåer..... 31

8.1.1 Grundvattnets högvattensituation..... 31
8.1.2 Grundvattnets lågvattensituation..... 32
8.1.3 Grundvattenprofiler över File Hajdar..... 33
8.1.4 Relation mellan brunnsbottennivå och grundvattennivå..... 34
8.2 Slug-tester..... 37
8.2.1 Teoretisk bakgrund..... 37
8.2.2 Utförda undersökningar..... 37
8.2.3 Resultat..... 37
8.3 Korttidsprovpumpningar..... 39
8.3.1 Teoretisk bakgrund..... 39
8.3.1.1 Utvärdering av hydrauliska egenskaper hos akviferer utan hydrauliska gränser.. 40
8.3.1.2 Utvärdering av hydrauliska egenskaper hos akviferer med parallella gränser.... 40
8.3.1.3 Skinfaktor och fiktiv brunnsradie..... 41
8.3.2 Utförda korttidsprovpumpningar..... 41
8.3.2.1 Allmänt..... 41
8.3.2.2 Korttidsprovpumpning av brunn 71 a..... 41
8.3.2.3 Korttidsprovpumpning av brunn 96..... 44
8.3.2.4 Korttidsprovpumpning av brunn P86..... 46
8.3.2.5 Korttidsprovpumpning av brunn 95..... 49
8.3.3 Undersökningsområdets hydrauliska egenskaper..... 50
8.3.3.1 Allmänt..... 50
8.3.3.2 Akviferen under File Hajdar..... 52
8.3.3.3 Akvitarden i den överlagrande berggrunden..... 54
8.3.3.4 Vattentäktsområdet..... 55
8.4 Sammanfattande synpunkter på slug-tester och korttidsprovpumpningar..... 57
8.5 Vissa grundvattenkemiska analyser..... 58
9 Prognos för det planerade brottets inverkan på grundvatten- och ytvattenförhållandena på File Hajdar..... 60
9.1 Beskrivande modell över grundvattenförhållandena på File Hajdar..... 60
9.2 Det planerade brottets inverkan på grundvattenbildningen till akviferen..... 66
9.2.1 Det planerade brottets utformning..... 66
9.2.2 Konsekvenser..... 66
9.3 Det planerade brottets inverkan på grundvattennivån i akvitarden..... 69

9.4 Det planerade brottets inverkan på ytvattenavrinningen... 72
9.5 Det planerade brottets inverkan på marknära magasin och översilningsmarker..... 72
9.6 Det planerade brottets inverkan på vattentäkterna..... 73
9.7 Det planerade brottets inverkan på Tingstäde Träsk..... 74
9.8 Inläckande vattenmängder till det planerade brottet..... 75
10 Rekommenderade åtgärder i samband med den planerade kalkstensbrytningen..... 77
10.1 Brottets djup och utsträckning..... 77
10.2 Skydd m m för vattentäkterna..... 78
10.3 Geovetenskaplig dokumentation..... 78
10.4 Komplettering av SGU:s referensnät för naturliga grundvattenförhållanden..... 79
11 Förslag till kontrollprogram..... 80
11.1 Läckage till det planerade brottet..... 80
11.1.1 Vattenmängder..... 80
11.1.2 Vattenkvalitet..... 81
11.2 Grundvattennivåer..... 81
11.2.1 Akvitarden..... 81
11.2.2 Akviferen..... 81
11.2.3 Vattentäktsområdet..... 82
11.3 Ytvattenförhållanden..... 82
11.3.1 Vatten från det planerade brottet..... 82
11.3.2 Tingstäde Träsk..... 82
12 Referenser..... 83
12.1 Tryckta arbeten..... 83
12.2 Utredningar och rapporter..... 84

2 SAMMANFATTNING

File Hajdar är en kalkstensplatå öster om Tingstäde Träsk inom nordöstra Gotland. Stor del av markytan utgörs av kalt berg eller område med mycket tunt jordtäcke.

Omfattande hydrologiska, geologiska och hydrogeologiska undersökningar har genomförts inom File Hajdar för att belysa och klarlägga rådande vattenförhållanden, framförallt grundvattenförhållandena. Sålunda har observationer av grundvattennivåer gjorts i ett stort antal borrhål av varierande djup inom området, provpumpningar har utförts på fyra olika platser och mätning av vattensjunkning har gjorts i ett flertal borrhål m m.

Ur hydrogeologisk synvinkel består File Hajdar av tre enheter: en för vatten föga genomsläpplig del (akvitard) i områdets övre partier, en mer genomsläpplig horisont (akvifer) på större djup samt ett nordsydligt stråk vid Slite samhälles vattentäktsområde med mycket stor vattengenomsläpplighet.

En översiktlig grundvattenbalans för File Hajdar visar att ca 10 mm nederbörd per år i genomsnitt bildar grundvatten till akviferen. Denna grundvattenbildning sker som ett läckage från den överlagrande akvitarden, som i samband med nederbördstillfällen får en kraftig höjning av grundvattennivån. Detta innebär att den övervägande grundvattentransporten inom File Hajdars övre del är nedåtriktad och i den undre (akviferen) riktad mot öster från en grundvattendelare som bedömts ligga vid Tingstäde Träsk. Grundvattendelaren i akvitarden beräknas ligga inom File Hajdars högsta partier.

Grundvattenförhållanden liksom påverkan av planerat kalkstensbrott har behandlats med hjälp av en numerisk modell. Det planerade brottet kommer fullt utbyggt att orsaka en minskning i grundvattenbildningen till akviferen som maximalt bedöms uppgå till ca 6% av nuvarande vattenuttag ur Slite samhälles vattentäkt. Den minskade grundvattenbildningen har till följd att grundvattennivån i akviferen sänks, dock i ringa

omfattning och ej fram till området vid Tingstäde Träsk. Den ökning i grundvattenbildning som denna avsänkning teoretiskt medför bedöms som försumbar. Grundvattentillrinningen till vattentäkten minskar, men en sänkning av täktens kapacitet kan delvis kompenseras med ökad grundvattenbildning inom vattentäktens tillrinningsområde.

Ett säkrare skydd mot förorening av grundvattnet i akviferen kan erhållas, om det planerade brottets bottennivå ytterligare sänks.

Grundvattennivån i akvitarden kommer att avsänkas inom en 300 - 400 m bred zon runt det planerade brottet. Grundvatteninläckningen tillsammans med den direkta nederbörden inom brottområdet medför att i medeltal knappt 2 000 m^3/dygn behöver avledas från fullt utbyggt kalkstensbrott. De marknära vattenmagasinen och översilningsmarkerna förutses ej bli påverkade av brottet annat än genom direkt dränering omedelbart intill brottkanten.

Tingstäde Träsks vattenförhållanden kommer ej att mätbart påverkas av det planerade brottet.

Före ingreppet måste en noggrann vetenskaplig dokumentation genomföras på File Hajdar.

För övervakning av grundvattenförhållanden föreslås ett långsiktigt kontrollprogram.

3 INLEDNING

3.1 UTREDNINGSUPPDRAGETS BAKGRUND

I skrivelse av 1974-04-16 har Cementa AB, Sliteförvaltningen, hos länsstyrelsen i Gotlands län ansökt om täkttillstånd jämlikt 18 § naturvårdslagen för långsiktig brytning av kalk- och märgelsten på de av bolaget ägda fastigheterna File 1:13 och 1:15 i Othems socken i Gotlands kommun, d v s del av området File Hajdar. Bolaget anförde i sin ansökan att den framtida cementproduktionen i landet var föremål för en särskild strukturutredning. Det fastslogs - utan föregripande av utredningen - att Slitefabriken hade goda potentiella möjligheter att avsevärt öka sin produktion. De betydande investeringar, som en sådan produktionsökning skulle innebära, ansågs ej kunna genomföras utan garantier för råvarutäkt under mycket lång tid. Det då gällande täkttillståndet för brytning vid Slite ansågs otillräckligt som bas för den planerade investeringen.

Bolaget bedömde området File Hajdar som mycket lämpligt för täkt av flera anledningar, bl a med hänsyn till det avskilda geografiska läget, råvarans lättillgänglighet och kemiska sammansättning och transportavstånd mellan täktområde och fabrik. Bolaget var medvetet om att kommunens vattentäktsintressen skulle kunna stå i strid med stentäktsintressena och hade tagit upp diskussioner med kommunen i ärendet.

Någon detaljerad täktplan för File Hajdar med förslag till återställningsarbeten presenterades inte i ansökan. Bolaget önskade få ett principbeslut beträffande den framtida kalkstensbrytningens inriktning och utbredning. Av ansökan stod dock klart att den tilltänkta täkten skulle utgöra ett avsevärt ingrepp i naturmiljön. Vid det angivna horisontåret 2025 skulle ett brott drygt 2 km^2 till ytan vara nedfört till maximalt ca 40 m under naturlig markyta. Bolaget hemställde om att få inlämna detaljerade täktplaner etappvis för brytningsperioden 1975 - 2025, varvid första etappen skulle omfatta 1975 - 1979.

Efter att ha tagit del av remissinstansernas synpunkter under sommaren 1974 sammankallade länsstyrelsen i Gotlands län ett sammanträde 1974-10-10 i Visby med företrädare för bl a länsstyrelsen, Cementa AB, statens naturvårdsverk, bostadsdepartementet och Sveriges geologiska undersökning (SGU). Vid sammanträdet överenskoms om att SGU på Cementas bekostnad skyndsamt skulle genomföra en utredning om inverkan på grundvattenförhållandena av begärd täkt på File Hajdar. Utredningen skulle avlämnas senast 1974-12-31. På grund av den knappa tid som stod till förfogande meddelade SGU att utredningen endast skulle kunna presentera preliminära slutsatser och att nödvändiga provpumpningar m m inte skulle kunna utföras under utredningstiden. Den beställda utredningen avlämnades 1974-12-19 och byggde huvudsakligen på sammanställningar av äldre borrkärnematerial från Cementa och grundvattendata från SGU:s referensnät för grundvattenstånd på File Hajdar. En prognos för täktens påverkan på grundvattnet - på grund av brist på relevanta data utarbetad enligt en högst approximativ metod - presenterades. Med hänsyn till det otillräckliga bakgrundsmaterialet föreslog SGU ett program för fortsatta undersökningar för att möjliggöra en säkrare bedömning av de hydrologiska konsekvenserna av stentäkt på File Hajdar.

Den av SGU utförda utredningen fogades dels till bolagets tidigare ansökan till länsstyrelsen, dels åberopades den av bolaget i dess ansökan hos bostadsdepartementet beträffande tillstånd för utvidgning av cementindustrin i Slite enligt 136 a § byggnadslagen.

I beslut av 1975-12-12 meddelade länsstyrelsen tillstånd enligt 18 § naturvårdslagen åt Cementa att bedriva begärd täktverksamhet på File Hajdar. Statens naturvårdsverk anförde besvär i jordbruksdepartementet mot länsstyrelsens beslut, men regeringen fastställde beslutet 1976-07-22. Samtidigt uppdrogs åt SGU att i samråd med statens naturvårdsverk och länsstyrelsen genomföra kompletterande undersökningar avseende de hydrologiska konsekvenserna av täkten på File Hajdar.

I regeringens tillstånd ingår vissa villkor. Sålunda har bolaget bl a medgivit att bekosta den av SGU begärda geovetenskapliga dokumentationen av området samt att vidtaga och bekosta de olika åtgärder som kan bli erforderliga med avseende på SGU:s observationsnät och kommunens vattentäkt. Vidare kan täkttillståndets omfattning senast 1977-12-31 komma att

begränsas avseende brytdjup, om regeringen på grund av resultaten av de hydrologiska undersökningarna skulle finna det erforderligt för att undvika allvarliga konsekvenser för vattenförsörjningen och om dessa konsekvenser inte kan förebyggas genom skyddsåtgärder i samband med brytningen eller på annat sätt. I tillståndet intas föreskrift om att bolaget på egen bekostnad skall vidtaga de åtgärder som kan bedömas erforderliga för att förhindra eller avhjälpa icke förutsedda allvarliga konsekvenser för vattenförsörjningen.

Uppdraget skulle redovisas till regeringen senast den 1 augusti 1977. Efter hemställan från SGU har regeringen förordnat att denna tidpunkt ändras till den 1 november 1977.

3.2 UTREDNINGENS GENOMFÖRANDE

Utredningen har utförts av SGU i samråd med VIAK AB och i huvudsak enligt det programförslag som SGU presenterade 1974-12-19. Omfattande fältarbeten, innefattande observationer av grundvattenstånd, provpumpningar, borrningar etc, har bedrivits på File Hajdar under utredningsperioden. Erforderliga borrningsarbeten har utförts av Cementa AB och Firma Johanson & Snäckerström i Visby. Gotlands kommun har på egen bekostnad svarat för utrustning och praktiska arrangemang vid provpumpningsplatserna och utfört själva provpumpningarna. Viss utrustning har inhyrts från civilförsvarsstyrelsen. Det omfattande observationsarbetet, särskilt i samband med provpumpningarna, har i huvudsak utförts av personal från Cementa AB under direkt kontroll av SGU. Fältarbetet har bedrivits på fastigheter tillhöriga Kronan, Stiftsnämnden i Visby, Cementa AB, Bertil Johansson i Ytings och Allan Liljegren i Hejnum. Samtliga fastighetsägare har lämnat tillstånd för verksamheten.

Föreskrivet samråd har under planeringsskedet och under arbetets gång tagits med statens naturvårdsverk och länsstyrelsen i Gotlands län. Information har därutöver under arbetets gång lämnats till bl a jordbruksdepartementet, Gotlands Naturvårdsförening och massmedia.

3.3 DEFINITIONER

Akvifer

En akvifer är en geologisk bildning som är så genomsläpplig att grundvatten kan utvinnas ur den för praktiska ändamål.

Akvitard

En akvitard är en geologisk bildning som är svårgenomsläpplig för vatten.

Grundvattenmagasin

Ett grundvattenmagasin är en geologisk bildning som är så avgränsad att den kan betraktas som en hydraulisk enhet. Om grundvattenmagasinet i sin helhet är täckt av täta eller föga genomsläppliga lager, betecknas det som ett slutet magasin. Om det i sin övre del har kontakt med atmosfärstrycket, betecknas det som ett öppet magasin.

Transmissivitet (T, m^2/s)

Transmissiviteten är ett mått på den geologiska formationens totala horisontella genomsläpplighet. Den kan definieras som grundvattenflödet genom en sektion med enhetsbredd vinkelrätt mot flödesriktningen under gradienten ett.

Magasinskoefficient (S, $m^3/m \cdot m^2$)

Magasinskoefficienten definieras som den vattenvolym, som avges eller magasineras per area, då grundvattnets tryckyta ändras en enhet. I en öppen akvifer är magasinskoefficienten lika med vattenavgivningstalet.

Läckagekoefficient (k'/m', s^{-1})

Läckagekoefficienten uttrycks som kvoten mellan en akvitards vertikala permeabilitet (k') och dess mäktighet. Läckagekoefficienten är således ett mått på en akvitards vertikala genomsläpplighet.

4 TIDIGARE PUBLICERADE ARBETEN AV RELEVANS FÖR UTREDNINGSARBETET

En allmän översikt av Gotlands geologi publicerades av Munthe et al 1925. Områdets geologiska beskaffenhet redovisades 1928 i kartbladet Slite med beskrivning. Viss del faller på bladet Kappelshamn.

Av senare arbeten beträffande geologi och hydrogeologi må nämnas Tullströms undersökningar som publicerades 1954 och 1955. Av dessa arbeten framgår att man uppmärksammat de delvis mycket märkliga hydrologiska förhållandena på File Hajdar. En särskild undersökning av dessa förhållanden publicerades av Fagerlind och Nordberg 1973. Förhållandena har också beskrivits översiktligt av Nordberg och Persson 1974. SGU:s i avsnitt 3.1 omnämnda utredning från 1974 sammanfattade då tillgänglig hydrogeologisk information om File Hajdar.

Ett flertal yttranden och utredningar från konsultfirmor, främst VIAK AB, har haft vissa beröringspunkter med File Hajdar-området.

Andra arbeten, som bidrar med viss bakgrundsinformation till föreliggande utredning, är Thorslund och Westergård (1938) om den djupa berggrundslagerföljden på File Hajdar, Lundqvist (1940) om sjösediment i bl a Tingstäde Träsk, Svantesson (1976) om Gotlands kvartära geologi samt Mörner och Philip (1974) om Gotland under senaste istidens slutskede. På uppdrag av länsstyrelsen i Gotlands län gjorde Svantesson 1974 en geologisk inventering av bl a File Hajdar belysande även områdets störningskänslighet. Av ytterligare publicerat material med viss relevans till File Hajdar kan nämnas Järnefors sammanställning 1965 av uppgifter om grundvattenförhållandena på Gotland och statens naturvårdsverks publikation 1969 om Gotlands vattenförsörjning, vilken utgavs i samarbete med VIAK AB.

En särskild referenslista omfattande tidigare publicerade arbeten redovisas i avsnitt 12.

5 UNDERSÖKNINGSOMRÅDETS LÄGE OCH BEGRÄNSNING

I vid bemärkelse omfattar File Hajdar ett högländ område mellan Tingstäde Träsk i väster, dalen mot Hejnum Hällar i söder, de låga partierna mot Klints Backar i öster samt området mellan Tingstäde Träsk och Othemars i norr. Arealen av detta område är ca 15 km^2. De centrala delarna av området utgörs av den egentliga platån File Hajdar, vilken huvudsakligen är belägen ovan nivån 50 m ö h. Denna areal upptar ungefär hälften av hela området.

Området återfinns i sin helhet på det topografiska kartbladet 7J Fårösund SV och NV i skala 1:50 000. I serien ekonomisk karta över Sverige i skala 1:10 000 har s k försöksblad utgivits över delar av Gotland. Större delen av undersökningsområdet faller på bladet 7J Fårösund Oe File Hajdar. Vissa av ytterområdena faller på bladen 7J Fårösund Od Tingstäde, 1e Othem, Of Slite och 6J Roma 9e Gane hpl. Alla dessa blad har emellertid inte givits ut. För områden där de saknas har i stället de gamla ekonomiska bladen Othem och Othemars använts. Som underlagskarta för denna utredning har framställts en kartmontering omfattande bladen Od Tingstäde, Oe File Hajdar, Of Slite samt delar av bladen Othem och Othemars. Eftersom nivåkurvor saknas på de gamla bladen har sådana schematiskt överförts från de topografiska bladen. Av redovisningstekniska skäl har kartorna i utredningen förminskats till skala 1:20 000 eller mindre.

Vid föreliggande utredningsarbete har ingen strikt begränsning av underökningsområdet tillämpats, utan i bedömningen har de terrängavsnitt kommit att ingå som har relevans för det tilltänkta kalkstensbrottets inverkan på grundvattenförhållandena. I bil 1 visas en karta över det aktuella området och det planerade brottets läge enligt Cementas täktansökan av 1974-04-16.

6 GEOLOGI OCH GEOMORFOLOGI

6.1 BERGGRUND

6.1.1 Stratigrafi

I SGU:s utredning av 1974-12-19 redovisades ett relativt detaljerat material beträffande berggrundens stratigrafiska indelning. Redovisningen byggde huvudsakligen på studier av tjugo borrkärnor, som upptagits under 1940-talet i samband med provborrningar för bedömning av kvaliteten på de ingående bergartsenheterna med hänsyn till industriella krav. Studierna visade att bergartsleden på File Hajdar varierar starkt i lateral riktning och att lednivåer mellan olika bergartstyper endast undantagsvis kan följas över nämnvärt avstånd. De dominerande bergarterna utgörs av s k kalksandkalksten och kalkslamkalksten med inslag av grov fragmentkalksten (revkalksten). Den enda litologiskt karaktäristiska gränsen som kan tänkas ha en regional utbredning är gränsen mellan de ovan nämnda kalkstenarna och underlagrande märgelstenar. De stora litologiska variationerna i sidled möjliggjorde emellertid inte konstruktion av en tillförlitlig bergartsprofil genom File Hajdar. De mycket markanta variationerna förklaras av närheten till revmiljö under bildningsskedet, då olika strömnings- och sedimentationsförhållanden antas ha rått inom mycket närliggande områden. Någon generell bild för relationen mellan bergarter och grundvattenförhållanden kan därför inte konstrueras.

Eftersom fastläggande av en sådan relation bedöms vara av avsevärt mindre intresse i det föreliggande utredningsarbetet än relationen mellan sprickor och grundvattenströmning har någon ytterligare litologisk kartering inte utförts. För detaljer i den tidigare studien hänvisas till SGU:s utredning av 1974-12-19.

6.1.2 Tektonik

Grundvattnet i de bergarter som förekommer vid File Hajdar magasineras och transporteras huvudsakligen i och längs sprickor av skilda slag. Dessa utgör bergarternas sekundära porositet, vilken är avsevärt högre än deras primära porositet, d v s porositeten i helt sprickfritt berg. Sprickorna har även avgörande betydelse för nederbördens infiltration i berggrunden.

Berggrundens sprickighet har undersökts dels på File Hajdar och Hejnum Hällar, dels i de närbelägna stenbrotten vid Slite, Klints Backar, Hide och S:t Olofsholm. Därvid har sprickornas generella uppträdande och utbildning studerats och de större, genomgående sprickornas strykning och stupning inmätts. Dessa s k huvudsprickor redovisas i fig 6.1.2 a och 6.1.2 b.

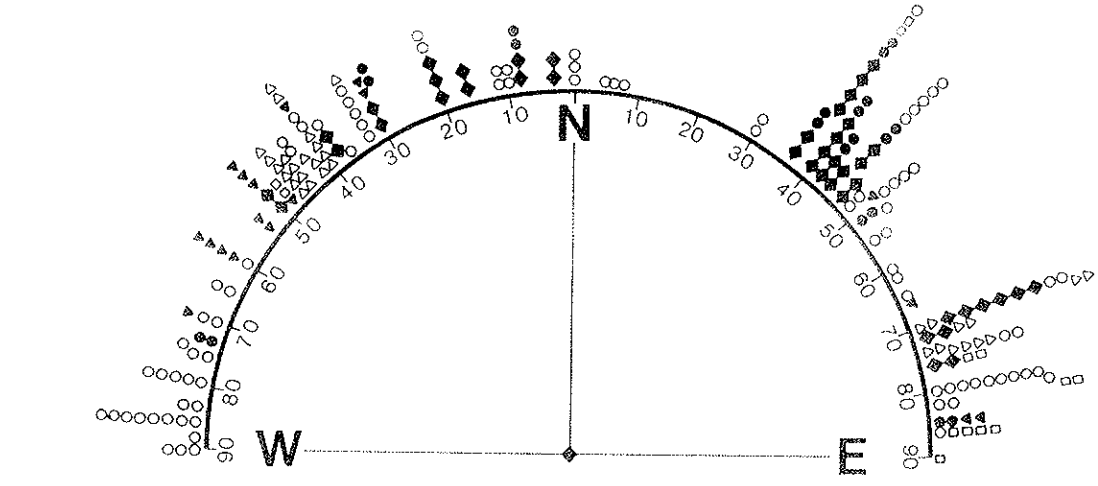
Utöver dessa huvudsprickor, vilka enligt tillämpad definition är så uthålliga att de kan följas så långt berggrunden på platsen i fråga är blottad (minst några tiotal meter), förekommer huvudsakligen närmast markytan ett stort antal föga uthålliga sprickor. Dessa är således ej representerade i fig 6.1.2 a och 6.1.2 b. De har huvudsakligen endast den betydelsen att de gynnar infiltrationen av nederbördsvattnet i berggrunden då de, åtminstone i sådana höjdområden som File Hajdar, till övervägande del ligger ovanför grundvattenytan.

Bergartsskikten vid och kring File Hajdar är, liksom på de flesta andra ställen på Gotland, närmast planparallellt lagrade på varandra med en mycket svag stupning i huvudsak mot SO. Längs många av de nästan horisontella skiktfogarna förekommer mer eller mindre uthålliga släppor. Dessa är inte heller representerade i fig 6.1.2 a och 6.1.2 b. De har emellertid stor betydelse som sammanbindningslänkar mellan de vertikala, relativt glest uppträdande huvudsprickorna, mellan vilka avståndet ibland kan uppgå till tio meter eller mera.

Bergarterna i området är i stort sett mycket homogena. Detta medför att huvudsprickorna ofta har mycket stor uthållighet både i längd- och djupled. Homogeniteten bryts huvudsakligen endast av förekomster av revkalksten. De sprickor som uppträder i revkalkstenen är ofta mer vindlande och har ett oregelbundet uppträdande.

Som framgår av fig 6.1.2 a intar riktningsmaxima för huvudsprickorna delvis olika riktningar i de undersökta områdena. Tre huvudriktningar kan urskiljas: NV, NO och O - V. Gemensamt för samtliga huvudsprickor är att de stupar vertikalt eller mycket brant.

Vid Slite är den mest markerade huvudsprickriktningen orienterad i NV - SO. Vid besiktningen 1976-09-16 kunde det uppströmmande vattenflödet på



	W 90	80	70	60	50	40	30	20	10	N	10	20	30	40	50	60	70	80	90 E	N	%
△ SLITE					61	3										6	30			33	100
					20	1										2	10				
○ FILE HAJDAR	22	6	3		5	8	2	5	3	3			3	8	8	3	5	15		87	"
	19	5	3		4	7	2	9	3	3			3	7	7	3	4	13			
□ HEJNUM HÄLLAR					8	8	13	8	17				8				8	29			"
					2	2	3	2	4				2				2	7		24	
▼ KLINTS BACKE			6	13	31	13	13							6		6		13			"
			1	2	5	2	2							1		1		2		16	
◆ HIDE				5		9	7	5	9				23	19		19	9				"
				2		4	3	2	4				10	8		6	4			43	
● S:t OLOFS-HOLM		10					10		10				30	20	10			10			"
		2					2		2				6	4	2			2		20	

Fig 6.1.2 a Sammanställning av antal och riktningar för observerade sprickor på File Hajdar och angränsande områden.

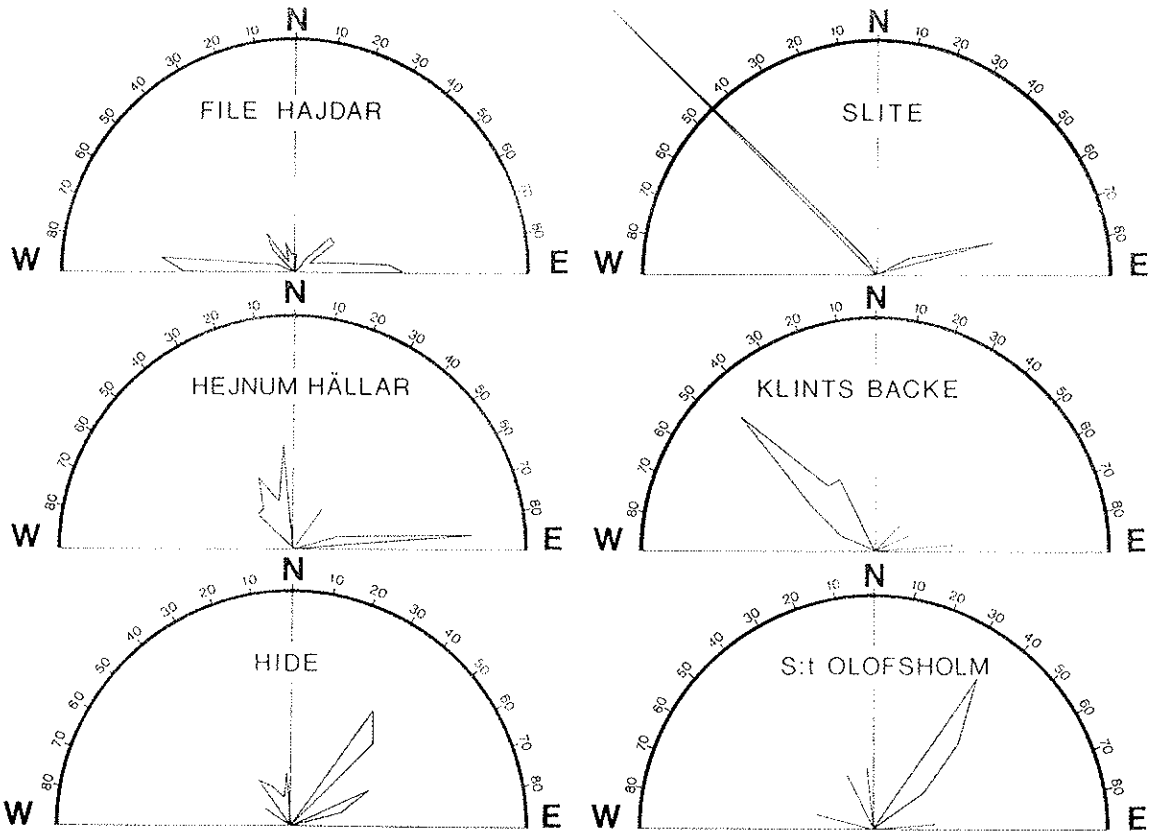


Fig 6.1.2 b Fördelningen av observerade sprickor på File Hajdar och angränsande områden.

en sträcka av ca 1 m längs en dylik spricka i brottbottnen uppskattas till omkring 0.5 l/s. Vid File Hajdar är den dominerande huvudsprickriktningen O - V. Detta förhållande antyder följaktligen att berggrundens permeabilitet är störst i ost - västlig riktning på detta ställe. En mycket iögonenfallande rak spricka, som kan följas i form av en trädridå ca 800 m i ost - västlig riktning förekommer inom File Hajdars centrala delar. Beträffande denna sprickas hydrologiska betydelse hänvisas till avsnitt 9.3.

6.1.3 Vittring

Berggrundsytan på File Hajdar har utsatts för betydande vittring, både av kemisk och mekanisk art. De lösa minerogena jordlagren på själva platån består nästan uteslutande av vittringsjord, huvudsakligen lerigt grus med varierande halt av kalkstensskärvor. I vissa fall kan de finkorniga vittringsprodukterna av vatten ha transporterats ned i spricksystem, där de ställvis bildar tätande lager.

Av väsentlig betydelse för berggrundens hydrauliska egenskaper är förekomsten av genom utlösningsfenomen vidgade sprickor, s k karstvittring. Genom denna process vidgas sprickorna så att öppna kanaler och hålrum kan uppstå, vilka kan föra stora vattenvolymer. Kanalerna kan utvecklas till underjordiska vattendrag och grottor. Karstvittringen har drabbat alla typer av sprickor och är inte heller knuten till någon viss sprickriktning. Den är mest utpräglad i berggrundens överyta, där denna består av lagrad kalksten eller revkalksten. Många exempel finns på hur millimetertunna sprickor vidgats till flera decimeter. Karstvittringen avtar emellertid oftast mycket snabbt mot djupet och är mest utpräglad i de översta metrarna. I revkalkstenen vid Klints Backar har karstvittrade sprickor iakttagits till ett djup av omkring 15 m under bergytan. I det stora stenbrottet i märgelstenen i Slite är karstvittringen emellertid mycket svagt utbildad.

Stora delar av File Hajdars yta företer spår av karstvittring. I huvudsak är denna vittring mycket måttlig. Särskilt framträdande karstfenomen finns emellertid bl a i områdena kring borrhål 11 och schakt 67 (se karta i bil 1), där decimeterbreda sprickor och slukhål återfinns i ytan.

De i ytan öppna sprickorna spelar en roll för infiltration av nederbördsvatten, men huruvida de spelar någon avgörande roll för grundvattenströmningen är icke känt. I en tidigare undersökt borrkärna från borrhål 45 har karstvittring kunnat spåras till ca 12 m djup under markytan.

6.2 LÖSA JORDLAGER

6.2.1 Morän

Morän i form av lerig moränmärgel finns inom egentliga File Hajdar i ytterst ringa omfattning och endast i små förekomster utan kontakt sinsemellan. Däremot återfinns moränmärgel sammanhängande i den låglänta terrängen runt File Hajdar-området. Även sluttningen ned mot Tingstäde Träsk är täckt av moränmärgel. På grund av partikelsammansättningen hos moränmärgeln är den föga genomsläpplig för vatten samtidigt som den har relativt hög vattenhållningsförmåga. Detta innebär att den flerstädes medför fuktiga markförhållanden under stor del av året. På grund av den dåliga genomsläppligheten kan den emellertid i allmänhet inte avge vatten i sådan omfattning att brunnar meningsfullt kan utnyttjas i moränmärgel. Av samma anledning sker en relativt stor ytavrinning från områden täckta av moränmärgel. Sålunda finns ett nät av naturliga och av människan etablerade dräneringsleder runt File Hajdar-området, vilka för ytvatten till dels Tingstäde Träsk, dels Östersjön.

6.2.2 Sorterade jordarter

Sorterade minerogena jordarter saknas på egentliga File Hajdar. Däremot finns särskilt på dess östra flank ett system av grusvallar, som täcker hela nedre delen av sluttningen. Sand förekommer på moränmärgeln mellan File Hajdar och Klints, liksom i vissa terrängavsnitt söder och norr om File Hajdar. Ställvis saknas sannolikt moränmärgel mellan de sorterade jordarterna och kalkstenen. I sådana lägen kan finnas förutsättningar för konstgjord grundvattenbildning, vilket kan tillgripas för ett bättre tillvaratagande av en vattentillgång (se

avsnitt 9.8). De sorterade jordarterna är omlagringsprodukter från senglaciala och postglaciala Östersjö-stadier, d v s i huvudsak strandbildningar. Isälvsavlagringar i primärt läge torde saknas helt och hållet i anslutning till File Hajdar. Grusavlagringarna på File Hajdars östra sluttning utgör goda infiltrationsytor för nederbördsvatten, medan deras betydelse för magasinering av grundvatten på grund av terrängläget måste betraktas som försumbar.

6.2.3 Vittringsjord

Som framgår av avsnitt 6.1.3 täcks egentliga File Hajdar huvudsakligen av tunn vittringsjord. Flerstädes saknas lösa jordlager fullständigt. Den i ytan uppspruckna kalkstenshällen går där i dagen. Vittringsjorden är starkt lerhaltig och bildar ställvis svårgenomsläppliga ytlager som utgör grunden för olika typer av tillfälliga och permanenta våtmarker på File Hajdar. På de minerogena våtmarkerna förekommer ställvis rikligt med bleke, d v s kalk som utfällts från vatten. Bleke förstärker svårgenomsläppligheten hos jorden och skapar grunden för blekevätar. De senare förekommer särskilt i norra delen av File Hajdar.

6.2.4 Organogena jordar

I vissa lägen på dåligt dränerat underlag har i postglacial tid uppstått organogena jordar. Dessa finns i myrar, varav den speciellt gotländska agmyren dominerar. Flerstädes förekommer blandformer mellan blekevätar och agmyrar, särskilt i norra delen av File Hajdar. På File Hajdar är myrarna i regel helt opåverkade av dikning och odling, medan myrarna i de låglänta kransområdena har varit föremål för sådana ingrepp. Den organogena jorden i myrarna - främst kalkgyttja och agtorv - är så pass ogenomsläpplig att något hydrauliskt samband med underliggande grundvatten inte torde råda. Myrarnas fuktbalans betingas i stället av nederbördsvatten och eventuellt tillfälligt översilningsvatten från omgivande högre terräng.

Det förtjänar att nämnas att tidigare fanns vid Dyhagen en källmyr med ett flertal kupolkällor. I dessa källor mynnade vattnet bl a ur toppen på torvkupoler på myren (Tullström 1955). Den svårgenomsläpp-

liga torven var således punkterad, och grundvatten, som stod under tryck, kunde stiga till ytan och rinna bort i en liten bäck (se fig 6.2.4 a). Källorna har upphört, efter det att uttag ur kommunala vattentäkter har sänkt trycknivån till under markytan.

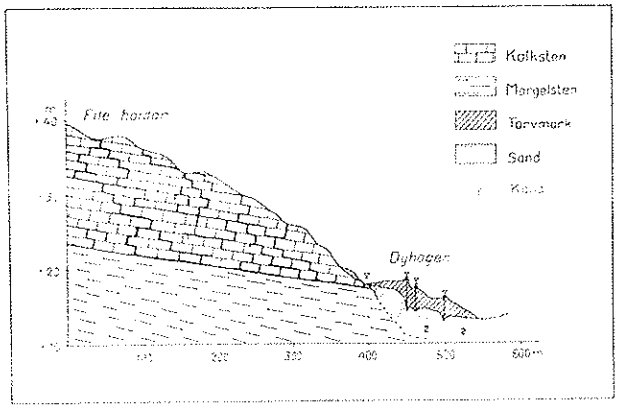


Fig 6.2.4 a Geologisk profil genom Dyhagens källor (från Tullström 1955).

6.3 LANDHÖJNINGSFENOMEN

De tidigare omnämnda förekomsterna av sorterade jordarter indikerar genom sina ytformer tidiga stadier i Östersjöbäckenets utveckling under senglacial och postglacial tid. Sålunda förekommer strandvallar och andra strandbildningar av grus och sand från såväl Baltiska issjön, Ancylussjön som Litorinahavet. De förra återfinns på nivåer ovan ca 38 m ö h, vilken nivå anses utgöra Ancylusgränsen. Litorinahavet anses ha nått upp till ca 23 m ö h (Munthe et al 1928). Vissa klintartade branter på File Hajdars sluttningar synes också ha blivit tillskärpta av strandabrasion vid högre stående vattennivåer i Östersjöbäckenet.

Av särskilt kvartärgeologiskt intresse på File Hajdar är de djupa dalgångar som är nedskurna i berggrunden i ost - västlig riktning i två delområden i östra hälften av platån. Dessa dalar har enligt Svantesson (1974) anlagts av smältvatten från inlandsisen. I vad mån de morfologiskt har förändrats under landhöjningsskedet är inte klarlagt. De torde inte ha något inflytande på infiltration eller avrinning i stort från File Hajdar.

7 HYDROMETEOROLOGI OCH HYDROLOGI

7.1 HYDROLOGISKA KRETSLOPPET

Av avgörande betydelse för vattenbalansen på File Hajdar är förhållandet mellan nederbörd, avdunstning och avrinning. Detta förhållande bestämmer storleken på grundvattenbildning och -magasinering. Under idealiska förhållanden kan i ett väldefinierat avrinningsområde de olika termerna i den hydrologiska balansekvationen beräknas. Ekvationen kan tecknas

$$P = E + R + \Delta S$$

där

P är nederbörd
E är avdunstning
R är avrinning
ΔS är förändring i magasinering.

Den senare termen kan delas upp i t ex sjöar, snö, markvatten och grundvatten.

Samtliga mätningar av termernas storlek är behäftade med större eller mindre fel, vilket gör varje beräkning osäker. För File Hajdars del kan någon meningsfull balansberäkning inte göras med konventionella metoder. Området begränsas inte av vattendelare, varför avrinningen sker radiellt från ett område som inte kan ytbestämmas. De komplicerade förhållandena i grundvattenmagasinets reaktioner under olika årstider försvårar en beräkning av magasinstermens storlek. Avdunstningen under sommartid är mycket olika från å ena sidan vätar och myrar och å andra sidan den torra kalkstensytan. I avsnitt 9.1 har ett försök gjorts att beräkna vattenbalansen för File Hajdar.

7.2 NEDERBÖRD

Regelbunden uppmätning av nederbörd har under en lång följd av år utförts genom Sveriges meteorologiska och hydrologiska instituts (SMHI) försorg på fjorton platser på Gotland. För perioden 1931 - 1960 varierar medelvärdena för uppmätt årsnederbörd från 408 mm på Stora Karlsö till 623 mm i Rings. Den senare stationen är belägen en kilometer söder om Tingstäde Träsk och torde vara representativ för File Hajdar-området. Jämnt fördelat över året motsvarar 623 mm ca 20 l/s · km^2. Nederbördsfördelningen på Gotland uppvisar ett generellt regionalt drag med stigande årsnederbörd mot Tingstäde-området (SNV:s rapport 1969). Från år 1971 har Rings ersatts av en station i Hejnum ca 4 km söder om Tingstäde Träsk. Under utredningsarbetets gång har en skrivande nederbördsmätare varit i drift vid östra kanten av File Hajdar. Denna mätare har kontinuerligt registrerat nederbörd sedan 1976-09-20. Det insamlade materialet utgör framför allt ett betydelsefullt hjälpmedel vid tolkning av reaktioner i grundvattenmagasinet, inte minst i samband med provpumpnings- och återhämtningsperioder. Sedan 1976-11-17 har också en skrivande lufttrycksmätare varit i drift på samma plats. Inom ramen för SGU:s ordinarie observationsverksamhet inom grundvattennätet finns dessutom under den frostfria delen av året en nederbördsmätare i drift på Hejnum Hällar ca 5 km sydsydost om Tingstäde Träsk. Denna mätare registrerar nederbörden med särskilt god tidsupplösning och kan nyttjas vid detaljstudier.

En analys av sammanställda nederbördsdata från SMHI:s stationer för perioden 1931 - 1960 visar bl a att på samtliga stationer är augusti den nederbördsrikaste och mars den nederbördsfattigaste månaden (se tabell 7.2 a). Fältarbetet för denna utredning - särskilt vad avser provpumpningarna - var starkt beroende av relativt stabila väderleksförhållanden. Att sådana förhållanden inte rådde framgår av fig 7.2 a, där nederbörden under utredningsperioden visas i relation till långtidsmedelvärden.

Tabell 7.2.a

Nederbörd på Gotland

Månads- och årsmedelvärden (mm) enligt SMHI för perioden 1931 - 1960

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
Buttle	54	43	32	34	35	38	57	62	55	60	55	56	581
Roma	52	41	31	33	34	36	55	60	53	57	53	56	561
Gothem	46	35	27	28	28	33	48	54	49	50	47	48	493
Hoburg	40	30	22	27	34	31	49	54	47	47	46	41	468
Östergarn	47	35	28	29	29	34	48	58	52	50	49	48	507
Hemse	52	42	30	32	36	37	56	61	55	59	53	52	565
Bottenarve	45	36	26	30	36	34	53	60	50	53	48	46	517
Fårö	45	35	27	30	29	35	48	59	53	50	51	50	512
Gotska Sandön	55	41	30	33	27	32	48	66	57	55	61	58	563
Rings	58	45	34	37	36	41	60	68	61	62	59	62	623
Risungs	51	39	30	33	33	38	53	64	57	56	55	55	564
Stora Karlsö	36	28	19	24	29	28	43	47	42	39	37	36	408
Visby	53	39	30	32	31	35	53	58	53	53	50	54	541
Visby flygplats	51	37	28	30	30	33	51	56	51	51	48	52	518

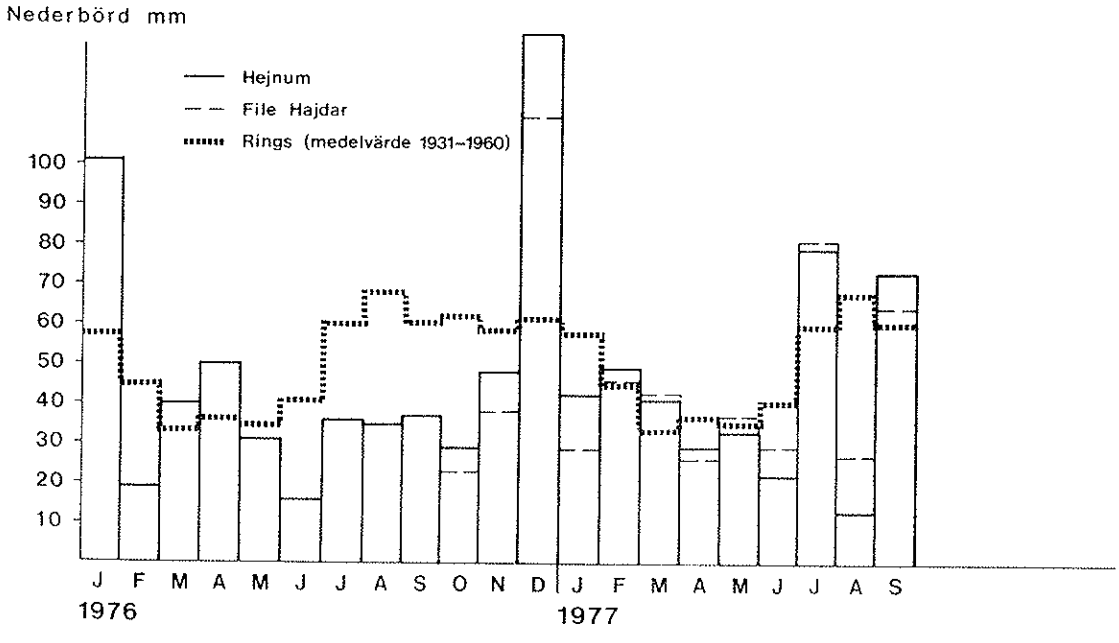


Fig 7.2 a Uppmätta nederbördsmängder vid Hejnum och File Hajdar under utredningsperioden jämte långtidsmedelvärden från Rings.

7.3 AVDUNSTNING

Med avdunstning avses i detta sammanhang summan av direkt avdunstning och växternas transpiration. Den del av nederbörden som inte avdunstar kan bilda grundvatten eller avrinna som ytvatten. Mätning av verklig avdunstning är förknippad med mycket stora svårigheter, och resultaten är svåra att tillämpa på större ytor. I stället brukar man teoretiskt beräkna den potentiella avdunstningen enligt formler som beaktar bl a temperatur, vind, luftfuktighet och globalstrålning. För SMHI:s station vid Visby flygplats har man med Penmans formel beräknat den potentiella avdunstningen 1959 från dels fri vattenyta (B), dels s k standardgräsyta (C) och jämfört värdena med mätningar (A) i avdunstningskärl (SNV 1969). Resultaten i millimeter vatten framgår av tabell 7.3 a.

Tabell 7.3 a

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
A					128	144	162	125	65	22			
B	6	4	29	73	125	146	165	122	67	19	10	6	772
C	7	4	21	56	92	108	130	95	53	17	12	8	603

Av tabellen framgår klart att den potentiella avdunstningen är mycket starkt årstidsberoende - oerhört mycket starkare än nederbörden. Detta innebär att nederbörd under sommaren lätt bortgår i avdunstning utan att tillföras grundvattnet, vilket betingar grundvattenståndets årstidsmässiga variationsmönster.

Den verkliga avdunstningen (E) kan grovt beräknas enligt Tamms formel, som skrivs

$$E = 221.5 + 29 \times T$$

där T är platsens årsmedeltemperatur.

För de gotländska stationer, från vilka årsmedelvärden föreligger för den s k referensnormalen 1931 - 1960, varierar årsavdunstningen enligt

Tamms formel mellan 419 och 430 mm. Eftersom årsmedelnederbörden vid File Hajdar (Rings) uppgår till 623 mm återstår med denna grova beräkningsmetod ca 200 mm för mark- och grundvattenbildning samt för avrinning, d v s 6 l/s · km^2.

I vad mån den verkliga avdunstningen på den jordfattiga och vegetationsglesa File Hajdar-platån kan anses beskrivas med Tamms formel undandrar sig säker bedömning. Det kan emellertid antas, att avdunstningen därifrån under vegetationsperioden är lägre än skulle ha varit fallet om nederbördsvatten kunnat tillfälligt magasineras i ett marknära jordtäcke. Den ovan angivna vattenvolymen tillgänglig för mark- och grundvattenbildning samt för avrinning kan därför vara större än det angivna värdet.

7.4 AVRINNING

File Hajdar är en relativt flack platå med radiellt riktat dräneringsnät. Bäckar och diken börjar i de låglänta sluttningarna nedanför platån. I bil 2 återges ytvattendragen så som de framträder på ekonomiska och topografiska kartblad. I vissa detaljer är de kompletterade efter fältiakttagelser. Den topografiska ytvattendelaren på File Hajdar mellan Tingstäde Träsk i väster och Östersjön i öster har lagts in schematiskt. Den yta, som dräneras mot Tingstäde Träsk, har ansetts motsvara ytan mellan vattendelaren, de markerade vattendragen (med vissa interpoleringar - streckade på kartan) och Tingstäde Träsk. Den uppgår till ca 7.4 km^2. Det östliga dräneringsområdet omfattar ca 11.1 km^2. De markerade vattendragen dränerar givetvis även andra områden än File Hajdar, vilka emellertid ej har ytberäknats. Under långvariga lågvattenförhållanden för vattendragen inget vatten, varför ytavrinningen då från File Hajdar är noll. Detta inträffar i regel under sommarperioden. Särskilt kraftig nederbörd kan dock även under sommaren förorsaka tillfälligt flöde i vattendragen - eller delar av dem. Avrinningsintensiteten torde vara starkt knuten till grundvattenmagasinets fyllnadsgrad. Tidvis torde en avsevärd del av dräneringen ske på bred front i marknära system genom vätar och andra former av översilningsmarker. Under högvattenförhållanden för vattendragen vatten. Eftersom avrinningsstationer saknas, finns inga uppgifter om flödenas storlek.

Tabell 7.5.1 a
Borrhål på och kring File Hajdar som utnyttjats 1976-1977
för observation av grundvattenstånd

nr	rök m ö h	djup m u rök	diam mm	nr	rök m ö h	djup m u rök	dia mm
1	56.29	35.12	50	48	61.81	36.2	50
3	61.61	> 50.0	50	50	okänt	6.5	okär
5	60.45	24.1	37	54	57.57	36.1	50
6	64.62	49.5	50	55	56.58	35.5	50
7	63.71	28.2	50	58	59.36	10.9	62
11	59.80	29.7	37	59	59.69	6.0	37
12	58.98	39.5	50	60	okänt	15.3	okär
13	okänt	5.8	50	61	30.67	12.4	37
15	58.89	30.4	50	62	32.55	20.5	37
16	51.04	11.6	50	63	34.64	44.4	50
18	59.95	35.6	50	64	37.54	33.0	50
19	56.49	37.8	25	65	62.74	26.4	scha
20	52.08	26.8	50	66	59.50	29.3	scha
22	41.48	18.6	37	67	57.79	4.2	scha
28	50.91	25.7	37	68	51.69	okänt	okär
29	39.37	26.9	50	69	22.82	40.1	125
31	54.98	24.6	50	70	18.01	39.4	125
33	50.79	24.0	50	71	17.39	39.1	125
34	52.89	28.7	50	71a	18.34	54.0	200
35	44.00	18.7	50	72	20.53	49.0	200
37	61.45	31.2	37	73	20.15	56.6	200
39	48.48	35.4	37	74	20.23	52.8	200
40	48.81	40.4	37	80	34.59	41.6	85
41	46.04	32.4	50	81	48.50	41.8	85
43	29.56	26.2	50	82	58.34	42.0	75
45	63.78	37.5	50	83	45.80	41.7	75

forts Tabell 7.5.1 a

Se sid. 52

nr	rök m ö h	djup m u rök	diam mm	
84	40.50	42.2	75	
85	41.81	42.0	75	
86	49.20	60.0	250	8" måste köpa manchetter ~10.000:
87	40.82	31.0	75	
88	45.32	42.1	75	
89	52.33	41.1	75	
91	49.01	42.0	75	
92	50.23	42.1	75	
93	47.15	60.0	110	
94	43.85	60.0	110	4" går bra
95	56.40	50.0	110	
96	20.17	50.0	115	
97	23.20	60.0	110	
98	31.85	40.0	110	
99	56.73	40.0	110	
100	46.91	40.0	110	
101	21.33	60.0	115	
102	42.01	40.0	115	
Br 1	8.35	30.0	okänt	
Br 2	24.06	35.5	okänt	
Br 3	30.96	39.5	okänt	
Br 10	ca 30	70.0	125	
Br 23=123	ca 30	75.0	125	
Br 24	ca 33	39.0	125	
Klints 1	9.17	37.2	150	
J3SV:3	43.35	71.5	100	rök = rörets överkant

7.5 GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

7.5.1 Observationsnät

Sedan 1967 har grundvattenståndets nivåförändringar på File Hajdar stått under regelbunden observation inom ramen för SGU:s rikstäckande referensnät för naturliga grundvattenförhållanden. De fem borrhål som utnyttjats återfinns i en ost - västlig profil tvärs över File Hajdar. De borrades för prospekteringsändamål på 1940-talet. I samband med SGU:s utredning 1974 iordningställdes ytterligare ett antal av de befintliga borrhålen för observation. Under det nuvarande utredningsuppdragets gång har sammanlagt 23 nya borrningar utförts. En av dessa har dock inte kunnat användas p g a otillräckligt djup. Djupen på de övriga varierar mellan 40 och 60 m och diametern mellan 80 och 250 mm. I tabell 7.5.1 a redovisas data om samtliga för observationer utnyttjade borrhål. Deras lägen framgår av kartan, bil 1.

7.5.2 Grundvattnets variationsmönster

Grundvatten av betydelse förekommer inte i de lösa jordlagren på File Hajdar, utan endast i kalk- och märgelstenen. Observationerna under 1976 - 1977 har bekräftat de tidigare redovisade mycket stora och mycket snabba grundvattenståndsförändringarna i File Hajdars berggrund. Stigningar på ca 25 m under mindre än ett dygn i samband med nederbörd har belysts av Fagerlind och Nordberg (1973). De stora och snabba förändringarna antyder en vid dessa tillfällen snabb, nedåtriktad pulsförflyttning samt en för berggrunden i stort mycket låg effektiv porositet. Dessa förhållanden innebär att grundvattenståndet företrädesvis befinner sig i endera av två extrempositioner: på sommaren i ett bottenläge och under resten av året i ett toppläge (bil 3). Sålunda är grundvattenmagasinet i allmänhet helt fyllt under 7 - 9 månader under året, då följaktligen betydande ytavrinning äger rum. Under sommaren ligger grundvattenytan i ett bottenläge, såvida riklig nederbörd inte påverkar grundvattenmagasinet. Under provpumpningarna 1977 kom exceptionella väderleksförhållanden att avsevärt inverka på grundvattenmagasinets fyllnadsgrad (se avsnitt 8.3).

7.5.3 Ytnära vattenmagasin

Observationer i vissa av borrhålen (11, 33, 39, 40, 62, 63, 64, 84, 85, 96) tyder på att sekundära vattenförekomster ställvis och tidvis kan uppträda mellan markytan och det djupa grundvattnet. Sådana sekundära vattenmagasin kan också finnas mycket nära markytan, och kan förorsaka översilningsmarker och vätar. De sekundära magasinen betingas av svårgenomsläppliga, i regel leriga skikt i den nästan horisontellt lagrade kalkstenen. Dessa skikt torde återfinnas på olika nivåer och med olika stor utbredning. Särskilda observationer av variationerna i dessa ytnära och tillfälliga magasin har inte kunnat göras. Det står dock klart att de är mycket känsliga för nederbörd. Sannolikt kan de inte magasinera några större vattenvolymer. Något generellt inbördes sammanhang tycks inte råda mellan de olika sekundära magasinen.

7.5.4 Källor

Permanent flödande källor finns inte på File Hajdar. Däremot sker ett avsevärt läckage av grundvatten från File Hajdar under högvattenperioder. Läckaget kanaliseras i bäckar och diken runt platån (se avsnitt 7.4). De tidigare existerande källorna vid Dyhagen (fig 6.2.4 a) har som framgår av avsnitt 6.2.4 upphört att flöda.

7.5.5 Vattentäkter

På egentliga File Hajdar finns inga vattentäkter. Den kommunala vattentäkten för Slite är emellertid belägen vid Dyhagen omedelbart öster om File Hajdar (bil 1). Täkten består av sju brunnar nedförda genom strandgrus till underliggande kalksten. Grundvatten pumpas från kalkstenen.

Dygnsförbrukningen är starkt säsongberoende och varierar vanligen mellan 800 och 1 300 m^3/d. Vid intensiv pumpning under sommaren tenderar kloridhalten att öka, dock inte så att några problem uppstår. Vattentäktens beroende av File Hajdar och konsekvenserna för den av en planerad kalkstensbrytning där behandlas i avsnitt 9.6.

Omedelbart öster om Klints Backar finns en kommunal brunn (Klints 1), som har ett uttag på 250 - 300 m^3/d. Uttaget i brunnarna vid File Hajdar och vid Klints är enligt vattendom 1962 reglerat till högst 1 200 m^3/d sammanlagt.

Brunnar i kalkstenen för enskilt bruk finns vid Laxare, Ytings och File öster om File Hajdar och vid Othem och Othemars norr om File Hajdar.

Den grunda sjön Tingstäde Träsk väster om File Hajdar utnyttjas som ytvattentäkt främst för Visbys vattenförsörjning för förstärkning av grundvattentillgångarna i Visby-området. Uttaget ur Tingstäde Träsk var 1976 ca 1 400 000 m^3, d v s ca 3 800 m^3/d. Detta motsvarar nära en fördubbling av uttaget sedan 1974.

8 SÄRSKILDA HYDROGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR

I det följande redovisas de särskilda fältundersökningar, bearbetningar och utvärderingar som utförts inom ramen för utredningen. Undersökningarna ligger till grund för den prognos av de hydrologiska konsekvenserna av den planerade kalkstenstäkten på File Hajdar, som presenteras i avsnitt 9.

8.1 GRUNDVATTENNIVÅER

Som framgått av avsnitt 7.5.2 beskriver grundvattenståndet ett årstidsberoende variationsmönster med höga nivåer under vinterperioden och låga under sommaren. Mellansituationer är relativt sällsynta. På grundval av mätningar utförda i ett stort antal borrhål vid de två extremtillstånden har grundvattennivåkartor och profiler konstruerats, vilka visar grundvattenytan i borrhålen vid högvatten respektive lågvatten. De observerade brunnarna är belägna i det övre partiet av den grundvattenförande delen av File Hajdar, d v s i den akvitard som överlagrar den djupa akviferen. De hydrauliska förhållandena inom och mellan de olika enheterna belyses i avsnitt 8.3.3 och 9.1.

Det måste emellertid framhållas att nivåkartorna och profilerna bygger på vattenståndsmätningar i borrhål av starkt varierande djup. Detta medför att de uppmätta nivåerna inte alltid är helt jämförbara med varandra (se avsnitt 8.1.4). De redovisade kartorna skall därför inte ses som strömningsbilder för grundvattnet på File Hajdar. De generella dragen - särskilt vid högvattenförhållanden - torde emellertid väl beskrivas av de gjorda sammanställningarna.

8.1.1 Grundvattnets högvattensituation

Som högvattensituation har valts tillståndet 1977-02-25, för vilket datum mätningar i 39 borrhål har utnyttjats. Värden från ytterligare några borrhål har använts men från annat datum under högvattensituation, eftersom mätningar ej utfördes där 1977-02-25.

Av kartan (bil 4) framgår att ett kupolartat grundvattendelarområde finns i norra delen av File Hajdars topografiskt högsta partier. Här når grundvattnet ovan 55 m ö h, d v s i regel mindre än tio meter under markytan. Lokalt når grundvattnet markytan. Från detta höjdområde sjunker grundvattennivån radiellt åt alla håll. I västlig riktning sänker sig grundvattennivåerna konformt med markytan till Tingstäde Träsk på ca 45 m ö h, som sålunda under denna period kan få ett grundvattentillflöde genom de marknära strandpartierna, närmast i form av översilning.

Norr om vattendelarområdet saknas observationshål, varför grundvattennivåerna här endast kan antydas. Det kan antas att de norrut sänker sig flackt mot partierna vid vägen Tingstäde - Othem, och att grundvattnet står nära markytan. Ett flertal vätar tyder på detta.

I ostlig riktning sänker sig grundvattennivåerna från vattendelarområdet på ca 55 m ö h till vattentäktsområdet på ca 10 m ö h. I brunnar längs vägen Ytings - Boge, ca 1 - 2 km öster om vattentäkterna, återfinns grundvattnet på ca 3 - 4 m ö h. Kartan uppvisar några oregelbundenheter i grundvattnets nivåkurvor i form av tillskärpta gradienter, dels omedelbart öster om vattendelaren, dels nära vattentäkterna. Vid vattentäkterna kan pumpningen ha förorsakat den skärpta gradienten, eventuellt kombinerat med effekter av förekommande revkalksten. Den relativt branta gradienten öster om vattendelaren kan betingas av förekomst av revkalksten eller andra geologiska oregelbundenheter.

I sydlig riktning sänker sig grundvattennivåerna från vattendelaren till de låglänta partierna vid Orgvätar och Kallgata, där grundvattnet flerstädes når markytan.

8.1.2 Grundvattnets lågvattensituation

Någon längre stabil lågvattenperiod rådde inte under 1977 p g a tidvis riklig sommarnederbörd. Kartan (bil 5) visar grundvattennivåerna 1977-06-27, beräknade på grundval av mätningar i 44 borrhål detta datum. Dessutom har mätningar från brunnar särskilt norr och nordost om File

Hajdar vid andra tidpunkter under lågvattensituationen använts som stöd för kartbilden. Kartbilden visar att grundvattenytan under lågvattenperioden står 5 - 25 m lägre än vid högvatten. Grundvattendelarområdet har förskjutits åt väster mot Tingstäde Träsk. En flack grundvattendelare kan förekomma vid Tingstäde Träsk mellan detta och File Hajdar. Borrhålens olika djup försvårar en säker bedömning av grundvattendelarens exakta läge. En väsentlig skillnad i förhållande till högvattensituationen är nivåkurvornas riktning i centrala, sydöstra delen (vid borrhål 33, 39, 92, 41 etc). Från att vara nord - sydliga under högvatten är de närmast ost - västliga under lågvatten. Detta beror på att vattendelarområdet blivit utsträckt till en rygg i ost - västlig riktning under lågvattenförhållanden och att en sekundär (något osäker) vattendelare uppstått i sydöstra kanten av File Hajdar. Dessa oregelbundenheter inklusive de inbuktningar som framträder i nivåkurvorna betingas av dels olika borrhålsdjup, dels geologiska förhållanden och pumpning i vattentäkten. Genom pumpningen är grundvattennivån vid vattentäkten avsänkt till ca -5 m ö h.

Av grundvattenkartan framgår att grundvattnet inte når markytan någonstans under lågvattenförhållanden. I vattendelarområdet invid Tingstäde Träsk står dock grundvattnet mycket nära markytan och invid sjön sammanfaller sjöns yta med grundvattennivån.

8.1.3 Grundvattenprofiler över File Hajdar

På grundval av uppgifter om grundvattenstånd vid låg- respektive högvattenförhållanden har profiler över grundvattenytorna konstruerats (se bil 6). Profilerna bygger på de tidigare framtagna nivåkurvekartorna (bil 4 och 5), från vilka nivåkurvornas skärning med profilsträckningen bildar underlag för de ritade grundvattenprofilerna. De skall därför betraktas med samma förbehåll som gäller för nivåkurvekartorna. Uppmätta grundvattennivåer i ett antal borrhål i närheten av profillinjen har markerats i figuren. Dessa nivåer avviker i enskilda fall markant från de ritade grundvattenprofilerna, p g a dels avstånd från profilsträckningen, dels olika borrhålsdjup och geologisk beskaffenhet (se avsnitt 8.1.4). Profilernas läge framgår av översiktskartan, bil 1.

De i tidigare avsnitt omtalade vattendelarområdena i närheten av Tingstäde Träsk framträder klart i profilerna liksom den avsevärda skillnaden i grundvattennivåer vid låg- respektive högvattenförhållanden. Av stor principiell betydelse är vattenstånden i de djupa borrhålen P86, 94 och 63 jämte vattentäktsbrunnen 69. Samtliga dessa borrhål når ned till -10 m ö h eller djupare. Vattenstånden i P86, 94 och 63 står betydligt lägre än i intilliggande borrhål, som inte når ned till dessa djup. Detta antyder att pumpningen i 69 och de andra brunnarna (70 - 74) påverkar vattenståndet i de djupa borrhålen avsevärt mer än i de mindre djupa hålen. Orsaken till detta förhållande torde stå att finna i en relativt genomsläpplig bergartshorisont med avsevärd utsträckning i horisontell riktning. Horisonten nås av borrhålen P86, 94 och 63 samt vattentäktsbrunnarna men inte av de grundare borrhålen. Uppåt begränsas horisonten av svårgenomsläppliga lager ovanför nivån -10 m ö h. Dessa förhållanden bildar utgångspunkt för antagandet av den modell över File Hajdar, som närmare beskrivs i avsnitt 8.3.3 och 9.1.

Någon klar bergartsgräns vid den aktuella nivån konstaterades inte vid borrning av hålen P86, 94 och 63. En genomsläpplig horisont av det slag som här beskrivs kan emellertid utgöras av ett relativt tunt lager, som p g a snabb-borrmetoden inte ger utslag under borrningen. Att avsänkningen i borrhålen P86, 94 och 63 skulle bero på vertikalstående sprickor med hög genomsläpplighet i direkt kontakt med vattentäktsområdet motsägs av provpumpningsresultaten (se nedan). Förekomst av sådana sprickor skulle också ge sig tillkänna i lägre vattenstånd i de grunda borrhålen.

8.1.4 Relation mellan brunnsbottennivå och grundvattennivå

Av de i profilerna markerade grundvattennivåerna i de enskilda borrhålen framgår, att nivåerna kan skilja sig avsevärt från varandra även på små avstånd. En sammanställning av relationer mellan brunnarnas bottennivåer och grundvattennivåer i avsnitt 8.3.3.1 (fig 8.3.3.1 a) visar ett klart samband mellan dessa på så sätt att grundvattennivån sjunker med ökat djup till borrhålsbotten. Detta torde innebära att en vertikal komponent dominerar grundvattnets strömningsbild i File Hajdars övre partier, d v s åtminstone ned till havsytans nivå. Detta förhållande har tidigare belysts i avsnitt 7.5.2, där de snabba och stora grundvattenståndsförändringarna behandlades.

Dessa omständigheter medför att de redovisade grundvattenkartorna (bil 4 och 5) och profilerna (bil 6) bygger på uppgifter om grundvattennivåer, som inte beskriver det dominerande strömningsmönstret på File Hajdar. Den laterala strömningen är nämligen av mycket liten omfattning, vilket belyses i avsnitt 9.1. Skulle denna strömning ha varit av betydelse skulle de stora uppmätta skillnaderna i grundvattenstånd inte ha kunnat existera.

Fig 8.1.4 a visar relationen mellan brunnarnas bottennivåer och uppmätta grundvattenståndsförändringar mellan 1977-07-01 och 1977-07-20 för ett antal borrhål. Initialnivåerna 1977-07-01 var relativt höga på grund av riklig nederbörd föregående dag. Under perioden sjönk grundvattennivån i de observerade borrhålen mellan 0 och 27 m. De brunnar som inte uppvisar någon förändring mellan de två mätdatumen är samtliga belägna i File Hajdars ytterkanter. Nivåförändringarna minskar med ökande borrhålsdjup. Detta innebär att grundvattenmagasinets reaktioner på nederbörd är dämpade mot djupet, vilket stöder uppfattningen om det dominerande vertikala flödet i grundvattnets variationszon.

Ett borrhål som genomtränger en vattenförande berggrund visar en grundvattennivå som med avseende på olika genomträngda lagers varierande transmissiviteter uppvisar ett slags medelvärde. Vid inläckage av vatten från lager med låg transmissivitet till borrhålet och utläckage inom lager med god transmissivitet innebär detta att grundvattenytan ej representerar den i lagren med låg transmissivitet, utan mer en förhöjd grundvattenyta för det högtransmissiva lagret. Inom den akvitard som under avsnitt 9.1 omnämnts utgöra den övre delen av File Hajdars berggrund förekommer borrhål med olika borrlängd och borrdjup. Ett större borrdjup och därmed också större borrlängd innebär att större tryckskillnader mellan grundvattnet på olika nivåer i akvitarden genomslås av borrhålet. Inom ett homogent, isotropt medium innebär detta att grundvattenytan i borrhålet representerar medelvattenståndet för genomträngd sektion.

Borrhålen inom File Hajdar uppvisar generellt en lägre grundvattennivå vid ökande borrlängd och sjunkande borrdjup. Detta tyder på tryckskillnader i vertikal led, vilket i sin tur ger anvisningar om en transport av vatten i denna riktning.

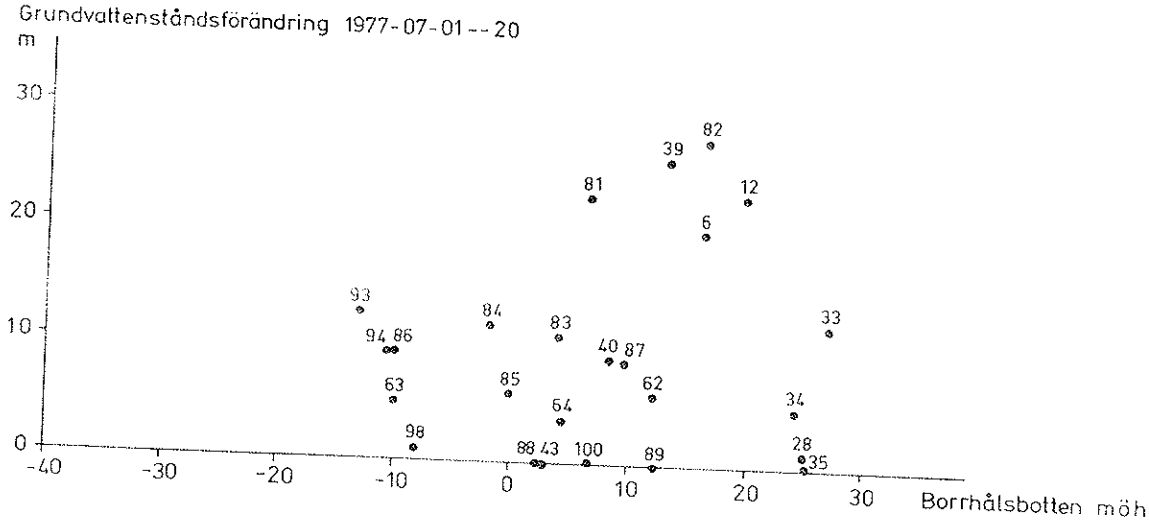


Fig 8.1.4 a Observerade grundvattenståndsförändringar 1977-07-01--20 i observationsbrunnar som funktion av deras bottennivåer.

8.2 SLUG-TESTER

8.2.1 Teoretisk bakgrund

Genom att studera återhämtningsförloppet i en brunn efter en momentan höjning eller sänkning av brunnens vattennivå, kan de hydrauliska egenskaperna hos den grundvattenförande formationen i brunnens absoluta närhet bestämmas. En sådan undersökning benämns enligt engelskt språkbruk slug-bailer-test. Studeras endast reaktionen efter en höjning av vattennivån används benämningen slug-test. De teoretiska utvärderingarna grundar sig på Thiems brunnsekvation och förutsätter bl a att brunnen är fullständig, d v s att den penetrerar akviferens hela mäktighet, samt att den grundvattenförande formationen har homogena och isotropa egenskaper. Utvärderingen av transmissivitet och magasinskoefficient tillgår så att uppmätta grundvattenståndsförändringar i relation till den totala, momentana förändringen som funktion av tiden anpassas till teoretiskt framtagna kurvor. Som parameter för dessa senare kurvor anges magasinskoefficienten S, medan transmissiviteten T erhålls från beräkningar vid anpassat läge (se fig 8.2.3 a). Definitioner av grundläggande begrepp ges i avsnitt 3.3.

8.2.2 Utförda undersökningar

Inom undersökningsområdet har 22 slug-tester utförts. Undersökningarna har tillgått så att en känd vattenmängd momentant tillförts brunnen, varefter vattenytans återhämtning har registrerats. De undersökta brunnarnas lägen framgår av bil 1 och deras djup och diameter av tabell 8.2.3 a.

8.2.3 Resultat

Av 22 utförda slug-tester är endast 8 tolkningsbara. Tolkningssvårigheterna kan bero på kaviteter i borrhålen, d v s brunnens verkliga diameter avviker från den borrade diametern på grund av dels direktkontakt med större sprickor, dels karstvittring i kalkberggrunden.

Tolkningarna framgår av fig 8.2.3 a, där de uppmätta återhämtningsförloppen återges tillsammans med anpassade tolkningskurvor. Beräkningarna av magasinskoefficienterna är mycket osäkra beroende på bl a inverkan av borrhålens tillstånd samt tolkningskurvornas konstruktiva utformning. I tabell 8.2.3 a har därför endast beräknade transmissivitetsvärden och motsvarande permeabiliteter angivits.

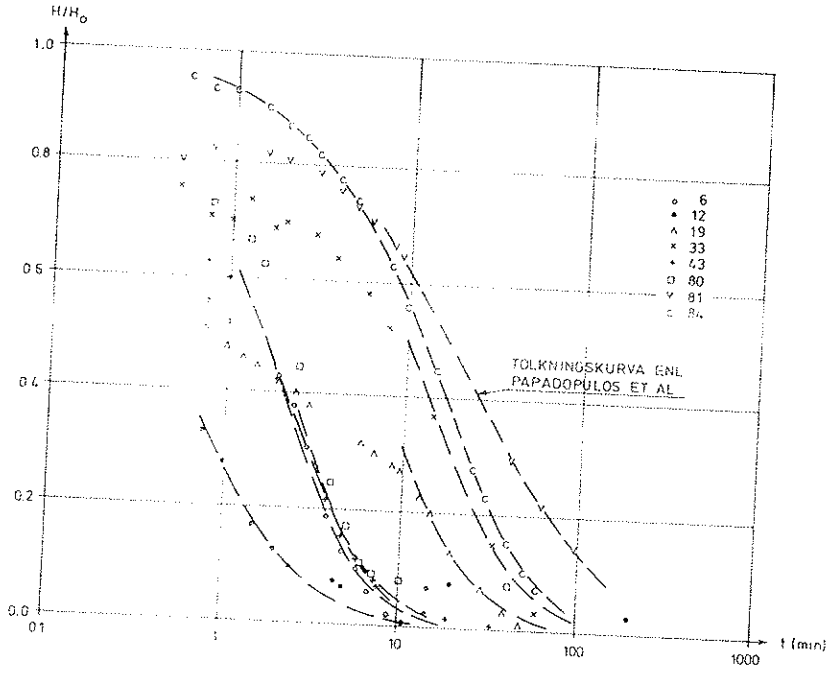


Fig 8.2.3 a Slug-tester. Registrerade återhämtningsförlopp och tolkningskurvor enligt Papadopulos et al 1973.

Tabell 8.2.3 a

Brunn	Djup (m)	Brunns-diameter (mm)	T (m^2/s)	k (m/s)
6	48.5	51	$29 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-7}$
12	39.5	51	$22 \cdot 10^{-6}$	$55 \cdot 10^{-7}$
19	37.8	25	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$0.6 \cdot 10^{-7}$
33	24.0	25	$2.2 \cdot 10^{-6}$	$3.4 \cdot 10^{-7}$
43	26.3	51	$15 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-7}$
80	41.6	86	$77 \cdot 10^{-6}$	$200 \cdot 10^{-7}$
81	41.8	86	$0.9 \cdot 10^{-6}$	$1.0 \cdot 10^{-7}$
84	42.2	76	$4.2 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-7}$

De erhållna transmissivitetsvärdena och därav beräknade permeabilitetsvärden representerar horisontella, hydrauliska egenskaper hos den övre delen av kalkstenen inom File Hajdar, 19 - 38 m under markytan. I avsnitt 8.3.3 och 9.1 redovisas en modell över undersökningsområdet, där även den vertikala permeabiliteten för den övre delen av kalkstenen bedöms.

8.3 KORTTIDSPROVPUMPNINGAR

8.3.1 Teoretisk bakgrund

Syftet med en korttidsprovpumpning är att bestämma ett grundvattenmagasins hydrauliska egenskaper och geometri.

Vid en korttidsprovpumpning pumpas en uttagsbrunn med konstant kapacitet samtidigt som avsänkningsförloppet kontinuerligt mätes i en rad observationsbrunnar på varierande avstånd från uttagsbrunnen. Avsänkningen i observationsbrunnarna är bl a en funktion av pumpkapacitet, tid och grundvattenmagasinets hydrauliska parametrar, $s = f(Q, t, r, T, S, k_1 .. .. k_n)$. Dessa funktionssamband utnyttjas vid utvärderingen och tillvägagångssättet beskrivs kortfattat nedan. För grundligare beskrivning av beräkningsmetoderna hänvisas till Andersen & Haman (1970), Davis & De Wiest (1966), Todd (1959), Gustafson (1974) samt Gustafson (1976).

Beteckningar:

B	(m)	sektionsbredd
m'	(m)	lagertjocklek
k'	(m/s)	vertikal permeabilitet
Q	(m^3/s)	pumpad vattenmängd, flöde
r	(m)	avstånd till observationspunkt
r_w	(m)	brunnsradie
r_{wf}	(m)	fiktiv brunnsradie
S		magasinskoefficient
s	(m)	avsänkning av grundvattennivån
s_w	(m)	avsänkning i uttagsbrunn
T	(m^2/s)	transmissivitet
t	(min, s)	tid
x	(m)	avstånd till observationspunkt vid kanalmodell
σ		skinfaktor

8.3.1.1 Utvärdering av hydrauliska egenskaper hos akviferer utan hydrauliska gränser

Vid en provpumpning mäts avsänkningsförloppet i ett antal observationsbrunnar på varierande avstånd från uttagsbrunnen. För ett grundvattenmagasin utan hydrauliska gränser kan sambandet mellan avsänkning och uttag uttryckas med hjälp av en brunnsfunktion. Genom att jämföra det uppmätta avsänkningsförloppet, återgivet i dubbellogaritmisk avbildning, med brunnsfunktionen kan transmissivitet, magasinskoefficient och läckagefaktor direkt bestämmas.

8.3.1.2 Utvärdering av hydrauliska egenskaper hos akviferer med parallella gränser

De geometriska förhållandena hos ett långsträckt magasin skiljer sig väsentligt åt från homogena, isotropa sådana med oändlig utsträckning. I ett långsträckt magasin är avståndet till de hydrauliska gränserna i sidled alltid så begränsat, att inverkan av dem kan märkas genom hela provpumpningsperioden. För att lösa problemet används därför en utvärderingsmetod, som tar hänsyn till gränserna.

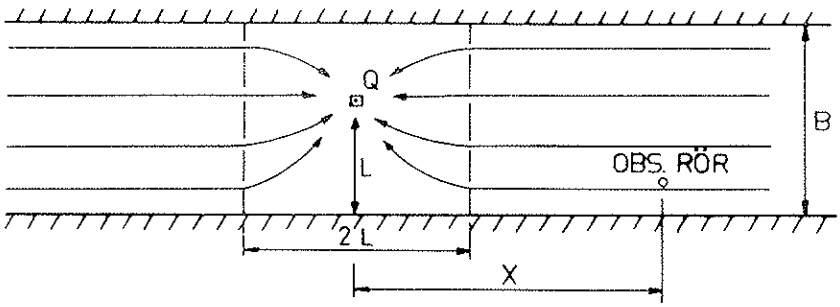


Fig 8.3.1.2 a Beräkningsmodell för kanalmodell.

Som beräkningsmodell används ett kanalformat magasin med parallella gränser, vilket medför att brunnsfunktionen blir en annan jämfört med det fall där akviferen har oändlig utsträckning. Brunnsfunktionen är inte tillämpbar på observationsbrunnar nära uttagsbrunnen, eftersom flödet där inte är parallellt med sidogränserna.

8.3.1.3 Skinfaktor och fiktiv brunnsradie

Avsänkningen i en uttagsbrunn kan delas upp i två komponenter, dels den del som är beroende av magasinets egenskaper, dels den del som är beroende av brunnens konstruktion, utförande och igensättning. Som ett mått på den senare delen kan brunnens s k skinfaktor beräknas.

En negativ skinfaktor visar att brunnen penetrerar en större del av magasinet än vad som motsvaras av brunnsradien. Detta kan t ex vara fallet när en bergborrad brunn står i direktkontakt med sprickor där sprickbredden är betydande i förhållande till brunnsradien. Detta gör att brunnens verksamma radie, den fiktiva brunnsradien, kan vara betydligt större än den borrade radien.

8.3.2 Utförda korttidsprovpumpningar

8.3.2.1 Allmänt

Fyra brunnar inom File Hajdar har korttidsprovpumpats. Brunnarnas lägen framgår av bil 1. Vid brunnarna P86 och 71 a har korttidsprovpumpningar utförts dels under vinterförhållanden med höga grundvattennivåer, dels under sommarförhållanden med låga grundvattennivåer. Vid brunnarna 95 och 96 har korttidsprovpumpningar endast utförts under sommarförhållanden.

8.3.2.2 Korttidsprovpumpning av brunn 71 a

Brunn 71 a är en av sju produktionsbrunnar i den kommunala vattentäkten. Korttidsprovpumpningarna vid 71 a visar att vattentäktens brunnar (69 - 74) är belägna i en gemensam kanalformad akvifer som sannolikt betingas av en sprickzon. En hydraulisk förbindelse med observationsbrunnarna 63 och 96 kan observeras. Det är dock mindre troligt att dessa är belägna i kanalen. Detta gäller särskilt observationsbrunn 63. I fig 8.3.2.2 a återges återhämtningsförloppet vid korttidsprovpumpningen under lågvattenförhållanden.

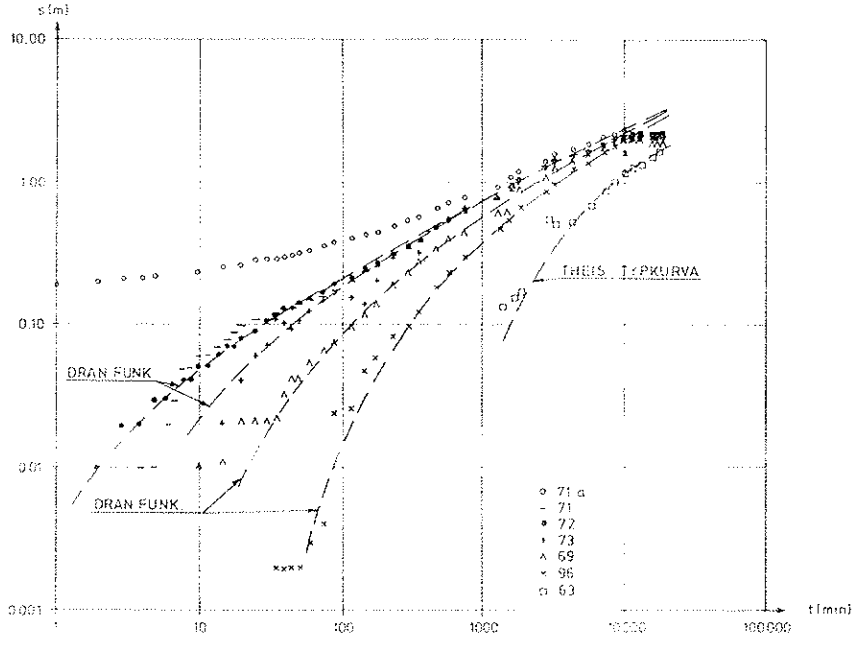


Fig 8.3.2.2 a Tolkning av återhämtningsförlopp vid korttidsprovpumpning av brunn 71 a under lågvattenförhållanden. Tolkningar med dränfunktionen och Theis typkurva.

Som framgår av sammanställningen i tabell 8.3.2.2 a ger tolkningarna av avsänknings- och återhämtningsdata från korttidsprovpumpningarna vid låg- och högvattenläge överensstämmande resultat. Sprickzonens hydrauliska egenskaper är således likartade i de djupa och i de mer ytliga lagren. Representativa värden på kanalens magasinsparametrar är TB = 5.5 m^3/s och SB = 0.030 m.

Tabell 8.3.2.2 a Sammanställning av hydrauliska data från korttidsprovpumpning av brunn 71 a under högvatten- och lågvattenförhållanden

HÖGVATTENFÖRHÅLLANDE

Tid - avsänkning

Observationsbrunn	x (m)	TB (m^3/s)	SB (m)	TB · SB (m^4/s)	Bk'/m' (m/s)
71	240			0.36	
72	275			0.31	
69	680	6.3	0.056	0.35	
63	r = 630	T = $4.8 \cdot 10^{-4}$		S = $1.4 \cdot 10^{-4}$	

Tid - återhämtning

71	240			0.27	
72	275			0.23	
70	420			0.32	
73	590			0.20	
69	680	6.3	0.039	0.25	$9.1 \cdot 10^{-8}$

LÅGVATTENFÖRHÅLLANDE

Tid - avsänkning

71	240			0.47	
72	275			0.33	
73	590			0.37	
69	680	5.6	0.11	0.62	
96	1580	2.0	0.15	0.30	

Tid - återhämtning

71	240	6.8	0.031	0.21	
72	275	7.4	0.025	0.19	
73	590	8.0	0.021	0.17	
69	680	4.5	0.049	0.22	
96	1580	4.0	0.048	0.19	
63	r = 630	T = $1.7 \cdot 10^{-4}$		S = $2.6 \cdot 10^{-4}$	

Avstånd - återhämtning

Observationsbrunn	t (min)	TB (m^3/s)	SB (m)
Samtliga	600	5.6	0.031
	2800	5.6	0.035
	7200	5.6	0.035

Korttidsdata från uttagsbrunnen, återhämtning

T = $1.0 \cdot 10^{-2}$ m^2/s ω = -2.2 r_{wf} = 0.92 m

8.3.2.3 Korttidsprovpumpning av brunn 96

Vid provpumpning av brunn 96 påverkades vattenståndet i brunnarna 63, 94 och 101 och vid vattentäktens produktionsbrunnar. Inverkan är åskådliggjord i fig 8.3.2.3 a.

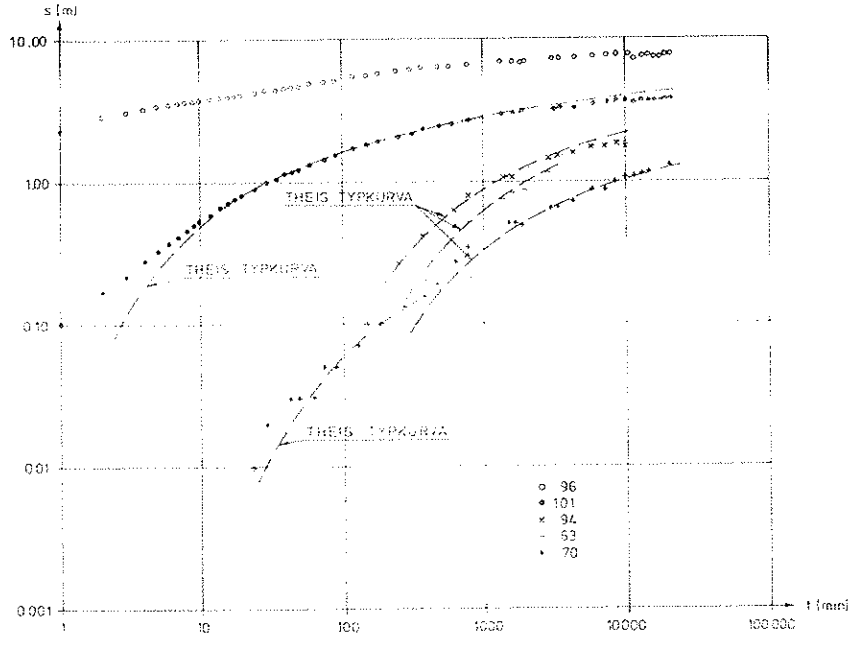


Fig 8.3.2.3 a Tolkning av avsänkningsförlopp vid korttidsprovpumpning av brunn 96 under lågvattenförhållanden. Tolkningar med Theis typkurva.

Vid återhämtningsförloppet reagerade även brunn P86 på korttidsprovpumpningen vid brunn 96. En sådan reaktion kunde inte noteras i samband med avsänkningsförloppet, eftersom uttag då pågick ur brunn P86.

Data från korttidsprovpumpningen vid brunn 96 visar att brunnen inte är belägen i den kanal som återfinns vid vattentäkten, men likväl har god hydraulisk kontakt med denna. Brunnen penetrerar däremot en akvifer med stor utsträckning och har hydraulisk förbindelse med observationsbrunnarna 63, P86, 94 och 101.

Representativa värden på denna akvifers magasinsparametrar är $T = 3.5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s och $S = 1.5 \cdot 10^{-5}$. Samtliga tolkningar framgår av tabell 8.3.2.3 a.

Tabell 8.3.2.3 a Sammanställning av hydrauliska data från korttidspumpning av brunn 96 under lågvattenförhållanden.

Tid - avsänkning

Observations-brunn	r (m)	T (m^2/s)	S	k'/m' (s^{-1})
101	116	$3.5 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$
63	970	$3.1 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	
70	1250	$2.1 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	
94	1370	$3.1 \cdot 10^{-4}$	$6.3 \cdot 10^{-6}$	$6.6 \cdot 10^{-12}$

Tid - återhämtning

Observations-brunn	r (m)	T_2 (m^2/s)	S	k'/m' (s^{-1})
101	116	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	$2.7 \cdot 10^{-11}$
70	1250	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	
94	1370	$2.9 \cdot 10^{-4}$	$6.3 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-12}$
P86	1630	$4.2 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	

Avstånd - avsänkning

Observations-brunn	t (min)	T_2 (m^2/s)	S
Samtliga	4300	$3.3 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-5}$

Korttidsdata från uttagsbrunn, avsänkning

$T = 1.9 \cdot 10^{-4}$ m^2/s $\sigma = 4.5$ $r_{wf} = 5.8$ m

Vid observationsbrunnarna 94 och 101 märks ett läckage som vid provpumpningstillfället är större vid 101 än vid 94. Läckaget vid observationsbrunn 101 härrör från det vattentillskott som erhålls från grundvattnet i de överlagrande jordlagren. Vid observationsbrunn 94 saknas jordlager, varför läckaget sannolikt förorsakas av en dränering av ett ytligare grundvattenmagasin i berggrunden.

8.3.2.4 Kortttidsprovpumpning av brunn P86

Korttidsprovpumpningarna vid P86 ger delvis svårtolkade resultat. Fig 8.3.2.4 a visar avsänkningen som funktion av tiden dividerat med kvadraten på avståndet mellan observations- och uttagsbrunn. En sådan avbildning ger en uppfattning av homogeniteten i grundvattenmagasinet.

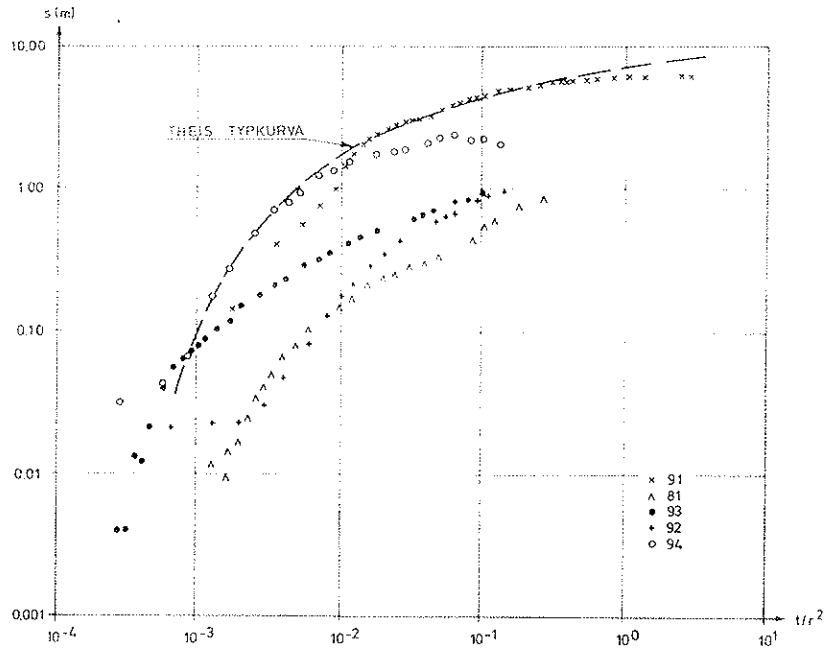


Fig 8.3.2.4 a Tolkning av avsänkningsförlopp vid korttidsprovpumpning av brunn P86 under lågvattenförhållanden. Tolkningar med Theis typkurva.

Som framgår av fig 8.3.2.4 a avviker avsänkningsförloppet vid observationsbrunnarna 91 och 94 från de övriga. Samtidigt som observationsbrunnarna 81, 92 och 93 reagerar olikformigt under avsänkningsförloppet är de opåverkade under återhämtningsförloppet. Brunn 91 och 94 reagerar dock likformigt under både avsänknings- och återhämtningsförlopp. Detta visar att observationsbrunnarna 91 och 94 sannolikt står i direkt hydraulisk förbindelse med uttagsbrunnen P86 medan 81, 92 och 93 står i ett läckagesamband med uttagsbrunnen.

Under korttidsprovpumpningen vid högvattenförhållanden var samtliga observationsbrunnar, utom 83, kraftigt påverkade av snösmältning. Observationsbrunnarna 93 och 94 var då ännu inte utförda.

I tabell 8.3.2.4 a redovisas erhållna beräknade magasinsparametrar. I medeltal torde $T = 5 \cdot 10^{-5}$ m^2/s och $S = 2.0 \cdot 10^{-5}$ vara representativa värden för magasinet. Läckagekoefficienten uppgår till ca $3.0 \cdot 10^{-11}$ s^{-1}.

Tabell 8.3.2.4 a Sammanställning av hydrauliska data från korttidsprovpumpning av brunn P86 under högvatten- och lågvattenförhållanden.

HÖGVATTENFÖRHÅLLANDE

Tid - avsänkning

Observationsbrunn	r (m)	T (m^2/s)	S	k'/m' (s^{-1})
40	2	$1.6 \cdot 10^{-5}$		
91	24	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$2.3 \cdot 10^{-5}$	
83	500	$6.0 \cdot 10^{-5}$	$3.6 \cdot 10^{-5}$	$2.2 \cdot 10^{-11}$

Tid - återhämtning

Observationsbrunn	r (m)	T (m^2/s)	S	k'/m' (s^{-1})
83	500	$6.0 \cdot 10^{-5}$	$2.6 \cdot 10^{-5}$	$3.8 \cdot 10^{-11}$

LÅGVATTENFÖRHÅLLANDE

t/r^2-avsänkning

Observationsbrunn	T (m^2/s)	S
91 och 94	$3.2 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$

Tid - återhämtning

Observationsbrunn	r (m)	T (m^2/s)	S	k'/m' (s^{-1})
94	265	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$3.4 \cdot 10^{-11}$

Korttidsdata från uttagsbrunn, återhämtning

$T = 1.2 \cdot 10^{-5}$ m^2/s $\sigma = -4.3$ $r_{wf} = 9.7$ m

8.3.2.5 Korttidsprovpumpning av brunn 95

På grund av låga T- och S-värden ger korttidsprovpumpningen vid brunn 95 endast utslag i de närbelägna observationsbrunnarna 19 och 99. Avsänkningsförloppet framgår av fig 8.3.2.5 a. Representativa värden på magasinsparametrarna är $T = 9 \cdot 10^{-7}$ m^2/s och $S = 2 \cdot 10^{-5}$ (se tabell 8.3.2.5 a).

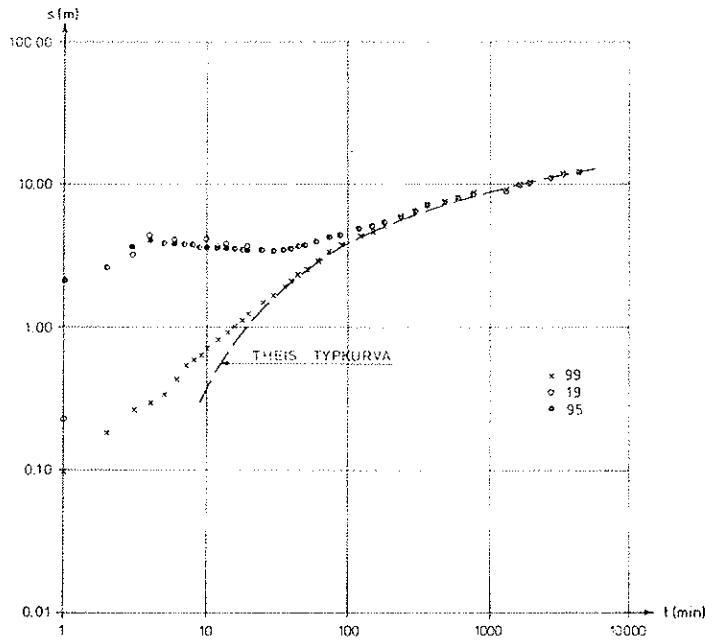


Fig 8.3.2.5 a Tolkning av avsänkningsförlopp vid korttidsprovpumpning av brunn 95 under lågvattenförhållanden. Tolkning med Theis typkurva.

Tabell 8.3.2.5 a Sammanställning av hydrauliska data från korttidsprovpumpning av brunn 95 under lågvattenförhållanden.

Tid - avsänkning

Observationsbrunn	T (m^2/s)
19, 95 och 99	$8.0 \cdot 10^{-7}$

Tid - återhämtning

Observationsbrunn	r (m)	T (m^2/s)	S
19	9.5	$1.1 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-5}$
95	24	$9.4 \cdot 10^{-7}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$

Korttidsdata från uttagsbrunn, återhämtning

$T = 5.0 \cdot 10^{-7}$ m^2/s $\sigma = -5.5$ $r_{wf} = 15.3$ m

8.3.3 Undersökningsområdets hydrauliska egenskaper

8.3.3.1 Allmänt

Resultatet från korrtidsprovpumpningen vid brunn 96 tillsammans med bl a tidigare beskrivna vattenståndsförändringar är av betydelse vid en sammanfattande bedömning av de hydrauliska egenskaperna inom undersökningsområdet. Observationsbrunnarna 63, P86 och 94 reagerade vid nämnda provpumpning trots att många observationsbrunnar på betydligt mindre avstånd från uttagsbrunnen var helt opåverkade. Orsaken till detta är skillnader i brunnsdjup.

I fig 8.3.3.1 a återfinns förhållandet mellan samtliga brunnars bottennivå och uppmätt grundvattennivå den 1 september 1977. Detta samband diskuteras ingående i avsnitt 8.1.4.

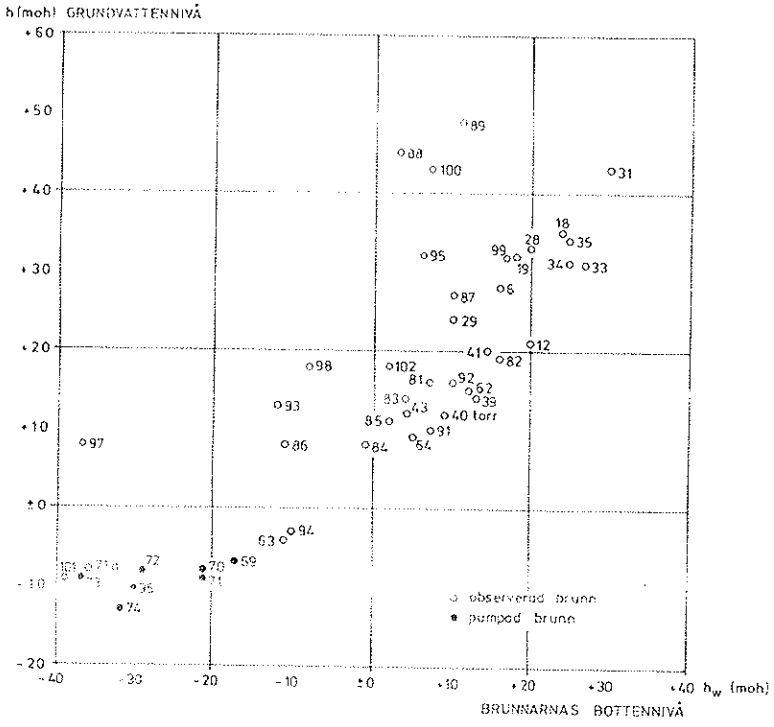


Fig 8.3.3.1 a Uppmätta grundvattennivåer 1977-09-01 i samtliga observationsbrunnar som funktion av deras bottennivåer.

Det framgår av fig 8.3.3.1 a att flertalet av observationsbrunnarna står i läckagesamband med en dränerande nivå som den 1 september var belägen ca 9 m under havsytan. Sammantaget med resultatet från korttidsprovpumpningarna visar detta att File Hajdar underlagras av ett vattenförande skikt med betydligt större genomsläpplighet än den överlagrande berggrunden.

Områdets hydrauliska funktion kan således schematiskt beskrivas som en djupt liggande akvifer överlagrad av en akvitard och inom östra delen genomsatt av en kanalformad zon med högre vattengenomsläpplighet.

Ett vertikalt snitt i öst-västlig riktning ger en schematisk bild av områdets principiella funktion (se fig 8.3.3.1 b).

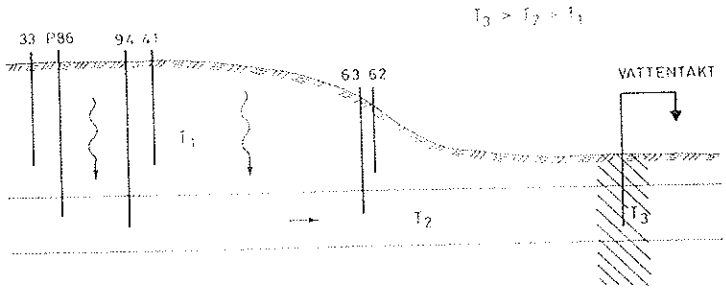


Fig 8.3.3.1 b Principsnitt genom File Hajdar i öst-västlig riktning visande de tre hydrauliska enheterna och deras inbördes samband.

8.3.3.2 Akviferen under File Hajdar

Data från korttidsprovpumpningen vid brunn 96 indikerar att akviferen har transmissiviteten $T = 3.5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s och magasinskoefficienten $S = 1.5 \cdot 10^{-5}$.

Från korttidsprovpumpningen vid brunn P86 är endast observationspunkterna 83, 91 och 94 representativa för akviferen. Enligt tabell 8.3.2.4 a är representativa värden på magasinsparametrarna $T = 5 \cdot 10^{-5}$ m^2/s och $S = 2.0 \cdot 10^{-5}$. Den hydrauliska kontakten mellan P86 och huvudakviferen är dock inte fullständig, eftersom grundvattennivån i P86 är betydligt högre än vad som motsvaras av bottennivån (se fig 8.3.3.1 a). Korttids-provpumpningen vid P86 ger därför något osäkra värden på akviferens magasinsparametrar.

Tolkningen av data från det inledande skedet vid korttidsprovpumpningen vid brunn P86 ger $T = 1.2 \cdot 10^{-5}$ m^2/s. Denna brunn står i kontakt med spricksystem, varför ett högt värde på den fiktiva brunnsradien r_{wf}

erhålls (r_{wf_2} = 9.7 m). Vid brunn 96 ger motsvarande tolkning T = $1.9 \cdot 10^{-4}$ m^2/s, r_{wf} = 5.8 m, vilket överenstämmer väl med resultatet vid P86 bortsett från att de sprickor som står i direkt förbindelse med brunn 96 har bättre hydraulisk förbindelse med det omgivande spricksystemet. Tolkningskurvorna framgår av fig 8.3.3.2 a.

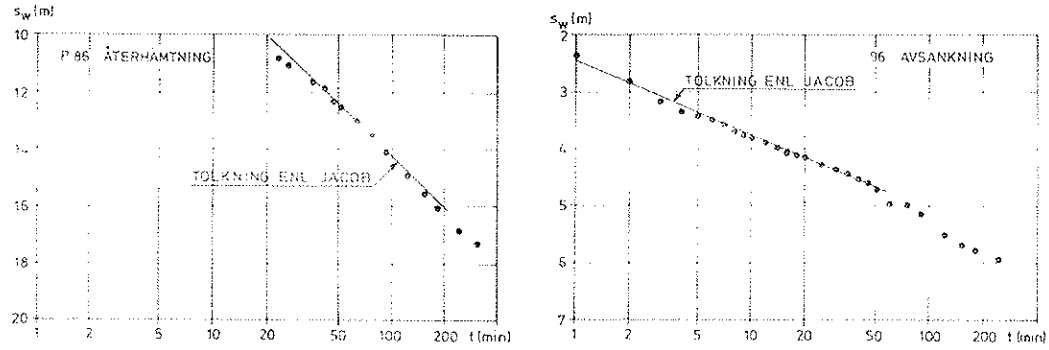


Fig 8.3.3.2 a Inledande avsänknings- respektive återhämtningsförlopp i brunnarna P86 och 96. Tolkning enligt Jacob.

Korttidsprovpumpningarna vid brunnarna P86 och 96 visar att akviferen har stor utsträckning då inga gränseffekter har kunnat iakttagas. Transmissiviteten avtar troligen mot väster, vilket kan förorsakas dels av en minskad permeabilitet, dels av en avtagande mäktighet på det vattenförande lagret.

I avsnitt 9.1 redovisas en modell över vattentransporten till och inom akviferen.

8.3.3.3 Akvitarden i den överlagrande berggrunden

Magasinsparametrarna i den övre delen av berggrunden kan bestämmas från korttidsprovpumpningen vid brunn 95 och utförda slug-tester enligt avsnitt 8.2.

De slug-tester som varit tolkningsbara visar att transmissiviteten är ytterst varierande inom området. Transmissivitetsvärdet varierar mellan $77 \cdot 10^{-6}$ och $0.9 \cdot 10^{-6}$ m^2/s. Korttidsprovpumpningen vid brunn 95 ger en magasinskoefficient på ca $2 \cdot 10^{-5}$ och en transmissivitet på ca $8 \cdot 10^{-7}$ m^2/s, vilket väl överensstämmer med resultatet från slug-testen i observationshål 19, $1.0 \cdot 10^{-6}$ m^2/s.

Tolkning av data från det inledande skedet av återhämtningsförloppet vid brunn 95 ger $T = 5 \cdot 10^{-7}$ och $r_{wf} = 15.3$ m. Det mycket låga transmissivitetsvärdet i kombination med en mycket hög fiktiv brunnsradie antyder direktkontakt med stora sprickor som har mycket liten hydraulisk kontakt medomgivande spricksystem. Inledningsskedet av återhämtningsförloppet framgår av fig 8.3.3.3 a.

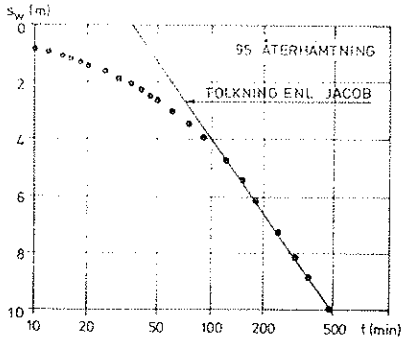


Fig 8.3.3.3 a Inledande återhämtningsförlopp i brunn 95. Tolkning enligt Jacob.

Den fiktiva radien 15.3 m kan jämföras med det identiska avsänkningsförlopp, som kunde iakttagas i uttagsbrunnen 95 och observationsbrunnen 19 på 9.5 m avstånd (se fig 8.3.2.5 a).

Transmissivitetsvärden beräknade från korttidsprovpumpningar och slug-tester ger ett mått på den horisontella genomsläppligheten. Då den huvudsakliga vattentransporten i den överlagrande berggrunden är nedåtriktad är det först och främst den vertikala genomsläppligheten som är av intresse. Trots att den vertikala och den horisontella permeabiliteten är beroende av skilda spricksystem och således sannolikt antar skilda värden, ger dock de stora variationerna i de beräknade transmissiviteterna en bild av de inhomogena förhållanden som råder i den övre berggrunden. Den vertikala vattentransporten diskuteras närmare i avsnitt 9.1.

8.3.3.4 Vattentäktsområdet

Brunnarna vid den kommunala vattentäkten är belägna i en zon med betydligt högre transmissivitet än den omgivande akviferen. Utvärdering av korttidsprovpumpningens inledande återhämtningsskede (se fig 8.3.3.4 b),innan några gränseffekter stör förloppet, ger $T = 1.0 \cdot 10^{-2}$ m^2/s. Detta innebär att zonens bredd kan uppskattas till ca 550 m och att magasinskoefficienten $S = 5.5 \cdot 10^{-5}$. Utsträckningen hos den del av sprickzonen som kunnat beläggas genom de utförda undersökningarna redovisas i fig 8.3.3.4 a.

Den hydrauliska förbindelsen mellan huvudakviferen och sprickzonen är god, men på grund av de stora transmissivitetsskillnaderna märks sprickzonens begränsningar mot huvudakviferen som negativa hydrauliska gränser under korttidsprovpumpningarna vid brunn 71 a.

Vid grundvattenuttag i sprickzonen sker ett läckage över bl a kanalens västra begränsning från huvudakviferen under File Hajdar. Med ledning av beräknade magasinsparametrar och uppmätta gradienter kan storleken på detta läckage beräknas under varierande förhållanden.

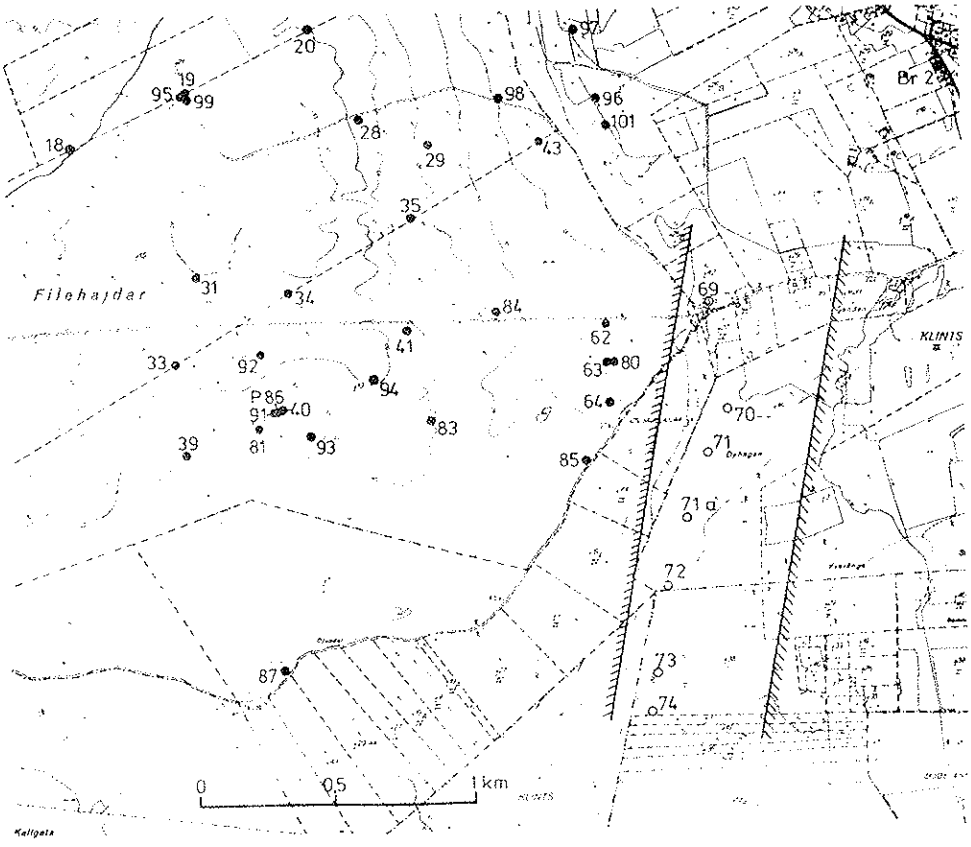


Fig 8.3.3.4 a Sprickzonen vid den kommunala vattentäkten.

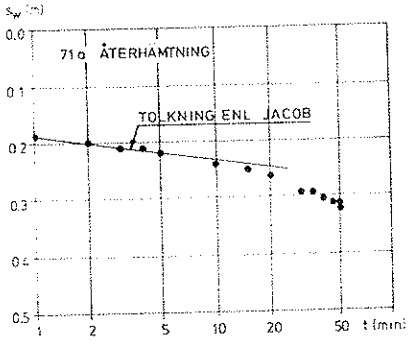


Fig 8.3.3.4 b Inledande återhämtningsförlopp i brunn 71 a. Tolkning enligt Jacob.

Den fiktiva brunnsradien uppgår till 0.92 m. Det höga transmissivitetsvärdet i kombination med den låga fiktiva brunnsradien antyder att dimensionen hos de sprickor som står i direkt förbindelse med brunn 71 a är relativt liten, men att de har mycket god kontakt med det övriga sprickssystemet.

8.4 SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER PÅ SLUG-TESTER OCH KORTTIDSPROVPUMPNINGAR

Inom området finns tre samverkande hydrauliska enheter med olika egenskaper. Vattentransporten i den övre delen av berggrunden på File Hajdar är huvudsakligen nedåtriktad mot en undre mer genomsläpplig akvifer, som i sin tur dräneras av en zon med högre genomsläpplighet vid den kommunala vattentäkten. De vid undersökningarna erhållna transmissivitetsvärdena visas i fig 8.4 a.

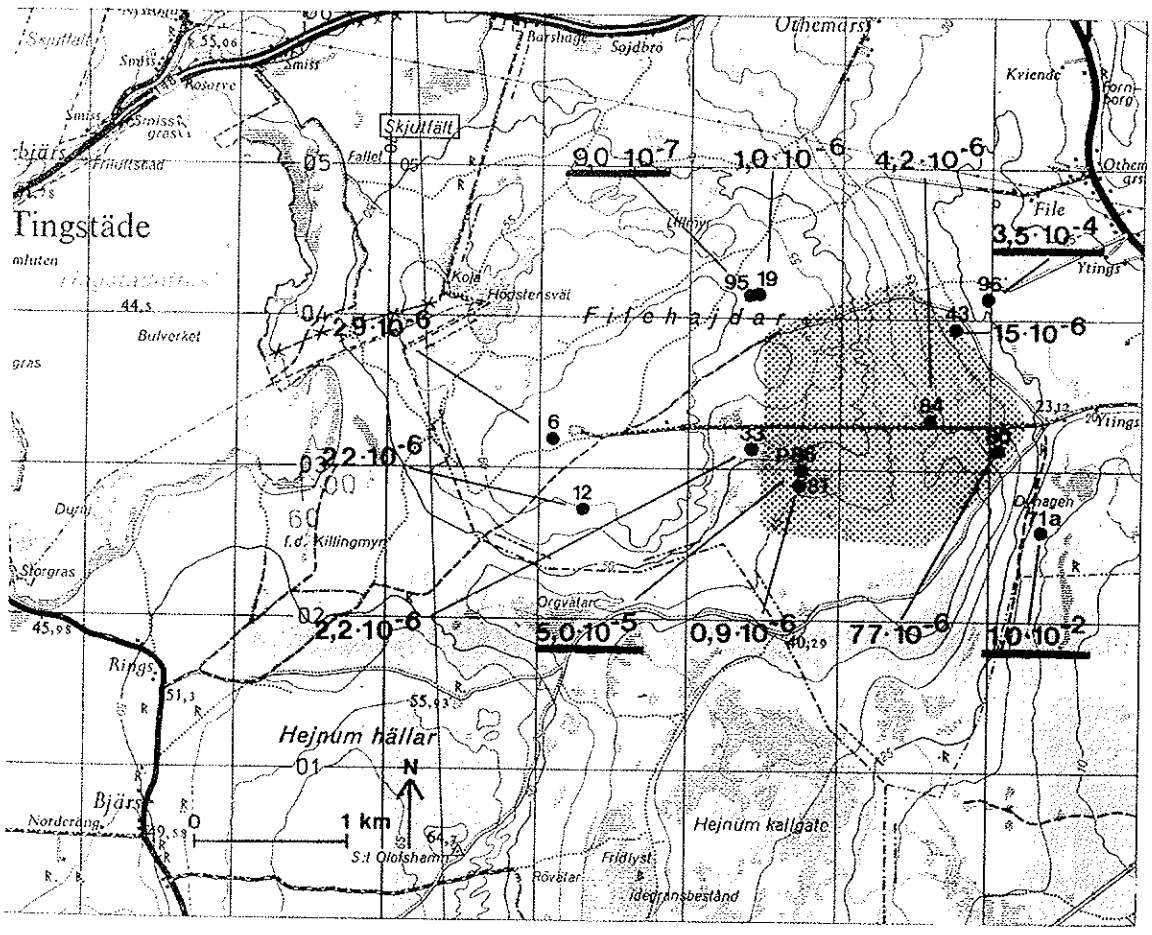


Fig 8.4 a Vid undersökningarna erhållna transmissivitetsvärden. Understruket värde från korttidsprovpumpning, icke understruket från slug-test. Området för det planerade brottet markerat med raster.

Enheternas inbördes samband kan studeras i nivådiagrammen, bil 7 och 8. Observationsbrunnarna 6 och 19 är typiska för akvitarden, P 86 och 94 för den undre akviferen och 71 a för kanalen. Vid magasinspåfyllnad i samband med den regniga perioden i slutet av juli reagerar akviferen med några dagars fördröjning jämfört med den övre akvitarden. Akviferen i kanalen reagerar med ytterligare någon veckas fördröjning. Den iakttagna kopplingen mellan de tre enheterna överensstämmer väl med vad som kan förväntas av den antagna modellen.

8.5 VISSA GRUNDVATTENKEMISKA ANALYSER

I samband med provpumpningarna togs vattenprover för kemisk analys. Proverna togs ur provpumpningsbrunnarna vid start och avbrytande av pumpningarna. Syftet med provtagningarna var att utröna, huruvida några väsentliga förändringar av kemisk beskaffenhet hos vattnet uppträdde under pumpningarna. Sådana förändringar skulle kunna bero på, att olika delar av grundvattenmagasinet skulle ha aktiverats under pumpningarna, vilket skulle ha kunnat belysa omsättningsförloppen i magasinet.

Analyser av ledningsförmåga och kloridhalt visar, att några systematiska förändringar inte inträffade. I tabell 8.5 a visas som jämförelse också motsvarande analysresultat för inläckande vatten till brotten i Slite. Av betydande praktiskt intresse är de avsevärt förhöjda kloridhalterna i brunn 96, belägen nedanför File Hajdars nordöstra sluttning. Höga kloridhalter är tidigare kända från en brunn i omedelbar närhet av brunn 96, vilken p g a den höga kloridhalten inte kunnat utnyttjas som vattentäkt. Brunnarna i Slites kommunala vattentäkt står i hydraulisk förbindelse med området vid brunn 96 men uppvisar avsevärt lägre kloridhalter, som t ex brunn 71 a (tabellen), vilken är belägen centralt i vattentäktsområdet. Orsaken till dessa väsentliga skillnader har inte utretts.

Brunn nr	Provtagningsdatum	Ledningsförmåga µmhos/cm	Kloridhalt mg/l Cl^-
P 86	770207 S	350	< 30
"	770222 A	370	< 30
"	770816 S	380	< 30
"	770830 A	388	< 30
71 a	770303 S	480	91
"	770322 A	465	61
"	770705 S	515	121
"	770802 A	610	121
95	770628 S	460	30
"	770701 A	440	30
96	770823 S	1 800	515
"	770906 A	1 400	424
V.brottet	770901	6 000	1 970
Ö.brottet	770901	5 000	1 454

Tabell 8.5.a

Ledningsförmåga och kloridhalt i vatten från File Hajdar och Slite (S = pumpstart, A = pumpavbrytning)

9 PROGNOS FÖR DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ GRUNDVATTEN- OCH YTVATTENFÖRHÅLLANDENA PÅ FILE HAJDAR

9.1 BESKRIVANDE MODELL ÖVER GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDENA PÅ FILE HAJDAR

De naturliga grundvattenförhållandena inom File Hajdar kan generellt beskrivas enligt fig 9.1 a. På ett djup av 50 - 80 m under markytan är berggrunden mer genomsläpplig än inom den överlagrande delen. Denna djupare del utgör en akvifer med en transmissivitet av ca 10^{-5} - 4 · 10^{-4} m^2/s (se avsnitt 8.3.3). Det exakta djupet till denna akvifer kan ej anges. Från djupa borrningar vid Spillings (Tullström 1955) och inom File Hajdar har en markerad bergartsgräns iakttagits vid de ovan nämnda nivåerna. Också på basis av vattenståndsfluktuationer och borrdjup (se avsnitt 8.1) kan en skillnad i hydrauliska förhållanden bedömas föreligga över respektive under denna gräns.

Grundvattenmagasinet är slutet och akviferens grundvattennivå belägen 5 - 40 m under markytan. På grund av de slutna förhållanden är magasinskoefficienten mycket låg, ca 1 - 2 · 10^{-5}, bestämd från korttidsprovpumpningar.

Endast ett fåtal observationshål når ned i denna akvifer, varför grundvattennivån i densamma endast är väldokumenterad inom begränsade delar. I fig 9.1 a har grundvattennivån schematiskt inlagts. Härvid har framförallt från topografiska och hydrologiska förhållanden grundvattendelaren antagits vara belägen vid Tingstäde Träsk.

Grundvattenbildningen till akviferen sker som ett läckage från den överlagrande akvitarden. I samband med och efter nederbördsrika perioder föreligger en skillnad i grundvattennivån mellan akvitarden och akviferen. Under naturliga förhållanden utjämnas denna nivåskillnad på 3 - 7 veckor, varvid akvitardens grundvattennivå sjunker ned till akviferens. Under antagande av att akviferens grundvattennivå ej höjs i någon större omfattning under denna utjämningsperiod, har akvitardens vertikala permeabilitet beräknats till ca 0.2 - 5 · 10^{-7} m/s vid en antagen fri sprickporositet av 0.6 - 5 · 10^{-3} (Fagerlind och Nordberg 1973).

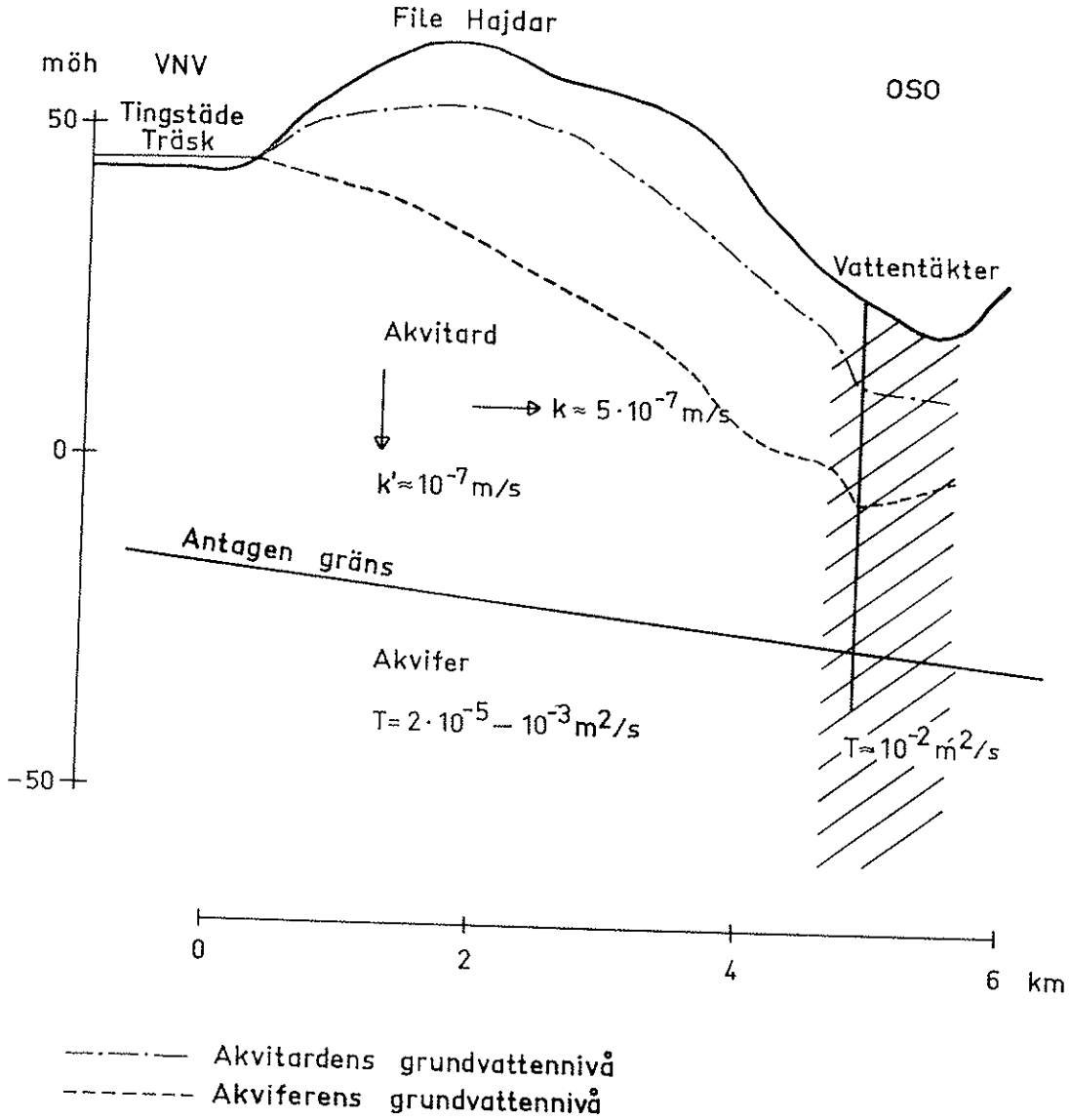


Fig 9.1 a Generell beskrivande modell över grundvattenförhållandena inom File Hajdar.

Akvitardens horisontella vattengenomsläppande förmåga har beräknats från slug-tester och korttidsprovpumpningar till $7 \cdot 10^{-7} - 10^{-5}$ m^2/s (se avsnitt 8.2 och 8.3). Vattentransporten i akvitarden är till största delen nedåtriktad, och ca 35 gånger mer vatten bedöms transporteras i vertikal led än i horisontell led inom akvitarden.

Dalgången eller "sänkan" öster om File Hajdar är troligen tektoniskt betingad. Som omnämnts i avsnitt 8.3 förekommer i denna del en i ungefär nord-sydlig riktning utsträckt zon med hög transmissivitet, ca 10^{-2} m^2/s, I denna zon, vars bredd uppskattas till ca 550 m, är den kommunala vattentäkten för Slite belägen.

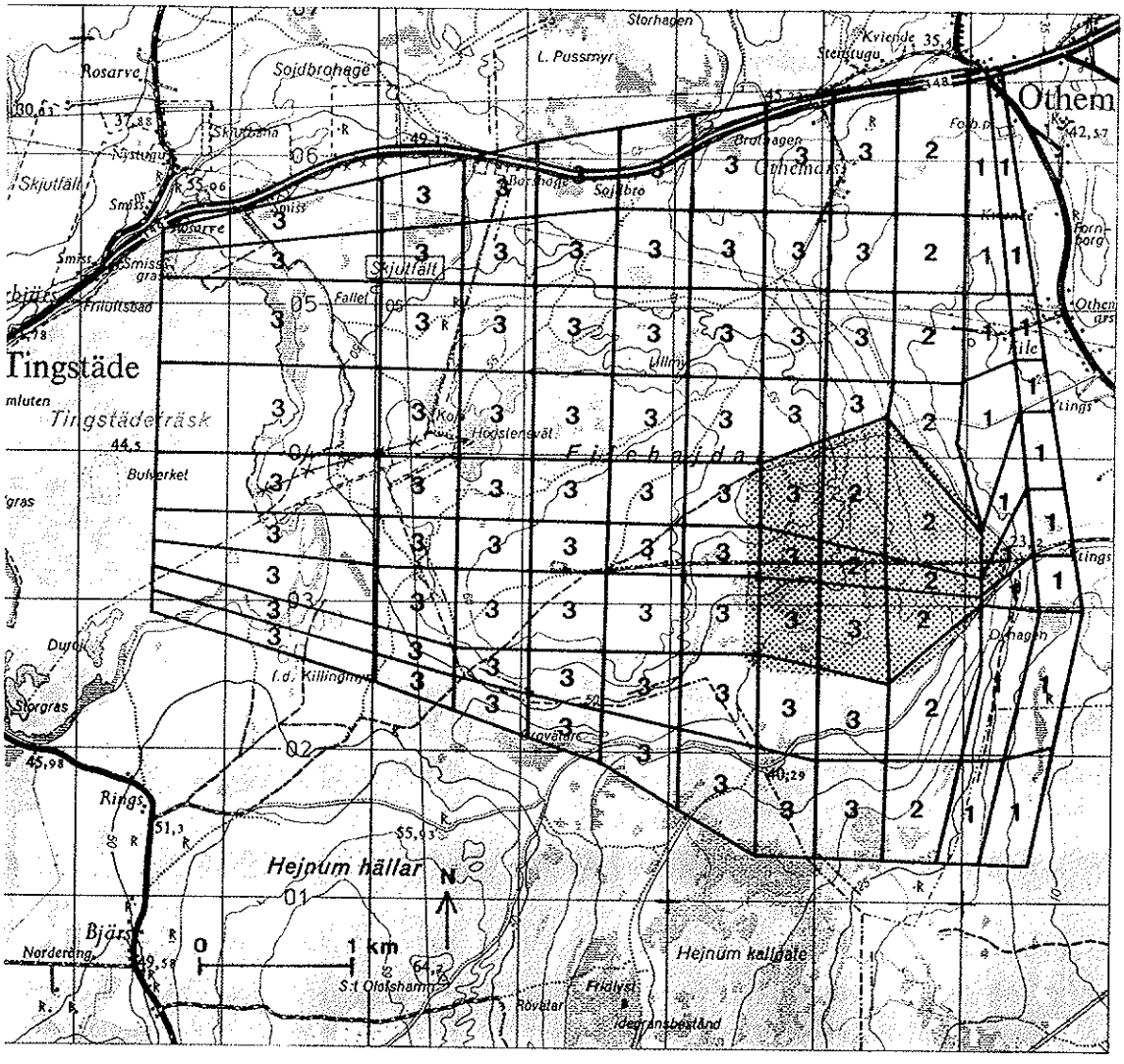


Fig 9.1 b Elementindelning i numerisk modell över File Hajdar och utnyttjade transmissivitetsvärden vid beräkning av grundvattenbildningen till akviferen. 1 = 10^{-2} m^2/s, 2 = $3.5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s, 3 = $5.0 \cdot 10^{-5}$ m^2/s. Området för det planerade brottet markerat med raster.

Med hjälp av en numerisk modell över File Hajdar som framgår av fig 9.1 b har den naturliga grundvattenbildningen till akviferen bedömts vara ca 10 mm/år. Härvid har antagits att den grundvattennivå som motsvarar låg-vattensituationen i akvitarden ger en mycket generell bild av grundvatten-förhållanden i akviferen under större delen av året. Detta innebär att hög-vattensituationen endast utbildas i akvitarden och denna situation mot-svarar förhållanden under grundvattenbildningsperioden. I den numeriska modellen har olika värden på akviferens transmissivitet ansatts inom olika områden inom File Hajdar. Dessa värden har tagits från resultat av utförda korttidsprovpumpningar. Den med hjälp av modellen framtagna kartan över akviferens grundvattennivå framgår av fig 9.1 c.

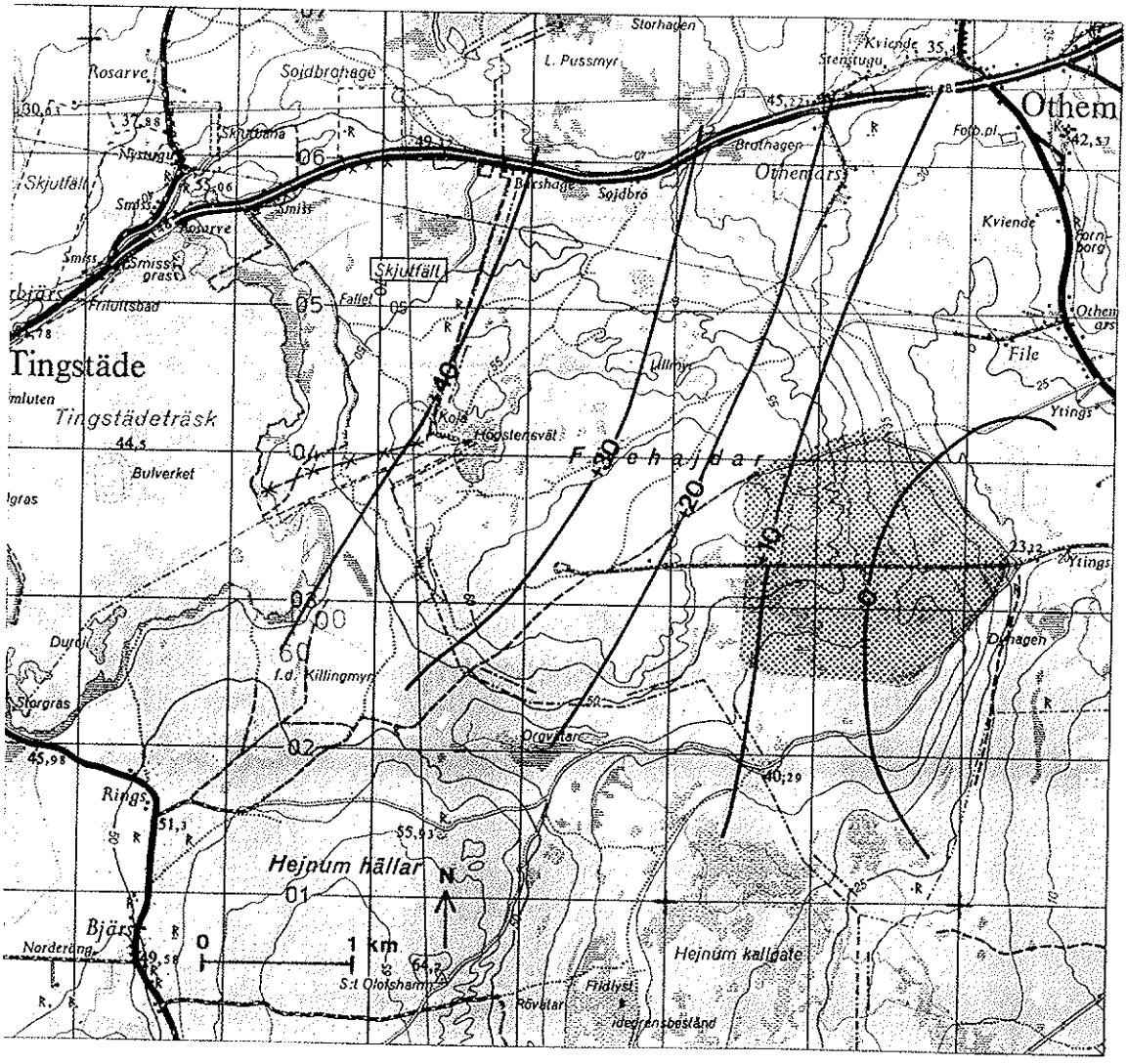


Fig 9.1 c Akviferens grundvattennivå inom File Hajdar beräknad med hjälp av numerisk modell och en antagen grundvattenbild-ning av 10 mm/år. Akviferens antagna transmissiviteter framgår av fig 9.1 a. Området för det planerade brottet markerat med raster.

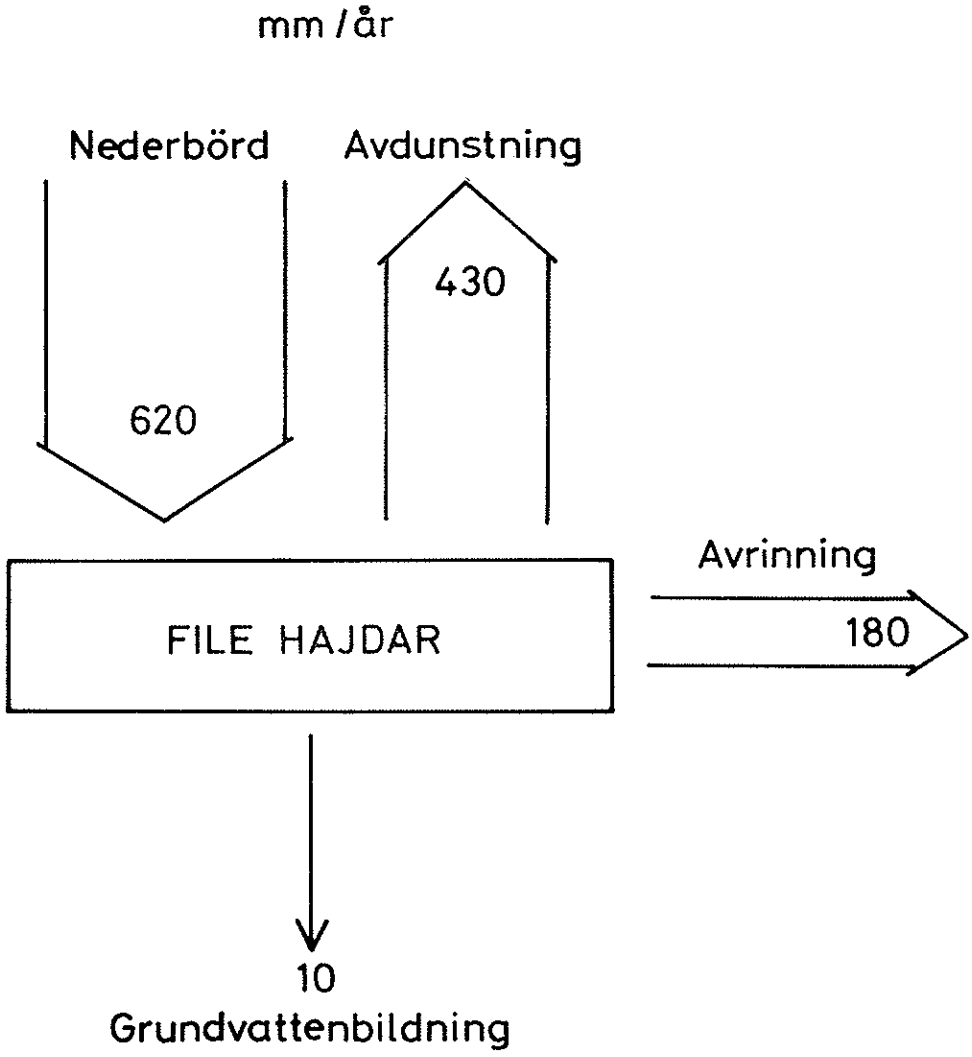


Fig 9.1 d Nederbördens fördelning på avdunstning, avrinning och grundvattenbildning inom File Hajdar.

För File Hajdar kan den i fig 9.1 d angivna fördelningen av nederbörden på avrinning, grundvattenbildning och avdunstning tjäna som en generell balansmodell. Storleken av File Hajdar-området, så som det definierats i den numeriska modellen, är ca 23 km^2. Detta innebär att den totala nybildningen av grundvatten till akviferen inom området är 2.3 · 10^5 m^3/år. Denna vattenmängd transporteras mot öster i akviferen, vilket illustreras i fig 9.1 e.

Den vattenmängd som transporteras horisontellt inom akvitarden är ca 5 · 10^3 m^3/år. Av denna vattenmängd transporteras ca 75% mot öster och 25% mot väster i akvitarden varvid de i fig 9.1 e angivna vattenmängderna erhålls.

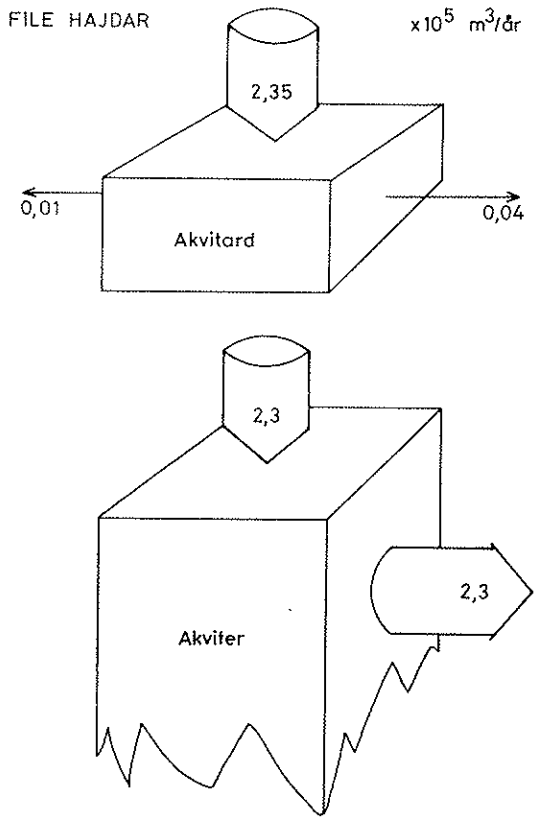


Fig 9.1 e Översiktlig grundvattenbalans inom File Hajdar.

9.2 DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ GRUNDVATTENBILDNINGEN TILL AKVIFEREN

9.2.1 Det planerade brottets utformning

I bilaga 1 har det planerade brottets läge och areella utsträckning markerats vid fullt utbruten volym år 2025. Enligt tillgänglig täktplan kommer brottets botten att vara belägen på nivån + 16 m ö h , d v s dess botten når ej ned i akviferen. En sektion genom File Hajdar, redovisad i bilaga 6 visar brottets profil vid år 2025. Det planerade brottet upptar helt utbyggt en area av ca 2 km^2.

9.2.2 Konsekvenser

Inom området för planerat brott är grundvattennivån i akvitarden under lågvattenförhållanden belägen 10 - 40 m ö h. Detta innebär att inom ca 25% av brottets area kommer dess botten att ligga på högre nivå än grundvattenytan under lågvattenförhållanden. Avståndet från bottnen till denna grundvattenyta blir maximalt ca 6 - 7 m. Inom övriga delen av brottets area kommer brottbottnen att bli belägen under nuvarande lågvattennivå. Det planerade brottets botten kommer att ligga 5 - 20 m över akviferens grundvattennivå, beräknad medelst numerisk modell, i medeltal ca 10 - 12 m.

Under högvattenförhållanden ligger akvitardens grundvattennivå 20 - 45 m ö h inom planerat brottområde.

Det planerade brottets läge och utformning kommer att ha till följd att

1 - grundvattenbildningen inom brottområdet till akviferen minskas.
2 - en avsänkning av akviferens grundvattennivå kan påräknas, varvid en ökad tryckskillnad mellan akvitardens och akviferens grundvattennivåer uppkommer inom området utanför och i anslutning till brottet. Detta innebär att grundvattenbildningen inom detta område kan öka.

Den minskade grundvattenbildningen till akviferen kan maximalt bli $2 \cdot 10^4$ m^3/år eller ca 9% av den från File Hajdar avrinnande grundvattenmängden i akviferen. Detta förutsätter att ingen grundvattenbildning är möjlig inom brottområdet. Då akviferens grundvattenyta har beräknats ligga under brottets botten, torde hydrauliskt en minskning av grundvattenbildningen med ca 10^4 m^3/år eller ca 4% av den från File Hajdar avrinnande grundvattenmängden i akviferen kunna påräknas (se fig 9.1 c).

På grund av minskad grundvattenbildning kommer akviferens grundvattenyta att avsänkas inom och i anslutning till brottområdet. Storleken av denna avsänkning har beräknats med hjälp av den tidigare angivna numeriska modellen (se fig 9.1 a) och redovisas i fig 9.2 a. Denna avsänkning innebär teoretiskt att grundvattenbildningen till akviferen inom påverkat område kan öka, dock under förutsättning att akvitardens grundvattennivå på grund av brottet ej förändras med större belopp än grundvattennivån i akviferen (se avsnitt 9.3). Den ökning i grundvattenbildning som teoretiskt kan förväntas bedöms bli ca 700 m^3/år.

Det planerade brottet innebär att grundvattenbildningen till akviferen totalt sett minskar.

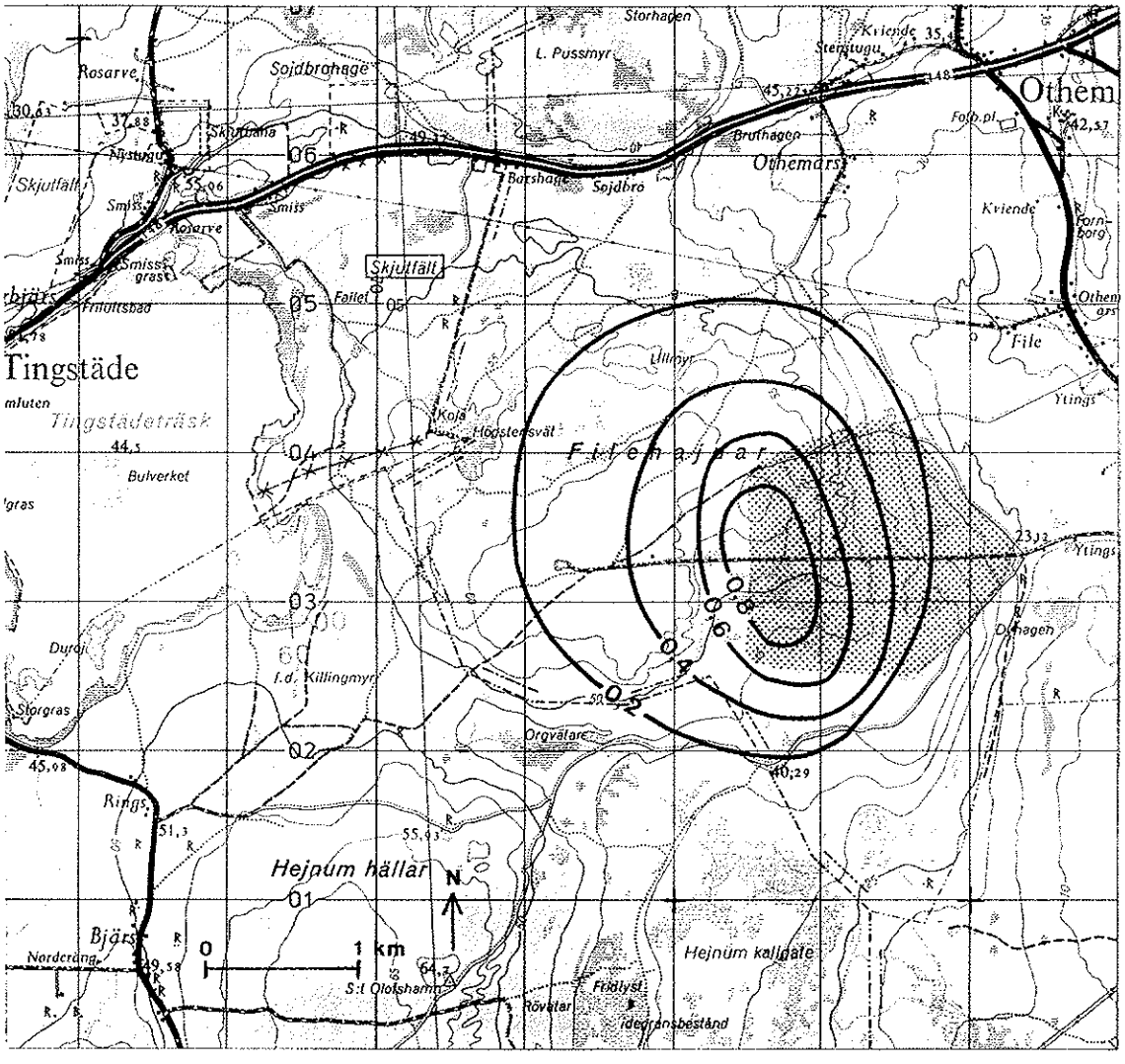
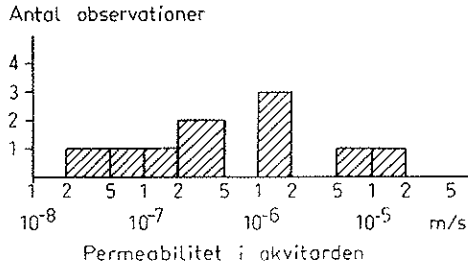


Fig 9.2 a Beräknad sänkning i meter av akviferens grundvattennivå orsakad av planerat brott. Beräkningen utförd med hjälp av numerisk modell. Området för det planerade brottet markerat med raster.

9.3 DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ GRUNDVATTENNIVÅN I AKVITARDEN

Det planerade brottet kommer att avsänka grundvattennivån i akvitarden inom en zon runt brottet. Utsträckningen av detta område beror av ett flertal faktorer såsom kalkstenens vattengenomsläppande förmåga, grundvattenbildningens storlek, den naturliga grundvattenytans gradient in mot det påverkade området, samt storleken av grundvattenavsäkningen vid brottet.



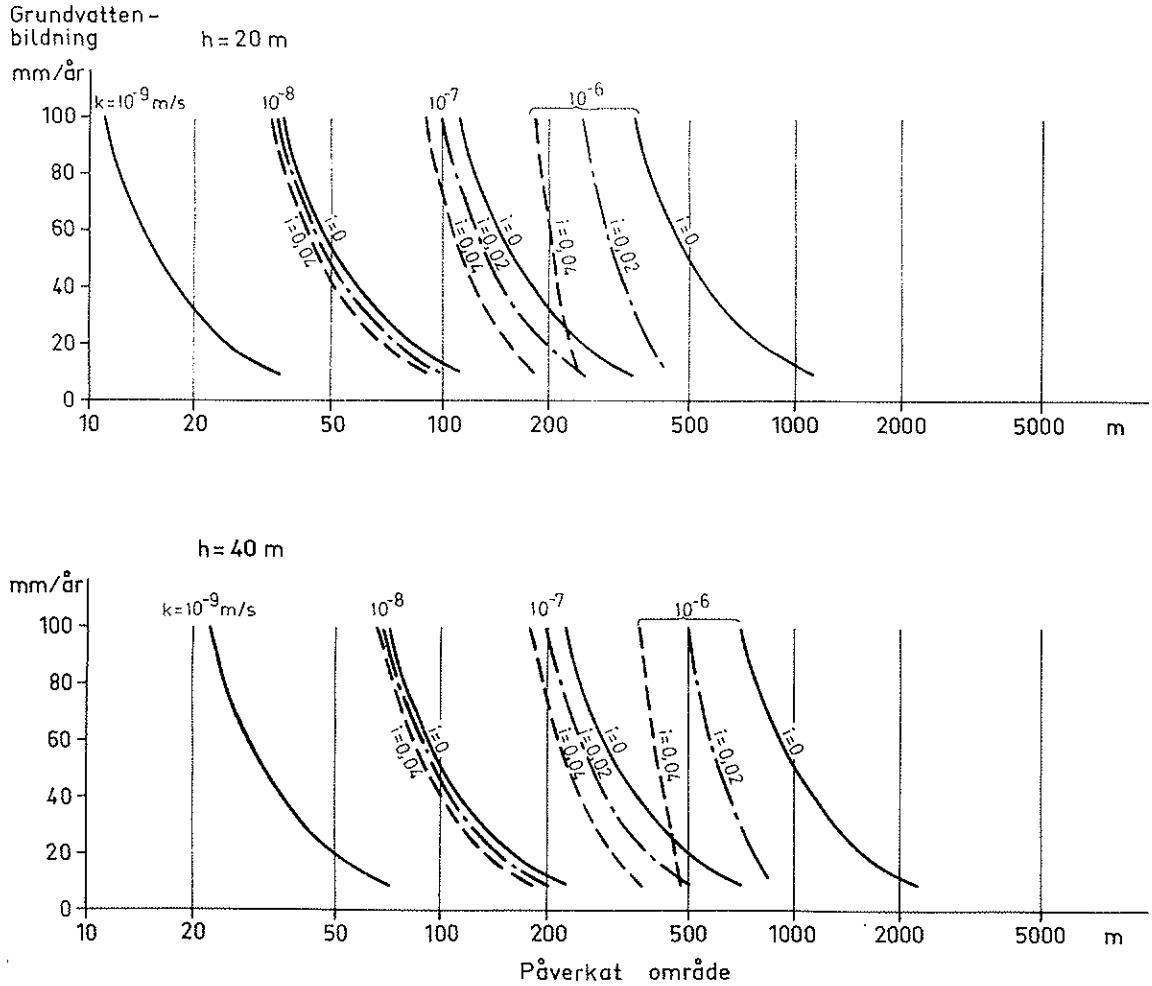


Fig 9.3 a Storleken av det område inom vilket akvitardens grundvattennivå beräknas bli påverkad av planerat brott, som funktion av permeabilitet, grundvattenbildning samt den naturliga grundvattenytans lutning in mot det påverkade området.

I fig 9.3 a har för två olika värden på grundvattenavsänkningen sambandet mellan utsträckningen av påverkat område och övriga faktorer angetts. Till grund för beräkningarna av redovisade samband ligger antagandet att kalkstenen kan betraktas som homogen. Så är dock inte fallet, då inom begränsade områden stora variationer i homogeniteten finns. Sprickmätningarna redovisade i avsnitt 6.1.2 visar att förekomst av denna form av inhomogeniteter är så vanlig, att med den utsträckning som brottet planeras få, d v s mer än en kilometer i längsled, kan för överslagsberäkningar rörande grundvattenpåverkan kalkstenen betraktas som homogen enligt det i fig 9.3 b redovisade diagrammet efter Rats och Chernyashov (1967).

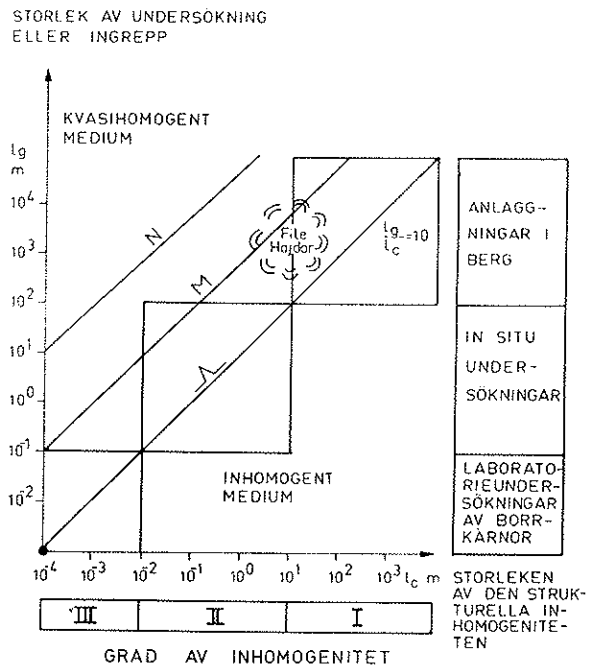


Fig 9.3 b Sambandet mellan storleken av den strukturella inhomogeniteten och storleken av ett ingrepp i ett bergmassiv vid antagande av inhomogent resp kvasihomogent medium (efter Rats och Chernyashov 1967). N = lognormalfördelning, M = maxwellfördelning, Λ = normalfördelning.

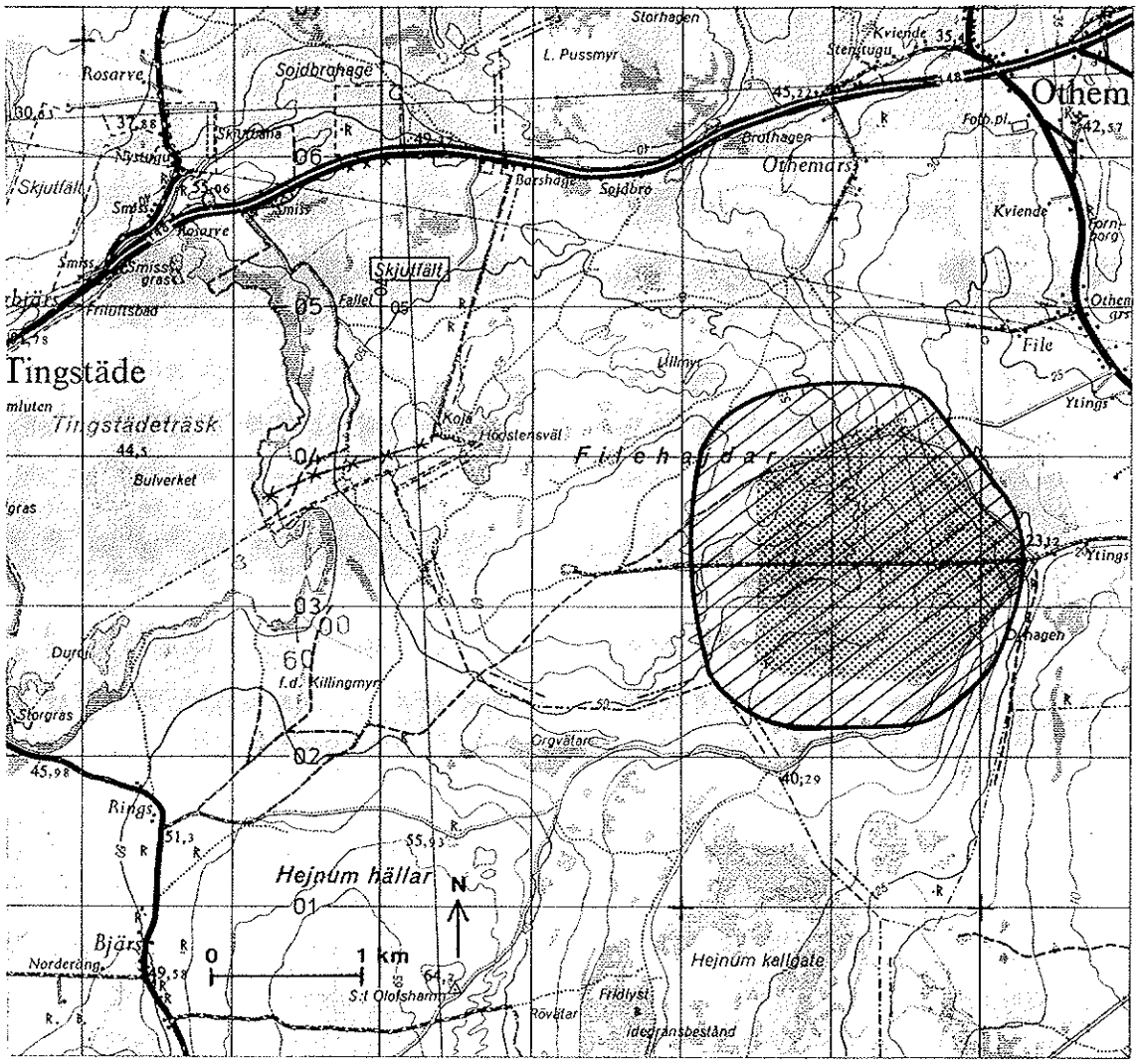


Fig 9.3 c Område som bedöms bli påverkat av grundvattensänkning i akvitarden till följd av planerat brott (brottet i raster). Områdets storlek bedömt vid permeabilitet av $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Vid en grundvattenbildning av 10 mm och en permeabilitet av 10^{-8} - 10^{-6} m/s erhålls en påverkan som vid 20 m avsänkning vid brottet sträcker sig 90 - 1100 m från brottet. På grund av brottets dränerande inverkan kommer infiltrationen till akvitarden inom det påverkade området att öka och det påverkade områdets utsträckning att minska. Som ett medelvärde på kalkstenens horisontella permeabilitet kan, utgående från slug-tester och provpumpningar, värdet $5 \cdot 10^{-7}$ m/s ansättas. I fig 9.3 c har den zon (200 - 400 m från brottkanten) som bedömts bli påverkad av grundvattensänkning markerats under antagande av en permeabilitet hos kalkstenen på $5 \cdot 10^{-7}$ m/s. Förekomster av större sprickzoner etc kan ge avvikelser från det i figuren angivna påverkade området. Den i avsnitt 6.1.2 omnämnda ostvästlig sprickan har vid undersökningarna inte visat sig ha

någon särskild inverkan på avsänkningsförlopp o d. En tektonisk zon med 1000 gånger högre permeabilitet än vad som angivits som medelpermeabilitet för akvitarden skulle överslagsmässigt innebära en påverkan inom ett avstånd av 700 - 1000 m från brottkanten.

9.4 DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ YTVATTENAVRINNINGEN

Ytvattenavrinningen på File Hajdar i anslutning till brottet kommer att förändras på följande sätt:

1 - En direkt tillrinning från omkringliggande högre partier kommer att ske in i brottet. Genom lämpliga åtgärder kan detta vatten ledas förbi brottet.
2 - En minskad direkt ytavrinning kommer att uppstå nedströms brottet.
3 - En avledning av vatten kommer att ske från brottet, som jämfört med avrinningen från motsvarande nuvarande område, är större beroende av
   a) frånvaro av vegetation och därmed minskad evapotranspiration
   b) minskad grundvattenbildning
   c) tillskott av inläckande grundvatten (se avsnitt 9.8)

Storleken av de båda först nämnda förändringarna är svår att ange i reella tal dels då direkta mätningar av nuvarande avrinning saknas, dels då lokal utformning av dräneringssystem i anslutning till brottet påverkar storleken. För området omedelbart nedströms brottet minskar dock avrinningen med ca $3.6 \cdot 10^5$ m^3/år motsvarande den direkta ytavrinningen (180 mm/år) från den fullt utbyggda brottarean (2 km^2).

9.5 DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ MARKNÄRA MAGASIN OCH ÖVERSILNINGSMARKER

I den zon, inom vilken grundvattnet i akvitarden avsänks runt brottet kan en viss inverkan på de marknära vattenmagasinen och översilningsmarkerna teoretiskt ske. Omfattningen av påverkan går ej att kvantitativt ange i form av minskade vattenmängder etc. Generellt kan dock sägas att

de marknära magasinen saknar direkt kontakt med grundvattnet. De utgör tillfälliga vattensamlingar inom berggrundens övre del och i jordarterna, vilka efter påfyllning kan bilda grundvatten eller avdunsta. Någon inverkan på dessa kan inte förutses annat än genom direkt dränering omedelbart intill brottkanten.

Vissa översilningsmarker torde vara betingade av marknära magasin och för dessa kan någon inverkan av brottet ej förutses. Permanenta eller under längre tid uppträdande källor är direkt beroende av grundvattenförhållandena i akvitarden. Sådana egentliga källor är ej kända från File Hajdar.

9.6 DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ VATTENTÄKTERNA

Den kommunala vattentäkten för Slite samhälle är belägen i den tidigare beskriva kanalformade delen med förhöjd transmissivitet i akviferen. Genom vattenståndsobservationer norr om den genom provpumpning fastställda delen av nämnda zon, kan förmodas att zonen har en fortsatt utbredning mot norr. Dess utbredning i sidled torde dock vara lika begränsad som vid vattentäkterna. Även mot söder finns indicier på en fortsättning åt detta håll. Såväl seismiska profiler vid Hejnum Hällar som de topografiska förhållandena pekar på detta.

Genom den större transmissivitet som genom provpumpningen fastställts för nämnda zon är också den avsänkningsbild som grundvattenuttaget orsakar utdragen i nord-sydlig riktning. Till denna zon inkommer från väster det grundvattenflöde i akviferen som utgör grundvatten bildat inom File Hajdar. Antas allt det inkommande vattnet som för närvarande bildas inom blivande brottområde nå vattentäkten, utgör detta ca 6% av vattentäktens nuvarande kapacitet. Genom det planerade brottets tillkomst torde en minskning i grundvattentillskott till vattentäkterna av samma storleksordning kunna påräknas, d v s ca 0.6 - 1 l/s. Sänkningen av vattentäktens kapacitet kommer dock att bli mindre, då en del av bortfallet kompenseras med ökad grundvattenbildning inom vattentäktens influensområde.

9.7 DET PLANERADE BROTTETS INVERKAN PÅ TINGSTÄDE TRÄSK

Tingstäde Träsk är en mycket grund sjö med vissa igenväxningstendenser. Enligt en detaljerad djupkarta (Munthe et al 1925) är dess djup i allmänhet endast ca 1 m med ett största djup på mindre än 2 m. Dess botten utgörs av postglaciala sediment, framför allt olika typer av kalkgyttja. En profil genom drygt 5 m sådana organogena avlagringar finns beskriven av Munthe et al 1928. Det visas också att sedimenten påträffats längs hela bottnen från västra till östra stranden. Vid det s k Stordjupet nära östra stranden är emellertid sedimenten avsevärt tunnare. I den omnämnda profilen underlagras sedimenten av morän.

Ur praktisk synvinkel kan kalkgyttjorna betraktas som ogenomsläppliga för vatten, medan moränen är mycket svårgenomsläpplig. Förekomsten av dessa jordarter i bottnen av Tingstäde Träsk gör att vattenutbytet mellan sjön och underliggande berggrund är mycket litet. Endast i själva strandzonen kan ett sådant utbyte av större omfattning äga rum, om gradienterna medger detta.

Enligt grundvattenkartorna (bil 4 och 5) föreligger en grundvattendelare i akvitarden mellan Tingstäde Träsk och östra delen av File Hajdar. Under lågvattensituationen är grundvattendelaren svagt utbildad och belägen nära sjön, medan den under högvattensituation är mycket markant och intar ett mer östligt läge. Dess exakta karaktär kan emellertid inte beskrivas på grundval av existerande iakttagelsematerial. Detta gäller särskilt för lågvattensituationen. Närvaron av en grundvattendelare mellan Tingstäde Träsk och akvitarden inom östra File Hajdar omöjliggör vattentransport i akvitarden mellan dessa områden, om berggrundens genomsläpplighet eljest skulle medgett en sådan strömning. Det planerade kalkstensbrottet kommer enligt beräkningarna inte att förändra grundvattendelaren för akvitarden vare sig under hög- eller lågvattenförhållanden.

De analyser som gjorts av insamlat material om berggrundens hydrauliska egenskaper visar, att en vertikal strömningskomponent är helt dominerande inom File Hajdars övre delar. Någon lateral strömning av betydelse äger inte rum.

Vid högvatten i akvitarden, d v s under 7 - 9 månader av året, kommer ytvatten och marknära grundvatten att dräneras till Tingstäde Träsk som tidigare. Under lågvatten sker sannolikt ingen transport av grundvatten mellan File Hajdar och sjön utom i samband med tillfälligt riklig nederbörd, då sjön kan få ett mindre tillskott av vatten från File Hajdars västra sluttning.

Som nämnts under avsnitt 9.7 torde grundvattendelaren för akviferen under File Hajdar vara belägen vid Tingstäde Träsk. Det absoluta höjdläget på denna vattendelare har ej kunnat fastställas. Ett läge som motsvarar träskets vattenyta eller något lägre medför att teoretiskt en viss vattenmängd tillförs akviferen som läckage från Tingstäde Träsk.

Den minskade grundvattenbildningen till akviferen och i samband härmed även avsänkning av dess grundvattennivå kan ej förutses få någon påverkan på storleken av det eventuella vattenläckaget från Tingstäde Träsk till akviferen.

9.8 INLÄCKANDE VATTENMÄNGDER TILL DET PLANERADE BROTTET

Cementas nuvarande kalkstensbrott vid Slite har en omkrets av ca 2.4 km. Uppskattningsvis torde brotthöjden vara 20 - 40 m. Den uppumpade vattenmängden från detta brott var under aug - dec 1970 i medeltal ca 2 050 m^3/dygn (24 l/s). Detta brott är beläget så nära havet, att en viss salthalt i inläckande vatten kan spåras. Vidare har kalkstenen där en annan sprickighet än inom File Hajdar-området. Det påverkade området runt nuvarande brottet är dessutom mer vegetationsklätt och en större grundvattenbildning torde ske inom detta område jämfört med File Hajdar-området.

Från det planerade brottet kommer på grund av nederbörd i medeltal ca 1 000 m^3/dygn att behöva avledas. Storleken av inläckande grundvattenmängd är svår att uppskatta. En ökning av infiltrationen till akvitarden runt brottet på grund av brottets inverkan på grundvattenytan i akvitarden kan förväntas varvid ett ökande vattenläckage in till brottet erhålls. Uppskattningsvis bedöms ca 10 l/s eller ca 800 m^3/dygn läcka in i det planerade brottet vid full utbyggnad.

Totalt torde således en vattenmängd av knappt 2 000 m^3/dygn i medeltal behöva avledas från det planerade brottet vid full utbyggnad.

Genom verksamheten inom det planerade brottet, d v s borrning, sprängning, lastning etc kommer vattnet från brottet att kvalitativt påverkas. Förhöjda halter av suspenderat material samt kväve från sprängningarna kan påräknas. Vattnet från planerat brott kan ev vara lämpligt för konstgjord grundvattenbildning inom File Hajdar-området för att på så sätt öka grundvattentillgången. Detta fordrar dock att kvaliteten är tillfredsställande samt att lämpligt område finns för infiltration. Suspenderat material i vattnet måste reduceras för att undvika igensättning av infiltrationsanläggningarna, som också måste ges en ändamålsenlig utformning. Kommer vattnet från planerat brott att innehålla alltför höga kvävehalter, måste detta beaktas vid bedömning av huruvida konstgjord grundvattenbildning skall utnyttjas eller ej.

Det torde medföra praktiska svårigheter att infiltrera vattnet inom File Hajdar-området. En möjlig väg att avleda vattnet är pumpning till Tingstäde Träsk, som då samtidigt erhåller ett icke föraktligt tillskott i vattentillförseln.

10 REKOMMENDERADE ÅTGÄRDER I SAMBAND MED DEN PLANERADE KALKSTENSBRYTNINGEN

10.1 BROTTETS DJUP OCH UTSTRÄCKNING

Minskningen i grundvattenbildning till akviferen är direkt proportionell mot brottets areella utsträckning. Som framgår av avsnitt 9 är den bedömda inverkan från minskningen i grundvattenbildning av liten omfattning vad gäller vattentäkterna och försumbar, om någon alls, på Tingstäde Träsk. En minskad brottarea kommer givetvis att minska de konsekvenser som redan nu kan bedömas som små, men minskningen blir endast marginell.

Om akviferens grundvattenyta når upp till brottets botten eller över densamma erhålls ett gott skydd mot eventuell förorening av akviferens grundvatten. På grund av frånvaro av nedåtriktat vattentryck i akvitarden under större delen av brottbottnen kan under 7 - 9 månader av året någon vattentransport nedåt ej förekomma. Under lågvattenförhållanden kan under den östligaste delen av brottet ett nedåtriktat tryck föreligga. Exakt var akviferens grundvattennivå är belägen under låg- respektive högvattenförhållanden inom planerat brottområde har ej varit möjligt att i detalj fastställa. De beräkningar som utförts bl a med hjälp av numerisk modell visar att lågvattennivån är belägen mellan nivåerna -5 och 10 m ö h. Observationer i de djupaste borrhålen i anslutning till planerat brottområde visar motsvarande nivåer på ca 0 - 15 m ö h (observationshål 63, 94 och P86). Skulle dessa låga nivåer vara representativa för akviferens grundvattennivå inom planerat brottområde kan föroreningsrisken minska om brottets bottennivå ytterligare sänks. Brottbottnens optimala nivå i detta avseende kan inte bestämmas förrän resultat från mätningar enligt det föreslagna kontrollprogrammet föreligger.

Under den inledande brytningsperioden nås inte den önskade djupa bottennivån direkt, varför föroreningsrisken under den tiden ur hydraulisk synvinkel är större än när den djupa nivån uppnåtts.

10.2 SKYDD M M FÖR VATTENTÄKTERNA

Vad som under föregående avsnitt omtalats beträffande djupet av planerat brott gäller först och främst skyddet av vattentäkterna vad gäller föroreningsrisker.

Skydd av vattentäkterna för minskad vattentillgång genom exempelvis konstgjord grundvattenbildning torde tekniskt ställa sig svårt, då lämpliga områden för infiltration av vatten för närvarande ej kan bedömas föreligga. Som nämnts i avsnitt 9.6 minskar grundvattenflödet från File Hajdar. För att kompensera denna minskning och samtidigt behålla samma kapacitet hos vattentäkten kan en ytterligare avsänkning av grundvattennivån eventuellt medföra kvalitetsförändringar genom exempelvis ökad kloridhalt. Några betraktelser över risken härför har dock inte genomförts i denna rapport.

Övervakning av vattenkvaliteten i den kommunala vattentäkten förutsätts fortgå som tidigare i kommunens regi.

10.3 GEOVETENSKAPLIG DOKUMENTATION

Cementa AB har enligt regeringens skrivelse av 1976-07-22 åtagit sig att bekosta sådan geovetenskaplig dokumentation, som bedöms angelägen för tillvaratagande av värdefull information och som begärts av SGU.

I avsnitt 6 har översiktligt vissa geovetenskapliga drag belysts. För den kvartärgeologiska forskningen torde särskilt landhöjningsfenomenen såsom de framträder i strandbildningar på framför allt File Hajdars östra sluttning vara av intresse. Detaljerna i Östersjöbäckenets utvecklingshistoria efter istiden är fortfarande outredda. Ett noggrant studium av strandbildningarna runt File Hajdar kan bidraga till ett klarläggande av vissa frågeställningar.

En serie ost - västliga, smala dalgångar nedskurna i berggrunden har tidigare översiktligt beskrivits. Dessa dalgångars ursprung är inte helt klarlagt. Ett studium av dessa kan t ex kasta ljus över isavsmältningsförloppet på Gotland.

Intresse tilldrar sig också de markfenomen i form av stenpolygoner och andra typer av rutmark som är rikligt förekommande på File Hajdar.

En fortlöpande dokumentation under brytningens gång av de hydrogeologiska förhållandena i och i anslutning till brottet är också angelägen.

Den geovetenskapliga dokumentationen förutsätts bli utförd under ledning av Sveriges geologiska undersökning, som besitter den erforderliga kompetensen för denna typ av verksamhet.

10.4 KOMPLETTERING AV SGU:S REFERENSNÄT FÖR NATURLIGA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

SGU gör sedan 1967 systematiska observationer av grundvattennivåer och grundvattentemperatur inom ett område innefattande File Hajdar och del av Hejnum Hällar. Tyngdpunkten ligger på File Hajdar. Observationsstationerna ingår i ett rikstäckande nät med syfte att bl a utgöra långsiktig referens för av människan opåverkade grundvattenförhållanden. Två av de fem utnyttjade observationsstationerna kommer att falla inom det planerade brottets yta. Som kompensation för detta bortfall bör 2 - 3 nya observationshål borras på Hejnum Hällar, vilka kan garantera fortsatt studium av ostörda grundvattenförhållanden. Cementa AB har åtagit sig att bekosta en sådan komplettering.

Genom den borrning av nya hål på File Hajdar, som utförts under utredningsarbetet, kan en värdefull komplettering av SGU:s observationsnät på egentliga File Hajdar göras. Den större diametern på de nya borrhålen medger en mer tillförlitlig observation av grundvattennivåer bl a genom att automatiskt skrivande mätapparatur lättare kan installeras och få bättre funktion i vida borrhål än i smala borrhål. Flera av de nya borrhålen kan ingå i både SGU:s riksnät och i ett kontrollnät för täktverksamheten (se avsnitt 11).

11 FÖRSLAG TILL KONTROLLPROGRAM

Det planerade kalkstensbrottet på File Hajdar kommer att medföra vissa förändringar i vattenförhållandena. Ett program för kontroll av dessa måste därför upprättas i god tid före täktverksamhetens början och i samråd med berörda parter såsom Cementa AB, Gotlands län och kommun, SGU och företrädare för naturvårdsintressen. Genom kontroll av bl a grundvattenförhållandena kan eventuella förändringar tidigt observeras och nödvändiga motåtgärder sättas in för att förhindra eller minska störningar. Data från ett relevant kontrollprogram kan också brukas för prognosticering av vissa typer av förändringar som t ex långsiktig grundvattensänkning eller föroreningsspridning. Detaljerna i ett sådant program kan inte formuleras förrän ingreppets omfattning är fastställd i täktplan och täkttillstånd. Kontrollprogrammet måste också omprövas periodiskt, t ex i samband med etappvisa täktplaner, under hela brytningstiden. Vissa allmänna minimikrav kan redan nu ställas på kontrollprogrammets omfattning.

För kontrollverksamheten nödvändiga nederbördsuppgifter förutsätts kunna erhållas från SMHI:s befintliga observationsnät. Av största vikt i detta sammanhang är att nederbördsstationen Rings får äga bestånd.

11.1 LÄCKAGE TILL DET PLANERADE BROTTET

I avsnitt 9.8 har inläckningen till brottet belysts. Omfattningen av denna inläckning måste övervakas.

11.1.1 Vattenmängder

Någon exakt kontroll av inläckande vattenvolymer är inte möjlig att utföra. Det från brottet utpumpade vattnet motsvarar emellertid i stort sett inläckande vatten jämte nederbörd. Avdunstningsförlusterna i brottet kan endast grovt uppskattas. Utpumpade vattenmängder måste därför fortlöpande registreras och sammanställningar av data regelbundet göras.

11.1.2 Vattenkvalitet

Det från brottet utpumpade vattnet bör regelbundet provtagas för viss kemisk analys. En minimianalys bör omfatta parametrarna klorid, nitrat och suspenderat material. Ett eventuellt utvidgat analysprogram kan formuleras, då frågan om vart vattnet skall avledas är löst.

11.2 GRUNDVATTENNIVÅER

Grundvattennivåerna i anslutning till brottet måste fortlöpande övervakas. Föreliggande utredning visar att tre hydrauliskt olika enheter finns i File Hajdar-området, vilka ingående beskrivs i avsnitt 8 och 9. Grundvattennivåerna i samtliga tre enheter måste övervakas. Mätningar bör utföras regelbundet ungefär var fjortonde dag och sammanställas på överskådligt sätt. Programmet skall träda i kraft senast ett år innan kalkbrytningen startas.

11.2.1 Akvitarden

Det under provpumpningsperioderna utnyttjade observationsnätet är tillfyllest för kontroll av grundvattnets variationer i akvitarden. I ett långsiktigt mätprogram bör följande brunnar ingå: 1, 6, 12, 18, 28, 33, 39, 43, 80, 82, 84, 85, 87, 95, 100 och 102.

11.2.2 Akviferen

Akviferen under File Hajdar är belägen på ett sådant djup att endast ett fåtal brunnar med säkerhet når ned i den. Av befintliga borrhål kan följande anses representera akviferen: 63, P86, 94 - eventuellt också 93. I västra delen av File Hajdar saknas djupa brunnar, varför två nya borrhål bör utföras på sluttningen mot Tingstäde Träsk. Dessa borrhål bör borras åtminstone till nivån -20 m ö h. Därmed skulle fem eller sex brunnar representerande akviferen under File Hajdar kunna ingå i observationsprogrammet. Behovet av ytterligare observationsmöjligheter i akviferen får bedömas, då resultat av de två föreslagna brunnarna utvärderats.

11.2.3 Vattentäktsområdet

Förutom att produktionsbrunnarna i vattentäkten även i framtiden skall kontrolleras på vanligt sätt enligt kommunens mätprogram, bör vissa brunnar, ur vilka pumpning ej sker, ingå i kontrollprogrammet. Brunn 96 norr om vattentäkten kan tjäna ett sådant syfte. Två nya observationsbrunnar bör borras: en i själva kedjan av produktionsbrunnar, t ex mellan brunn 71a och 72, och en ca 500 m söder om brunn 74. Observationsprogrammet för vattentäktsområdet bör kompletteras med mätningar i brunn 123 (= Br 23) norr om File Hajdar och utarbetas i samråd med Gotlands kommun.

11.3 YTVATTENFÖRHÅLLANDEN

11.3.1 Vatten från det planerade brottet

I den mån utpumpat vatten från brottet avleds till befintliga bäckar bör provtagning göras för en i första hand begränsad analys (se avsnitt 11.2.2) av bäckvattnet uppströms och nedströms om tillflödet.

11.3.2 Tingstäde Träsk

Behov av någon kontroll av vattnet i Tingstäde Träsk - vare sig ur kvantitativ eller kvalitativ synvinkel - utöver den redan befintliga övervakningen, föranleds inte av det planerade kalkstensbrottet på File Hajdar.

12 REFERENSER

12.1 TRYCKTA ARBETEN

Andersen, L. J. och Haman, Z., 1970: Nye metoder för prøvepumpning af boringer og grundvandsreservoirer. Danmarks geologiske undersøgelse. III, 38. Köpenhamn.

Davis, S. N. och De Wiest, R. J. M., 1966: Hydrogeology. New York.

Fagerlind, T. och Nordberg, L., 1973: Variation of groundwaterlevels and a calculation of the effective fissure porosity at File Hajdar, Gotland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Vol. 95 Stockholm.

Gustafson, G., 1974: Evaluation of the hydraulic properties of some wells in Swedish aquifers. Nordisk hydrologisk konferens, Aalborg. Köpenhamn.

Gustafson, G., 1976: A Method of Calculating the Hydraulic Properties of Leaky Aquifer Systems. Nordic Hydrology, 8. Köpenhamn.

Lundqvist, G., 1940: Sjösediment från Gotland. SGU Serie C 434. Stockholm.

Munthe, H., Hede, J. E. och Post, L. von, 1925: Gotlands geologi, en översikt. SGU Serie C 331. Stockholm.

Munthe, H., Hede, J. E. och Lundqvist, G., 1928: Beskrivning till kartbladet Slite. SGU Serie Aa 169. Stockholm.

Munthe, H., Hede, J. E. och Lundqvist, G., 1933: Beskrivning till kartbladet Kappelshamn. SGU Serie Aa 171. Stockholm.

Mörner, N-A., och Philip, A., 1974: Gotland during the late Glacial. Baltica, Vol. 5. Vilnius.

Nordberg, L. och Persson, G., 1974: The National Groundwater Network of Sweden. SGU Serie Ca 48. Stockholm.

Papadopulos, I. S., Bredehoeft, J. D., Cooper, H. H. Jr, 1973: On the analysis of slug test data. Water Resources Research, vol. 9, No 4. Washington.

Rats, M. V., och Chernyashov, S. N., 1967: Statistical aspects of the problem on the permeability of the jointy rocks. Hydrology of fractured rocks, IASH - Unesco. Paris.

Svantesson, S-I., 1976: Granulometric and stratigraphic studies of till in the Cambro-Silurian area of Gotland, Sweden, and studies of the ice recession in northern Gotland. Striae, Vol. 2. Uppsala.

Thorslund, P. och Westergård, A. H., 1938: Deep boring through the Cambro-Silurian at File Haidar, Gotland. SGU. Serie C 415. Stockholm.

Todd, D. K., 1959: Ground Water Hydrology. New York.

Tullström, H., 1954: Preliminärt meddelande om hydrogeologiska undersökningar på Gotland. Grundförbättring nr. 7. Stockholm.

Tullström, H., 1955: Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland. SGU Serie C 538. Stockholm.

12.2 UTREDNINGAR OCH RAPPORTER

Järnefors. B., 1965: Grundvattenförhållanden på Gotland enligt uppgifter i Sveriges geologiska undersöknings brunnsarkiv. SGU rapport.

Svantesson, S., 1974: Geologisk inventering av File Hajdar, Hejnum Hällar, Hejnum Kallgate och Kallgate. Rapport utarbetad på uppdrag av länsstyrelsen i Gotlands län.

Redogörelse för provpumpning Slite. Allmänna Ingenjörsbyrån 12 juni 1951.

Yttrande över förberedande grundvattenundersökning för Slite köping. VIAK 20 mars 1958.

Yttrande över grundvattenundersökning år 1959 för Slite köping. VIAK 27 januari 1960.

Sammanställning av uppgifter beträffande vattentäkt i Slite köping. VIAK 24 januari 1966.

Gotlands Vattenförsörjning. Statens Naturvårdsverk. Publikation 1969:7. Stockholm.

Vatten och avlopp på Gotland. Sammanställning av uppgifter om Gotlands VA-förhållanden. VIAK september 1973.

Förslag till skyddsplan för grundvattentäkt, VIAK 7 februari 1974.

Påverkan på grundvattenförhållandena genom planerad kalkstenstäkt vid File Hajdar. SGU 19 december 1974.

Stockholm B Carlstedt/AJ 1981-10-09 52.1545-04

1981 -10 -27

1981.630 61

Cementa AB

PM ANGÅENDE HYDROLOGISKA SAMBAND MELLAN VATTENMAGASIN OCH BRUNN KLINTS I FÖR SLITE VATTENFÖRSÖRJNING

Härtill bilaga 1-4

Orientering

Vid ett sammanträde i Visby den 2 september 1981 på begäran av tekniska nämnden i Gotlands kommun dryftades frågan om orsak till att brunn Klints I blivit förorenad sommaren 1979.

Vid mötet var man överens om att visst grundmaterial från kommunens utredare skulle överlämnas till Cementas konsult för ytterligare utvärdering.

Sådant material från dels en provperiod med återhämtning med början den 19 mars 1980 och dels nivåobservationer från perioden juni-augusti 1979 i brunnen Klints I och Klints III samt Br. II och Br. IV har bearbetats och redovisas i denna PM jämte utvärdering.

Faktaredovisning

Uppmätta grundvattenstånd juni-augusti 1979, dvs före, under och efter perioden då föroreningen inträffade, i brunnarna Klints I, Klints III, Br. II och Br. IV är redovisade i diagramform i bilaga 1. Mätvärdena är markerade med små cirklar.

Observerade mätvärden för samma observationsbrunnar efter pumpstopp i Klints I den 19 mars 1980, kl 10.25, finns redovisade på motsvarande sätt men i större tidsskala i bilaga 2. Dessutom finns här med observationsvärden i Br. I och Br. 6 samt Cementas magasin.

Vi har valt detta redovisningssätt då det tydligare indikerar hydrauliska samband och inverkan från andra parametrar än pumpningen än vad den metod för instationär strömningsberäkning gör, som Viak använt.

Lägen av observationsbrunnar, Cementas magasin och andra för ärendet relevanta anläggningar eller verksamheter finns angivna på kartan, bilaga 3, i skala 1:20000.

Härutöver har använts vissa fakta, som redovisats i Viaks utredning 1981-06-15.

Utvärdering

En väsentlig skillnad föreligger mellan förutsättningarna i de redovisade grundvattenstånden i bilaga 1 och 2, nämligen den att i första fallet pågår pumpning vid Klints I med storleksordningen 2-4 l/s medan i senare fallet ingen pumpning sker utan vattenståndsförändringarna återspeglar ev reaktion efter stopp av pumpen.

Vid jämförelse i bilaga 1 framgår att nivåskillnaderna vad gäller brunnarna Klints I, Klints III, Br. II och Br IV är betydande. När pumpning ej sker (bilaga 2) är vattennivåerna i brunnarna Klints I och III praktiskt taget densamma och följsamheten dem emellan är mycket god. Även Br. II har god följsamhet med Klints I och III ehuru vattennivån hela tiden är 50-60 cm högre än i de senare. Br. IV:s vattennivå ligger också nära lika Klints I och III, men följsamheten är "trög" och vattennivån är tidvis några cm högre och tidvis lägre än i Klints I och III.

Även under pumpningsperioden 1979 uppvisar vattennivån i Br. IV en från de övriga tre brunnarna avvikande variationsbild, sannolikt beroende på att Br. IV är mer direkt nederbördspåverkad än de övriga brunnarna.

Av protokollen från återhämtningsmätningarna den 19 mars 1980, enligt bilaga 2, framgår att vattenytan i Klints I redan 1 minut efter pumpstopp stigit 63 cm till samma nivå som i Klints III. Detta innebär att avsänkningstratten vid brunnen är mycket snäv så att grundvattennivån under pumpning bara några tiotal meter från brunnen är nära lika nivån i brunn Klints III. Under pumpning kan tidvis grundvattenytans lutning runt brunnen utanför den omedelbara sänktratten beräknas med nivån i Klints III som referensnivå.

Av det ovan sagda framgår att en naturlig lutning föreligger på grundvattenytan från nordväst mot sydost. Härav kan man dra slutsatsen att grundvattennivån i kalkberget under Cementas magasin bör vara lägre än vid Klints III eller i varje fall inte högre.

En profil genom brunnarna Br. II, Klints I, magasinet och Västra Brottet (nuvarande kalkstensbrott vid Slite), (bilaga 4), visar varför. Av profilen framgår att den nominella lutningen från fyllt magasin till Klints I är 12,5 o/oo vid lägsta grundvattenytan i juli 1979 och motsvarande lutning mot Västra Brottet (bottennivån) är 38 o/oo.

Om en vattenutläckning sker från magasinet efter uppfyllnadsskedet finns därför en avgjort starkare benägenhet för det utläckta vattnet att röra sig mot sydost än mot nordväst. Nu är det emellertid så att vid en ev utläckning följer inte trycklinjen en sådan nominell lutning. Den är i stället brant i början och flackar snabbt ut längre från magasinet (jfr streckade linjer i bilaga 4) till anslutning med den naturliga grundvattenytan. Detta förhållande talar emot en förorening av brunnen Klints I från vatten i magasinet.

I Viaks utredning upplyses att grunvattennivåerna i brunnarna kring Klintsvattentäkten under sommaren 1978 var de lägsta som uppmätts under den studerade perioden med 3-5 m lägre nivå än under den näst lägsta sommarnivån (1969). Den senare finns inte redovisad i Viaks utredning. Däremot finns en låg nivå sommaren 1977. I jämförelse med denna var nivån i Klints III 5,3 m lägre 1979 än 1977 när nivån var som lägst.

Att låga grundvattennivåer inträffar är normalt beroende på en kombination av stort uttag och lång torrperiod. Jämför man den torra perioden 1977 med den 1978 visar den sig i båda fallen omfatta 4 månader med sammanlagt 175 resp 100 mm nederbörd. Samtidigt var medeluttagen 2,0 respektive 2,25 l/s. Utgår man ifrån att meruttaget 0,25 l/s under 4 månader enbart skulle förorsaka den ökade avsänkningen genom magasinstömning och räknar med genomsnittet av de av Viak angivna magasinskoefficienterna för akviferen kommer man fram till att en avsänkning av mer än 5 m skulle inträffa inom en areal av över 5 km2. Då härtill kommer väsentligt lägre nederbörd 1978 än 1977 kan således den låga nivån helt förklaras av det större uttaget. Något bevis eller indicium på att magasinet skulle ha haft någon inverkan finns däremot ej.

Ett ytterligare stöd för uppfattningen att de meteorologiska förhållandena styr grundvattenståndén påtagligt vid vattentäkterna i kalkberget har man i de av Viak redovisade vattenståndén i brunn vid File Hajdar som också var avsevärt lägre 1978 (-12,4) än 1979 (-3,9). Denna brunn är klart dokumenterad icke påverkad av pumpning vid Klints I och nivåförhållandena vid File Hajdar är därför beroende enbart av de meteorologiska förhållandena och där rådande vattenuttag. Vad som är gemensamt för File Hajdar och Klints är däremot åtminstone i stort de meteorologiska förhållandena. Detta kan naturligtvis ge ett skenbart intryck av ett hydrauliskt samband, som dock inte praktiskt mätbart existrerar i kalkberget.

Slutligen, om man skulle utgå från förutsättningen att den inträffade föroreningen skulle ha förorsakats av överströmning av vatten i kalkberget från magasinet, och utifrån denna förutsättning genomför hydrauliska beräkningar med de mest gynnsamma parametrar för en sådan strömning, som Viak redovisat, kommer man fram till orimliga konsekvenser, som t ex vad gäller strömning mot magasinet när detta var tomt 1978. Avsänkningsintensiteten i Klints III under torrperioden då var högre ju lägre vattennivån sjönk. Detta står ju i avgjort bättre samklang med ett redovisat ökande vattenuttag än med en samtidigt minskande lutning av grundvattenytan mot magasinet. Under veckan skulle medeltappningen till magasinet enligt beräkningarna ha varit av ungefär samma storlek som vattenuttaget vid Klints I. Vid högre nivå vid Klints I skulle flödet följaktligen ha varit ännu större.

I själva verket kan grundvattennivån i kalkberget vid magasinet mycket väl ha varit under magasinets botten vid detta tillfälle (juli 1978, jfr den streckprickade linjen i bilaga 4). Härmed skulle argumentet falla om ett förment hydrauliskt samband mellan magasinet och brunnen Klints I.

Sammanfattning

I denna PM har grundmaterial från kommunens utredning om förorening av brunnen Klints I i Slite blivit föremål för ny redovisning och utvärdering.

Därvid har framkommit:

a) att ev utläckning av vatten från Cementas magasin har klart större benägenhet att rinna mot sydost (Västra Brottet) än mot nordväst (Klints I),

b) att det låga vattenståndet i brunnarna sommaren 1978 helt kan förklaras av ett större uttag i kombination med lång torrperiod än tidigare och att grundvattenståndet i kalkberget vid magasinet vid detta tillfälle troligen var lägre än magasinets botten, varigenom argumentet skulle falla om hydrauliskt samband mellan magasinet och brunnen Klints I,

c) att hydrauliska beräkningar utifrån förutsättningen att förorening inträffat från magasinet i juli 1979 ger orimliga konsekvenser för en strömning i motsatt riktning sommaren 1978, när magasinet var tomt. Dessa konsekvenser stämmer nämligen ej alls med vad som iakttagits vid detta tillfälle i form av nivåmätningar och

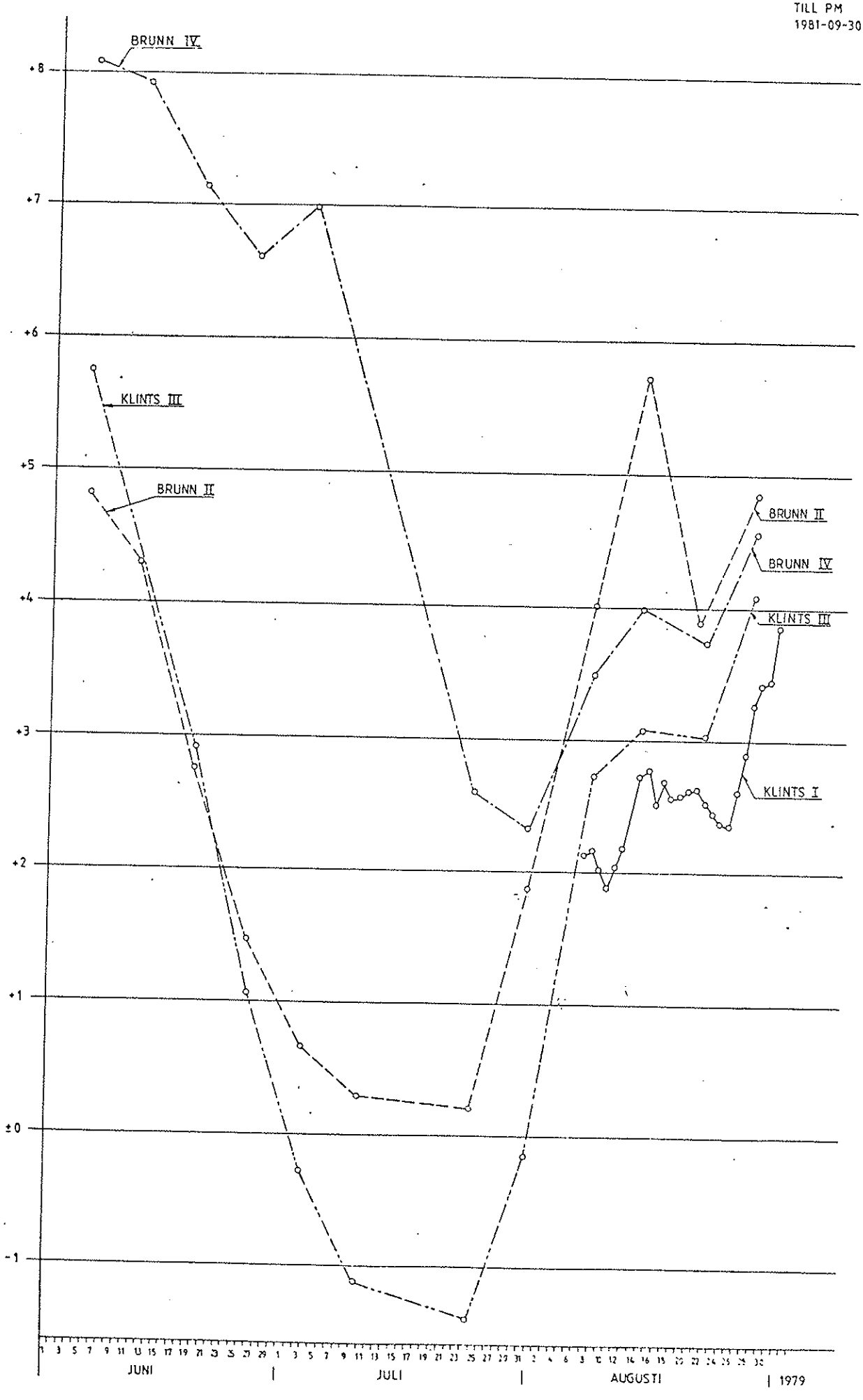
d) att hydrauliskt samband ej heller föreligger mellan brunnen Klints I och brunnarna på File Hajdar.

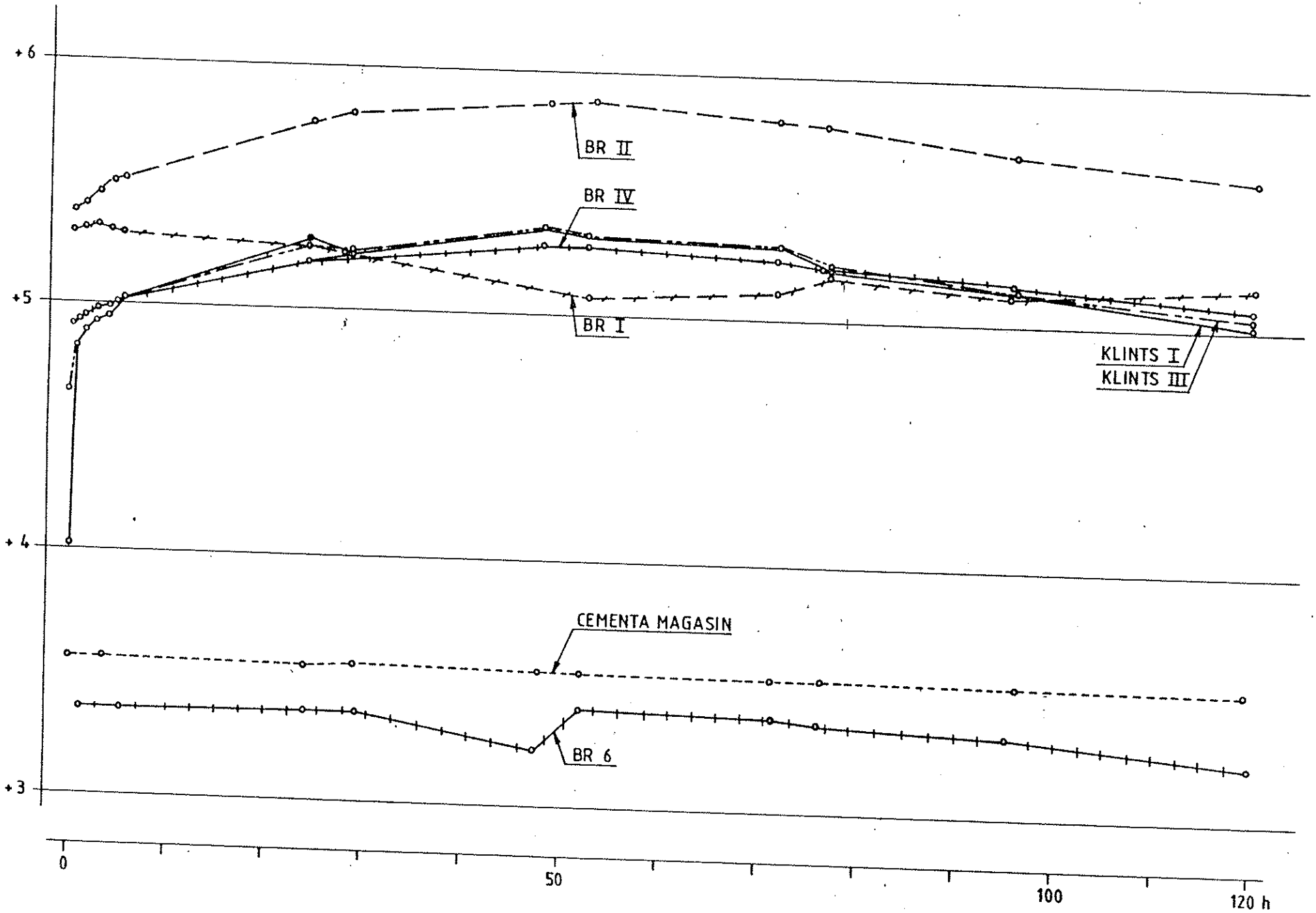
Därmed kan de indicier för att den inträffade föroreningen vid Klints I i juli 1979 skulle härröra från infiltrerat vatten vid Cementas magasin, som av kommunen framförts, helt tillbakavisas.

Stockholm den 8 oktober 1981
SCANDIACONSULT AB
Div Samhällsbyggnad
Avd geologi och grundvatten

Bo Carlstedt

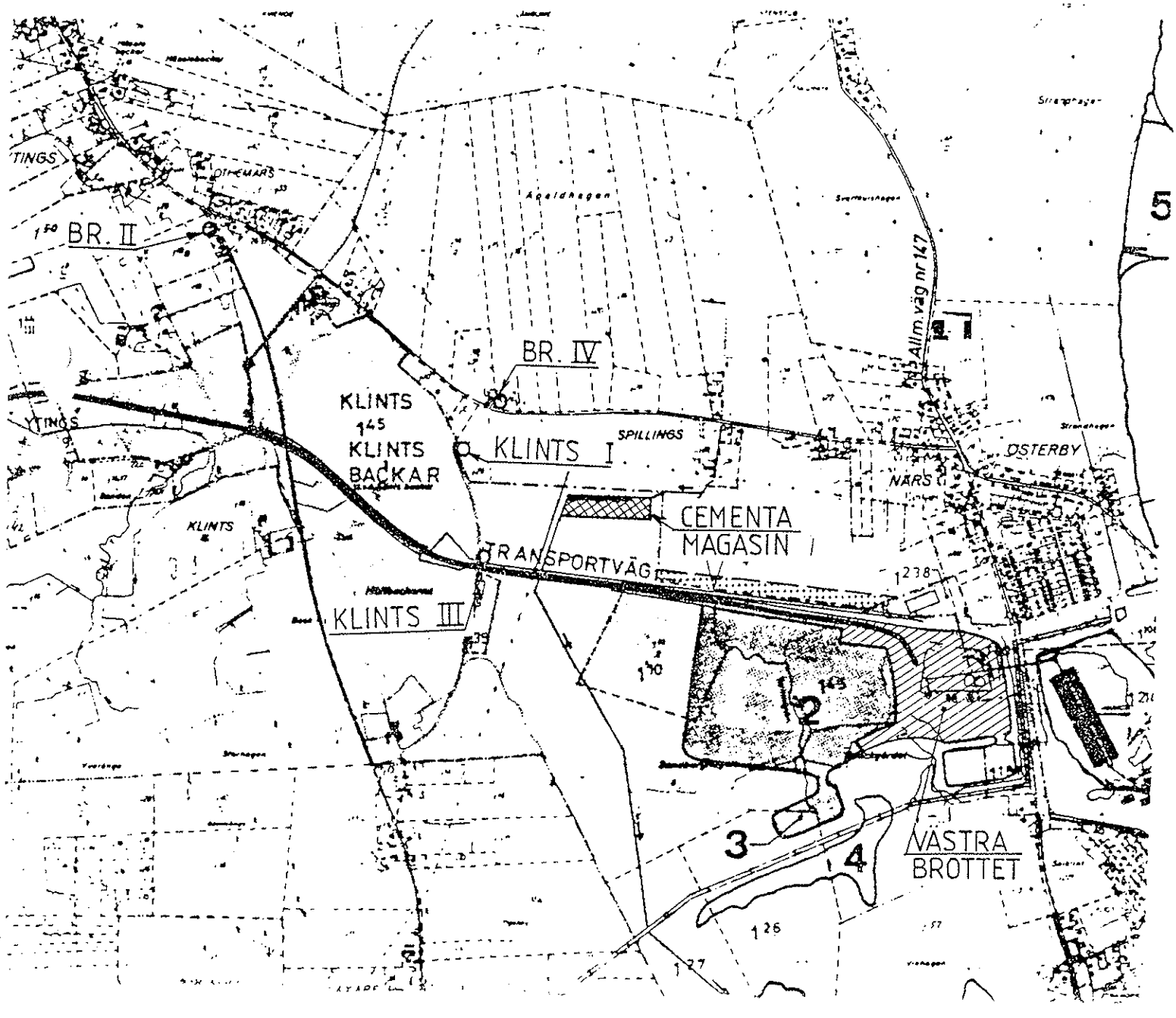
BILAGA 1
TILL PM
1981-09-30



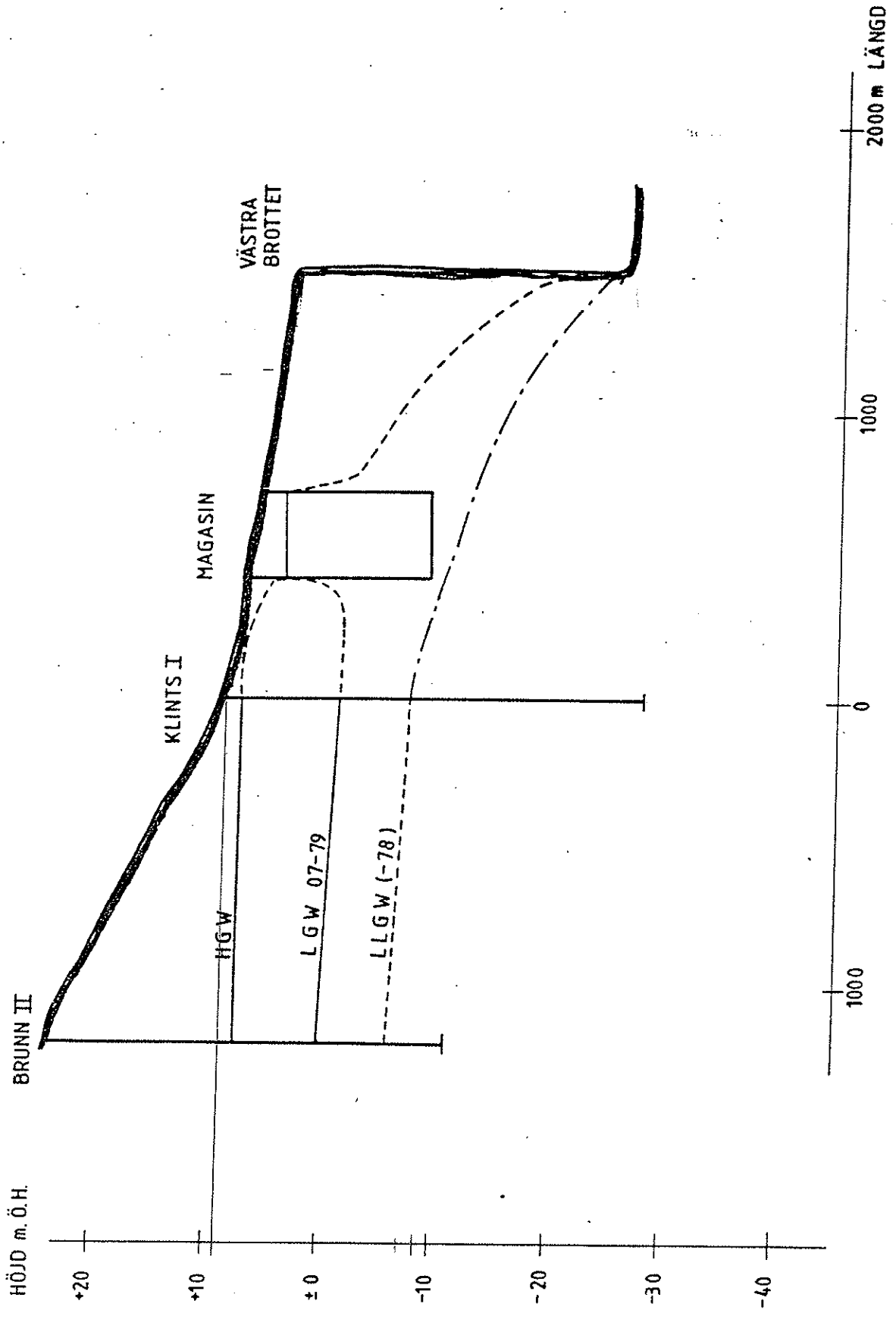


BILAGA 2
TILL PM
1981-09-30

BILAGA 3
TILL PM
1981-09-30



BILAGA 4
TILL PM
1981-09-30



Cementa AB

Datum
1981-10-28

Er beteckning

Referens
M Helmer/EÖ

Ert datum

Er referens

Thure Larsson
Tekniska Nämnden
Schweitzergränd 3
621 81 VISBY

ANGÅENDE VATTENMAGASINET

1 Vi kan inte tömma magasinet, för då blir fabriken utan vatten.

2 Tekniskt sett kan man dock tömma magasinet när tillflödet är noll (sommartid). Med en stor pump på 8 m^3/min tar det 1,5 - 2 månader att tömma ett fullt magasin. Kostnaden för elström blir ca 2.000:-. Volymen är 378.000 m^3 och medelpumphöjd 9 m.

Med vänlig hälsning

CEMENTA AB
Slitefabriken

Magnus Helmer/Eva Öhrn

8

Postadress, Postaladress
S-620 30 SLITE
SWEDEN

Telefon, Telephone no.
Nat. 0498-205 00
INAT. + 46498-205 00

Telegram
cementa slite

Telex
4136
Cementa S

Postgiro,
Postalgiro account
23131-6

Bankgiro,
Bankgiro account
834-8112

CEMENTA

MEDDELANDE

Sidnr

Datum 1981-10-23

Beteckning Slite

Referens M Helmer/EÖ

- ☐ För kännedom
- ☐ För yttrande
- ☐ För behandling
- ☐ För attest
- ☐ För godkännande
- ☐ Enl. brev/telefon
- ☐ Returneras härmed
- ☐ Kan behållas
- ☐ Torde återsändas
- ☐ Sändes vidare till
- ☐

Till

Tekniska Nämnden
Schweitzergränd 3
621 81 VISBY

Att. Kommunalrådet Thure Larsson

20800

Enligt dagens telefonsamtal.

Hälsningar

Magnus Helmer

01.38 73-01

GOTLANDS KOMMUN
Gatukontoret

1981-10-28

Handläggare
Driftingenjör
Anders Tingström
Dnr 54.53

SGU
Att: Lars Nordberg
Box 670
751 28 UPPSALA

Förorening av vattentäkt i Slite, Gotlands kommun

Vid ett sammanträffande på länsstyrelsen i Visby, som berörde en täktplan för Cementas nya brott på File Hajdar överlämnades "Redogörelse för undersökningar vid grundvattentäkten Klints i Slite" upprättad av VIAK.

Gatukontoret har nu erhållit ett PM upprättat av Scandiaconsult som i sitt innehåll helt avvisar VIAK:s slutsatser.

Gatukontoret önskar med anledning därav uppgift om huruvida SGU kan påta sig att avge ett utlåtande och i så fall till vilken kostnad.

Gatukontorets handläggare:

Driftingenjör Anders Tingström, tel 0498-69223.

GATUKONTORET

Ivar Plahn
Gatuchef

Anders Tingström
Driftingenjör

SGU SVERIGES
GEOLOGISKA UNDERSÖKNING .1981-11-09 Dnr:42.2-81-677-U

Gotlands kommun
Gatukontoret
621 81 VISBY

GOTLANDS KOMMUN
GATUKONTORET
Inn. Avg. 1981-11-11
Dnr

Förorening av vattentäkt i Slite, Gotlands kommun

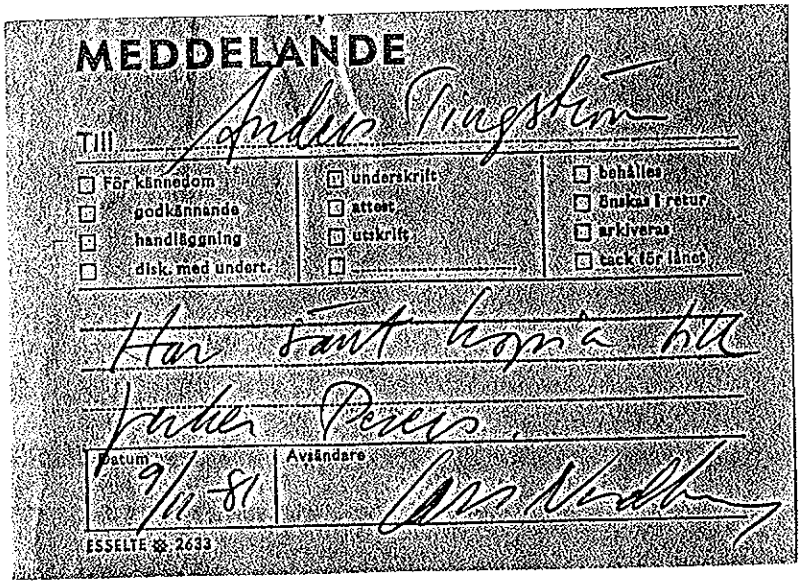
Er beteckning: Anders Tingström, dnr 54.53

SGU har ombetts lämna uppgift om huruvida ett utlåtande kan avges i rubricerat ärende.

Efter översiktlig granskning av de två motstridiga rapporter, som behandlar ärendet, anser SGU det inte möjligt att på grundval av detta bristfälliga underlag kunna fastställa orsaken till förorening av den aktuella vattentäkten. Båda rapporterna synes bortse från att hydrogeologiska förhållanden spelar en mycket stor roll för grundvattnets strömning i området. Dessa förhållanden är emellertid otillräckligt kända för att medge ett säkert ställningstagande.

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Kvartär- och hydrogeologiska byrån
E.u.

Lars Nordberg


MEDDELANDE
Till: Anders Tingström
☐ För kännedom ☐ underskrift ☐ behålles
☐ godkännande ☐ attest ☐ Önskas i retur
☐ handläggning ☐ utskrift ☐ arkiveras
☐ disk. med undert. ☐ ☐ tack för lånet
Har satt kopia här
Peter Persson
Datum 9/11-81 Avsändare
ESSELTE ⊛ 2633

kontakt per telefon med Magnus Nelson 18/11-81. Han återkommer.

08/155280 UPPSALA

GOTLANDS KOMMUN

REDOGÖRELSE FÖR UNDERSÖKNINGAR VID GRUNDVATTENTÄKTEN KLINTS I SLITE SAMT FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER

5611.6811

1981-06-15

VIA ET AQUA

VIAK

GOTLANDS KOMMUN
Redogörelse för undersökningar vid grundvattentäkten Klints i Slite, samt förslag till åtgärder

---

Härtill hör:

Bilaga 1		Referenser
	2	Sammanställning vattenanalyser
Ritning	5611.6811-01	Plan
	-02	Grundvattennivådiagram
	-03	Föreslagna brunnslägen

ALLMÄNT

Vattenförsörjningen för Slite baseras på grundvattentäkter inom två vattentäktsområden benämnda Klints och File hajdar.

Vattentäkten vid Klints består för närvarande av en produktionsbrunn, Klints 1. Enligt dom meddelad av Söderbygdens vattendomstol den 28 november 1957 (Dom A 113/1957) äger kommunen rätt att ur vattentäkten tillgodogöra sig grundvatten till en vattenmängd av högst 550 m^3/dygn (6,4 l/sek).

Under juli månad 1979 försämrades plötsligt grundvattnets beskaffenhet i Klints 1 så att det efter denna tidpunkt ej kunnat distribueras.

På uppdrag av Gotlands kommun har VIAK AB studerat de hydrogeologiska förhållandena vid vattentäkten i avsikt att klarlägga orsaken till den försämrade beskaffenheten. I första hand har intresset knutits till det av Cementa AB nyanlagda utjämningsmagasinet ca 400 m sydost om Klints 1, se plankarta, ritning 5611.6811-01.

I det följande redovisas resultaten av de undersökningar som utförts vid vattentäkten vid Klints samt ges ett förslag till lägen för nya brunnar vid Filehajdar.

HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

De geologiska förhållandena inom området framgår bl a av SGUs kartblad Ser Aa 169 Slite med beskrivning samt referens 4.

Av kartbladet Slite framgår att berget går i dagen inom File hajdar och Klintsbackar.

Berggrunden som stupar mot sydost utgöres av kalkstenar tillhörande den s k Slitegruppen.

Kalkstenen består i regel av lagrad, kristallin kalksten, men även revbildande komponenter förekommer. Revkalksten är speciellt vanlig inom Klints backar, där den delvis täcker den lagrade kalkstenen. Kristallin kalksten och revkalksten uppträder som klintar eller platårester på den s k Slitemärgelstenen, vars mäktighet har uppskattats till 40-50 meter (referens 4). Märgelstenen underlagras sannolikt av hård kalksten.

Grundvattnet i de bergarter som förekommer magasineras och transporteras huvudsakligen i och längs sprickor av skilda slag.

Berggrundens sprickighet har undersökts av SGU dels på File hajdar, dels i stenbrotten vid Slite och Klints backar. Vid Klints backar och Slite har huvudsprickriktningarna en NV-SO-lig orientering, medan de dominerande spricksystemen på File hajdar har en O-V-lig riktning.

Bergarterna i området är i stort sett mycket homogena. Detta förhållande innebär att spricksystemen ofta har stor uthållighet både i längd- och djupled.

Grundvattnet i området uppvisar mycket stora nivåvariationer. Vid Klintsvattentäkten uppgår variationerna till ca 10 m med mycket snabba höjningar efter nederbördsrika dagar.

UTJÄMNINGSMAGASIN I SPILLINGSÅN

Cementa har genom vattendom fått tillstånd till en omläggning av Spillingsån samt att anlägga ett vattenmagasin i anslutning till den nya åfåran.

Anläggningsarbetena påbörjades enligt uppgift i september 1977 och avslutades i oktober 1978, varefter magasinet påfylldes med vatten i december 1978. Magasinet var helt fyllt i april 1979.

Vattenmagasinet, som har en yta av ca 300 x 70 m^2 är nedfört i berg till ca 17 m djup under markytan.

VATTENKEMI

Vid vattentäkten Klints 1 har vattenprover uttagits för fysikalisk-kemisk analys vid 19 tillfällen under perioden 1951-1980.

Analyserna visar att grundvattnet är ett hårt vatten (ca 14°dH) samt att periodvis höga kloridhalter (>500 mg) förekommer i samband med stor avsäkning i uttagsbrunnen. Vidare kan noteras en stigande halt av bikarbonat.

En jämförelse mellan analysresultat från Klints 1 innan respektive efter Cementas damm tillkommit visar att grundvattnet efter dammens tillkomst har en obehaglig lukt samt att en fördubbling av sulfathalten ägt rum från ca 25 mg/l till 50 à 60 mg/l.

Ytvattnet i dammen har analyserats vid två tillfällen under 1979-1980. Analyserna visar att hårdheten uppgår till ca 18-20°dH, kloridhalten är låg (20-30 mg/l) och att sulfathalten uppgår till ca 110 mg/l. Vattnet i dammen förbrukar ca 30 mg $KMnO_4$/l, vilket påvisar förekomst av organiskt material.

En sammanställning av de fysikalisk-kemiska analysresultaten återfinns i bilaga 2.

GRUNDVATTENNIVÅFLUKTUATIONER

Grundvattennivåer har registrerats i ett antal brunnar i området kring Klints vattentäkt sedan många år tillbaka. Som framgått ovan är nivåvariationerna stora och uppgår i regel till ca 10 m med de lägsta nivåerna under perioden juli-oktober och de högsta under perioden december-april, se ritning 5611.6811-02.

En jämförelse med nivådata från File hajdar-området visar att fluktuationerna har ett mycket likartat förlopp trots att variationerna vid File hajdar är större och uppgår till ca 20 m. Att variationerna är mindre vid Klints torde i huvudsak bero på den bräddning via källor som sker när grundvattennivåerna på File hajdar ligger högt.

Ur nivådata kan vidare konstateras att de grundvattennivåer som uppmättes i brunnar kring Klintsvattentäkten under sommaren 1978 var de lägsta som uppmätts under den studerade perioden och att nivåerna då låg 6-8 m under den normala sommarnivån och 3-5 m under den näst lägsta sommarnivån (1969).

PROVPUMPNING KLINTS 1

Brunnen Klints 1 har provpumpats vid ett flertal tillfällen, de två senaste under mars och maj 1980. Vid dessa provpumpningar, som utfördes med konstanta kapaciteter, utfördes mätningar i ett tiotal brunnar samt i Cementas vattendamm, se ritning 5611.6811-01.

De brunnar som klart påverkats är särskilt betecknade på ritning 5611.6811-01.

Provpumpningarna är utvärderade enligt teorierna för icke stationära flödestillstånd med följande resultat:

Brunn	Djup (m)	Bottennivå (möh)	T (m^2/s)	S
Klints 3	53	-46	$10x10^{-4}$	$2x10^{-5}$
Klints 1	37	-28	$11x10^{-4}$	-
B IV	21	-10	$11x10^{-4}$	$37x10^{-5}$
Br 4	37	-10	$7,5x10^{-4}$	$9x10^{-5}$
Br 3	22	- 1	$5,5x10^{-4}$	$4,8x10^{-5}$
B II	36	-11	$8,4x10^{-4}$	$1x10^{-5}$
Br 8	4,5	- 2	$6,1x10^{-4}$	$0,4x10^{-5}$
Vatten-magasinet	17	-14		

Tabell Resultat av provpumpning vid Klints 1

Resultaten av provpumpningarna visar att vattentäkten vid Klints har ett influensområde i NV-SO-lig riktning. Det påverkade området har hydrauliska egenskaper som är något sämre än den kanal i vilken vattentäkterna på File hajdar är belägna (referens 9).

Att döma av resultaten av provpumpningen samt grundvattennivådata finns ett klart hydrauliskt samband mellan vattentäkterna vid File hajdar och Klints.

De brunnar som reagerar vid provpumpningen i Klints 1 har djup som varierar mellan ca 20 och 50 m (-1 - -50 möh). Av tabellen framgår att de hydrauliska egenskaperna för respektive brunn inte varierar nämnvärt för olika brunnar trots de skillnader som föreligger i brunnsdjup. Detta resultat innebär att kalkstenen är förhållandevis vattenförande i de övre partierna och att de nedre partierna i de djupa brunnarna inte nämnvärt torde öka vattentillgången. Den kloridhaltsökning som inträffar vid låga grundvattenstånd styrker detta påstående.

SAMBAND KLINTSVATTENTÄKTEN - UTJÄMNINGSMAGASINET

Av de undersökningar och nivåmätningar som hittills utförts framgår att ett klart hydrauliskt samband mellan det vatten som finns i vattenmagasinet och omgivande grundvattenmagasin föreligger. Ett exempel på detta är att brunnar som är grundare än vad vattenmagasinet är djupt klart påverkade av provpumpningen.

Vidare uppmättes sommaren 1978, således vid anläggningsarbetenas slutskede, extremt låga grundvattennivåer i området kring Klintsvattentäkten och även på File hajdar.

Den förändring i vattenbeskaffenheten som plötsligt inträffar under juli 1979 sker under en period då grundvattennivån i området under ca 2 veckor legat klart under (ca 5 m) nivån i vattenmagasinet.

Det hydrauliska sambandet mellan vattentäkten och utjämningsmagasinet har ej hittills med säkerhet kunnat fastställas på vattenkemiska grunder. Beroende på de kostnader ett fullständigt klarläggande av de vattenkemiska förhållandena skulle medföra, har några sådana undersökningar inte utförts.

För att trygga vattenförsörjningen för Slite tätort sedan produktionsbrunn Klints 1 tagits ur drift, föreslås i det följande att provborrningar utföres i syfte att lokalisera ett läge för en produktionsbrunn som ersätter Klints 1.

FÖRSLAG TILL PROVBORRNINGAR FÖR LOKALISERING AV NY VATTENTÄKT

Den hydrogeologiska undersökningen som utfördes på File hajdar, för att klarläggar konsekvenserna av en utvidgad brytning av kalksten, visade att kommunens brunnar i Dyhagen är belägna i en zon med hög transmissivitet. Zonen sträcker sig från SSV mot NNO längs foten av höjdområdet i väster.

Zonens bredd har uppskattats till 550 m och dess utsträckning i längdled har genom provpumpningar belagts till minst 2 km. Någon begränsning i längsled har därvid inte konstaterats.

Provpumpningen av produktionsbrunn P3a visade att observationsbrunn 96, belägen NO om höjdområdet ca 1,5 km NNV om P3a, var påverkad. Provpumpningsdata visar att observationsbrunnen inte är belägen i ovannämnda zon men står genom sprickor i hydraulisk kontakt med denna.

I den utförda undersökningen visades också att huvudsprickriktningarna inom området var riktade mot NV, NO och O-V.

Utifrån ovanstående data och iakttagelser föreslås att två provborrningar utföres på de platser vilka markerats på ritning 5611.6811-03.

Beträffande den vattenkemiska aspekten bör nämnas att av något högre salthalt kan förväntas vid det norra provborrningsläget. Som jämförelse kan anges att kloridhalten i brunn 96 uppgick till 515 mg/l innan och 424 mg/l efter det att samma brunn provpumpats och att motsvarande halter för produktionsbrunn P3a uppgick till 121 mg/l respektive 121 mg/l efter det att denna brunn provpumpats.

En förklaring till detta torde vara att vattenomsättningen inom vattentäktsområdet varit betydligt högre än vid brunn 96 vilket resulterar i ovannämnda förhållande. Det kan konstateras att kloridhalten sjönk vid brunn 96 sedan pumpning skett i grundvattenmagasinet.

En förhöjd salthalt vid det föreslagna brunnsläget torde sannolikt avta i takt med att grundvattenmagasinet omsätts. I ett inledningsskede kan förhöjda salthalter jämnas ut genom tillskott från övriga produktionsbrunnar så att smakgränsen underskrids. Smakgränsen för klorid ligger vid 300 mg/l.

VIAK AB
Malmökontoret

Jerker Perers

Ingvar Johansson

5611.6811

Bilaga 1

GOTLANDS KOMMUN

PM angående förhållandena vid vattentäkten Klints, Slite, Gotlands kommun

---

REFERENSER

1 Statens Naturvårdsverk: Gotlands vattenförsörjning - Publikation 1969:7

2 SGUs kartblad Ser Aa No 169 Slite med beskrivning

3 Tullström, H: Preliminärt meddelande om hydrologiska undersökningar på Gotland. Grundförbättring Nr 4, 1954

4 Tullström, H: Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland. SGU, Ser C, No 538, 1956

5 Redogörelse för provpumpning av vattentäkt vid Spillings för Slite köping jämte utlåtande angående vattentillgång, AIB AB, 12 juni 1951

6 Yttrande över förberedande grundvattenundersökningar för Slite köping, Gotlands län, VIAK AB, 20 mars 1958

7 Yttrande över grundvattenundersökning med provpumpning år 1959 för Slite köping, Gotlands län, VIAK AB, 27 januari 1960

8 PM angående ökat vattenuttag från grundvattentäkten vid File hajdar och Klints, Slite. VIAK AB, 1 november 1973

9 Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File hajdar, Gotland. SGU och VIAK 31 oktober 1977

GV30/ar

GOTLANDS KOMMUN
ANALYSER FRÅN SPILLINGS I = KLINTS 1
SLITE VATTENVERK

UNDERSÖKNING	ENHET	5101	511227	521125	531026	550614	551114	560123	561204	570505 */	581013 */	581202	601213 [illegible]	611114	620226 [illegible]	660524
Provtagningsdatum																
Tidpunkt																
Temperatur (enl uppgift)	°C			8.0	8	8		7		7	7	8	8	8	8	
Färg	mg/l Pt	5	5	10	20	10	10	10	10	1	1	10	8	6	4	6
Grumlighet	ZP-enheter	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen			ingen	ingen	ingen	ingen	ingen
Lukt, styrka		"	"	"	"	"	"	"	"	ingen	ingen	"	"	"	"	"
Lukt, art		"	"	"	"	"	"	"	"			"	"	"	"	"
Bottensats		"	"	"	"	"	"	"	"			"	"	"	"	"
pH (ett)		6.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.3	7.4	7.3	8.0	7.6	7.8	8.2	8.3	8.3	7.0
Ledningsförmåga x 10⁶, 25°C	ohm⁻¹ cm⁻¹				1720	1526	1468	1440	1623			528	1573	471	417	390
Permanganatförbrukning	mg/l KMnO₄	15	11	13	22	10	20	9	10			9	11	14	9	10
Järn Fe	mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.13	0.13		0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mangan Mn	"	<0.05	<0.05	0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Fosfat PO₄	"	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	<0.05	<0.05	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ammonium NH₄	"	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	<0.05	<0.05	0.2	0.4	<0.1	<0.1	<0.1
Nitrit NO₂	"	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.22	0.05	<0.01
Nitrat NO₃	"	<2	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2		<0.6	<2	<2	<2	2	<2
Sulfat SO₄	"	26	31	35	21	21	23	32	39		7	31	31	19	25	19
Bikarbonat HCO₃	"	198	215	207	214	226	227	230	231		237	264	232	274	257	253
Klorid Cl	"	460	468	410	507	475	476	434	438		409	59	436	30	35	12
Kalcium Ca	"															
Magnesium Mg	"															
Totalhårdhet	°dH	16	14.7	14.9	15.9	15.6	16.5	15.6	14.9		15.6	11.0	16.6	12.9	11.9	12.1
Kolsyra, marmoraggressiv bar CO₂	mg/l															
Kiselsyra SiO₂	"															
[illegible]	"	1075	1020	980												
[illegible]	"	840	855	793	1200	1068	1029	1008	1126			577	1101	[illegible]	212	243
Totalt ant bakterier 22 °C 48 t	antal/ml															
Totalt ant colliforma bakt 35 °C 48 t	antal/100 ml															
Ant termostabila colif bakt 44 °C 48 t	antal/100 ml															

*/ medtages ej vid medelvärdesberäkn.

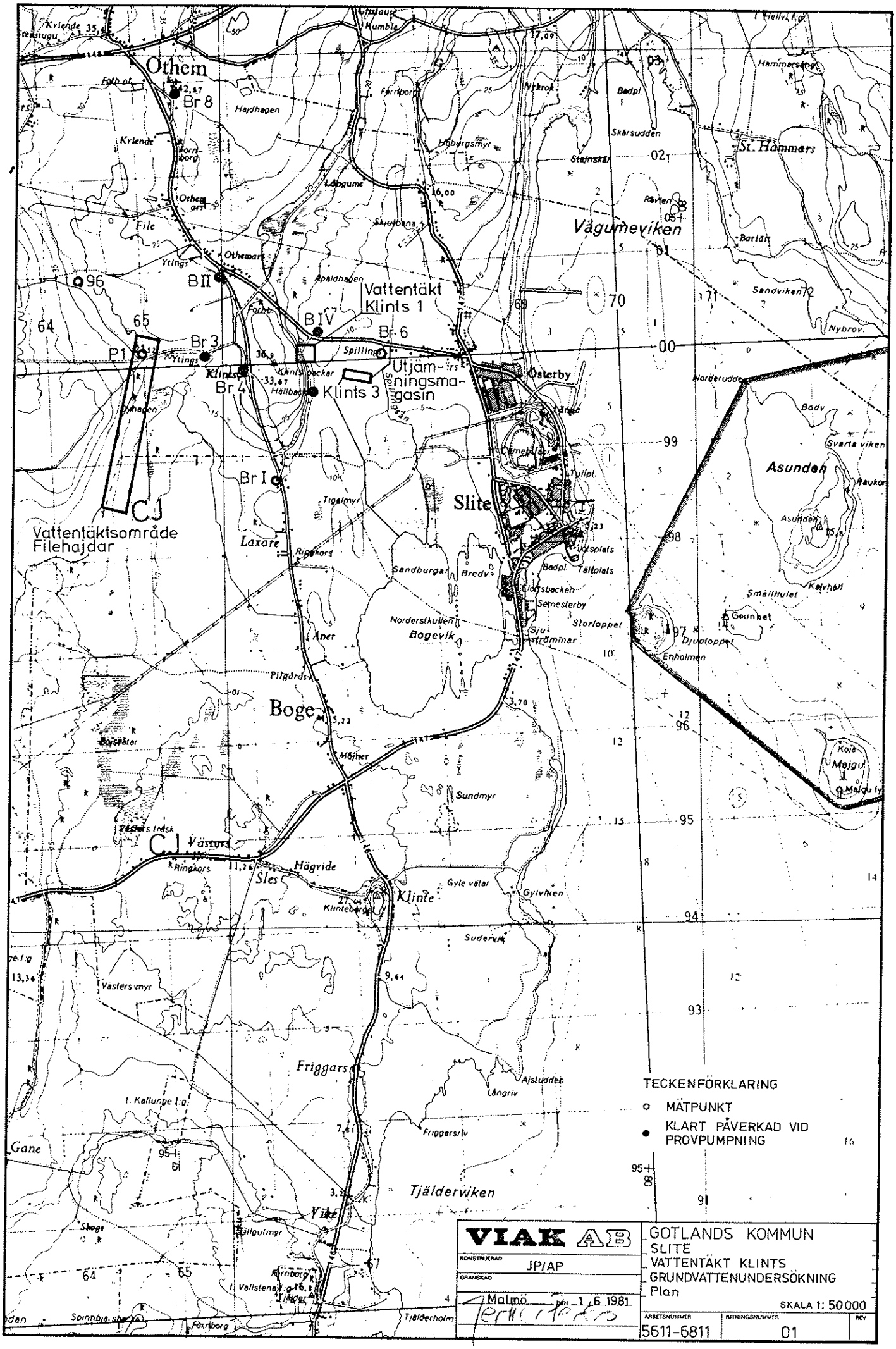
Bilaga 2:1

Bilaga 2:2

UNDERSÖKNING	ENHET	Medelvärde Klints 1 1951-1966	Standardavvikelse N-1		Klints 1	Klints 1	Klints 1		Cementa Dammen	Cementa Dammen		Klints 1				
Provtagningsdatum					790716	790725	800319		790725	800319		720419				
Tidpunkt																
Temperatur (enl uppgift)	°C															
Färg	mg/l Pt	8.7	4		10	<5	6		11	27		6				
Grumlighet	ZP-enheter				svag *)	ingen	svag *)		tydlig *)	svag *)		[illegible]				
Lukt, styrka					stark	svag	obest.		tydlig	svag						
Lukt, art					sur	obest.b.			vinkel	vinkel						
Bottensats					liten *)	ingen	liten *)		täml. stor *)	liten *)		[illegible]				
pH (pot)		7.6	0.5		7.9	7.6	7.7		7.8	7.8		[illegible]				
Ledningsförmåga x 10^5, 25°C	ohm^{-1} cm^{-1}	1117	547		710	1610	1090		620	650		[illegible]				
Permanganatförbrukning	mg/l $KMnO_4$	11.9	5.1		10	10	8		28	32		[illegible]				
Järn ... Fe	mg/l	<0.1			0.7	0.17	0.1		0.1	<0.05		[illegible]				
Mangan ... Mn	"	<0.05			<0.05	<0.05	<0.05		0.05	<0.05		<0.1				
Fosfat ... PO_4	"	<0.1			<0.1	0.2	<0.1		0.1	<0.1		<0.05				
Ammonium ... NH_4	"	<0.2			0.4	0.4	0.3		0.4	0.2		<0.1				
Nitrit ... NO_2	"	<0.01			0.02	<0.01	0.04		0.06	0.02		0.1				
Nitrat ... NO_3	"	<2			<2	<2	<2		3	5		<0.01				
Sulfat ... SO_4	"	26	8.7	[illegible] 39	66	55	47		112	111		<2				
Bikarbonat ... HCO_3	"	233	21	[illegible]	287	278	215		241	311		27				
Klorid ... Cl	"	32.7	197		73	410	230		30	22		[illegible]				
Kalcium ... Ca	"											[illegible]				
Magnesium ... Mg	"															
Totalhårdhet	°dH	13.8	3.6		12.5	15.8	11.5		8	20.5		[illegible]				
Kolsyra, marmoraggressiv ber ... CO_2	mg/l															
Kiselsyra ... SiO_2	"															
[illegible]		792	336		455	980	690		480	450		[illegible]				
Totala ant bakterier ... 22 °C 48 t	antal/ml															
Totala ant coliforma bakt ... 35 °C 48 t	antal/100 ml															
Ant termostabila colif bakt ... 44 °C 48 t	antal/100 ml															

*) Ljusa flockar

VATTENVÄRDSLABORATORIET AB



VIAK AB	GOTLANDS KOMMUN
KONSTRUERAD JP/AP	SLITE
GRANSKAD	VATTENTÄKT KLINTS
Malmö den 1 6 1981	GRUNDVATTENUNDERSÖKNING
	Plan
	SKALA 1: 50 000
ARBETSNUMMER 5611-6811	RITNINGSNUMMER 01 REV

Stora kartbilagor ej inscannade, finns tillgängliga på Golders kontor i Göteborg.
2007-11-19

GOTLANDS KOMMUN
Gatukontoret

1981-08-06

CEMENTA AB
1981-08-10

Handläggare

Driftingenjör
Anders Tingström
Dnr 54.53

Cementa AB
Slitefabriken
Magnus Helmer
620 30 SLITE

Kopia: Bo Carlstedt
ORRJE & CO

Vattentäkt vid Klints i Slite

Åberopande ett sammanträffande mellan gatukontoret och Cementa AB den 13 okt 1980 översändes en av VIAK AB upprättad redogörelse för undersökningar vid grundvattentäkten Klints i Slite.
Innan ytterligare åtgärder vidtages önskar tekniska nämnden få ett sammanträffande med representanter för Cementa AB.

Förslagsvis kan detta äga rum onsdagen den ~~9~~ 2 september 1981 kl 13.00 å fastighetskontorets sessionssal, S:t Hansgatan 23.

Att denna tidpunkt går bra önskar vi få bekräftat, till driftingenjör Anders Tingström tel 0498/69223.

GATUKONTORET

Ivar Plahn
Gatuchef

Anders Tingström
Driftingenjör

Postadress	Gatuadress	Telefon	Bankgiro	Postgiro
621 81 VISBY	S:t Hansgatan 27 och Mellangatan 36 Visby	0498/690 00 (växel)	339-8328	18 97 50-3

1981-08-12

Magnus Helmer/AV

Scandiaconsult
Att: Bo Carlstedt
Box 4560
102 65 STOCKHOLM

BETR. VATTENTÄKT I KLINTS I SLITE

Hej !

Gotlands Kommun har nu återkommit i denna fråga med VIAK:s studie som underlag. Kan Du titta på rapporten och deltaga i mötet den 2 september 1981 tillsammans med mig och Håkan Fernvik ?

Man vill ännu diskutera täktplanens kontroll-program över File Hajdar-området.

Jag kontaktar Dig i början på nästa vecka när Du är tillbaka.

Med vänlig hälsning

Cementa AB
Slitefabriken

Magnus Helmer

SCANDIACONSULT

Datum 1981 10 13 | Vår beteckning 52.1545-04

Vårt tjänsteställe/vår handläggare: B Carlstedt/AML | Ert datum | Er beteckning

Cementa AB
Slitefabriken
620 30 SLITE.

Arkiv 1ex
kopia VD. 1ex
GL. 1ex
GK 1ex.

Att: Magnus Helmer

Vattentäkten i Klints

Efter bearbetning av det material vi erhållit av VIAK efter sammanträdet i Visby 81-09-02 har vi funnit så många starka argument mot att magasinet skulle vara orsak till förorening av brunnen Klints I att vi bedömt en dokumentation vara helt nödvändig.

Mot bakgrunden av kommunens argumentering i sin skrivelse till länsstyrelsen i bergtäktsfrågan (sid 2, tredje stycket) blir en sådan dokumentation än mer angelägen.

Vi har därför sammanställt bilagda PM och översänder 3 ex.

Med vänlig hälsning
SCANDIACONSULT AB
Div. Samhällsplanering
Avd. Geologi och grundvatten

Bo-Göran Engdahl
Bo-Göran Engdahl

Bo Carlstedt

Cementa AB

PM ANGÅENDE HYDROLOGISKA SAMBAND MELLAN VATTENMAGASIN OCH BRUNN KLINTS I FÖR SLITE VATTENFÖRSÖRJNING

Härtill bilaga 1-4

Orientering

Vid ett sammanträde i Visby den 2 september 1981 på begäran av tekniska nämnden i Gotlands kommun dryftades frågan om orsak till att brunn Klints I blivit förorenad sommaren 1979.

Vid mötet var man överens om att visst grundmaterial från kommunens utredare skulle överlämnas till Cementas konsult för ytterligare utvärdering.

Sådant material från dels en provperiod med återhämtning med början den 19 mars 1980 och dels nivåobservationer från perioden juni-augusti 1979 i brunnen Klints I och Klints III samt Br. II och Br. IV har bearbetats och redovisas i denna PM jämte utvärdering.

Faktaredovisning

Uppmätta grundvattenstånd juni-augusti 1979, dvs före, under och efter perioden då föroreningen inträffade, i brunnarna Klints I, Klints III, Br. II och Br. IV är redovisade i diagramform i bilaga 1. Mätvärdena är markerade med små cirklar.

Observerade mätvärden för samma observationsbrunnar efter pumpstopp i Klints I den 19 mars 1980, kl 10.25, finns redovisade på motsvarande sätt men i större tidsskala i bilaga 2. Dessutom finns här med observationsvärden i Br. I och Br. 6 samt Cementas magasin.

Vi har valt detta redovisningssätt då det tydligare indikerar hydrauliska samband och inverkan från andra parametrar än pumpningen än vad den metod för instationär strömningsberäkning gör, som Viak använt.

Lägen av observationsbrunnar, Cementas magasin och andra för ärendet relevanta anläggningar eller verksamheter finns angivna på kartan, bilaga 3, i skala 1:20000.

Härutöver har använts vissa fakta, som redovisats i Viaks utredning 1981-06-15.

Utvärdering

En väsentlig skillnad föreligger mellan förutsättningarna i de redovisade grundvattenstånden i bilaga 1 och 2, nämligen den att i första fallet pågår pumpning vid Klints I med storleksordningen 2-4 l/s medan i senare fallet ingen pumpning sker utan vattenståndsförändringarna återspeglar ev reaktion efter stopp av pumpen.

Vid jämförelse i bilaga 1 framgår att nivåskillnaderna vad gäller brunnarna Klints I, Klints III, Br. II och Br IV är betydande. När pumpning ej sker (bilaga 2) är vattennivåerna i brunnarna Klints I och III praktiskt taget densamma och följsamheten dem emellan är mycket god. Även Br. II har god följsamhet med Klints I och III ehuru vattennivån hela tiden är 50-60 cm högre än i de senare. Br. IV:s vattennivå ligger också nära lika Klints I och III, men följsamheten är "trög" och vattennivån är tidvis några cm högre och tidvis lägre än i Klints I och III.

Även under pumpningsperioden 1979 uppvisar vattennivån i Br. IV en från de övriga tre brunnarna avvikande variationsbild, sannolikt beroende på att Br. IV är mer direkt nederbördspåverkad än de övriga brunnarna.

Av protokollen från återhämtningsmätningarna den 19 mars 1980, enligt bilaga 2, framgår att vattenytan i Klints I redan 1 minut efter pumpstopp stigit 63 cm till samma nivå som i Klints III. Detta innebär att avsänkningstratten vid brunnen är mycket snäv så att grundvattennivån under pumpning bara några tiotal meter från brunnen är nära lika nivån i brunn Klints III. Under pumpning kan tidvis grundvattenytans lutning runt brunnen utanför den omedelbara sänktratten beräknas med nivån i Klints III som referensnivå.

Av det ovan sagda framgår att en naturlig lutning föreligger på grundvattenytan från nordväst mot sydost. Härav kan man dra slutsatsen att grundvattennivån i kalkberget under Cementas magasin bör vara lägre än vid Klints III eller i varje fall inte högre.

En profil genom brunnarna Br. II, Klints I, magasinet och Västra Brottet (nuvarande kalkstensbrott vid Slite), (bilaga 4), visar varför. Av profilen framgår att den nominella lutningen från fyllt magasin till Klints I är 12,5 o/oo vid lägsta grundvattenytan i juli 1979 och motsvarande lutning mot Västra Brottet (bottennivån) är 38 o/oo.

Om en vattenutläckning sker från magasinet efter uppfyllnadsskedet finns därför en avgjort starkare benägenhet för det utläckta vattnet att röra sig mot sydost än mot nordväst. Nu är det emellertid så att vid en ev utläckning följer inte trycklinjen en sådan nominell lutning. Den är i stället brant i början och flackar snabbt ut längre från magasinet (jfr streckade linjer i bilaga 4) till anslutning med den naturliga grundvattenytan. Detta förhållande talar emot en förorening av brunnen Klints I från vatten i magasinet.

I Viaks utredning upplyses att grunvattennivåerna i brunnarna kring Klintsvattentäkten under sommaren 1978 var de lägsta som uppmätts under den studerade perioden med 3-5 m lägre nivå än under den näst lägsta sommarnivån (1969). Den senare finns inte redovisad i Viaks utredning. Däremot finns en låg nivå sommaren 1977. I jämförelse med denna var nivån i Klints III 5,3 m lägre 1979 än 1977 när nivån var som lägst.

Att låga grundvattennivåer inträffar är normalt beroende på en kombination av stort uttag och lång torrperiod. Jämför man den torra perioden 1977 med den 1978 visar den sig i båda fallen omfatta 4 månader med sammanlagt 175 resp 100 mm nederbörd. Samtidigt var medeluttagen 2,0 respektive 2,25 l/s. Utgår man ifrån att meruttaget 0,25 l/s under 4 månader enbart skulle förorsaka den ökade avsänkningen genom magasinstömning och räknar med genomsnittet av de av Viak angivna magasinskoefficienterna för akviferen kommer man fram till att en avsänkning av mer än 5 m skulle inträffa inom en areal av över 5 km2. Då härtill kommer väsentligt lägre nederbörd 1978 än 1977 kan således den låga nivån helt förklaras av det större uttaget. Något bevis eller indicium på att magasinet skulle ha haft någon inverkan finns däremot ej.

Ett ytterligare stöd för uppfattningen att de meteorologiska förhållandena styr grundvattenstånden påtagligt vid vattentäkterna i kalkberget har man i de av Viak redovisade vattenstånden i brunn vid File Hajdar som också var avsevärt lägre 1978 (-12,4) än 1979 (-3,9). Denna brunn är klart dokumenterad icke påverkad av pumpning vid Klints I och nivåförhållandena vid File Hajdar är därför beroende enbart av de meteorologiska förhållandena och där rådande vattenuttag. Vad som är gemensamt för File Hajdar och Klints är däremot åtminstone i stort de meteorologiska förhållandena. Detta kan naturligtvis ge ett skenbart intryck av ett hydrauliskt samband, som dock inte praktiskt mätbart existrerar i kalkberget.

Slutligen, om man skulle utgå från förutsättningen att den inträffade föroreningen skulle ha förorsakats av överströmning av vatten i kalkberget från magasinet, och utifrån denna förutsättning genomför hydrauliska beräkningar med de mest gynnsamma parametrar för en sådan strömning, som Viak redovisat, kommer man fram till orimliga konsekvenser, som t ex vad gäller strömning mot magasinet när detta var tomt 1978. Avsänkningsintensiteten i Klints III under torrperioden då var högre ju lägre vattennivån sjönk. Detta står ju i avgjort bättre samklang med ett redovisat ökande vattenuttag än med en samtidigt minskande lutning av grundvattenytan mot magasinet. Under veckan skulle medeltappningen till magasinet enligt beräkningarna ha varit av ungefär samma storlek som vattenuttaget vid Klints I. Vid högre nivå vid Klints I skulle flödet följaktligen ha varit ännu större.

I själva verket kan grundvattennivån i kalkberget vid magasinet mycket väl ha varit under magasinets botten vid detta tillfälle (juli 1978, jfr den streckprickade linjen i bilaga 4). Härmed skulle argumentet falla om ett förment hydrauliskt samband mellan magasinet och brunnen Klints I.

Sammanfattning

I denna PM har grundmaterial från kommunens utredning om förorening av brunnen Klints I i Slite blivit föremål för ny redovisning och utvärdering.

Därvid har framkommit:

a) att ev utläckning av vatten från Cementas magasin har klart större benägenhet att rinna mot sydost (Västra Brottet) än mot nordväst (Klints I),

b) att det låga vattenståndet i brunnarna sommaren 1978 helt kan förklaras av ett större uttag i kombination med lång torrperiod än tidigare och att grundvattenståndet i kalkberget vid magasinet vid detta tillfälle troligen var lägre än magasinets botten, varigenom argumentet skulle falla om hydrauliskt samband mellan magasinet och brunnen Klints I,

c) att hydrauliska beräkningar utifrån förutsättningen att förorening inträffat från magasinet i juli 1979 ger orimliga konsekvenser för en strömning i motsatt riktning sommaren 1978, när magasinet var tomt. Dessa konsekvenser stämmer nämligen ej alls med vad som iakttagits vid detta tillfälle i form av nivåmätningar och

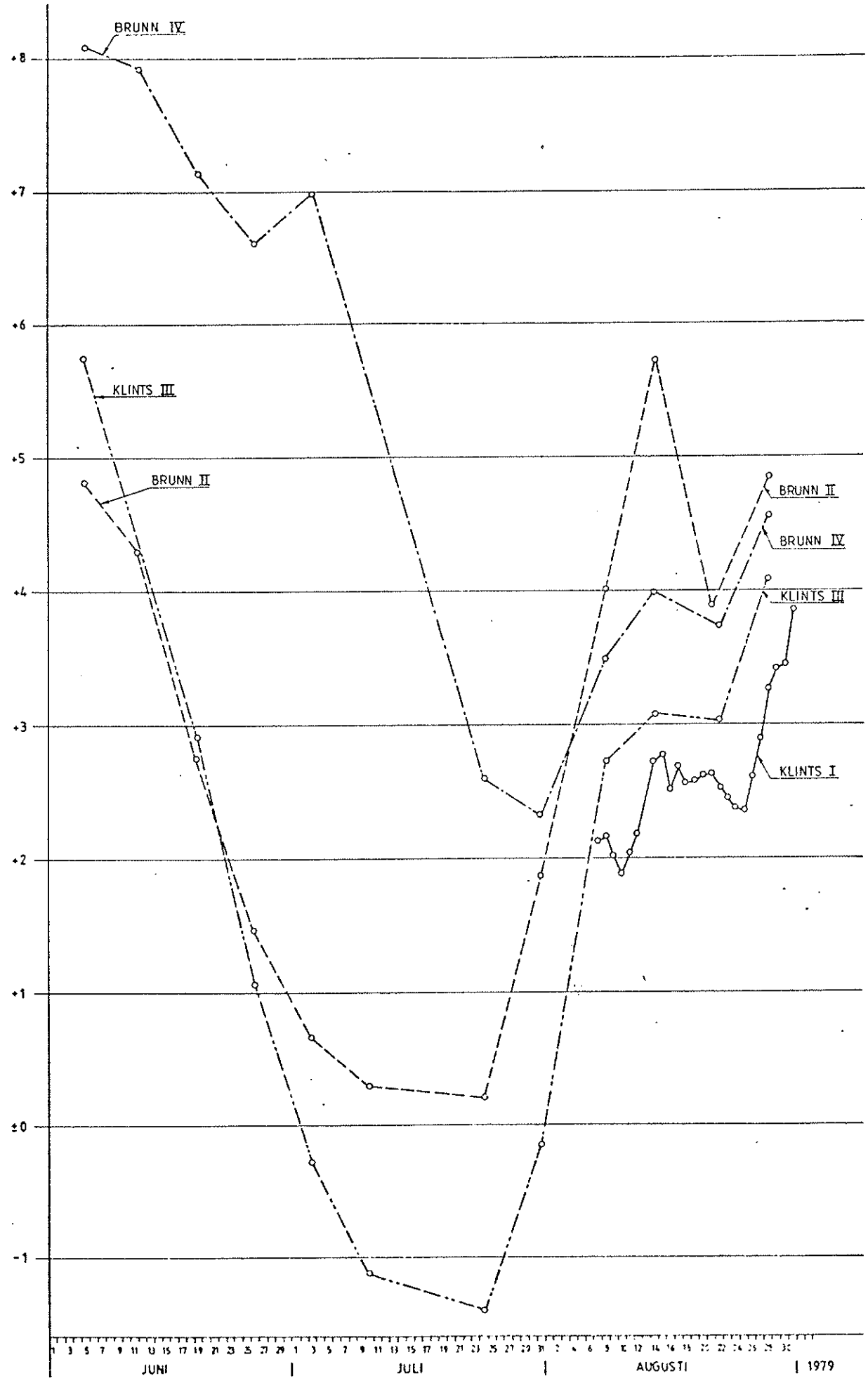
d) att hydrauliskt samband ej heller föreligger mellan brunnen Klints I och brunnarna på File Hajdar.

Därmed kan de indicier för att den inträffade föroreningen vid Klints I i juli 1979 skulle härröra från infiltrerat vatten vid Cementas magasin, som av kommunen framförts, helt tillbakavisas.

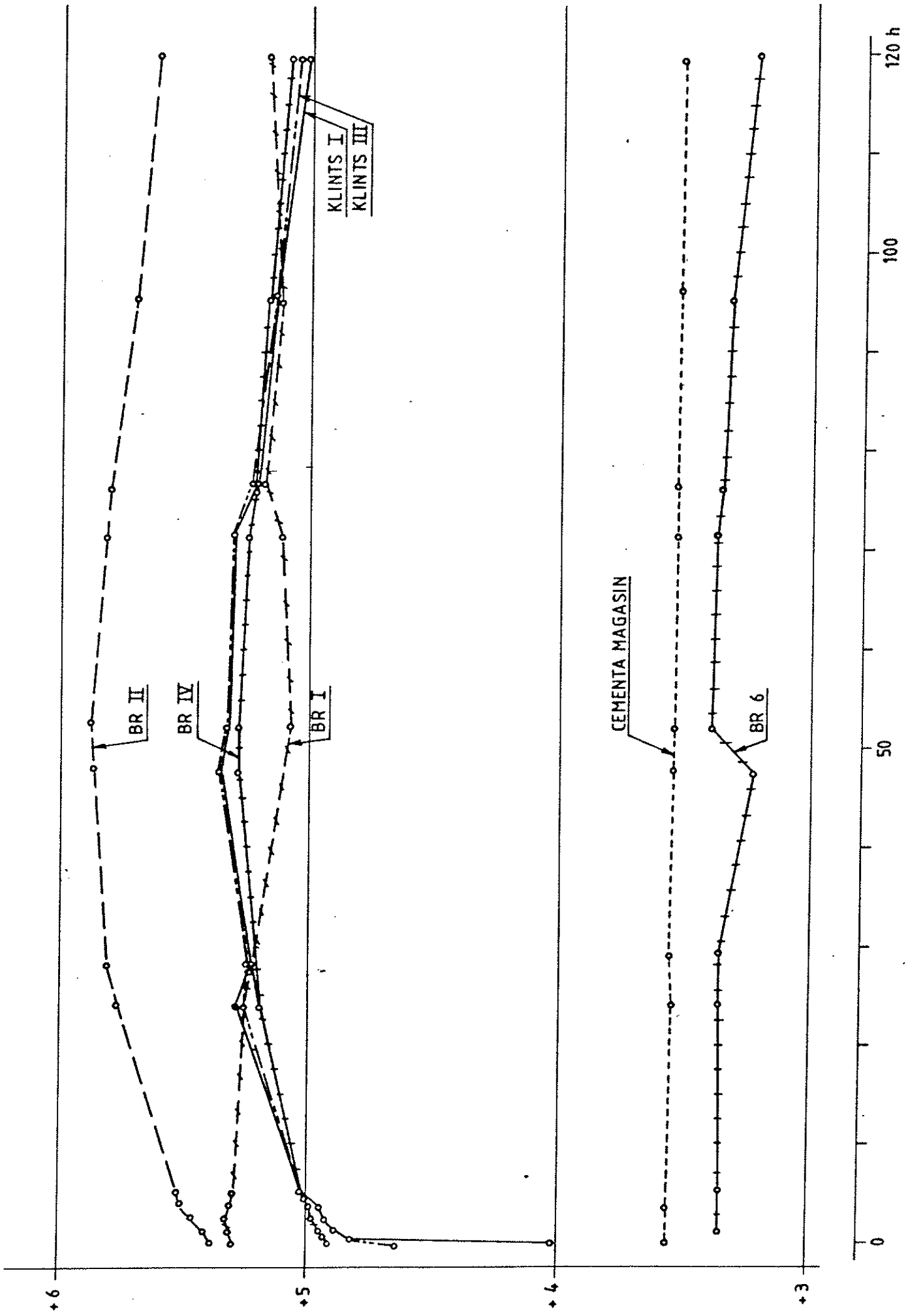
Stockholm den 8 oktober 1981
SCANDIACONSULT AB
Div Samhällsbyggnad
Avd geologi och grundvatten

Bo Carlstedt

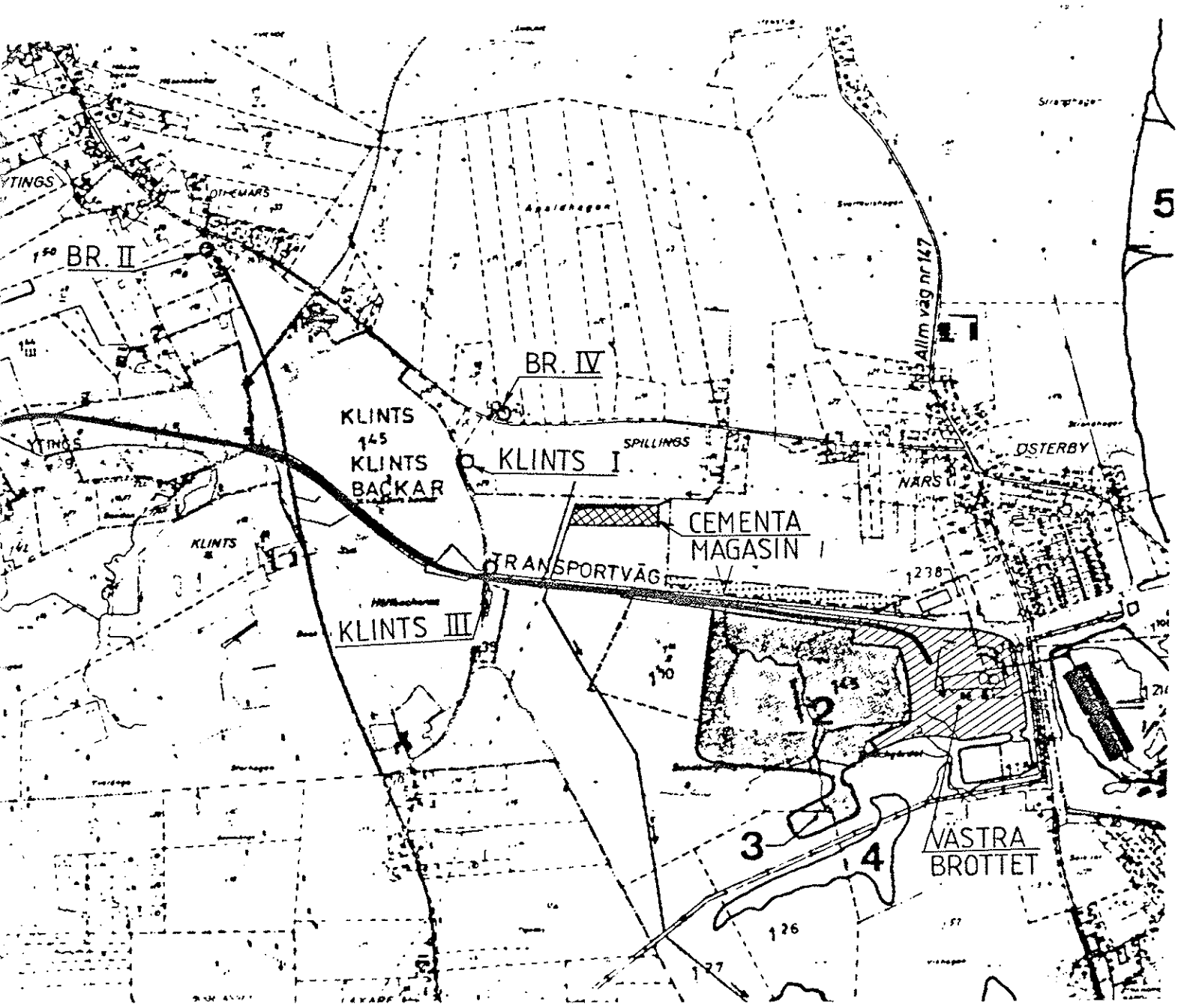
BILAGA 1
TILL PM
1981-09-30

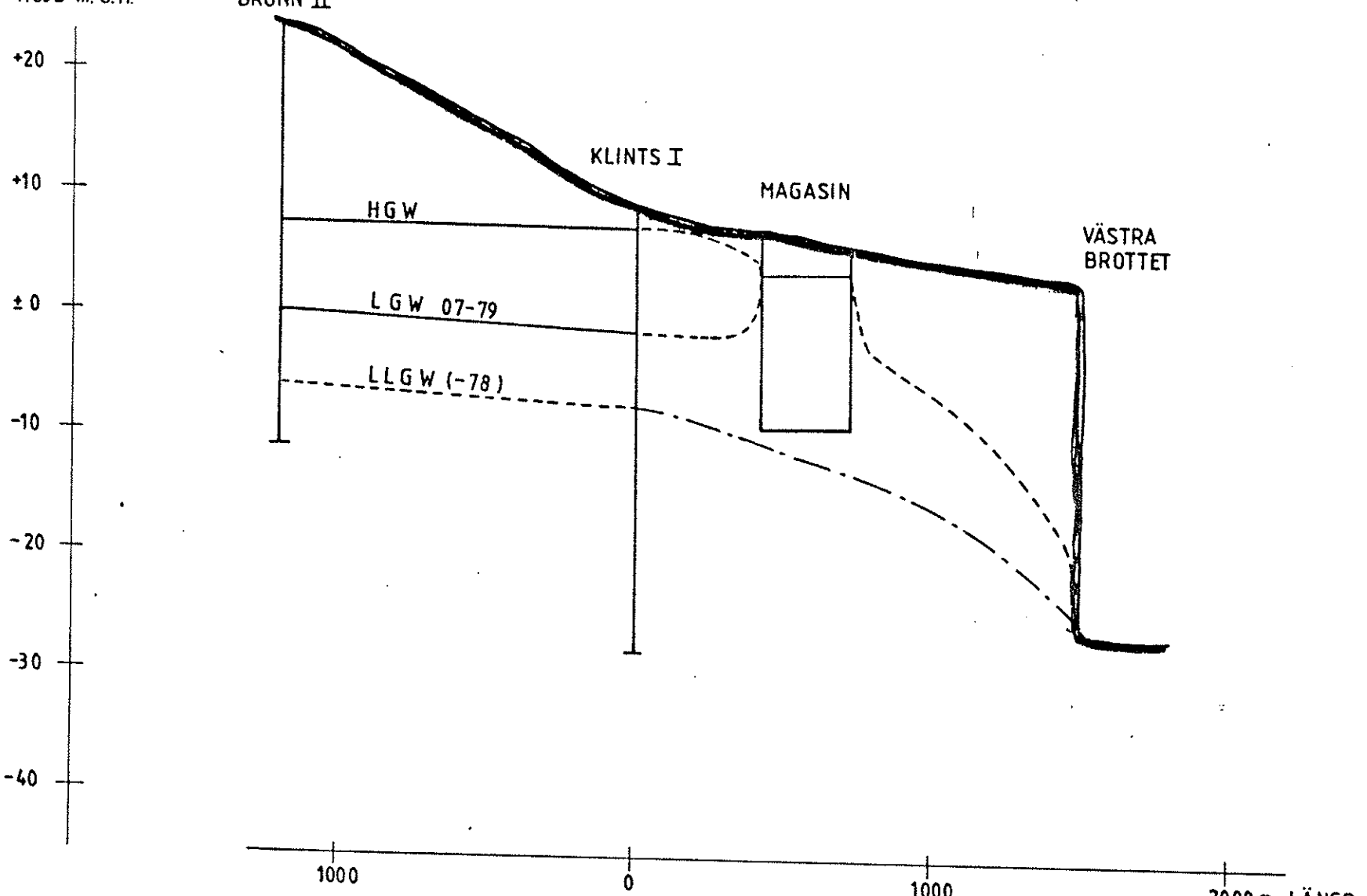


BILAGA 2
TILL PM
1981-09-30



BILAGA 3
TILL PM
1981-09-30





BILAGA 4
TILL PM
1981-09-30

CEMENTA, SLITE

UTVIDGNING AV STENTÄKT PÅ FILE HAJDAR
GEOHYDROLOGISK BEDÖMNING

Malmö 1990-05-15
Scandiaconsult Miljöteknik AB
Erik Gustavsson
Tel. 040-10 00 80

SCANDIACONSULT
MILJÖTEKNIK

Från: ERIK GUSTAVSSON

Till: MAGNUS HELMER
CEMENTA AB
BOX 102
620 50 SLITE

Datum: 90-05-23

Ringt 90-05-29.
Skyddsområde.

Stenbrottet, Filehajdar.

Sändes sent omsider den hydrogeol. bedömning på rubr. Vill Du läsa igenom och ev. återkomma med förslag till omformulering av där sådant kan bedömas nödvändigt

Hälsningar / Erik G

Postadress
BOX 17013
200 10 MALMÖ

Besöksadress
RÅDMANSGATAN 13
S:T JOHANNESGATAN 2

Telefon
040-10 00 80

Telefax
040-12 66 50

CEMENTA, SLITE

UTVIDGNING AV STENTÄKT PÅ FILE HAJDAR
GEOHYDROLOGISK BEDÖMNING

ORIENTERING

Cementa AB bedriver för sin cementtilverkning i Slite på Gotland täktverksamhet på File Hajdar enligt gällande täkttillstånd från 1981. En plan för fortsatt täktverksamhet för perioden 1990 - 2000 har upprättats, vilket innebär en utökning av brytningsområdet från f n ca 13 ha till ca 34 ha.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) gjorde innan täktverksamheten påbörjades en utredning för att söka klarlägga de hydrogeologiska konsekvenserna av den planerade täkten på File Hajdar. Utredningen redovisades i "File Hajdar. Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File Hajdar, Gotland.", daterad 1977-10-31.

En utvärdering av de mätningar och observationer av geohydrologisk art som gjorts vid och kring täkten i enlighet med gällande kontrollprogram har utförts av grundvattensektionen vid SGU. Denna redovisas i "Utvärdering av kontrollprogram avseende grundvattennivåmätningar på File Hajdar." daterad okt. 1987.

Täktområdets läge liksom täktens nuvarande storlek och planerad utvidgning intill år 2000 redovisas å bilaga 1. De observations punkter - brunnar - för grundvattenståndsobservationer som ingår och har ingått i kontrollprogrammet finns återgivna på kartan, bilaga 2.

HYDROGEOLOGI ENLIGT SGU 1977

Grundvattenförhållanden

Grundvattenförhållandena inom File Hajdar kan enligt SGU:s utredning 1977 beskrivas på följande sätt:
På ett djup av 50-80 m under markytan är berggrundens permeabilitet sådan att denna del utgör en akvifer med en transmissivitet på ca 10^{-5} - 4 x $10^{-4} m^2/s$. Grundvattenmagasinet är slutet med en mycket låg magasinkoefficient, ca 1-20 x 10^{-5}. Trycknivån är belägen 5 - 40 m under markytan.

Det överliggande berget utgör en akvitard med en vertikal permeabilitet på 0,2 - 5 x 10^{-7} m/s vid en antagen fri sprickporositet på 0,1 - 5 x 10^{-3}. Dess horisontella transmissivitet har beräknats till 7 x 10^{-7} - $10^{-5} m^2/s$. Vattentransporten i akvitarden är till största del nedåtriktad och den vertikala transporten har bedömts vara 35 gånger större än den horisontella.

Öster om File Hajdar finns i berggrunden en krosszon med ungefär nord - sydlig sträckning. Krosszonens bredd beräknas till ca. 550 m. Transmissiviteten i zonen är hög och av storleken $10^{-2} m^2/s$. Vattentäkten för Slite samhälle är belägen i denna zon.

I akviferen är gradienten från den väster om File Hajdar belägna i sjön Tingstäde Träsk ostlig. I akvitarden finns enligt SGU ett grundvattendelarområde i norra delen av File Hajdars topografiskt högsta partier. Från detta område sjunker grundvattennivån radiellt åt alla håll.

Under lågvattenperioder står grundvattenytan i akvitarden 5 - 25 m lägre än under högvattenperioder. Vissa förändringar av strömningsbilden har konstaterats under lågvattenperioder, innebärande bl a att i den centrala sydöstra delen blir nivåkurvorna i det närmaste ost-västliga från att ha varit nord-sydliga under högvatten.

Grundvattenbildningen till akviferen har av SGU beräknats till ca 10 mm/år. Med en areal på ca 23 km^2 uppgår nybildningen av grundvatten på File Hajdar till 230.000 m^3/år, vilken vattenmängd transporteras mot öster i akviferen.

Den vattenmängd som transporteras horisontellt inom akvitarden beräknas till storleksordningen 5000 m^3/år. Härav transporteras ca 75% mot öster och ca 25% mot väster.

Stenbrottets inverkan på grundvattnet

SGU har i 1977 års utredning bedömt brottets inverkan på grundvattenförhållandena vid fullt utbruten volym. Brottet beräknas vara fullt utbrutet år 2025 och har då en brottyta på ca 2 km^2 och en bottennivå på +16 möh.

Grundvattenbildningen inom brottområdet beräknas minska och en avsänkning av akviferens trycknivå kan påräknas, medförande en ökad tryckskillnad mellan akviferen och akvitarden inom området utanför och i anslutning till brottet. Minskningen av grundvattenbildningen beräknas till storleksordningen 10.000 m^3/år eller ca 4% av den från File hajdar avrinnande grundvattenmängden.

Stenbrottet beräknas medföra en avsänkning av grundvattennivån i akvitarden inom en zon runt brottet. Utsträckningen av denna zon beror bl a på kalkstenens permeabilitet, grundvattenbildningens storlek, grundvattnets gradient mot det påverkade området och storleken av grundvattenavsänkning.

Förekomsten av större sprickzoner kan medföra avvikelser vad avser zonens utbredning. En tektonisk zon med 1000 gånger högre permeabilitet än vad som räknats med medför överslagsmässigt en påverkan inom ett avstånd på 700 - 1000 m från brottkanten.

Stenbrottets inverkan på ytvattenavrinningen

Ytvattenavrinningen från File Hajdar kommer att minska beroende dels på att avrinningen från delar av högre liggande områden kommer att ske in i brottet, dels på att ingen ytavrinning kommer att ske från själva brottområdet. Storleken av förändringen till följd av den första faktorn har inte beräknats. Den minskade avrinningen från brottområdet har angivits till ca 360.000 m^3/år.

Stenbrottets inverkan på Slites vattentäkter

Under förutsättning att allt grundvatten som bildas inom brottområdet når grundvattentäkten utgör denna del endast ca 6% av vattentäktens kapacitet. Genom tillkomsten av brottet kan en minskning av grundvattentillgången vid vattentäkten av samma storleksordning påräknas, d v s 0,6 - 1,9 l/s. Minskningen kommer troligtvis att bli mindre då en viss kompensation erhålles genom en ökad grundvattenbildning inom vattentäktens influensområde.

Inläckande vatten till stenbrottet

Från det färdiga brottet beräknas från nederbörden ca 1000 m^3/dygn behöva avledas och från inläckande grundvatten ca 800m^3/d. Angiven mängd intäckande grundvatten är mycket osäker då den är mycket svår att beräkna. Utöver dessa vattenmängder tillkommer till brottet från högre liggande delar av File Hajdar inrinnande och intäckande ytvatten. Storleken härav är beroende på ett flertal icke fastställbara faktorer, bl a på vilka dräneringar eller andra åtgärder som vidtages vid brottet för att minska ytvattentillrinningen.

SGU:s utvärdering 1987

SGU konstaterar i sin utredning av de genomförda observationerna av grundvattenstånden inom File Hajdar under perioden 1978 - sept 1987 att grundvattenståndsvariationerna i de flesta fall är likartade med snabba, kraftiga nivåökningar i samband med regn eller snösmältning och lika snabba och kraftiga nivåsänkningar i samband med torka och kyla. Detta mönster är mest uttalat inom områdets centrala och västra delar. Inom de östra delarna visar observationerna ett något lugnare mönster med mera uttalade årstidsvariationer.

Flerårsvariationerna i observationspunkterna inom de västra och centrala delarna visar drag liknande varandra med relativt konstanta medelnivåer under perioden 1978-1986. Grundvattenförhållandena inom dessa delar av File Hajdar bedöms ej märkbart vara påverkade av täktverksamheten.

Observationer i områdets norra del visar likartade data som de i de västra och centrala delarna. Dock visar en observationspunkt, brunn 28, som ligger relativt nära täktområdet ett sjunkande medelvattenstånd sedan 1982. Detta anses möjligen kunna bero på täktverksamheten.

Vissa brunnar belägna inom området för den färdigexploaterade täkten och representerade förhållandena i akvitarden visar sådana observationsdata att någon påverkan från täktverksamheten icke bedöms föreligga. Brunn 84 visar dock en markant sänkning av medelnivån från 1985 till 1986, vilket anses kunna tyda på en påverkan från täktverksamheten.

Observationer i de ostligaste delarna av området avseende förhållanden i såväl akvitarden som krosszonen visar stigande medelnivåer från 1981. Orsaken till de stigande nivåerna anses kunna hänföras till minskade vattenuttag ut de kommunala vattentäkterna i krosszonen. Eventuellt kan också det vatten som bortpumpas från stentäkten genom infiltration till berggrunden medverka till de stigande grundvattenstånden.

SGU konstaterar i sin utvärdering att vissa avvikelser från det fastställda kontrollprogrammet har gjorts. Bl a har någon registrering och dokumentation av från stentäkten bortpumpad vattenmängd ej skett.

SGU:s bedömning i utredningen 1977 om viss påverkan på grundvattennivåerna i akvitarden närmast stenbrottet till följd av täktverksamheten synes bekräftas av den bedömning som gjorts i 1987 års utvärdering.

VÄRDERING AV BEFINTLIGA OBSERVATIONSDATA

Kontrollprogram

Kontrollprogram omfattande bl a kontinuerliga observationer av grundvattennivåerna i akviferna. Akvituden och krosszonen har fastställts av länsstyrelsen. Vissa revideringar av observationsprogrammet har gjorts. Nu göres mätningar en gång per månad i följande observationspunkter:

Akvitarden:	1, 28, 39, 43, 80, 84, 85, 87, 94T, 95, 100, 102
Akviferen:	P86, 94F
Krosszonen:	96, 98

Fram till senare hälften av 1989 gjordes observationer bl a i punkten 33 i akvitarden och i punkten 93 i akviferen. Kontrollprogrammet föreskriver också vattenprovtagning för analys av vatten från bl a stenbrottet och kommunens vattentäkt. Vidare skall från brottet pumpad vattenmängd dokumenteras månadsvis.

Nederbörd

Medelnederbörden vid den File Hajdar närbelägna SMHI-stationen Hejnum uppgår till 624 mm/år. Nederbörden åren 1977-1989 redovisas i bilaga 3. Sedan 1983, då täktverksamheten på File Hejdar påbörjades, har årsnederbörden vid Hejnum registrerats till:

År	mm/år	År	mm/år
1983	593	1987	628
1984	729	1988	668
1985	693	1989	595
1986	632		
Medel:	648		

Nederbörden sedan täktverksamheten påbörjades har sålunda varit i medeltal 24 mm större än medelnederbörden för stationen.

Från täkten pumpad vattenmängd

Dokumentation av från stenbrottet pumpad vattenmängd föreligger från och med juni 1988. Vattenmängden bedömmes från registrerade värden på pumparnas gångtid. Beräknade dygnsmedelvärde (m^3) månadsvis från perioden juni 1988 - december 1989 redovisas grafiskt i bilaga 4. Nederbördens månadsvärden för samma period återfinnes i diagramform i bilaga 5.

Under 1989 har totalt 715.000 m^3 pumpats från stenbrottet motsvarande 1960 m^3/d. Största mängden pumpades under december, 128.500 m^3, motsvarande 4.100 m^3/d i medeltal. Minsta mängden pumpades under juli månad, 6.000 m^3, motsvarande 190 m^3/d.

Beräkningsmässigt är maximalt ca 200 m^2/d av den pumpade vattenmängden att hänföra till nederbörden på brottytan. Storleken av intäckande grundvatten kan inte bedömas från föreliggande data. Den torde dock vara ytterst begränsad att döma av de uppgifter om pumpdriften som lämnats av ansvarig personal vid stenbrottet. Den helt dominerande delen av det bortpumpade vattnet utgöres av ytvattnet från uppströms belägna delar av File Hajdar dels från markytan och dels från ytnära magasin i berggrunden. Några speciella åtgärder för att från brottet avleda tillrinnande ytvatten har inte vidtagits.

Det bör framhållas att den metod med vilken vattenmängderna beräknas är osäker. Pumparnas kapacitet har fastställts med ledning av pumpdata och beräknad uppfordringshöjd. För att erhålla mera säkra vattenmängdsdata bör bestämning av pumparnas kapacitet göras genom mätningar på platsen.

Kommunens grundvattenuttag

Kommunens uttag av grundvatten från brunnarna i krosszonen för vattenförsörjningen i Slite uppgår sedan 1985 till ca. 780 m^3/d. Uttagen har sedan 1985 väsentligt reducerats i jämförelse med tidigare uttag beroende i huvudsak på att distributionen till cementfabriken upphört och att åtgärder för att minska läckaget från ledningsnätet genomförts. Kommunens grundvatten-

uttag under åren 1977-1989 redovisas i bilaga 6. Under åren 1977-1981 var uttagen av storleksordningen 1050-1200 m^3/år. En väsentlig reduktion har sålunda skett under de senaste åren.

Grundvattennivåer

I akvitarden öster om stenbrottet föreligger månatliga grundvattenståndsobservationer sedan 1978 i tre observationspunkter 43, 85 och 80. Av dessa är punkterna 80 och 85 belägna mellan brottet och kommunens vattentäkt i krosszonen. I bilaga 7 redovisas årsmedelvattenstånden i dessa punkter för åren 1978-1989. I punkt 80 kan konstateras en stigande årsmedelnivå från ca. +5,0 möh före 1981 till ca. +11,0 möh 1985, varefter nivån är relativt konstant. I punkt 85 observeras en sjunkande nivå från 1980 till 1983 varefter nivån stiger för att från 1985 vara i stort sett konstant. Från punkt 43 föreligger observationer även för åren 1971-1977. Å bilaga 8 redovisas årsmedelnivåerna för åren 1971-1989

Före 1983 har nivåerna varierat mellan +18,80 och +16,50. Efter 1983 har variationerna legat mellan +20,0 och +17,0. Från 1985 som var ett nederbördsrikt år, liksom 1984, har medelnivån sjunkit fram till 1988 för att därefter stiga. Medelnivån för åren före 1983 har varit lägre än för åren därefter.

För de observationspunkter i akvitarden norr resp. söder om brottet, 28 och 84, som i SGU:s utvärdering 1987 bedömts som möjligen påverkade av täktverksamheten, redovisas årsmedelnivåerna t o m år 1989 å bilaga 9. För punkt 28 kan konstateras en sjunkande tendens sedan 1980, mest markant fram till 1983. Punkt 84 visar lägsta nivåer åren 1981-1983 för att därefter stiga fram till 1985. Från 1986 har nivåerna varit i stort sett lika med en liten uppgång år 1989.

För punkt 33, belägen väster om brottet och representerande akvitarden, föreligger observationer från 1971. Årsmedelnivåerna för högvattenförhållanden och lågvattenförhållanden

åren 1971-1989 redovisas på bilaga 10. Under högvattenförhållanden har medelnivån varit konstant +50,0 möh. För lågvattensituationerna har medelnivåerna varierat något. Någon tendens till sjunkande nivåer kan ej konstateras.

Årsmedelnivåerna för punkterna 93 och 86, belägna sydväst om stenbrottet och representerande förhållandena i akviferen, redovisas på bilaga 11. Nivåerna kan sägas vara stigande från 1983 med en mindre nedgång från 1988 till 1989. Medelnivån för åren före 1983 ligger lägre än för perioden 1983-1989.

Bilaga 12 redovisar observationer i punkt 96, belägen nordost om brottet och placerad i krosszonen samt punkt 94F belägen söder om brottet och representerande akviferen. För krosszonen kan konstateras stigande medelnivåer från 1981 till 1985, varefter nivån sjunker något fram till 1987. Härefter är nivån svagt stigande. För 94F, där observationer föreligger först från 1983, är förhållandena likartade.

Av företagna observationer synes endast de i punkt 28 antyda möjlig påverkan på förhållandena i akvitarden till följd av täktverksamheten. I övrigt synes akvitarden så långt som är möjligt att bedömma med föreläggande observationsmaterial opåverkad av täkten. Inga av observationerna i akviferen visar någon inverkan från täktverksamheten.

Observationer i krosszonen föreligger endast i punkt 96, belägen på stort avstånd från kommunens vattentäkt. Någon påverkan på krosszonen i denna del torde inte föreligga. I krosszonen har tidigare observationer gjorts i kommunens produktionsbrunn 71A, men dessa har upphört då den bedömts olämplig för observationer. En ny observationsbrunn har tillkommit, punkt 98, där observationer endast gjorts under senare hälften av 1989.

Vattenanalyser

Från analysprovtagning i stenbrottet föreligger 4 analyser från 1988 och 4 från 1989. Analyserna omfattar suspenderad substans, nitratkväve och klorid. Analysresultaten redovisas i nedanstående tabell.

TABELL A

Stenbrottet analysresultat

Provt.dat.	Susp mg/l	NO_3-N mg/l	Cl mg/l
88-03-15	<5	1,89	21
88-05-16	<5	0,82	9
88-09-01	<5	3,43	11
88-12-01	<5	0,84	11
89-04-04	<5	0,68	11
89-08-12	<5	8,80	30
89-10-16	12	0,89	10
89-12-15	<5	0,34	10

Från provtagning i brunn 71A, som utnyttjas som grundvattenbrunn i kommunens vattentäkt i krosszonen, föreligger 8 analyser varav 4 från 1988 och 4 från 1989. Analysattesterna bifogas här som bilaga 13. I tabellen nedan redovisas analysresultaten vad avser $KMnO_4$-förbrukning, ammonium, nitrit, nitrat, klorid och sulfat.

TABELL B

KOMMUNENS VATTENTÄKT, BRUNN 71A, ANALYSRESULTAT, mg/l

ÅR	$KMnO_4$	NH_4	NO_3	NO_2	Cl	SO_4
88-03-15	10	<0,05*	<2	<0,01	23	23
88-05-16	6	<0,10	<2	<0,01	17	25
88-09-01	11	<0,10*	<2	<0,01	24	18
88-12-01	7	<0,1	<2	<0,01	24	23
89-04-04	8	<0,10	<2	<0,01	24	23
89-07-12	8	<0,10	<2	<0,01	66	22
89-10-16	--	<0,10	<2	0,03	25	31
89-12-15	10	<0,10	<2	<0,01	18	16

*NH_4-N

Grundvattnet vid kommunens vattentäkt är av god beskaffenhet

och någon påverkan i detta avseende från täktverksamheten på File Hajdar kan inte konstateras. Halterna av såväl klorid, ammonium, nitrat och nitrit är låga.

Sammanfattning

Den täktverksamhet som av Cementa bedrivits på File Hajdar sedan 1983 bedöms endast marginellt ha påverkat grundvattenförhållandena. En viss påverkan av grundvattennivån i akvitarden närmast stenbrottet kan möjligtvis ha skett. Några förändringar i den akvitarden underliggande akviferen har inte kunnat konstateras, ej heller i den s k krosszonen öster om täkten, i vilken kommunen har sin grundvattentäkt för Slite samhälle.

Jämförelsevis stora vattenmängder pumpas från stenbrottet för länshållning, huvudsakligen som en följd av tillrinnande och inläckande ytvatten från högre belägna delar av File Hajdar.

Den inverkan som verksamheten kan ha på grundvattentillgången i krosszonen och därmed grundvattentillgången för vattenförsörjningen i Slite är ytterst marginell. Detta accentueras ytterligare av det förhållandet att grundvattentillgången vid Slites vattentäkt är väsentligt större än behovet av grundvattenuttag, belyst av de överuttag som kommunen gjort under många år vid jämförelse med nuvarande uttag.

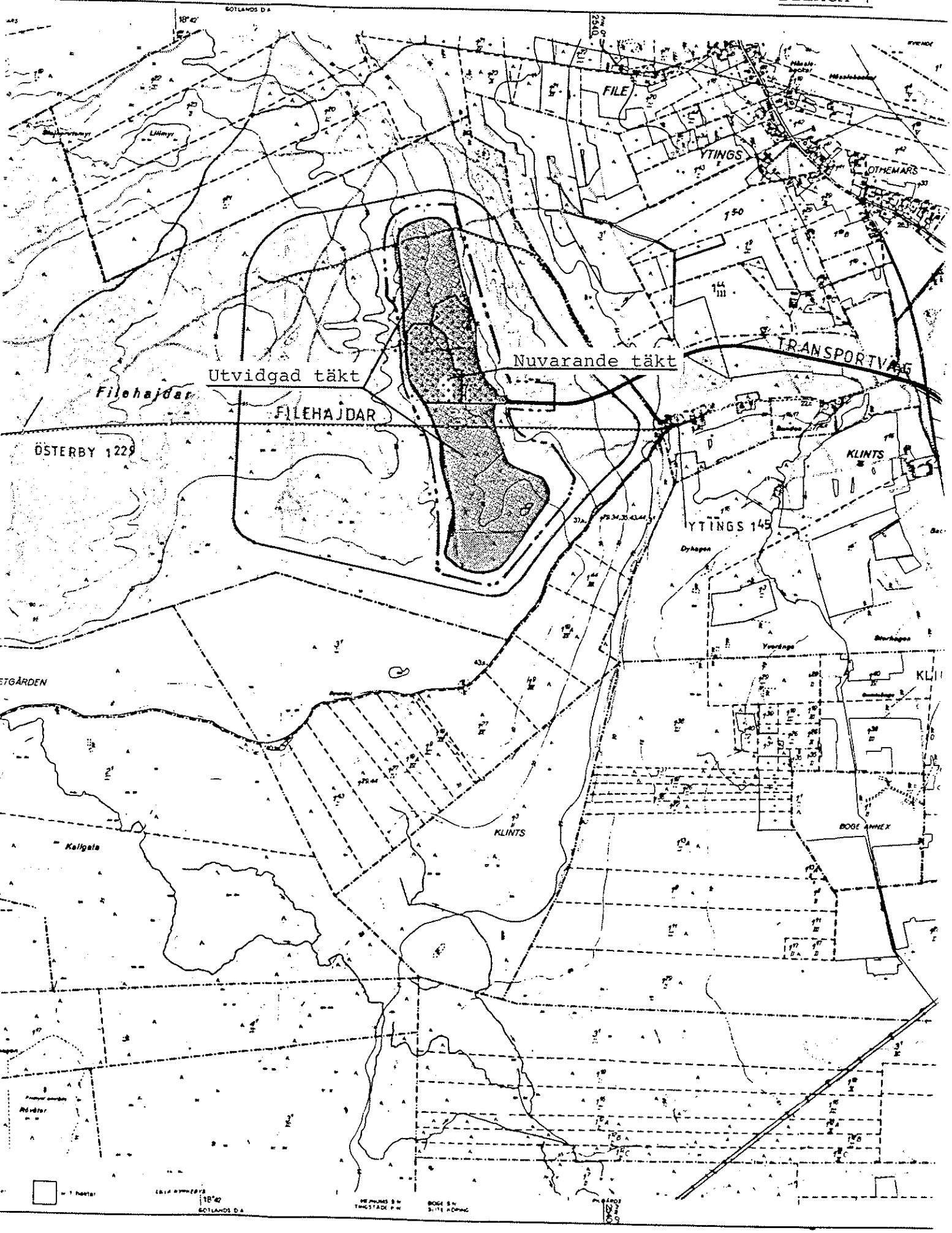
Någon försäkring av vattenkvalitén vid Slites vattentäkt till följd av täktverksamheten har inte konstaterats. Grundvattnet i krosszonen är av god beskaffenhet.

Den utökning av brottet som nu planeras för perioden fram till år 2000 bedöms inte innebära några större förändringar av grundvattenförhållandena på File Hajdar. Det område kring stenbrottet där inverkan på grundvattennivån i akvitarden sker kommer eventuellt att utökas.

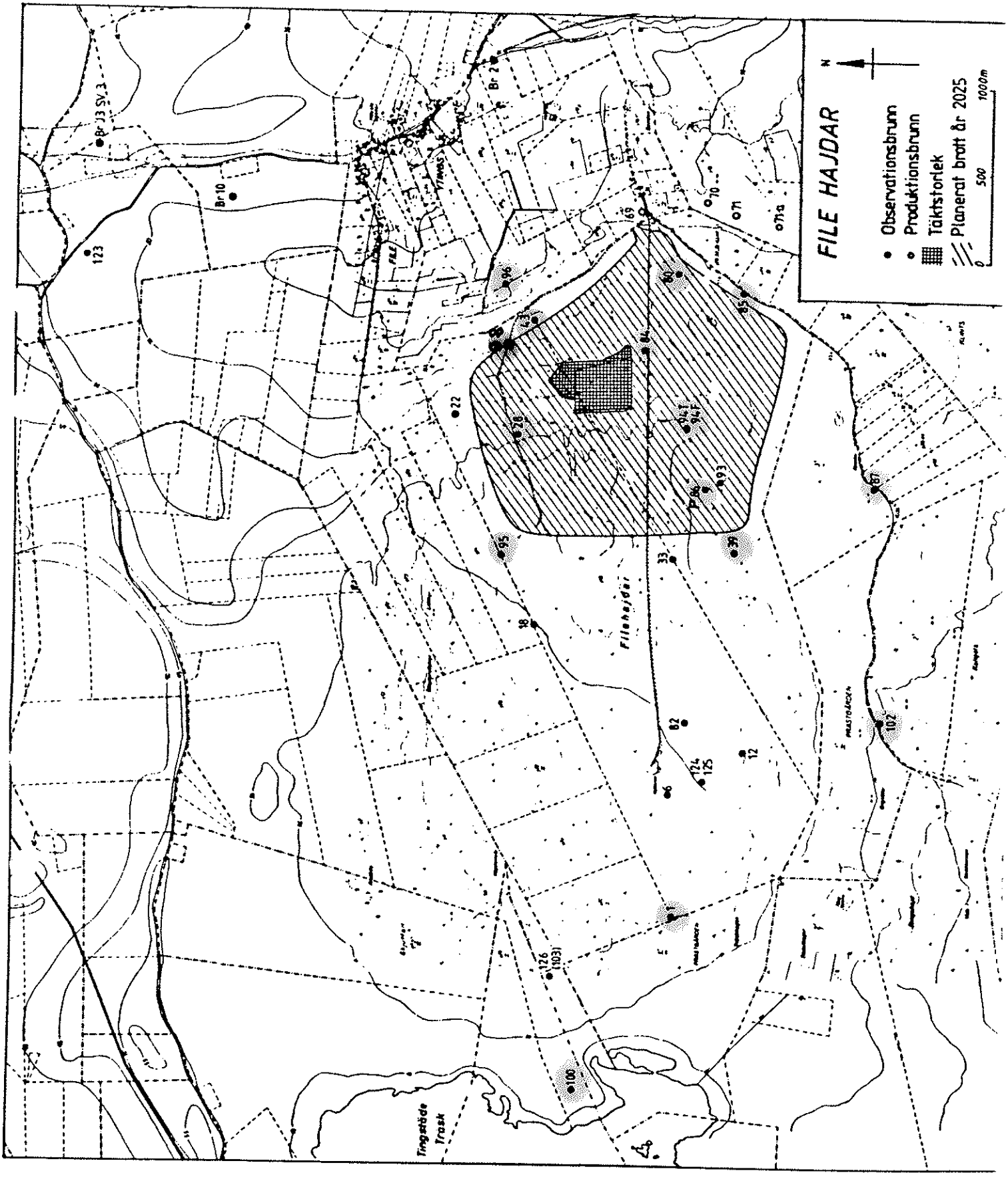
Några påvisbara förändringar i akviferen torde knappast uppkomma och den eventuellt ytterligare minskade grundvattentillgången i krosszonen kommer fortfarande att vara ytterst marginell och kommer inte att ha någon betydelse för kommunens vattentäkt.

Ytavrinningen från File Hajdar kommer att minska, dels beroende på den utökade brottytan och dels på en ökad tillrinning och inläckage av ytvatten från uppströms belägna delar av File Hajdar.

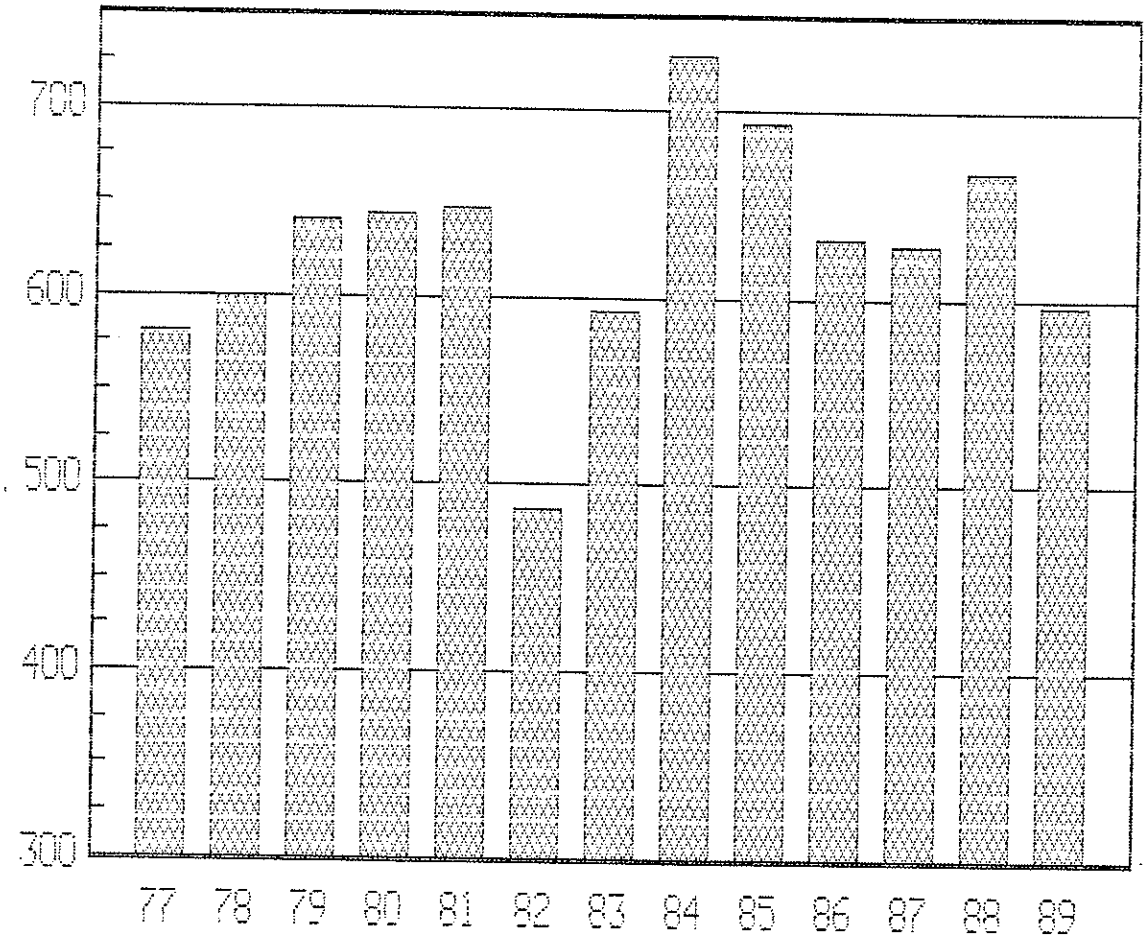
Den bedömning som idag kan göras med ledning av observationer och mätningar företagna efter det att SGU upprättat sin rapport om geohydrologin på File Hajdar 1977 synes i stort bekräfta de bedömningar som gjordes i rapporten.


Utvidgad täkt
Nuvarande täkt
FILEHAJDAR
ÖSTERBY 1229
TRANSPORTVÄG
YTINGS 145
KLINTS
FILE
YTINGS
OTHEMARS
Kallgata
BOGE ANNEX

BILAGA 2


FILE HAJDAR
Observationsbrunn
Produktionsbrunn
Täktstorlek
Planerat brott år 2025
0
500
1000m
N
Filehajdar
Tingstäde Träsk

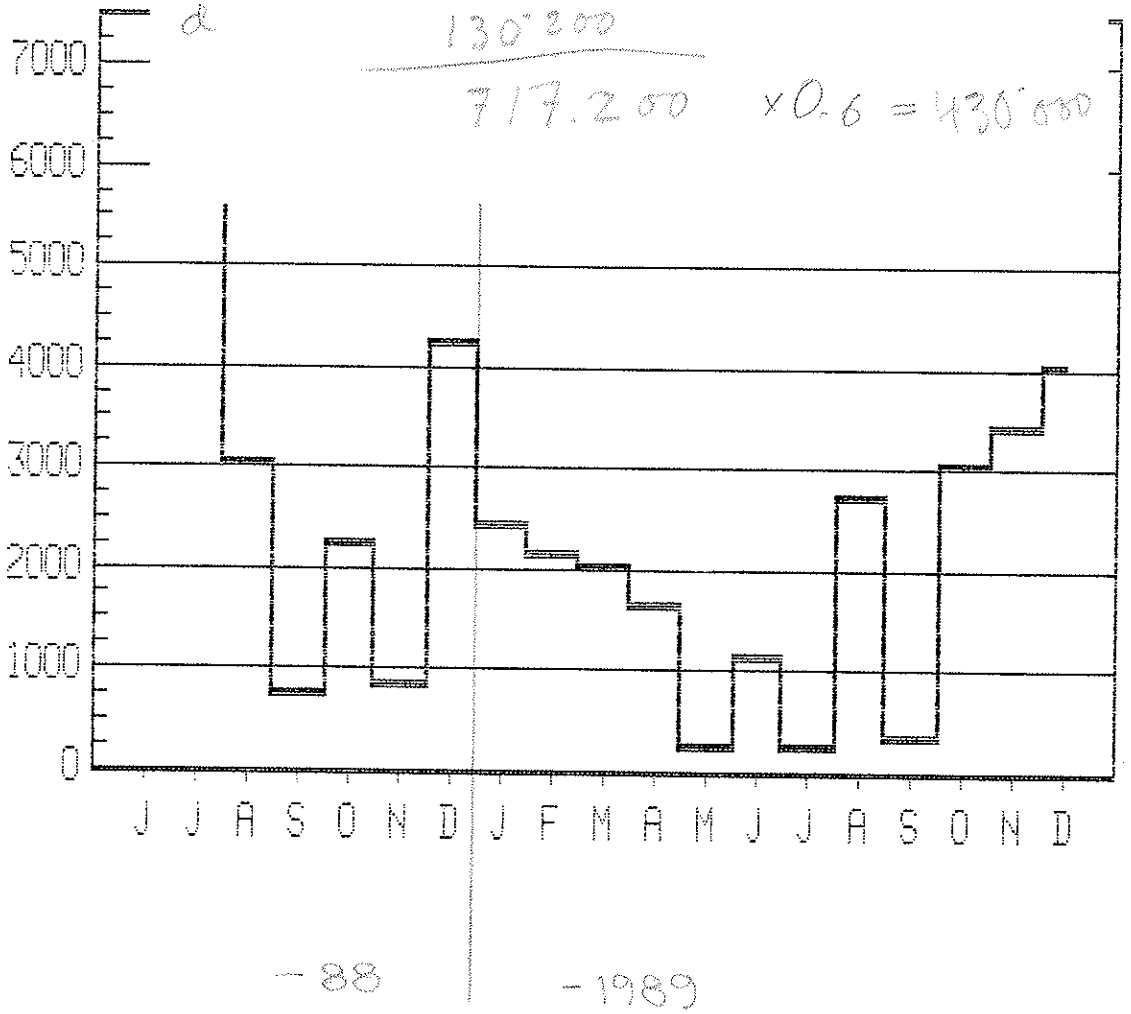
CEMENTA SLITE
HEJNUM: NEDERBÖRD 1977 -1989, MM/ÅR



1988

juni	195'000
juli	179'800
a	93'000
s	24'000
o	68'200
m	27'000
d	130'200
	717.200

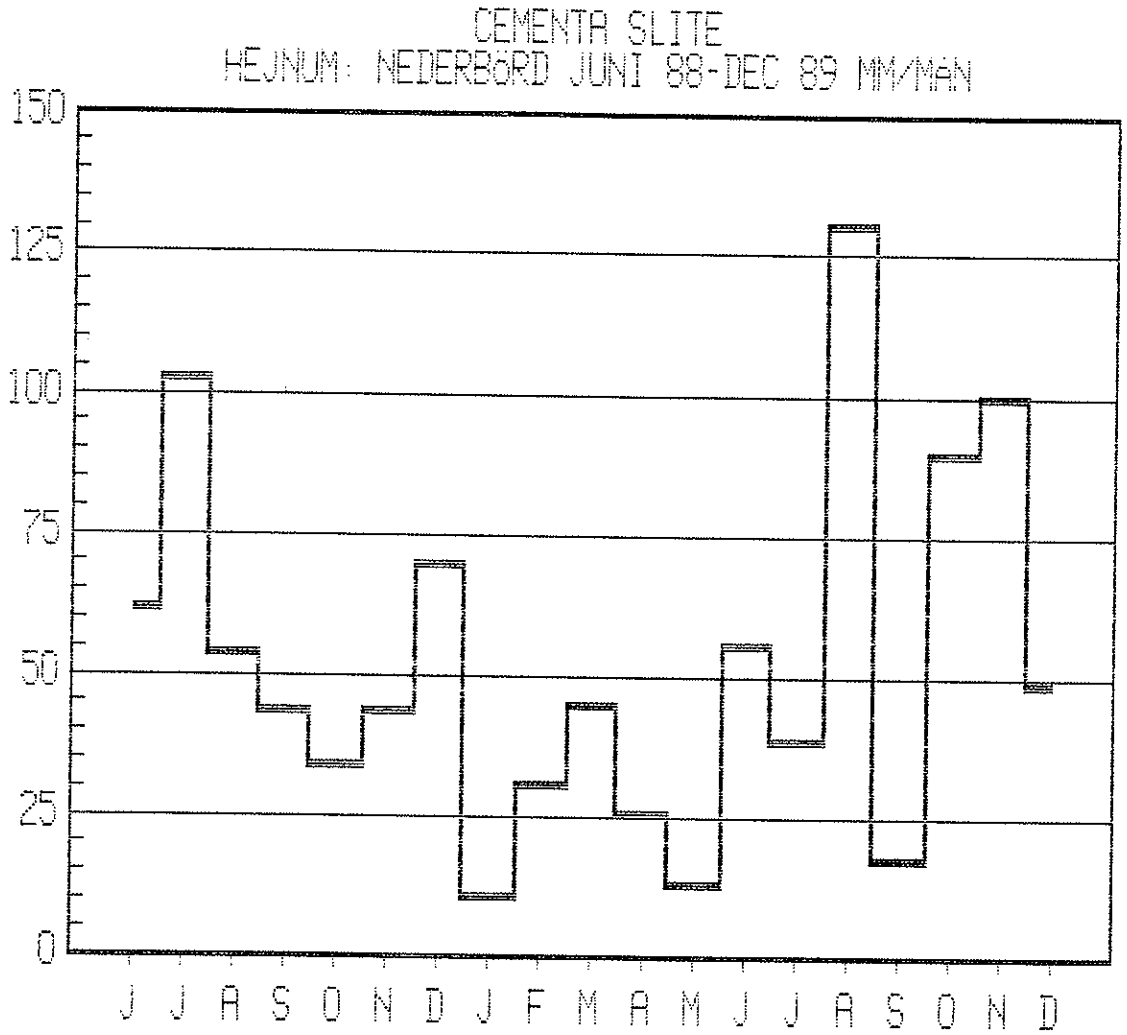
× 0.6 = 430'000

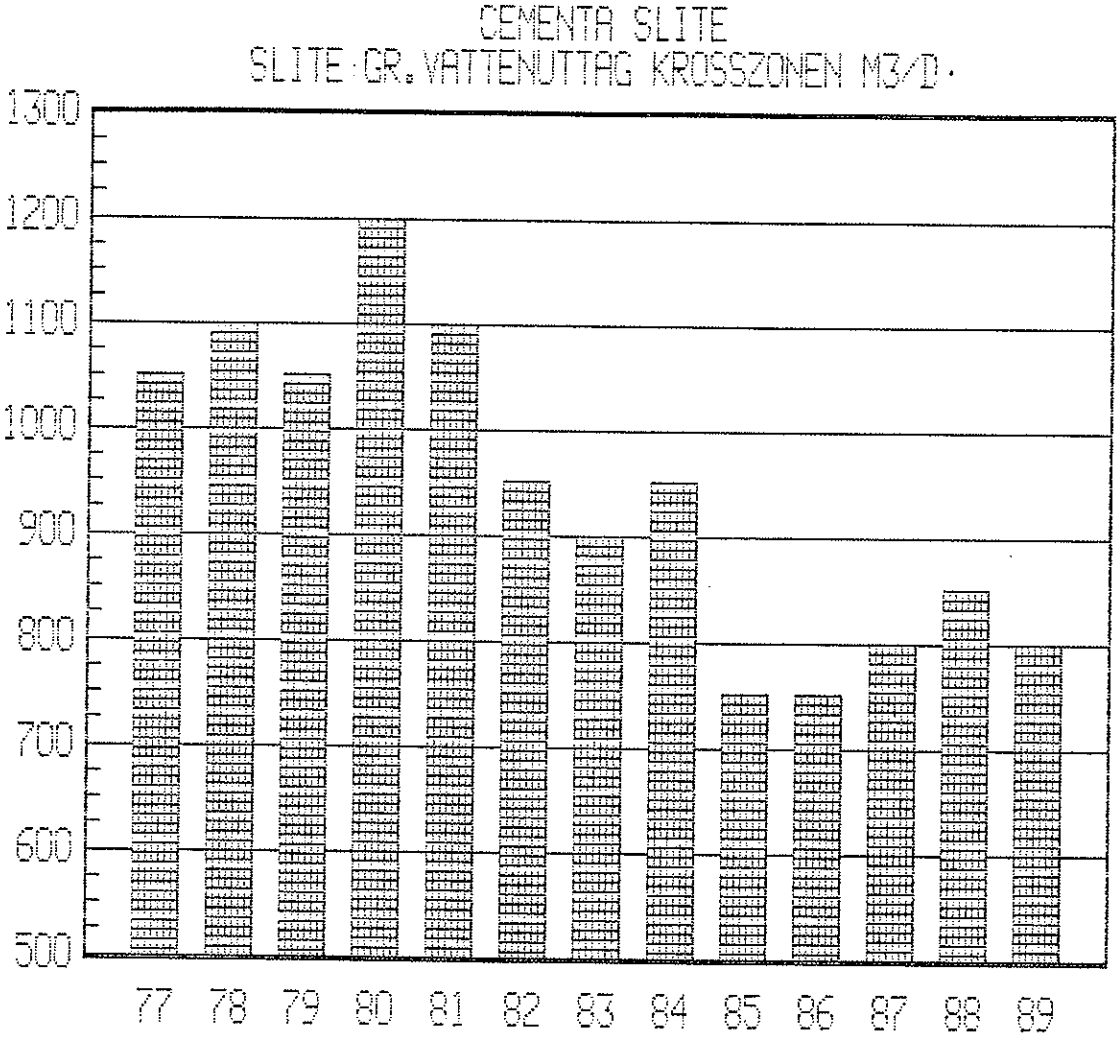


1989

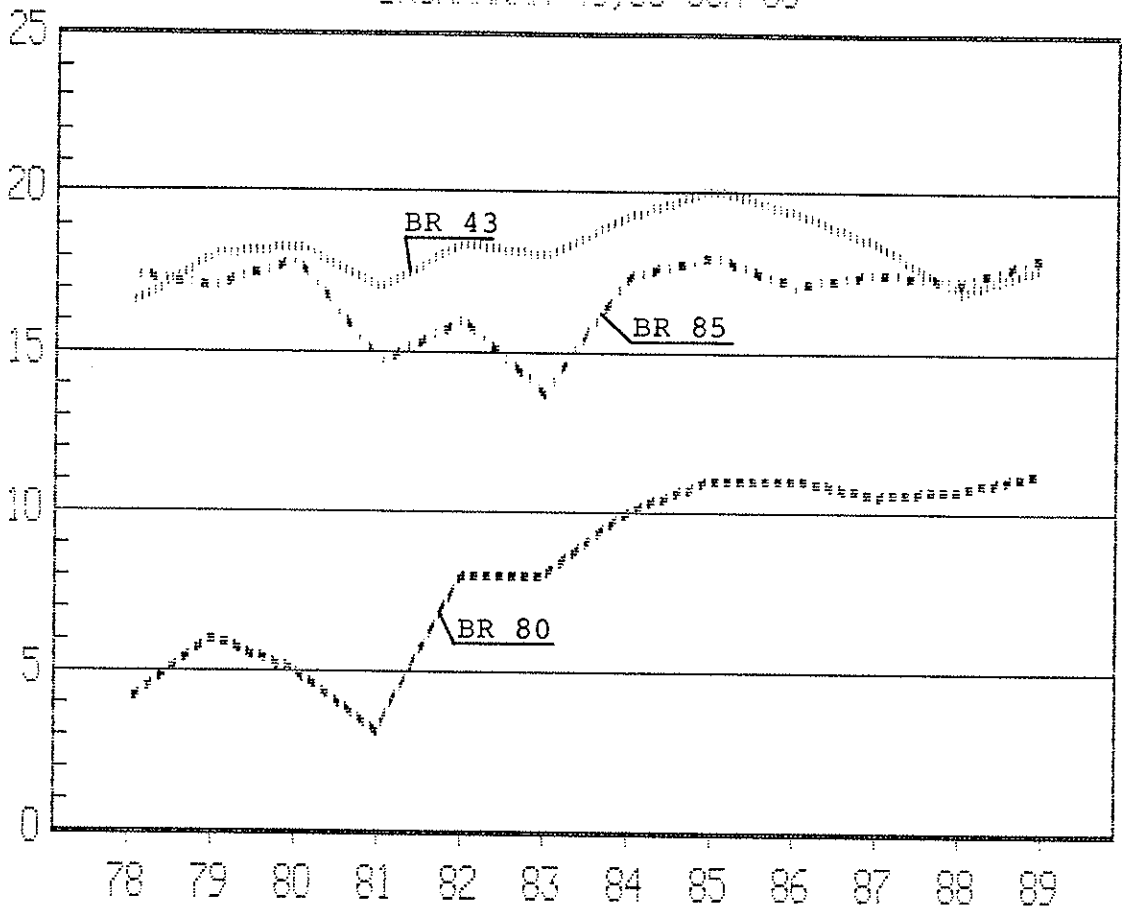
jan	74'400 m³
febr	61'600
m	62'000
a	51'000
m	9 360
j	33 000
j	9 300
a	86 800
s	12 000
o	93 000
n	12 000
d	120

715'000
×
60%
=
429'000

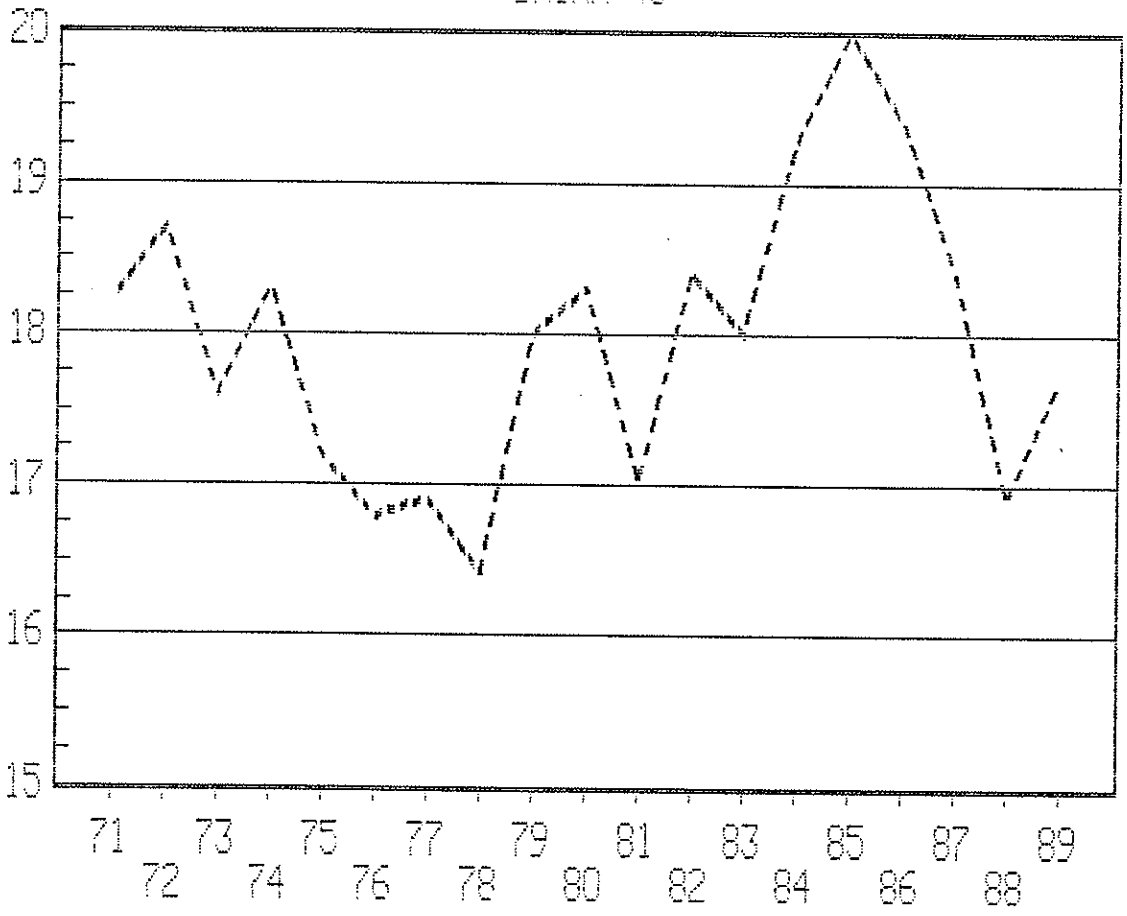

CEMENTA SLITE
HEJNUM: NEDERBÖRD JUNI 88-DEC 89 MM/MÅN
150
125
100
75
50
25
0
J J A S O N D J F M A M J J A S O N D


CEMENTA SLITE
SLITE-GR. VATTENUTTAG KROSSZONEN M3/1.
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89

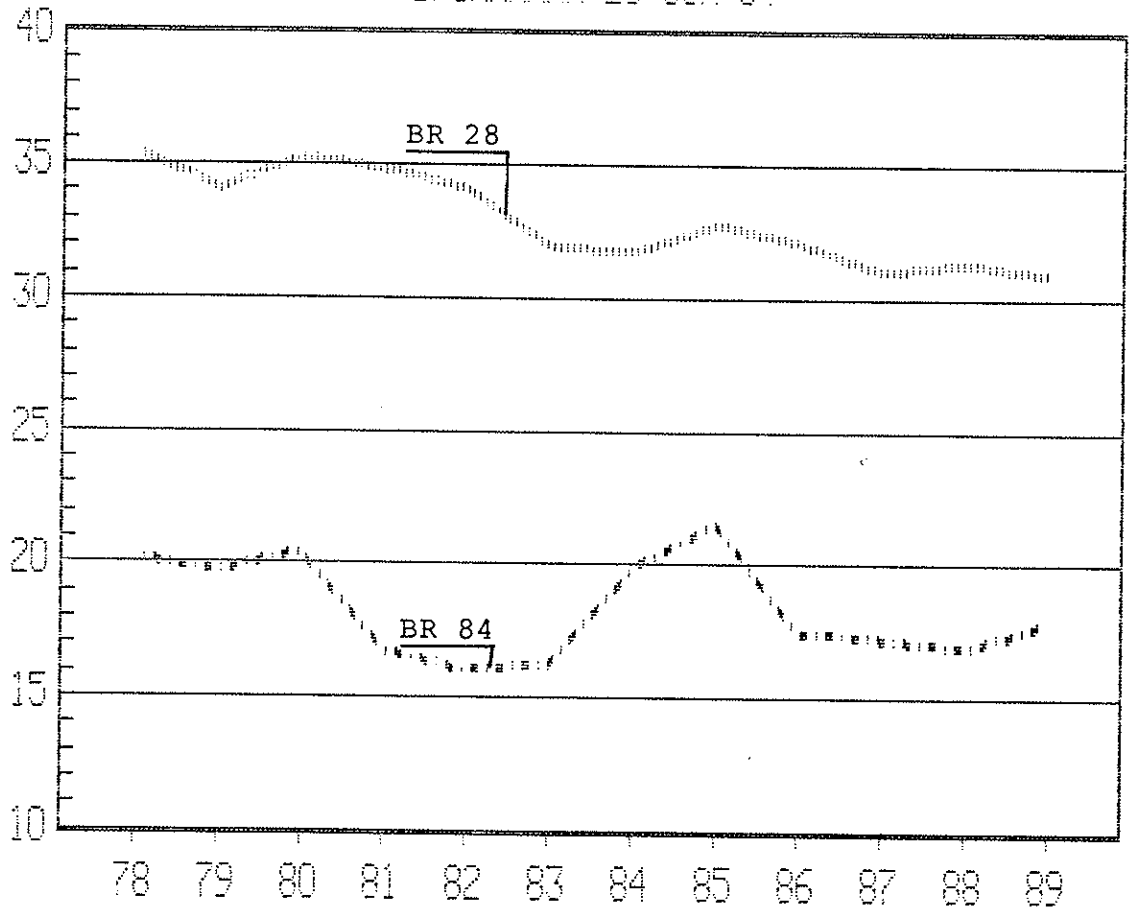
CEMENTA SLITE
GRUNDVATTENSTAND, MEDEL. 1978 -1989. M.Ö.H
BRUNNARNA 43, 85 OCH 80



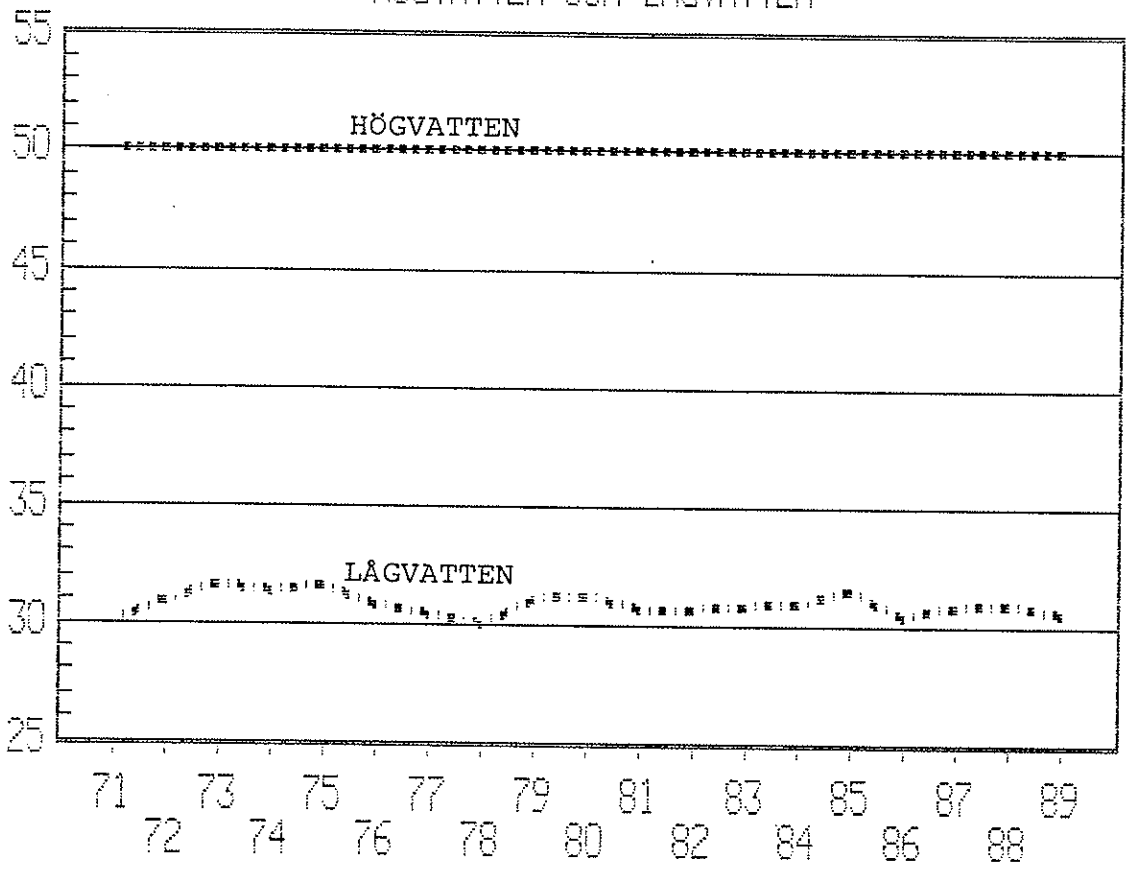
CEMENTA SLITE
GRUNDVATTENSTÅND, MEDEL. 1971 -1989. MöH
BRUNN 43



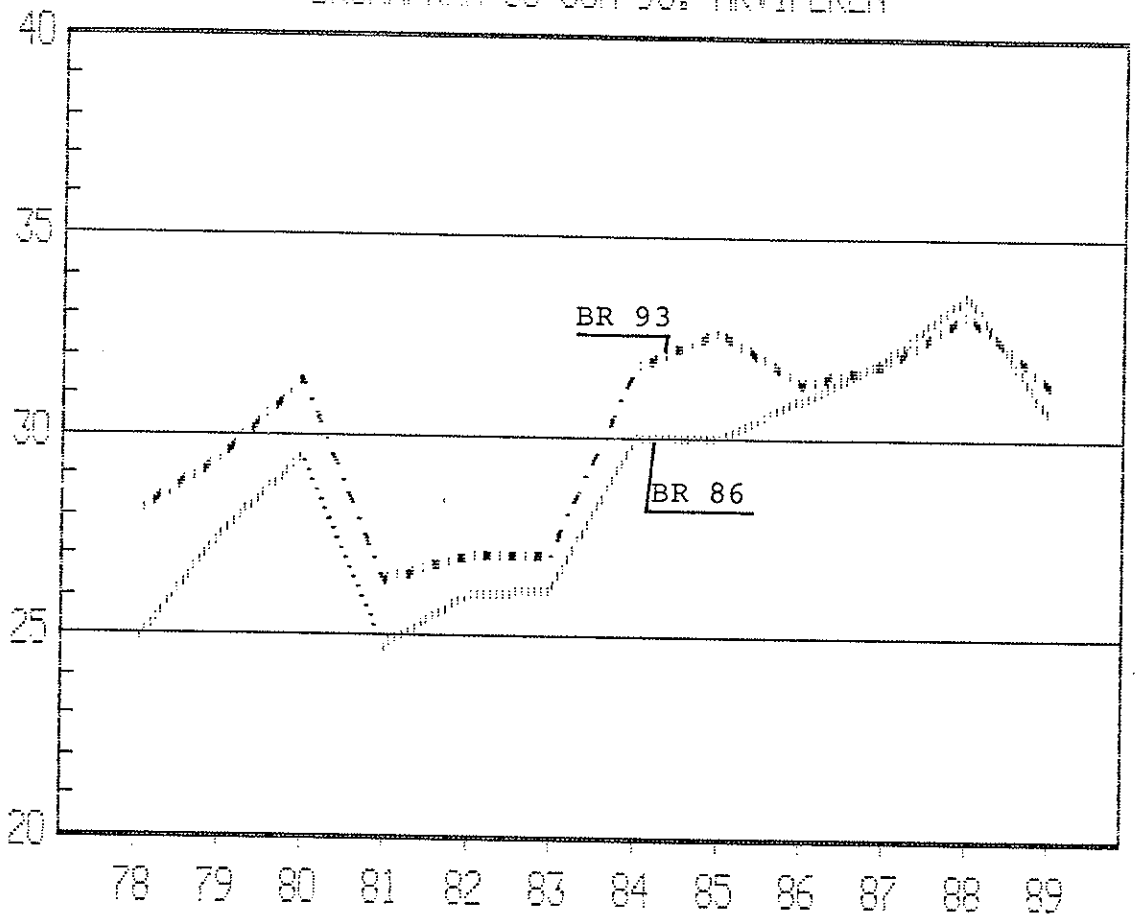
CEMENTA SLITE
GRUNDVATTENSTÅND,MEDEL. 1978 -1989. MöH
BRUNNARNA 28 OCH 84



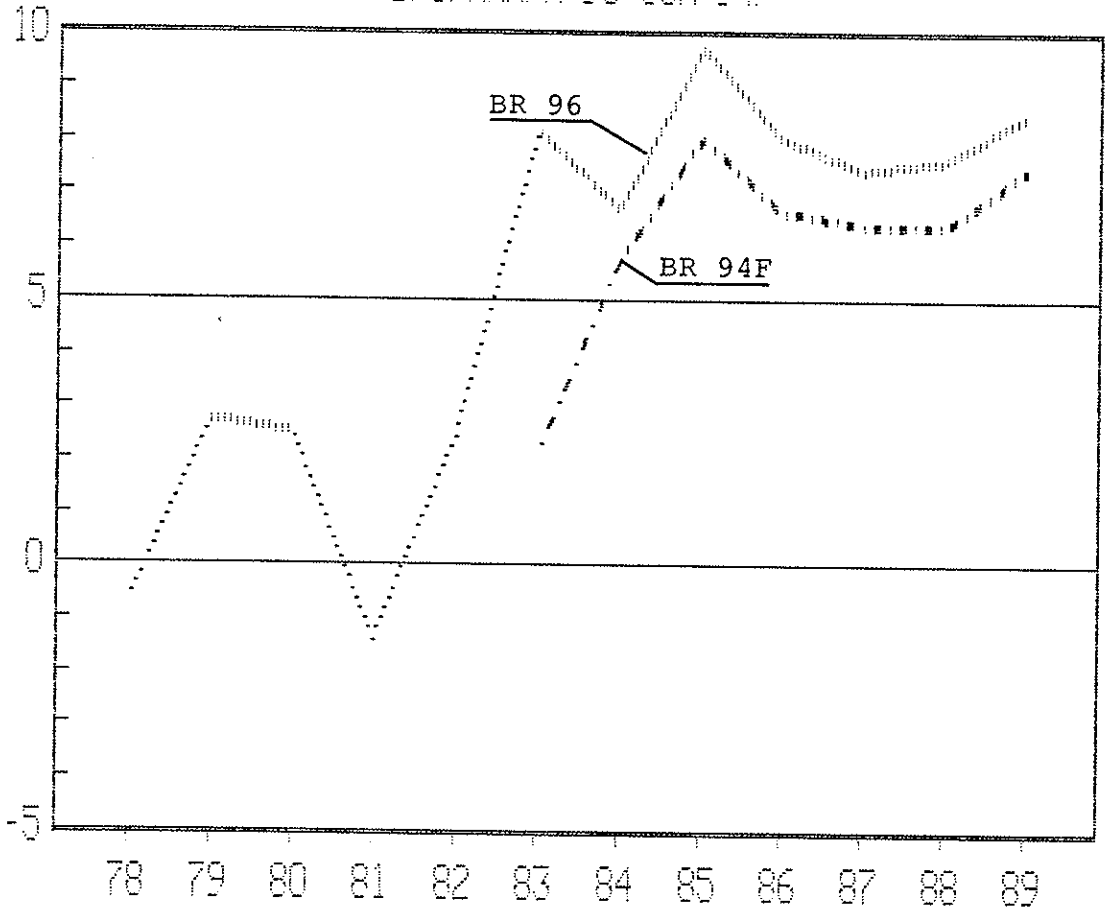
CEMENTA SLITE
GRUNDVATTENSTAND,MEDEL. 1971 -1989. MöH
BRUNN 33.
HÖGVATTEN OCH LÅGVATTEN



CEMENTA SLITE
GRUNDVATTENSTAND, MEDEL. 1978 -1989. M&H
BRUNNARNA 86 OCH 93. AKVIFEREN



CEMENTA SLITE
GRUNDVATTENSTÅND, MEDEL. 1978 -1989. MoH
BRUNNARNA 96 OCH 94F



Bilaga 13

Vattenprovtagning brunn 71A, kommunens vattentäkt i kross-zonen.

Analysattester 1988 - 1989.

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN
621 00 Visby
Telefon 0498/103 06, 102 55

Diarie nr 2154

Kopie nr

PROTOKOLL

över fysikalisk-kemisk undersökning av vatten jämlikt 32 och 33 §§ hälsovårdsstadgan, sådant vatten som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§ samt övrigt vatten (dock ej för enskild förbrukning).

Insändare:
~~Vattenverkföreståndare~~ Cementa AB Adress

råvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
Prov av renvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
☐ som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§
☐ övrigt (dock ej renvatten för enskild förbrukning)

Provet märkt 71 A

Provet taget den 15/3 1988 kl.

Ansvarig provtagare

Provtagningsplats Slite

Provet inkom den 15/3 1988 kl.

RESULTAT

Fysikalisk undersökning:

Färgstyrka, Pt	mg/l	5
Grumlighet	FTU	0,3
Lukt, styrka		
Lukt, art		
Smak, styrka		
Smak, art		
Bottensats		
Specifik ledningsförmåga x 10^4 = konduktivitet	µS/cm mS/m	460 50,9

Kemisk undersökning:

COD_{Mn}		2
Permanganatförbrukning, $KMnO_4$	mg/l	10
Torrsubstans	"	
Glödrest	"	
pH	"	7,7

Kemisk undersökning:

Ammonium, NH_4 (-N <0,05)	mg/l	
Totalhårdhet, ber. som Ca	"	80
Järn, Fe	"	<0,05
Mangan, Mn	"	<0,05
Aluminium, Al	"	
Alkalitet, ber. som HCO_3	"	253
Klorid, Cl	"	23
Fluorid, F	"	
Sulfat, SO_4	"	23
Nitrat, NO_3 (-N)	"	<2
Nitrit, NO_2 (-N)	"	<0,01
Fosfat, PO_4 (-P)	"	<0,1
Marmoraggressiv kolsyra, CO_2	"	

Tecknet < betyder att halten understiger angivit siffervärde.

Utlåtande

Efter bedömande enligt gällande råd och anvisningar har det tillhandahållna vattnet vid detta undersökningstillfälle befunnits vara

☐ tjänligt ☐ med tvekan tjänligt[1] ☐ otjänligt

Anmärkningar och särskilda motiveringar:

Visby den 21/6 1988

Behörig undersökare

Avskrift av protokollet har tillställts:

Hälsovårdsnämnden i
Länsläkaren/1:e stadsläk.

Särskilda anvisningar:

Den som verkställt undersökning av vatten enligt hälsovårdsstadgans 23 § skall omedelbart tillställa hälsovårdsnämnden två avskrifter av detta protokoll. Det ena exemplaret skall av hälsovårdsnämnden utan dröjsmål tillställas vederbörande länsläkare resp. med denne likställd förste stadsläkare. (Inom ett flertal län tillställes länsläkaren direkt från laboratoriet en avskrift, varvid ett exemplar sändes till hälsovårdsnämnden).

[1]) Uttrycket 'med tvekan tjänligt" avser detsamma som hälsovårdsstadgans "mindre tjänligt" (se 1: 5). Medd.styr. I 113 den 6 november 1967.

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN
621 00 Visby
Telefon 0498/103 08, 102 55

Diarie nr 3100
Kopie nr

PROTOKOLL

över fysikalisk-kemisk undersökning av vatten jämlikt 32 och 33 §§ hälsovårdsstadgan, sådant vatten som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§ samt övrigt vatten (dock ej för enskild förbrukning).

Insändare: ~~Vattenanläggningens namn~~ Cementa AB Adress

råvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
Prov av renvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
☐ som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§
☐ övrigt (dock ej renvatten för enskild förbrukning)

Provet märkt 71 A

Provet taget den 16/5 1988 kl.

Ansvarig provtagare

Provtagningsplats

Provet inkom den 16/5 1988 kl.

RESULTAT

Fysikalisk undersökning:

Färgstyrka, Pt	mg/l	5
Grumlighet	FTU	0,2
Lukt, styrka		
Lukt, art		
Smak, styrka		
Smak, art		
Bottensats		
Specifik ledningsförmåga x 10⁶ µS/cm		440
= konduktivitet mS/m		48,3

Kemisk undersökning:

Permanganatförbrukning, KMnO COD	mg/l	2 6
Torrsubstans	"	
Glödrest	"	
pH	"	7,6

Kemisk undersökning:

Ammonium, NH (-N <0,05)	mg/l	<0,10
Totalhårdhet, ber. som Ca	"	72
Järn, Fe	"	<0,05
Mangan, Mn	"	<0,05
Aluminium, Al	"	
Alkalitet, ber. som HCO_3	"	255
Klorid, Cl	"	17
Fluorid, F	"	
Sulfat, SO_4	"	25
Nitrat, NO_3 (-N <0,5)	"	<2
Nitrit, NO_2 (-N <0,005)	"	<0,01
Fosfat, PO_4 (-P <0,05)	"	<0,10
Marmoraggressiv kolsyra, CO_2	"	

Tecknet < betyder att halten understiger angivit siffervärde.

Utlåtande

Efter bedömande enligt gällande råd och anvisningar har det tillhandahållna vattnet vid detta undersökningstillfälle befunnits vara

☐ tjänligt ☐ med tvekan tjänligt[1] ☐ otjänligt

Anmärkningar och särskilda motiveringar:

Visby den 11/8 1988

[signature]
Behörig undersökare

Avskrift av protokollet har tillställts:

Hälsovårdsnämnden i
Länsläkaren/1:e stadsläk.

Särskilda anvisningar:
Den som verkställt undersökning av vatten enligt hälsovårdsstadgans 33 § skall omedelbart tillställa hälsovårdsnämnden två avskrifter av detta protokoll. Det ena exemplaret skall av hälsovårdsnämnden utan dröjsmål tillställas vederbörande länsläkare resp. med denne likställd förste stadsläkare. (Inom ett flertal län tillställes länsläkaren direkt från laboratoriet en avskrift, varvid ett exemplar sändes till hälsovårdsnämnden).

[1]) Uttrycket 'med tvekan tjänligt" avser detsamma som hälsovårdsstadgans "mindre tjänligt" (se 1:5). Med.styr. I 113 den 6 november 1967.

GOTLANDSTRYCK AB

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN
Herkulesvägen 5
621 41 Visby
Tel. 0498-103 08
Postgiro 18 89 03-9

Diarie nr: 5813
Inkom: 1988-09-01
Exped: 1989-01-04

ANALYSBEVIS

Cementa AB
Ronny Lundgren
Box 104
620 30 SLITE

Provslag: Vatten
Märkning: 71A
Provtagningsdatum:

Analysresultat:

Färgstyrka, Pt	<5	mg/l
Grumlighet, FTU	0,3 (ingen)	
Permanganatförbrukning, $KMnO_4$	11	mg/l
Kemiskt syrebehov, COD_{Mn}	3	"
Spec.ledningsförmåga	500	µS/cm
Konduktivitet	55,1	mS/m
pH	7,4	
Ammoniumkväve, NH_4-N	<0,1	mg/l
Totalhårdhet	104	"
Järn, Fe	<0,05	"
Mangan, Mn	<0,05	"
Alkalinitet, HCO_3	305	"
Klorid, Cl	24	"
Sulfat, SO_4	18	"
Nitrat, NO_3	<2	"
Nitrit, NO_2	<0,01	"
Fosfat, PO_4	<0,1	"

Rf. Ostrand

Godrings Tr. Visby 88

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN
Herkulesvägen 5
621 41 Visby
Tel. 0498-103 08
Postgiro 18 89 03-9

Diarie nr: 0339
Inkom: 1988-12-01
Exped: 1989-01-31

ANALYSBEVIS

Cementa AB
Ronny Lundgren
Box 104
620 30 SLITE

Provslag: Vatten
Märkning: 71A
Provtagningsdatum: 1988-12-01

Analysresultat:

Färg, Pt	10	mg/l
Grumlighet	0,65 (ingen)	FTU
Permanganatförbrukning	7	mg/l
Kemiskt syrebehov, COD_{Mn}	2	"
Spec. ledningsförmåga	500	µS/cm
Konduktivitet	55,3	mS/m
pH	7,9	
Ammonium, NH_4	<0,10	mg/l
Totalhårdhet	106	"
Järn, Fe	0,09	"
Mangan, Mn	<0,05	"
Alkalinitet, HCO_3	317	"
Klorid, Cl	24	"
Sulfat, SO_4	23	"
Nitrat, NO_3	<2	"
Nitrit, NO_2	<0,01	"
Fosfat, PO_4	<0,10	"

Goomngs Tr Visby 88

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN
621 00 Visby
Telefon 0498/103 08, 102 55

Diarie nr 1915

Kopie nr

PROTOKOLL

över fysikalisk-kemisk undersökning av vatten jämlikt 32 och 33 §§ hälsovårdsstadgan, sådant vatten som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§ samt övrigt vatten (dock ej för enskild förbrukning).

Insändare:
[redacted] Cementa AB Adress

Prov av råvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
Prov av renvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
☐ som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§
☐ övrigt (dock ej renvatten för enskild förbrukning)

Provet märkt 71a

Provet taget den kl.

Ansvarig provtagare

Provtagningsplats

Provet inkom den 890404 kl.

RESULTAT

Fysikalisk undersökning:			Kemisk undersökning:		
Färgstyrka, Pt	mg/l	5	Ammonium, NH$_4$ (-N)	mg/l	<0,10
Grumlighet	FTU	ingen 0,65	Totalhårdhet, ber som Ca	"	94
Lukt, styrka			Järn, Fe	"	<0,05
Lukt, art			Mangan, Mn	"	<0,05
Smak, styrka			Aluminium, Al	"	
Smak, art			Alkalitet, ber. som HCO$_3$	"	265
Bottensats			Klorid, Cl	"	24
Specifik ledningsförmåga x 10^6 (=konduktivitet)	µS/m mS/m	440 48,6	Fluorid, F	"	
Kemisk undersökning: COD			Sulfat, SO$_4$	"	23
Permanganatförbrukning, KMnO$_4$ Mn	mg/l	8	Nitrat, NO$_3$ (-N)	"	<2
Torrsubstans	"		Nitrit, NO$_2$ (-N)	"	<0,01
Glödrest	"	290	Fosfat, PO$_4$ (-P)	"	0,18
pH	"	7,7	Marmoraggressiv kolsyra, CO$_2$	"	

Tecknet < betyder att halten understiger angivit siffervärde.

Utlåtande

Efter bedömande enligt gällande råd och anvisningar har det tillhandahållna vattnet vid detta undersökningstillfälle befunnits vara

☐ tjänligt ☐ med tvekan tjänligt[1] ☐ otjänligt

Anmärkningar och särskilda motiveringar:

Visby den 890608

Behörig undersökare

Avskrift av protokollet har tillställts:

Hälsovårdsnämnden i
Länsläkaren/1:e stadsläkaren.

Särskilda anvisningar:

Den som verkställt undersökning av vatten enligt hälsovårdsstadgans 33 § skall omedelbart tillställa hälsovårdsnämnden två avskrifter av detta protokoll. Det ena exemplaret skall av hälsovårdsnämnden utan dröjsmål tillställas vederbörande länsläkare resp. med denne likställd förste stadsläkare. (Inom ett flertal län tillställes länsläkaren direkt från laboratoriet en avskrift, varvid ett exemplar sändes till hälsovårdsnämnden).

[1]) Uttrycket 'med tvekan tjänligt" avser detsamma som hälsovårdsstadgans "mindre tjänligt" (se 1: 5). Med.styr. I 113 den 6 november 1967.

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN
621 00 Visby
Telefon 0498/103 08, 102 55

Diarie-nr 2930

Kopie nr

PROTOKOLL

över fysikalisk-kemisk undersökning av vatten jämlikt 32 och 33 §§ hälsovårdsstadgan, sådant vatten som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§ samt övrigt vatten (dock ej för enskild förbrukning).

Insändare: Cementa AB, Box 104 Adress 620 30 SLITE

råvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
Prov av renvatten ☐ som är underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgan 32 och 33 §§
☐ som avses i livsmedelsstadgan 3 och 14 §§
☐ övrigt (dock ej renvatten för enskild förbrukning)

Provet märkt Cementa 71 A

Provet taget den 890712 kl.

Ansvarig provtagare

Provtagningsplats

Provet inkom den 890712 kl.

RESULTAT

Fysikalisk undersökning:

Färgstyrka, Pt	mg/l	5	
Grumlighet	FTU	0,30	(ingen)
Lukt, styrka			
Lukt, art			
Smak, styrka			
Smak, art			
Bottensats			
Specifik ledningsförmåga x 10^6 = konduktivitet	µS/m mS/m	551	

Kemisk undersökning:

Permanganatförbrukning, KMnO₄ (COD Mn)	mg/l	8	
Torrsubstans	"		
Glödrest	"		
pH	"	7,40	

Kemisk undersökning:

Ammonium, NH_4 (-N)	mg/l	<0,10	
Totalhårdhet, ber. som Ca	"	106=14,9	dH°
Järn, Fe	"	0,06	
Mangan, Mn	"	<0,05	
Aluminium, Al	"		
Alkalitet, ber. som HCO_3	"	283	
Klorid, Cl	"	66	
Fluorid, F	"		
Sulfat, SO_4	"	22	
Nitrat, NO_3 (-N)	"	<2	
Nitrit, NO_2 (-N)	"	<0,01	
Fosfat, PO_4 (-P)	"	<0,10	
Marmoraggressiv kolsyra, CO_2	"	5	

Tecknet < betyder att halten understiger angivit siffervärde.

Utlåtande

Efter bedömande enligt gällande råd och anvisningar har det tillhandahållna vattnet vid detta undersökningstillfälle befunnits vara

☐ tjänligt ☐ med tvekan tjänligt[1] ☐ otjänligt

Anmärkningar och särskilda motiveringar:

Visby den 890724

Behörig undersökare

Avskrift av protokollet har tillställts:

Hälsovårdsnämnden i
Länsläkaren/1:e stadsläk.

Särskilda anvisningar:

Den som verkställt undersökning av vatten enligt hälsovårdsstadgans 33 § skall omedelbart tillställa hälsovårdsnämnden två avskrifter av detta protokoll. Det ena exemplaret skall av hälsovårdsnämnden utan dröjsmål tillställas vederbörande länsläkare resp. med denne likställd förste stadsläkare. (Inom ett flertal län tillställes länsläkaren direkt från laboratoriet en avskrift, varvid ett exemplar sändes till hälsovårdsnämnden).

[1]) Uttrycket 'med tvekan tjänligt" avser detsamma som hälsovårdsstadgans "mindre tjänligt" (se 1: 5). Med.styr. I 113 den 6 november 1967.

GOTLANDSTRYCK AB

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN I VISBY
Herkulesvägen 5
621 41 Visby
Tel. 0498-103 08
Postgiro 18 89 03-9

DIARIE Nr 6101
Inkom 891017
Exped. 891222

Cementa AB
Ronny Lundgren
Box 104
620 30 SLITE

PROTOKOLL över kemisk undersökning av vatten

☐ Kom. renvatten ☐ Övrigt renvatten ☐ Recipientvatten ☐ Bevattningsvatten
☐ Råvatten ☐ Dricksvatten för enskild förbrukning ☐ Bassängbadvatten ☐ ....

Provet insänt av Cementa
Provet märkt 71A
Provtagningsplats Slite
Provet taget den 891016 kl.
Provtagare
Vattnets temperatur vid provtagningen ....°C

Resultat

Bottensats		
Grumlighet, FTU-enh.	0,90	
Lukt, styrka		
Lukt, art		
Smak		
pH-värde	7,85	
Konduktivitet	57,0	mS/m
Färgtal, Pt	5	mg/l
Glödningsrest		mg/l
Organiska ämnen, COD $_{Mn}$	2	mg/l
Alkalinitet, HCO_3	292	mg/l
Aggressiv kolsyra, ber. CO_2		mg/l
Totalhårdhet, beräknad som Ca	103	mg/l
Totalhårdhet, ber. tyska grader	14,4	dH°
Kalcium, Ca		mg/l
Magnesium, Mg		mg/l
Kalium, K		mg/l
Natrium, Na		mg/l
Ammonium, NH_4	< 0,10	mg/l
Ammonium -kväve, NH_4-N		mg/l
Nitrat, NO_3	< 2	mg/l
Nitrat -kväve NO_3-N		mg/l
Nitrit, NO_2	0,03	mg/l
Nitrit -kväve NO_2-N		mg/l
Fosfat, PO_4	< 0,10	mg/l
Fosfat -fosfor PO_4-P		mg/l
Klorid, Cl	25	mg/l
Sulfat, SO_4	31	mg/l
Fluorid, F		mg/l
Järn, Fe	< 0,05	mg/l
Mangan, Mn	< 0,05	mg/l
Koppar, Cu		mg/l
Aluminium, Al		mg/l

Utlåtande

Efter bedömande enligt gällande råd och anvisningar har det inlämnade provet befunnits vara
☐ tjänligt ☐ tjänligt med anmärkning ☐ otjänligt

Följande analysresultat är anmärkningsvärda ur a) hygienisk b) teknisk c) estetisk synpunkt

Kopior sänds till
☐ Miljö- och hälsoskyddsnämnden
☐ Annan, nämligen

[signature]
Ansvarig undersökare

Sörings Tr AB [illegible] 89

LANTBRUKSKEMISKA STATIONEN I VISBY
Herkulesvägen 5
621 41 Visby
Tel. 0498-103 08
Postgiro 18 89 03-9

DIARIE Nr 0444
Inkom 891215
Exped. 900208

Cementa AB
Box 104
620 30 Slite

PROTOKOLL över kemisk undersökning av vatten

☐ Kom. renvatten ☐ Övrigt renvatten ☐ Recipientvatten ☐ Bevattningsvatten
☐ Råvatten ☐ Dricksvatten för enskild förbrukning ☐ Bassängbadvatten ☐ .....

Provet insänt av ..... Cementa ..... Provet märk ..... 71 a .....
Provtagningsplats ..... Provet taget den ..... kl .....
Provtagare ..... Vattnets temperatur vid provtagningen ..... °C

Resultat

Bottensats		Kalium, K	mg/l
Grumlighet, FTU-enh.	0,30 ingen	Natrium, Na	mg/l
Lukt, styrka		Ammonium, NH_4	<0,10 mg/l
Lukt, art		Ammonium -kväve, NH_4-N	mg/l
Smak		Nitrat, NO_3	<2 mg/l
pH-värde	7,70	Nitrat -kväve NO_3-N	mg/l
Konduktivitet	51,7 mS/m	Nitrit, NO_2	<0,01 mg/l
Färgtal, Pt	5 mg/l	Nitrit -kväve, NO_2-N	mg/l
Glödningsrest	mg/l	Fosfat, PO_4	<0,10 mg/l
Organiska ämnen, COD Mn (Permanganat förbrukn. $KMnO_4$ 10)	2 mg/l	Fosfat -fosfor, PO_4-P	mg/l
Alkalinitet, HCO_3	282 mg/l	Klorid, Cl	18 mg/l
Aggressiv kolsyra, ber. CO_2	mg/l	Sulfat, SO_4	16 mg/l
Totalhårdhet, beräknad som Ca	99 mg/l	Fluorid, F	mg/l
Totalhårdhet, ber. tyska grader	13,9 dH°	Järn, Fe	<0,05 mg/l
Kalcium, Ca	mg/l	Mangan, Mn	<0,05 mg/l
Magnesium, Mg	mg/l	Koppar, Cu	mg/l
		Aluminium, Al	mg/l

Utlåtande

Efter bedömande enligt gällande råd och anvisningar har det inlämnade provet befunnits vara

☐ tjänligt ☐ tjänligt med anmärkning ☐ otjänligt

Följande analysresultat är anmärkningsvärda ur a) hygienisk b) teknisk c) estetisk synpunkt:

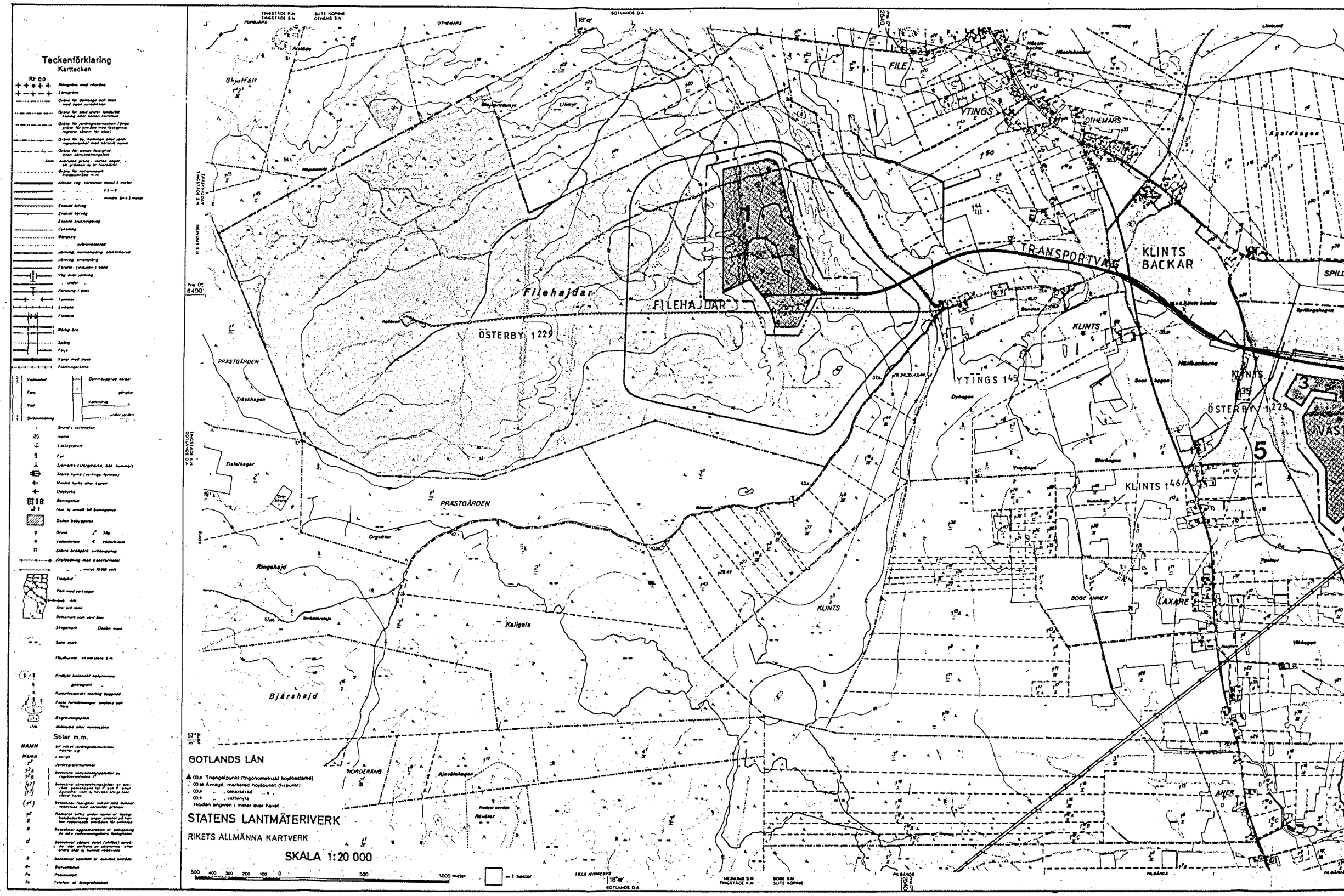
Kopior sänds till

☐ Miljö- och hälsoskyddsnämnden
☐ Annan, nämligen

R Ostwald
Ansvarig undersökare

Gotlands Tr AB Visby 89

Kartor från rapporten finns på Golders Göteborgskontor.


Teckenförklaring
Karttecken
Stilar m.m.
GOTLANDS LÄN
STATENS LANTMÄTERIVERK
RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK
SKALA 1:20 000
FILEHAJDAR
ÖSTERBY 1229
TRANSPORTVÄG
KLINTS BACKAR
YTINGS 145
KLINTS 146
LAXARE
PRÄSTGÅRDEN
Bjärshajd
Kaligata
Skjutfält
FILE
YTINGS
OTHEMARS
KLINTS
ÖSTERBY 1229
1
3
5

1 FORTSATT KALKSTENSTÄKT INOM FILEHAJDAR

2 FORTSATT MÄRGELSTENSTÄKT INOM VÄSTRA BROTTET

3 MÄRGELSTENSTÄKT FÖR DEPONERINGSFICKOR

4 SKYDDSVALL MOT VATTEN FRÅN BOGEVIKEN

5 OMLÄGGNING AV SPILLINGSÅN

6 NY STRÄCKNING AV KRAFTLEDNINGEN

OMRÅDE SOM ÄGS AV CEMENTA AB

BRYTNINGSOMRÅDE

VERKSAMHETSOMRÅDE

REV	ANT	REVIDERINGEN AVSER	SIGN	DATUM

H. SEGERROS
NATURVÅRDSBYRÅ AB
NATUR- o LANDSKAPSVÅRD • MILJÖ- o MARKPLANERING
ADRESS
ASKVÄGEN 1 • 182 46 ENEBYBERG
TELEFON
08-758 95 00 • 758 86 80

RITAD AV IS | KONSTR. AV B L | GRANSK. AV

ENEBYBERG 1991 06 14

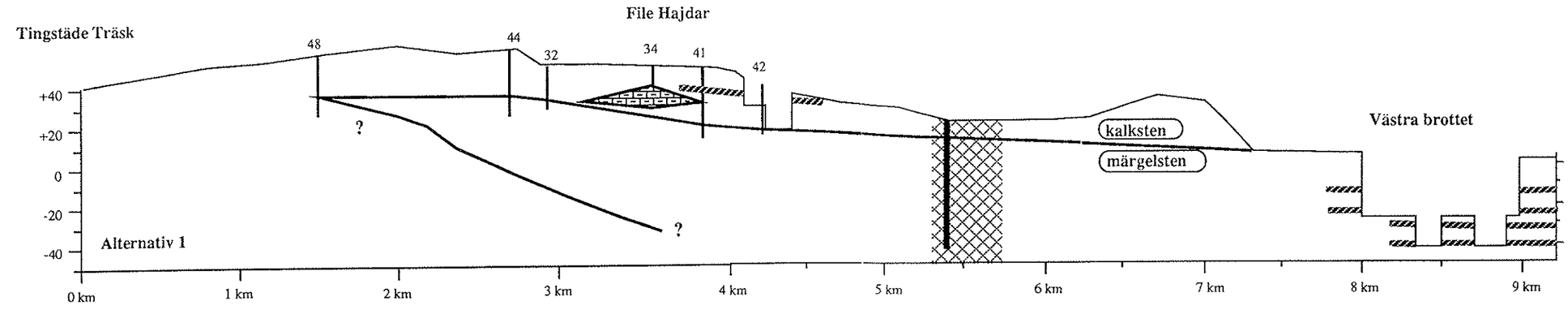
CEMENTA AB, SLITE

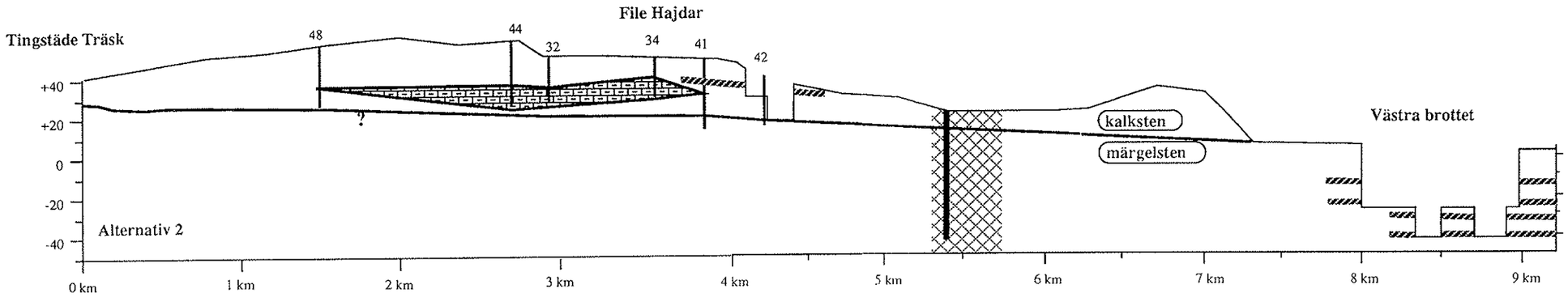
FORTSATT TÄKT 1991 - 2001

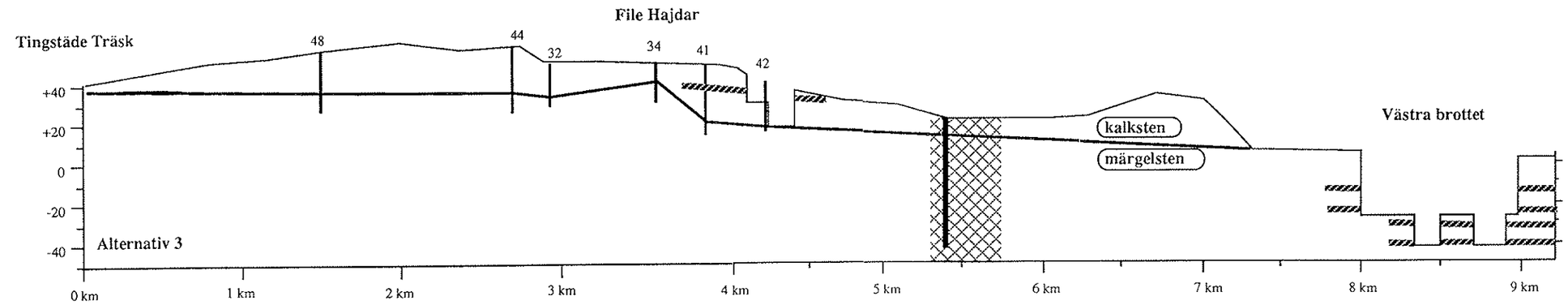
ÖVERSIKT

SKALA 1:20 000

TYP | RITN. NR 1:1 | REV







Vattenförande Lager Märgelsten Sprickzon

APPENDIX B

Tre alternativa berggrundstolkningar för området mellan Tingstäde Träsk och Västra brottet. Alternativ 3 har använts som underlag för grundvattenmodellen.

APPENDIX C:
VATTENBALANSSTUDIE

C.1 ALLMÄNT

Vattenbalansen för ett avrinningsområde beskriver hur vatten tillförs och bortförs från området. Detta kan beskrivas med ekvationen:

$$P = E + R_y + R_g + S \qquad (1)$$

där P = Nederbörd
E = Verklig avdunstning
R_y = Avrinning via ytvattendrag
R_g = Avrinning via grundvatten
S = Förändring av grundvatten-,markvatten-,ytvatten-, och ev. snömagasin

För att bestämma avrinningen av yt- och grundvatten måste således en vattenbalansberäkning genomföras.

Endast nederbörden är känd från mätningar medan övriga variabler är okända. Om vattenbalansen beräknas över en lång tidsperiod, så kan förändringen i magasinerad vattenmängd försummas. För att bestämma den verkliga avdunstningen kan följande metod användas. Först beräknas den potentiella avdunstningen för undersökningsområdet enligt exempelvis Penman's formel (Penman, 1948). Därefter kan den verkliga avdunstningen beräknas som en funktion av potentiell avdunstning, markvattenhalt i rotzonen och empiriska faktorer som beskriver hur hårt bundet markvattnet är i porer enligt formeln:

$$E = E_p * \left(\frac{S_m - S_{wp}}{S_{fc} - S_{wp}}\right)^n \qquad \text{om } S_m < S_{fc} \qquad (2)$$

$$E = E_p \qquad \text{om } S_m \geq S_{fc} \qquad (3)$$

där E = Verklig avdunstning
E_p = Potentiell avdunstning
S_m = Markvattenhalt i rotzonen
S_{wp} = Jordartens vissningsgräns
S_{fc} = Jordartens fältkapacitet
n = exponent som bestämmer markvattnets tillgänglighet

Det tillgängliga markvattenmagasinet A_{wc}, beräknas enligt formeln:

$$A_{wc} = S_{fc} - S_{wp} \qquad (4)$$

Då nederbörd, verklig avdunstning och tillgängligt markvattenmagasin är kända kan avrinningen via ytvattendrag och grundvatten beräknas enligt ekvation 1. Om all avrinning antas ske som grundvattenavrinning motsvarar avrinningen den potentiel-

la grundvattenbildningen. I föreliggande utredning har vattenbalansstudier utförts för ett år med en sannolik återkomsttid av 50% med avseende på nederbörden under perioden 1954 - 1990 samt för de enskilda åren 1988, 1989 och 1990.

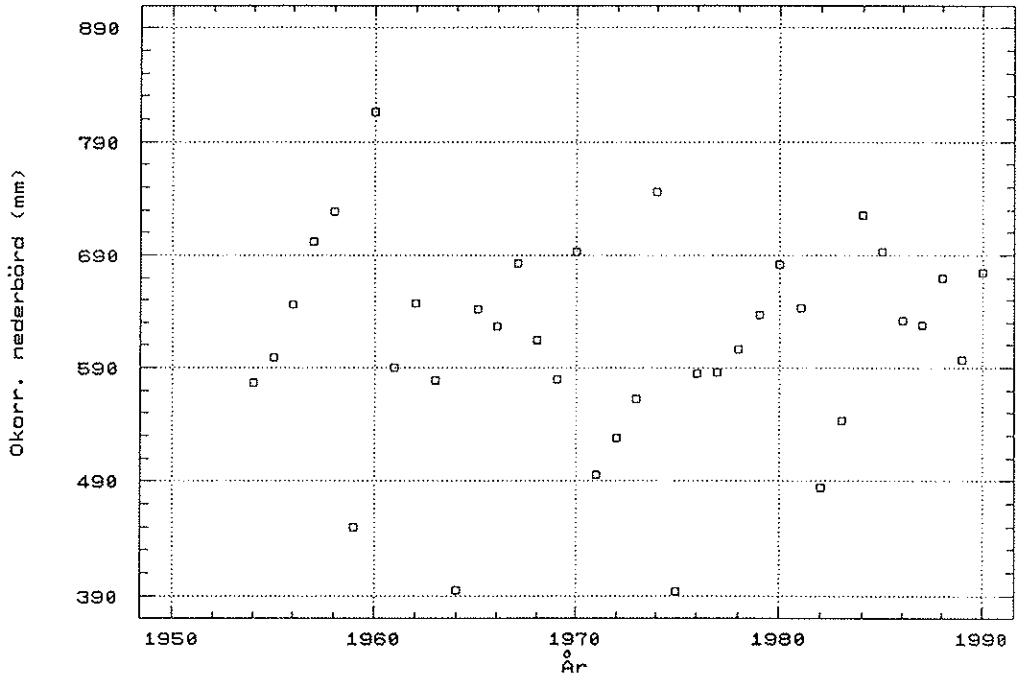
C.2 NEDERBÖRD

Regionalt sett ligger File Hajdar i ett område med en årsnederbörd i intervallet 600 - 700 mm/år (Eriksson, 1983). Då kontinuerlig nederbördsregistrering saknas på File Hajdar har nederbördsdata från SMHI-stationerna Rings, för åren 1954 - 1970 och Hejnum, för åren 1971 - 1990 använts. Nederbördsstationen Rings är belägen ca 1 km söder om Tingstäde Träsk, medan nederbördstationen Hejnum är belägen ca 4 km söder om Tingstäde Träsk. Båda nederbördsstationerna kan anses representativa för nederbörden över File Hajdar.

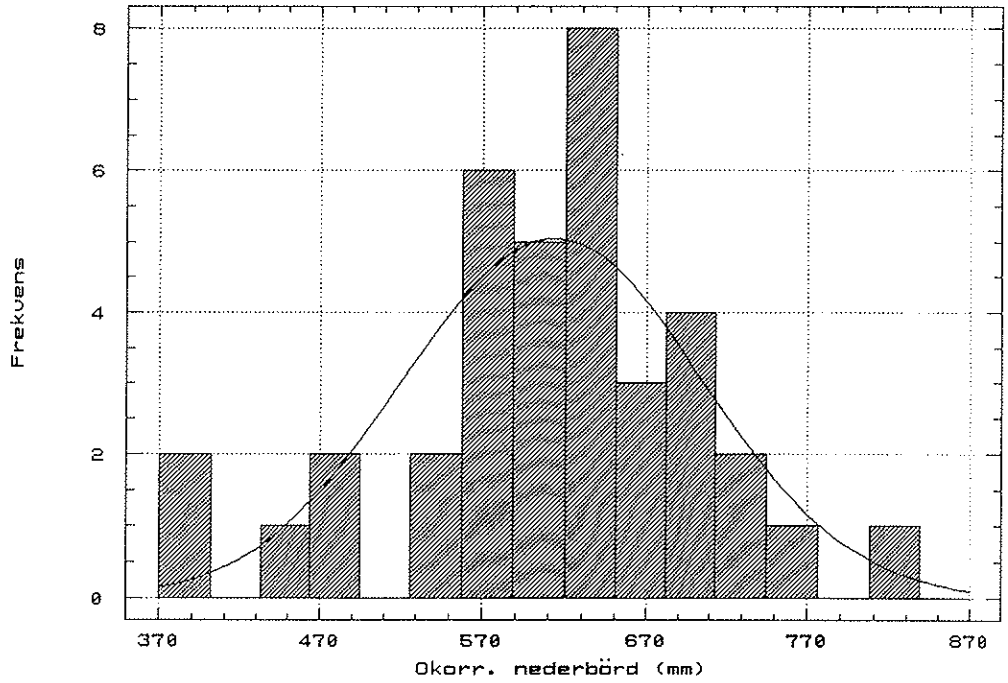
För att erhålla den verkliga nederbörden, måste den uppmätta nederbörden korrigeras för systematiska fel som uppstår vid mätningen. De tre viktigaste systematiska mätfelen är underskattningar orsakade av avdunstning från nederbördsmätaren, vätning av mätkärlsväggen samt förluster på grund av vindens turbulens kring nederbördsmätaren. Av dessa är förlusterna orsakade av vinden de mest betydelsefulla och dessutom de svåraste att bestämma. Storleken av förlusterna på grund av vindens inverkan styrs bland annat av nederbördsmätarens vindexponering samt andelen nederbörd som faller som snö.

I Figur C.1 redovisas nederbördens variation under åren 1954 - 1990. Frekvensfördelningen av den okorrigerade nederbörden under perioden 1954 - 1990 visar en relativt jämn fördelning och ansluter relativt väl till en teoretisk normalfördelning (Figur C.2). Genom att årsnederbörden ansluter till en normalfördelning ges möjlighet att prognostisera de årsnederbördsmängder som inträffar med en viss sannolikhet.

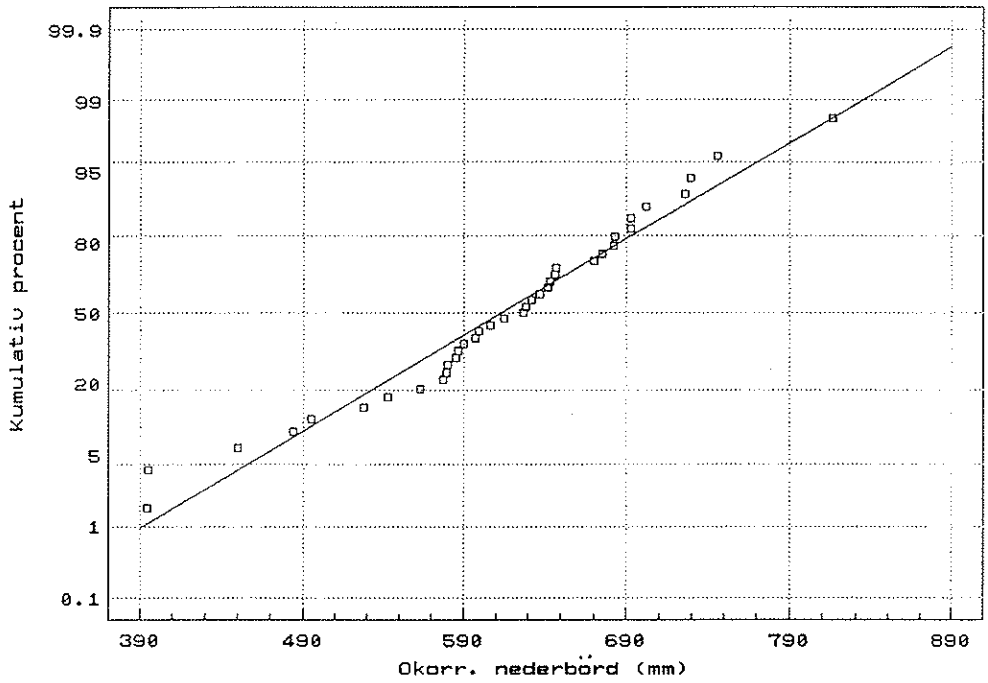
Den okorrigerade nederbörden som inträffar med 50% sannolikhet, dvs ett normalår uppgår till 613 mm, medan den okorrigerade nederbörden för 1988, 1989 och 1990 uppgår till 670 mm, 597 mm respektive 675 mm (Figur C.3).



Figur C.1 Nederbördens variation under perioden 1954 - 1990 vid Rings och Hejnum.



Figur C.2 Frekvensfördelning av årsnederbörden vid Rings och Hejnum.



Figur C.3 Normalfördelning av årsnederbörden vid Rings och Hejnum.

Vid korrektionen av nederbörden har följande metodik använts:

- Korrektionen för förluster orsakade av vinden har antagits vara 9% för nederbörd i form av regn och 25% för nederbörd i form av snö (Eriksson, 1983).

- Korrektionen för avdunstning har antagits till 1.5 mm/månad då nederbörden faller som regn.

- Förluster orsakade av vätning har antagits vara de samma som för normalåret under perioden 1951-80 då vätningen är känd.

Den totala korrektionen för systematiska mätfel uppgår till 126 mm under ett år med sannolikheten 50% samt 123 mm, 108 mm och 115 mm för åren 1988, 1989 respektive 1990. Korrektionen redovisas på månadsbasis i Tabell C.1 - C.4. Den korrigerade nederbörden uppgår således till 739 mm under ett år med sannolikheten 50% samt till 792 mm, 705 mm och 789 mm för åren 1988 - 1990.

Tabell C.1 Nederbördens fördelning och korrektion för ett år med sannolikheten 50% under perioden 1954 - 1990

Månad	Okorr.nb (mm)	Temp. (°C)	Korr. vind (mm)	Korr. vätn. (mm)	Korr. avd. (mm)	Korr. nb. (mm)
Jan	59	-1.2	14.8	3.1	0	77
Feb	40	-1.9	10.0	2.7	0	53
Mars	32	-0.4	8.0	2.1	0	42
April	34	4	3.1	2.4	1.5	41
Maj	39	9	3.5	2.3	1.5	46
Jun	32	13.7	2.9	3.1	1.5	40
Jul	60	15.8	5.4	3.6	1.5	70
Aug	63	16.4	5.7	3.6	1.5	74
Sep	63	12.7	5.7	3.1	1.5	73
Okt	59	7.8	5.3	3.1	1.5	69
Nov	66	3.9	5.9	3.4	1.5	77
Dec	66	1.3	5.9	3.4	1.5	77
År	613		76	36	14	739

Tabell C.2 Nederbördens fördelning och korrektion under 1988.

Månad	Okorr.nb (mm)	Temp. (°C)	Korr.vind (mm)	Korr. vätn. (mm)	Korr.avd. (mm)	Korr.nb (mm)
Jan	76	1.2	6.8	3.1	1.5	84
Feb	64	0.8	5.8	2.7	1.5	71
Mars	60	-0.4	15.0	2.1	0	75
April	48	3.4	4.3	2.4	1.5	54
Maj	18	11.0	1.6	2.3	1.5	21
Jun	61	14.4	5.5	3.1	1.5	68
Jul	102	17.7	9.2	3.6	1.5	113
Aug	53	15.9	4.8	3.6	1.5	59
Sep	43	13.5	3.9	3.1	1.5	48
Okt	33	7.3	3.0	3.1	1.5	37
Nov	43	1.5	3.9	3.4	1.5	48
Dec	69	0.1	6.2	3.4	1.5	77
År	670		70	36	17	756

Tabell C.3 Nederbördens fördelning och korrektion under 1989.

Månad	Okorr.nb (mm)	Temp. (°C)	Korr.vind (mm)	Korr.vätn. (mm)	Korr.avd. (mm)	Korr.nb (mm)
Jan	10	3.2	0.9	3.1	1.5	16
Feb	30	3.0	2.7	2.7	1.5	37
Mars	44	3.2	4.0	2.1	1.5	52
April	25	5.0	2.3	2.4	1.5	31
Maj	12	11.4	1.1	2.3	1.5	17
Jun	55	14.4	5.0	3.1	1.5	65
Jul	38	17.0	3.4	3.6	1.5	46
Aug	130	15.3	11.7	3.6	1.5	147
Sep	17	13.1	1.5	3.1	1.5	23
Okt	89	7.3	8.0	3.1	1.5	102
Nov	99	4.1	8.9	3.4	1.5	113
Dec	48	1.1	4.3	3.4	1.5	57
År	597		54	36	18	705

Tabell C.4 Nederbördens fördelning och korrektion under 1990.

Månad	Okorr. nb (mm)	Temp. (°C)	Korr.vind (mm)	Korr.vätn. (mm)	Korr.avd (mm)	Korr. nb (mm)
Jan	82	2.6	7.4	3.1	1.5	94
Feb	44	4.3	4.0	2.7	1.5	52
Mars	20	4.3	1.8	2.1	1.5	25
April	28	7.0	2.5	2.4	1.5	34
Maj	33	10.6	3.0	2.3	1.5	40
Jun	28	14.5	2.5	3.1	1.5	35
Jul	88	15.3	7.9	3.6	1.5	101
Aug	25	16.8	2.2	3.6	1.5	32
Sep	123	11.1	11.1	3.1	1.5	139
Okt	71	8.2	6.4	3.1	1.5	82
Nov	88	4.2	7.9	3.4	1.5	101
Dec	45	2	4.0	3.4	1.5	54
År	675		61	36	18	789

C.3 AVDUNSTNING

Det totala vattenångflödet från markkyta och växter brukar benämnas avdunstning eller evapotranspiration. Evapotranspirationen varierar beroende på ett flertal faktorer såsom typ av växtlighet, jordart, markvattenhalt med mera.

Ett ofta använt begrepp är den potentiella avdunstningen. Därmed avses den mängd vatten som avgår genom transpiration och evaporation från ett växtsamhälle i god tillväxt under optimal tillgång på vatten i rotzonen. En mängd olika formler finns för att beräkna den potentiella avdunstningen av vilka Penman's formel är en av de mest accepterade.

Den verkliga avdunstningen är den avdunstning som sker från en viss jordart och ett specifikt växtsamhälle under rådande meteorologiska förhållanden. Denna brukar beräknas som en funktion av potentiell avdunstning, markvattenhalt och egenskaper hos jordarten (se ekvation 2 och 3). De två viktigaste egenskaperna hos jordarten är fältkapaciteten och vissningsgränsen. Skillnaden mellan fältkapacitet och vissnings-gräns benämns tillgängligt markvattenhalt. Den har för morän antagits till 26 vol-%

och till 16 vol-% för lera (Grip & Rodhe, 1985). Moränen har antagits representera moränmärgeln i dalgångarna runt File Hajdar, medan leran kan antas representera vittringsjordarna uppe på File Hajdar. Rotdjupet har antagits till 0.2 och 1.0 för moränen beroende av olika typer av vegetation. För leran har rotdjupet 0.2 antagits. Dessa antaganden ger en växttillgänglig vattenvolym på 52 mm och 260 mm för moränen och 32 mm för leran.

Avdunstningsförloppet beror även av hur tillgängligt markvattnet för avdunstning vid olika markkvattenhalter och jordarter. Detta definieras med en exponent,n (se ekvation 2). För moränen har exponenten antagits vara 0.4 och 0.8 där 0.8 beskriver mer lerig morän. För leran har exponenten 0.8 antagits (Holmes, 1961).

Tabell C.5 Potentiell avdunstning (PE) och verklig avdunstning (E) under år med sannolikhet 50% med avseende på nederbörd för perioden 1954-80, vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	PE	E(Morän)				E(Lera)
		z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	8	8	8	8	8	8
Feb	11	11	11	11	11	11
Mars	24	24	24	24	24	24
April	57	57	57	57	57	57
Maj	104	84	75	100	96	67
Jun	141	53	53	118	104	46
Jul	132	62	59	96	81	62
Aug	101	64	64	70	62	67
Sep	57	48	51	42	40	54
Okt	25	25	25	21	21	25
Nov	9	9	9	8	9	9
Dec	6	6	6	6	6	6
År	675	450	440	561	518	435

Den verkliga avdunstningen har beräknats på månadsbasis för ett år med sannolikheten 50% med avseende på nederbörd för perioden 1954-90 samt för de enskilda åren 1988, 1989 och 1990. I samtliga beräkningar har dock den potentiella avdunstningen för normalåret använts som utgångpunkt. I Tabell C.5-C.8 redovisas resultatet av beräkningarna av den verkliga avdunstningen.

tabell C.6 Potentiell avdunstning (PE) och verklig avdunstning (E) under 1988 vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	PE	E(Morän)				E(Lera)
		z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	8	8	8	8	8	8
Feb	11	11	11	11	11	11
Mars	24	24	24	24	24	24
April	57	57	57	57	57	57
Maj	104	71	62	98	93	49
Jun	141	66	63	117	102	63
Jul	132	94	96	105	94	103
Aug	101	74	74	79	74	72
Sep	57	42	43	44	42	44
Okt	25	22	24	20	20	24
Nov	9	9	9	8	8	9
Dec	6	6	6	6	6	6
År	675	485	475	576	538	470

Tabell C.7 Potentiell avdunstning (PE) och verklig avdunstning (E) under 1989 vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	PE	E(Morän)				E(Lera)
		z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	8	8	8	8	8	8
Feb	11	11	11	11	11	11
Mars	24	24	24	24	24	24
April	57	52	49	56	55	45
Maj	104	48	44	93	85	32
Jun	141	59	54	109	93	56
Jul	132	50	51	88	74	49
Aug	101	86	87	72	67	92
Sep	57	50	46	44	43	42
Okt	25	24	24	21	21	24
Nov	9	9	9	9	9	9
Dec	6	6	6	6	6	6
År	675	426	413	541	496	399

Tabell C.8 Potentiell avdunstning (PE) och verklig avdunstning (E) under 1990 vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	PE	E(Morän)				E(Lera)
		z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	8	8	8	8	8	8
Feb	11	11	11	11	11	11
Mars	24	24	24	24	24	24
April	57	53	50	56	55	47
Maj	104	66	58	96	89	50
Jun	141	41	44	111	95	39
Jul	132	80	76	94	81	84
Aug	101	51	51	68	60	46
Sep	57	50	51	43	41	53
Okt	25	25	25	23	24	25
Nov	9	9	9	9	9	9
Dec	6	6	6	6	6	6
År	675	424	414	548	504	403

Som framgår av Tabell C.5 - C.8 uppgår dem verkliga avdunstningen för morän till ca 440 - 560 mm, beroende på rotdjup, för ett år med sannolikheten 50% med avseende på nederbörd. Medan den för leran uppgår till 435 mm. För åren 1988, 1989 och 1990 uppgår den verkliga avdunstningen för moränen till 480 - 580 mm, 410 - 540 mm respektive 410 - 550 mm. För leran uppgår den verkliga avdunstningen till 470 mm, 400 mm och 400 mm för samma år.

De beräknade värdena av avdunstningen kan jämföras med den av SGU beräknade regionala avdunstningen på ca 450 mm (Karlqvist et al, 1982), vilken relativt väl stämmer överens med den beräknade avdunstningen vid ett rotdjup på 0.2 m.

C.4 AVRINNING

Avrinningen från File Hajdar samt de omgivande moränmärgelområden har beräknats enligt ekvation 1. Moränmärgeln har i beräkningarna antagits respresenteras av morän med varierande rotdjup och lerhalt, medan vittringsjordarna på File Hajdar representeras av lera. I Tabell C.9 - C.12 redovisas beräknad avrinning under ett år med sannolikheten 50% med avseende på nederbörd samt under åren 1988-90.

Tabell C.9 Avrinning (R) under ett år med sannolikheten 50% med avseende på nederbörden vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	R(Morän)				R(Lera)
	z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	0	0	0	0	0
Feb	0	0	0	0	0
Mars	40	40	34	40	40
April	72	72	72	72	72
Maj	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0
Sep	0	2	0	0	8
Okt	37	44	0	0	44
Nov	68	68	0	37	68
Dec	71	71	71	71	71
År	288	298	177	220	303

Tabell C.10 Avrinning (R) under 1988 vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	R(Morän)				R(Lera)
	z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	79	79	25	64	0
Feb	63	63	63	63	0
Mars	53	53	53	53	36
April	0	0	0	0	58
Maj	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	8
Okt	0	5	0	0	10
Nov	38	43	0	0	40
Dec	74	74	20	59	89
År	307	317	161	239	297

Tabell C.11 Avrinning (R) under 1989 vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	R(Morän)				R(Lera)
	z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	8	8	8	8	8
Feb	26	26	26	26	26
Mars	28	28	28	28	28
April	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Aug	12	21	0	0	30
Sep	0	0	0	0	8
Okt	51	55	0	0	60
Nov	104	104	52	97	104
Dec	51	51	51	51	51
År	280	293	165	210	307

Tabell C.12 Avrinning (R) under 1990 vid olika rotdjup (z) och exponent (n).

Månad	R(Morän)				R(Lera)
	z=0.2 n=0.4	z=0.2 n=0.8	z=1.0 n=0.4	z=1.0 n=0.8	z=0.2 n=0.8
Jan	86	86	86	86	86
Feb	41	41	41	41	41
Mars	1	1	1	1	1
April	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0
Sep	40	50	0	0	61
Okt	57	57	0	17	57
Nov	92	92	65	92	92
Dec	48	48	48	48	48
År	365	375	241	285	386

Avrinning från moränen uppgår således, beroende på rotdjup hos vegetation och lerhalt till ca 180 - 300 mm, 160 - 320 mm, 160 - 290 mm och 241 - 375 mm för ett år med sannolikheten 50% med avseende på nederbörd, 1988, 1989 respektive 1990. Från leran avrinner under motsvarande år ca 300 mm, 320 mm, 310 mm och 386 mm.

C.5 REFERENSER

Eriksson, B., 1983: Data rörande Sveriges nederbördsklimat. Normalvärden för perioden 1951-80. SMHI, Klimatsektionen, Rapport 1983:28, Norrköping.

Grip, H. och Rodhe, A., 1985: Vattnets väg från regn till bäck. Forskningsrådets förlagstjänst.

Holmes, R.M., 1961: Estimation of soil moisture content using evaporation data. Canadian National Research Council, Proceedings Hydrology Symposium No. 2.

Karlqvist, L., Fogdestam, B. och Engqvist, P., 1982: Hydrogeologiska kartan över Gotlands län. SGU, ser. Ah, Nr 3, Uppsala.

Penman, H.L., 1948: Natural evaporation from open waters, bare soil and grass. Proc. R. Soc., Ser. A 193:120-145, London.

APPENDIX D

Grundvattenrör för resistivitetsmätning och packertest.

○ Resistivitetsmätning

□ Packertest

Skala 1:20 000

APPENDIX E:
BORRHÅLSLOGGNING - RESISTIVITETSMÄTNINGAR

E.1 METODBESKRIVNING

Resistivitetsloggning är en metod att undersöka förekomst och mäktighet av olika geologiska formationer. Vid borrhålsloggningen mäts resistiviteten längs med ett borrhålet. Denna är dels beroende av den elektriska ledningsförmågan i bergmassan, dels bergmassans vattenhållande förmåga. En förändring av resistiviteten längs borrhålet indikerar således en förändrad sammansättning av bergmassan. På samma sätt kan en, i förhållande till omgivande bergmassa, mer vattenförande zon eller exempelvis ett lerlager detekteras. Då resistivieten hos vatten ej skiljer sig nämnvärt från resistiviteten hos en vattenmättad lera kan dock dessa ej särskiljas.

E.2 GENOMFÖRANDE

Resistivitetsloggning har utförts i 8 st borrhål under perioden 910227 - 910301. Borrhålens läge redovisas i Appendix D. Resistivitetsloggningen utfördes i syfte att kartlägga förekomst och nivå av vattenförande lerskikt i kalk- och märgelstenen vid File Hajdar och på så sätt verifiera utbredning och nivå av de vid den geologiska karteringen observerade lerlagren.

Resistivitetsmätningar genomfördes med ett elektrodavstånd på 16" och 64" i samtliga borrhål. I Tabell E.1 redovisas borrhål och profillängder.

Tabell E.1 Borrhålsdata, profillängder samt grundvattennivån vid mättillfället.

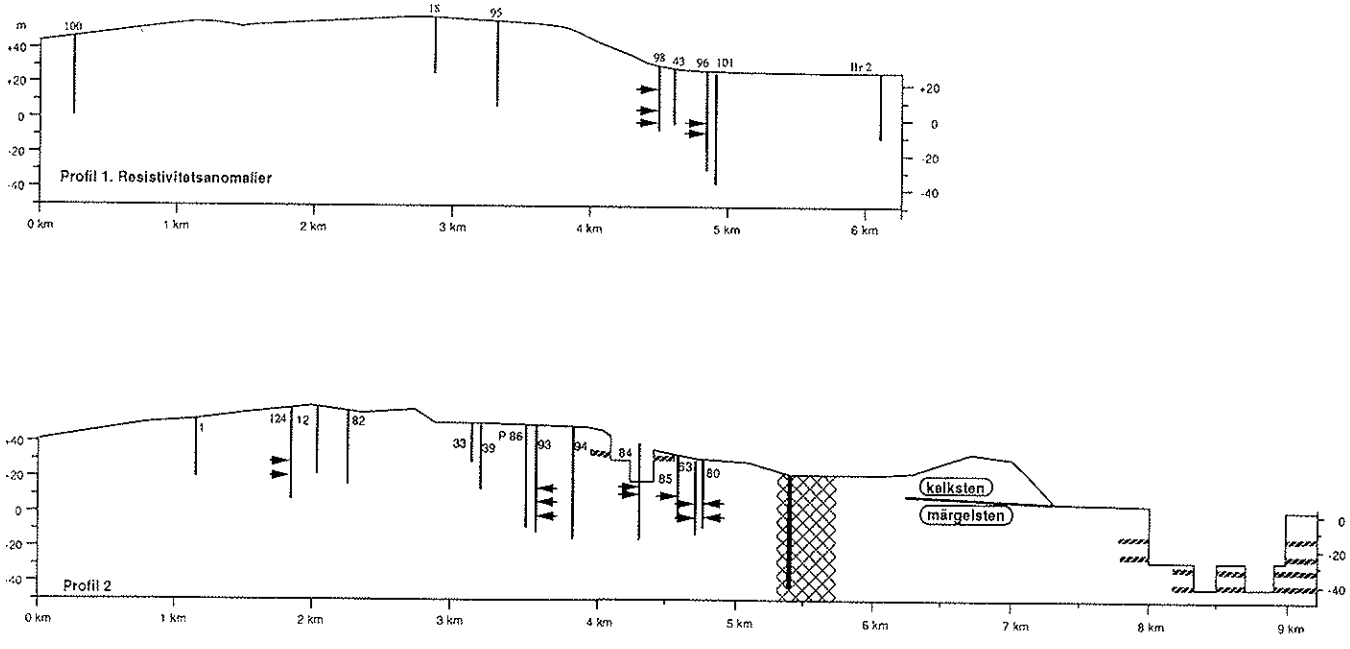
Borrhål	Nivå r.ö.k (m ö.h.)	Nivå botten (m ö.h.)	Grundvatten nivå (m ö.h.)	Mätsektion (m ö.h.)
63	34.64	-9.76	14.40	14.64 - -4.36
80	34.59	-7.01	14.29	14.59 - -6.76
84	40.50	-1.7	24.04	23.50 - 10.20
85	41.81	-0.19	21.05	20.81 - 7.36
93	47.15	-12.85	38.16	38.15 - -12.10
96	20.17	-29.83	10.45	10.17 - -31.28
98	31.85	-8.15	27.05	26.35 - -7.65
124	61.20	5.55	48.72	47.7 - 5.55

E.3 RESULTAT

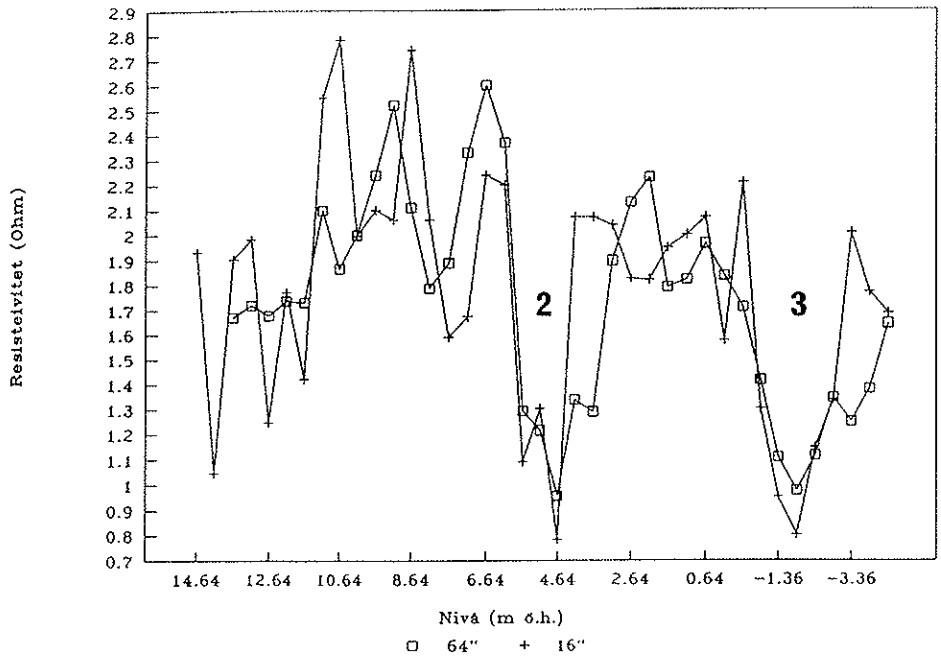
Resultatet från resistivitetsloggningen redovisas i Figur E.2 - E.11. Lerskikten framgår idikeras av en lägre resistivitet än omgivande bergmassa. Siffrorna (1-5) anger till vilket observerat lerskikt som den lägre resistivitet har tolkats korrespondera mot. I Tabell E.2 och Figur E.1 redovisas nivåer för tolkade lerskikt för i respektive borrhål.

Tabell E.2 Nivåer (m ö.h.) för tolkade lerskikt i respektive borrhål.

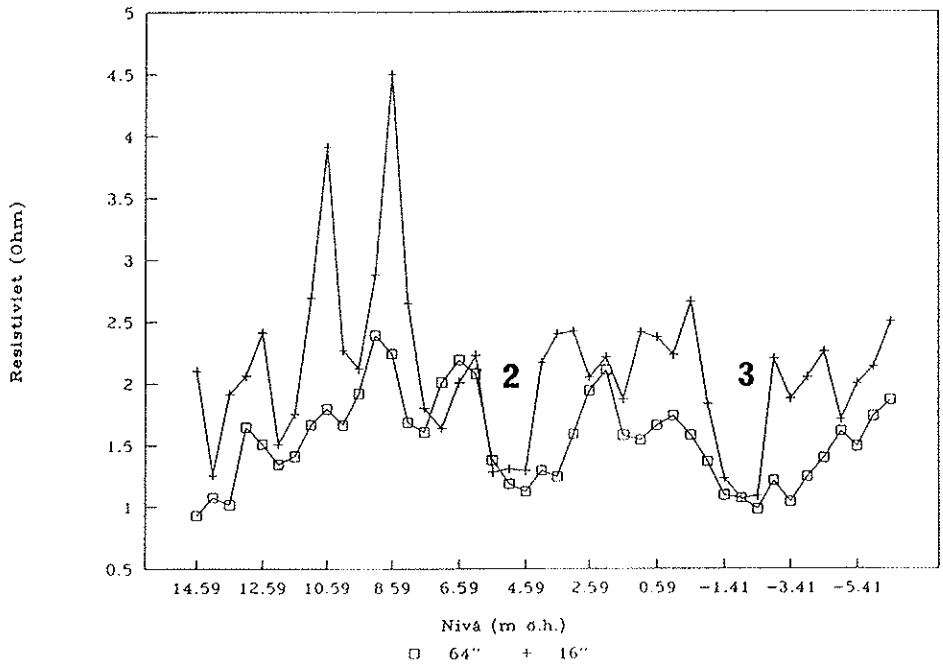
Lager	63	80	84	85	93	96	98	124
1								
2	4.6	4.6	10.5	10.5	14.0		4.4	24.0
3	-1.5	-1.5			4.0	-2.0	-1.5	13.0
4					-2.0	-5.0		
5						-26.0		



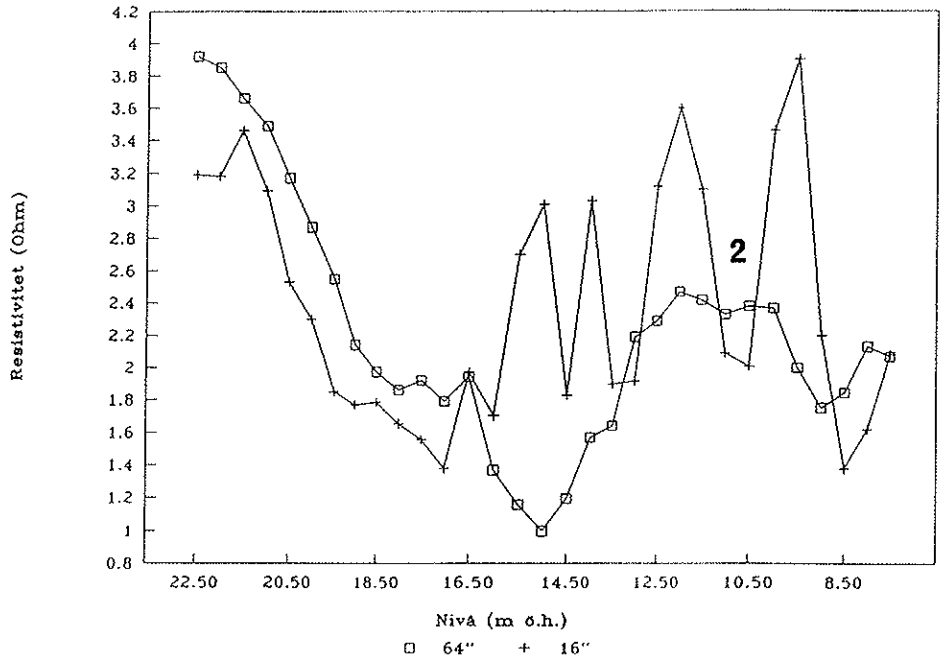
Figur E.1 Nivåer för resistivitetsanomalier.



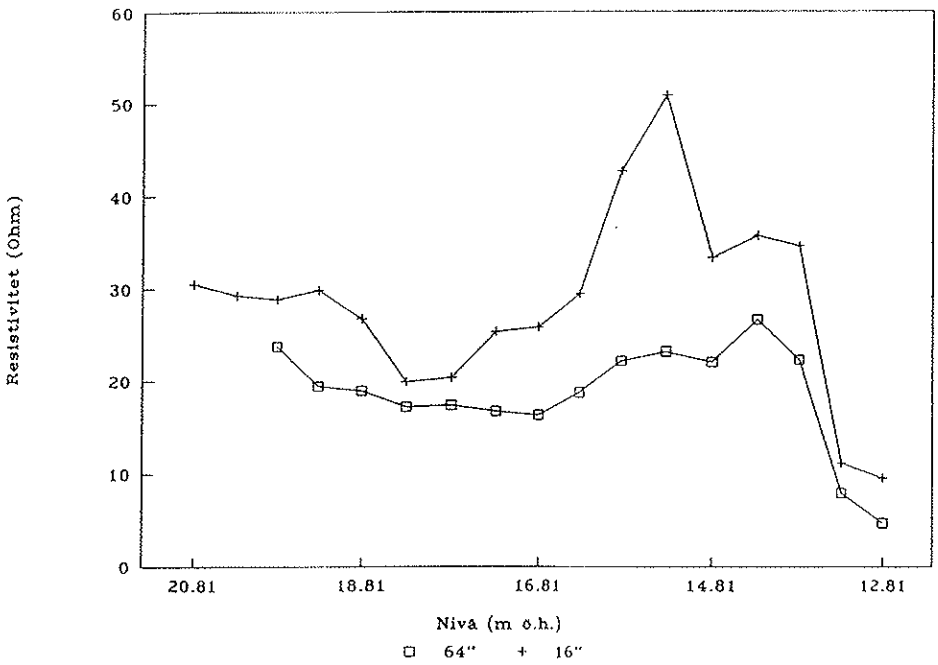
Figur E.2 Resistivitetsmätningar i borrhål 63, mätsektion 14.64 - -4.36 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



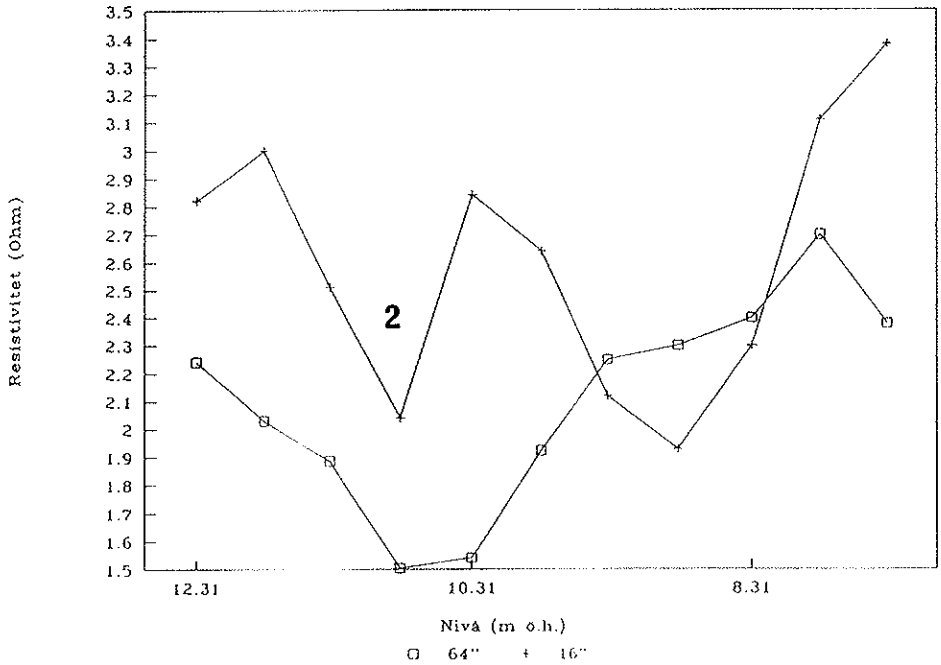
Figur E.3 Resistivitetsmätningar i borrhål 80, mätsektion 14.59 - -6.76 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



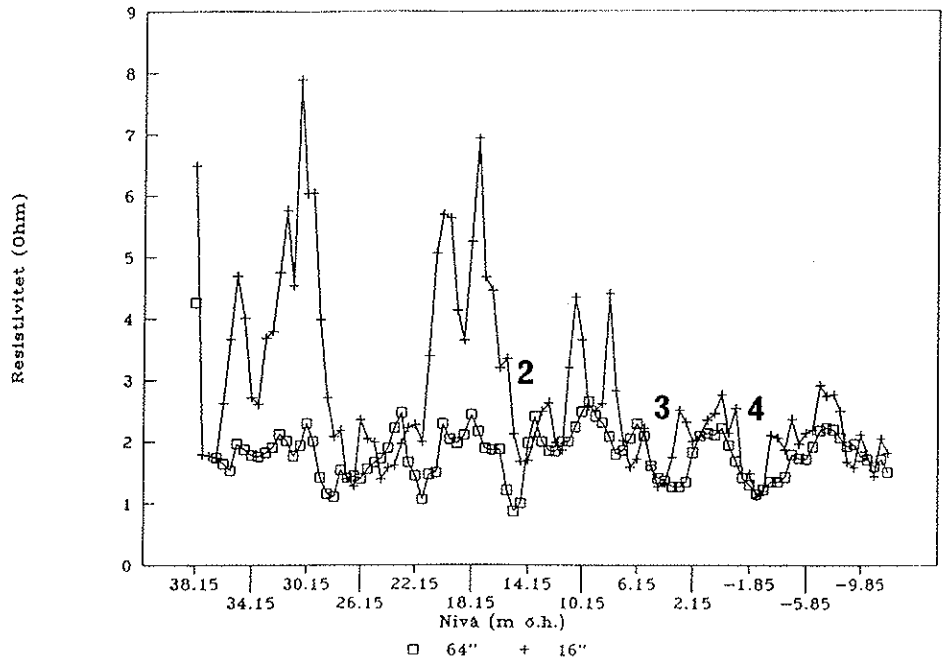
Figur E.4 Resistivitetsmätningar i borrhål 84, mätsektion 23.50 - 10.20 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



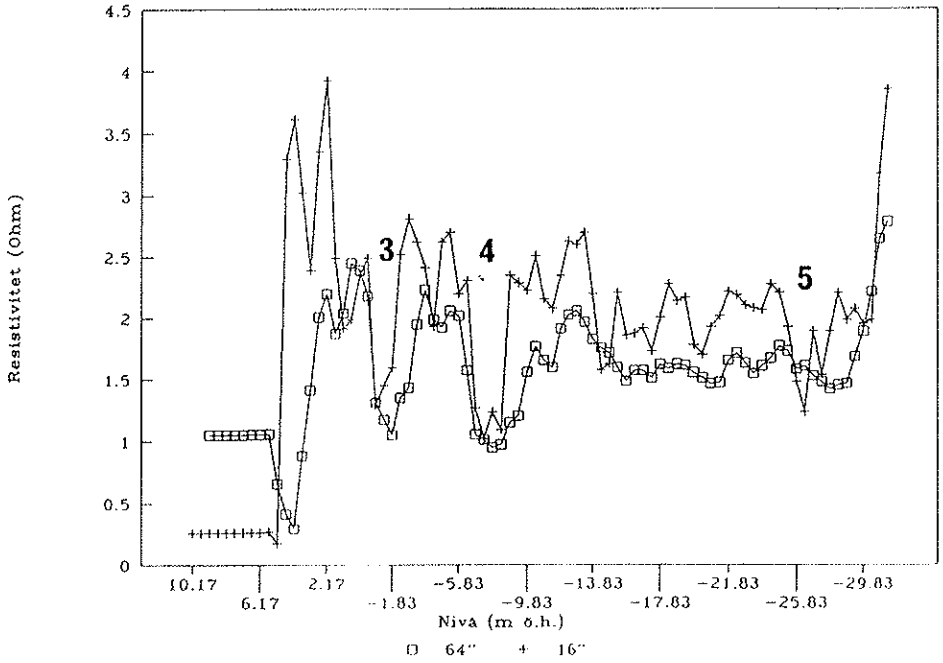
Figur E.5 Resistivitetsmätningar i borrhål 85, mätsektion 20.81 - 12.81 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



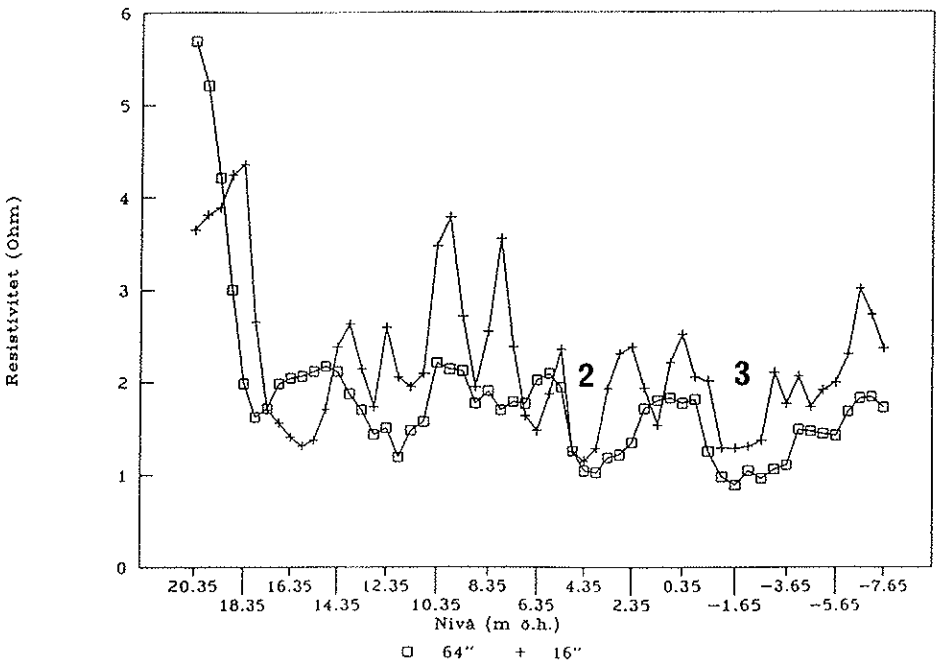
Figur E.6 Resistivitetsmätningar i borrhål 85, mätsektion 12.81 - -7.36 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



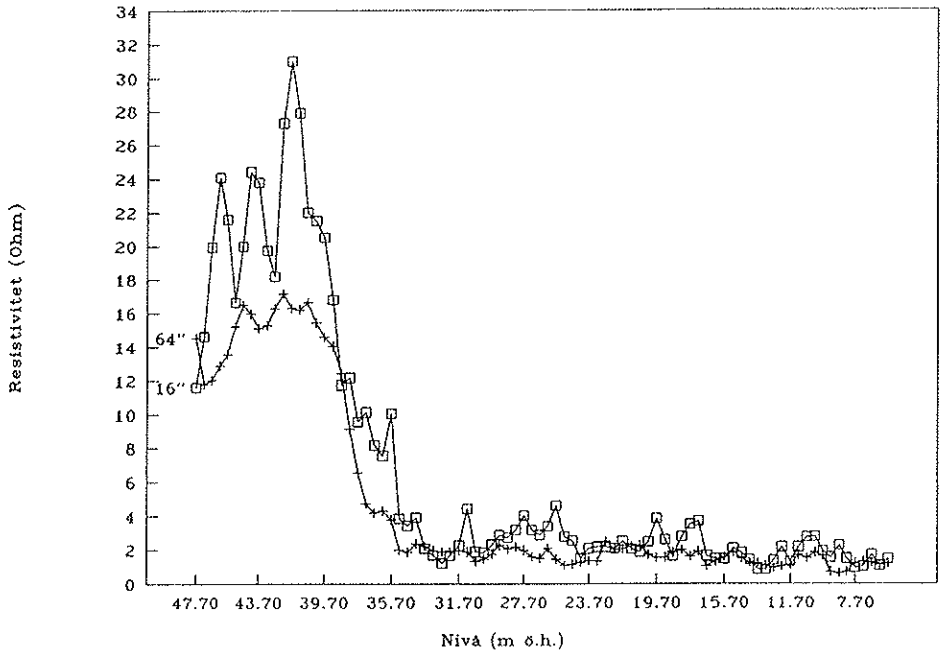
Figur E.7 Resistivitetsmätningar i borrhål 93, mätsektion 38.15 - -12.10 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



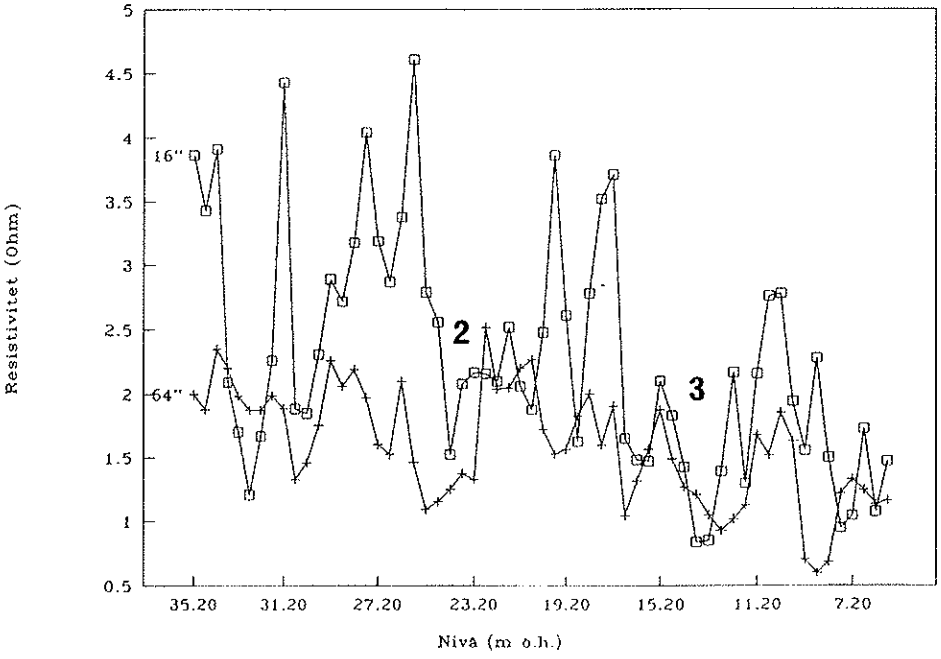
Figur E.8 Resistivitetsmätningar i borrhål 96, mätsektion 10.17 - -31.28 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



Figur E.9 Resistivitetsmätningar i borrhål 98, mätsektion 20.35 - -7.65 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



Figur E.10 Resistivitetsmätningar i borrhål 124, mätsektion 47.70 - 5.55 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)



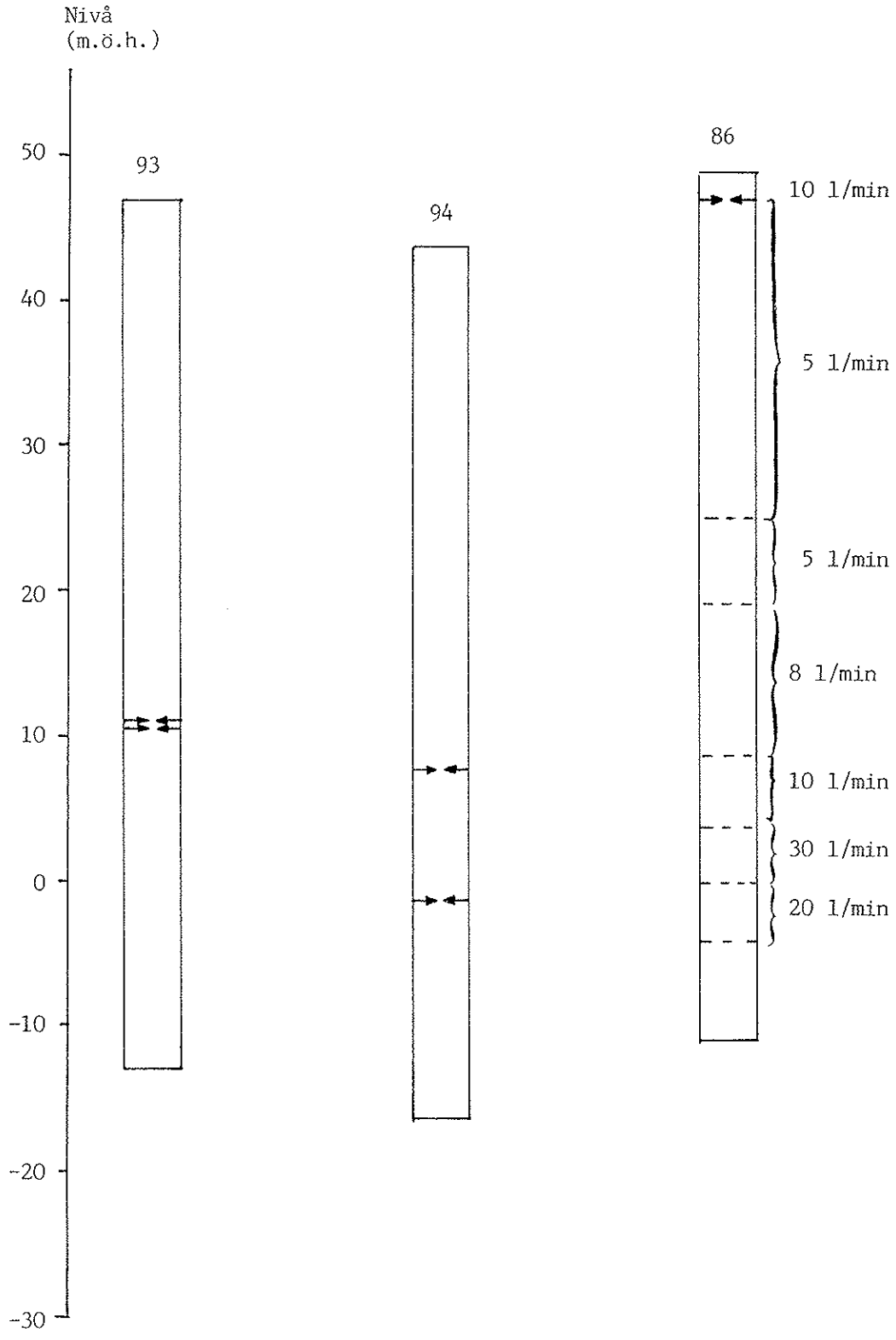
Figur E.11 Resistivitetsmätningar i borrhål 124, mätsektion 35.20 - 5.55 m ö.h. (Siffror anger tolkat lager)

APPENDIX F:
BORRPROTOKOLL

Borrprotokoll har erhållits från Cementa AB för borrhål 86, 93 och 94. Dessa har använts tillsammans med den geologiska karteringen och borrhålsloggningen i tolkningen av lagerföljden vid File Hajdar. Fullständiga borrprotokoll redovisas i Appendix F:2 - F:4. I Tabell F.1 och Figur F.1 redovisas nivån för vattenförande skikt enligt borrprotokoll, vilka sannolikt kan korreleras mot vattenförande lerskikt. Förutom de i Tabell F.1 redovisade vattenförande skikten förekommer även ett vattenförande skikt i borrhål 93 på nivån +11 m ö.h., vilket ej har kunnat korreleras mot något tolkat lager.

Tabell F.1 Nivåer (m ö.h.) för vattenförande skikt enligt borrprotokoll för respektive borrhål samt tolkat lagernummer korresponderande till geologisk kartering.

Lager/Rör	86	93	94
1			
Kalksten/ Märgelsten	+19		
2	+8.5		
3	+4		+7.5
4	-4		-1.5
5			



Figur F.1 Nivåer av vattenförande skikt i borrhål 93, 94 och 86. (Pilar anger inläckage av vatten.)

SGU:s ex., insändes till
Sveriges Avanti-borrare förening
195 00 Märsta

Detta borrbevis har Nr 72227

09 80 02 0791:35

1977 BORRBEVIS 1977

över utförd brunnsborrning enligt system Avanti 1978-11-22

Detta formulär för borrprotokoll tillhandahålles av Sveriges Avanti-borrare förening.
Rättigheten att utfärda detta borrbevis tillkommer endast Behörig Avanti-borrare.

Följande borrprotokoll har upprättats:

Fastighetsbeteckning: Filehajdar
Fastighetens adress: 620 30 Slite
Borrhålets plats: Hål nr: 93
Ägare/beställare: Sveriges Geologiska undersökning
Adress: Fack 104 05 Stockholm
Telefon: 08/ 15 09 50

Data

- Borrhålets totala djup mätt från orörd marknivå (före ev. grävning) 60,0 meter
- Borrhålet ☐ utgör ☒ utgör ej fördjupning av tidigare ☐ grävd ☐ borrad brunn
- Uppmätt avstånd från marknivå till fast berg 0 meter
- Jordart/bergart

Djup från markytan				Jordart/bergart (färg)
från 0	till 10,0	m		Kalksten mycket hård
från 10,0	till 60,0	m		" medelhård
från 36,0	till 36,5	m		Lerskiffer med vatten
från	till	m		

- Borrhålet har beklätts med stålrör ϕ ___/___ mm ___ meter
- Borrhålet har beklätts med plaströr ϕ ___/___ mm 110 meter
- Borrhålets bottendiameter ___ mm
- Särskild tätning har utförts mellan beklädnadsrör och fast berg genom ☐ cementering ☐ ___
- Uppmätt vattenflöde vid provtagningstillfälle den / 1977 300–1000 l/tim
- Mätningsmetodik ☐ Flottörmätning ☐ blåsning ___ tid: ___ tim ☐ provpumpning ___ tid: ___ tim
- Stabil vattennivå efter avslutad borrning antal meter under marknivå 19,0 meter
  Mätningstidpunkt ___ dygn 20,0 tim efter avslutad borrning
  X = se SGU:s provpumpning

Övriga iakttagelser ___

Visby den 26 / 5 1977

Ort

F:a JOHANSON o. SNÄCKERSTRÖM
Visby 0498/194 86, 157 33
Behörig Avanti-Borrare.

SNABB-JS BRUNNSBORRNING

SGU:s anteckningar (Ifylls ej)		X-koord 640294	Top karta 0791
Vattenmängd	Jordart 0	Y-koord 167290	Ekon karta 07904
Avsänkning	Bergart 1	Z-koord 46	Jordartskarta Aa 169
Spec kapacitet		Övr kartor	Berggrundskarta Aa 169

SGU:s ex., insändes till
Sveriges Avanti-borrare förening
195 00 Märsta

Detta borrbevis har Nr 72228

09 80 02 0791:36

1977 BORRBEVIS 1977

över utförd brunnsborrning enligt system Avanti 1978-11-22

Detta formulär för borrprotokoll tillhandahålles av Sveriges Avanti-borrare förening.
Rättigheten att utfärda detta borrbevis tillkommer endast Behörig Avanti-borrare.

Följande borrprotokoll har upprättats:

Fastighetsbeteckning: Filehajdar

Fastighetens adress: 620 30 Slite

Borrhålets plats: Hål nr: 94

Ägare/beställare: Sveriges Geologiska undersökning

Adress: Fack 104 05 Stockholm

Telefon: 08/ 15 09 50

Data

- Borrhålets totala djup mätt från orörd marknivå (före ev. grävning) 60,0 meter
- Borrhålet ☐ utgör ☒ utgör ej fördjupning av tidigare ☐ grävd ☐ borrad brunn
- Uppmätt avstånd från marknivå till fast berg 0,0 meter
- Jordart/bergart

Djup från markytan			Jordart/bergart (färg)
från 0	till 0,3	m	Kalksten med sprickor
från 0,3	till 60,0	m	" medelhård
från	till 36,0	m	Vattenförekomst X
från	till 45,0	m	" X

- Borrhålet har beklätts med stålrör ϕ ___/___ mm ___ meter
- Borrhålet har beklätts med plaströr ϕ ___/___ mm 110 meter
- Borrhålets bottendiameter ___ mm
- Särskild tätning har utförts mellan beklädnadsrör och fast berg genom ☐ cementering ☐ ___
- Uppmätt vattenflöde vid provtagningstillfälle den / 1977 500-1000 * l/tim
- Mätningsmetodik ☐ Flottörmätning ☐ blåsning ___ tid: ___ tim ☐ provpumpning ___ tid: ___ tim
- Stabil vattennivå efter avslutad borrning antal meter under marknivå 30,0 meter

Mätningstidpunkt 5 dygn 10 tim efter avslutad borrning

Övriga iakttagelser X = se SGU,s provpumpning

Visby den 27 / 5 1977
Ort

F:a JOHANSON o. SNACKERSTRÖM
Visby 0498/194 86, 157 33
Behörig Avanti-borrare

SNABB-JIS BORRNINGSFÖRENING

SGU:s anteckningar (Ifylls ej)		X-koord 640311	Top karta 0791
Vattenmängd	Jordart 0	Y-koord 167314	Ekon karta 07904
Avsänkning	Bergart 1	Z-koord 50	Jordartskarta Aa 169
Spec kapacitet		Övr kartor	Berggrundskarta Aa 169

Borrfirma

F:a JOHANSON o. SNÄCKERSTRÖM
Visby 0498/194 86, 157 33

SNABB-JS BRUNNSBORRNING

BRUNNS- och BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 76 12 14

Borrningen utförd, fr o m - t o m: 76 11 16 - 76 12 06

6423

SGU:s anteckningar (ifylls ej)

Brunnsnummer: 0791:25

Ankomstdatum: 17. FEB. 1977

098082

Uppgiftsskyldighet enligt SFS 1975:424
Exemplar 1 insänds till Sveriges geologiska undersökning, Brunnsarkivet, Box 2048, 183 02 TÄBY
Exemplar 2 kan lämnas till uppdragsgivaren
Exemplar 3 behålls av borrfirman

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning: Borrhål nr: 86

Ort: Filehajdar

Församling: Slite

Kommun: Gotlands

Länsbokstav: I

Borrplatsens läge på fastigheten

Ägare/Beställare

Ägares/Beställares namn: Sveriges Geologiska Undersökning

Telefon (även riktnr): 08/768 02 85

Utdelningsadress (gata, nr, box, fack e d): Box 2048

Ortsadress (postnr och ortnamn): 183 02 Täby

Jordarter/Bergarter m m

Djup under markytan från	till		Jordart/Bergart	Anmärkningar (vattenförekomst, färg, släppor m m)	SGU:s anteckningar (ifylls ej)
0	1,4	m	Kalksten	Medelhård grå	
1,4	1,6	m	Lerstick	"	
~~1,4~~ 1.6	4,8	m	Kalksten	Mycket hård "	
4,8	11,2	m	"	Hård	
-		m	Se komplettering!		

Tekniskt utförande m m

Schaktning (från - till): - m, diameter: mm

Borrmaskintyp: R. Hausherr H.B.M. 15 Rot

Borrhålet utgör fördjupning av: ☐ grävd brunn ☐ borrad brunn

Borrning med rör (från - till): 0 - 5,0 m, 300 mm

Borrhål fodrat m | diameter | djup (från - till):
☒ stålrör ... 272/260 mm, 0 - 5,0 m
☐ plaströr ..... mm, - m

Vattenanalys: ☐ Ja ☐ Nej

Borrning utan rör (från - till): 5,0 - 60,0 m, 250 mm

Totaldjup från markytan: 60,0 m, 0

Tätning mellan foderrör och berg har skett med:
☒ cementering ☐ extra plaströrsfodring

Analysresultat: ☐ bifogas

Höjd - om avvägning företagits: ☐ Röröverkant ☐ Markyta möh

Brunnens användning (hushåll, industri, bevattning m m): Undersökningshål för Cementa OBS

☐ insänds senare

Provpumpning m m

Typ av provpumpning: ☐ Blåsning ☐ Flottör-mätning ☒ Pumpning

Pumptyp: Grundfoss SP 10-15

Pumpens maxkapacitet: 11.000 lit/tim

Borrdjup under markytan	Pumpdjup under markytan	Pumptid	Vattenmängd	Vid provpumpningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) från	till	SGU:s anteckningar (ifylls ej)
m	m	tim	lit/tim	-	m	
m	Se komplettering! m	tim	lit/tim	-	m	

Gv. nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: ~~14,7~~ 21,6 m

Datum vid mätningstillfället: 76 12 11

Mätning av grundvattennivån har skett:
☒ före pumpning 19,8 m. ☒ efter pumpning 21,6m. antal timmar ...ca: 50,0

Övriga anmärkningar

Övriga anmärkningar (sprängning, gasförekomst, saltvatten m m)

Rekumenderad fria pumpdiameter 200 mm. med tanke på lersläpporna.

Fältlok

Underskrift

Kjell Johanson

Blankettutgivare: SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Telefon: 08 - 768 02 85

SGU:s anteckningar (ifylls ej)		X-koord	Top karta
Vattenmängd	Jordart 0	640302	0791
Avsänkning	Bergart 1	Y-koord 167278	Ekon karta 07904
Spec kapacitet		Z-koord 49	Jordartskarta Aa 169
		Övr kartor	Berggrundskarta Aa 169

SGU 34 1975-11 50 000x3 SKUNDS TRYCKERI AB 53747 LF/ALLF 315 76 001

Borrfirma

F:a JOHANSON o. SNÄCKERSTRÖM
Visby 0498/194 86, 157 33

SNABB-JS-BRUNNSBORRNING

Komplettering till BRUNNS- och BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 76 12 14

Borrningen utförd, fr o m - t o m

Protokoll nr: 6423

SGU:s anteckningar (Ifylls ej)

Borrplats

Fastighetsbeteckning: Borrhål nr: 86

Ort: Filehajdar

Jordarter/Bergarter m m

Djup under markytan från	till	Jordart/Bergart	Anmärkningar (vattenförekomst, färg, släppor m m)	SGU:s anteckningar (Ifylls ej)
11,2	11,4 m	Lerstick	grå	
11,4	19,0 m	Kalksten	Mycket hård "	
19,0	55,0 m	"	Hård "	
55,0	55,4 m	Lerstick	"	
55,4	60,0 m	Kalksten	Mycket hård "	
-	m	Vattenförekomster		
1,6	2,0 m		Ca: 10 lit/min	600 l/tim
-	24,0 m	}	" 5 " "	300
-	29,5 m	}	" 5 " "	300
-	40,0 m		" 8 " "	480
-	45,0 m		" 10 " "	600
-	49,0 m		" 30 " "	1800
-	53,0 m		" 20 " "	1200
-	m			
-	m			

Provpumpning

Borrdjup under markytan	Pumpdjup under markytan	Pumptid	Vattenmängd	Vid provpumpningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) från	till
60,0 m	58,0 m	9,0 tim	4.500 lit/tim	19,8	58,0 m
m	m	tim	lit/tim	-	m
m	m	tim	lit/tim	-	m
m	m	tim	lit/tim	-	m
m	m	tim	lit/tim	-	m
m	m	tim	lit/tim	-	m

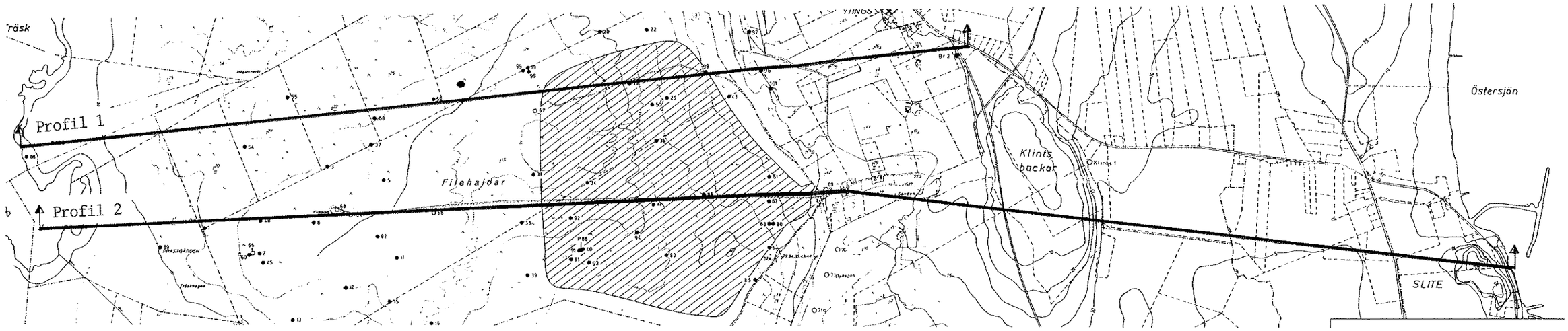
Övriga anmärkningar

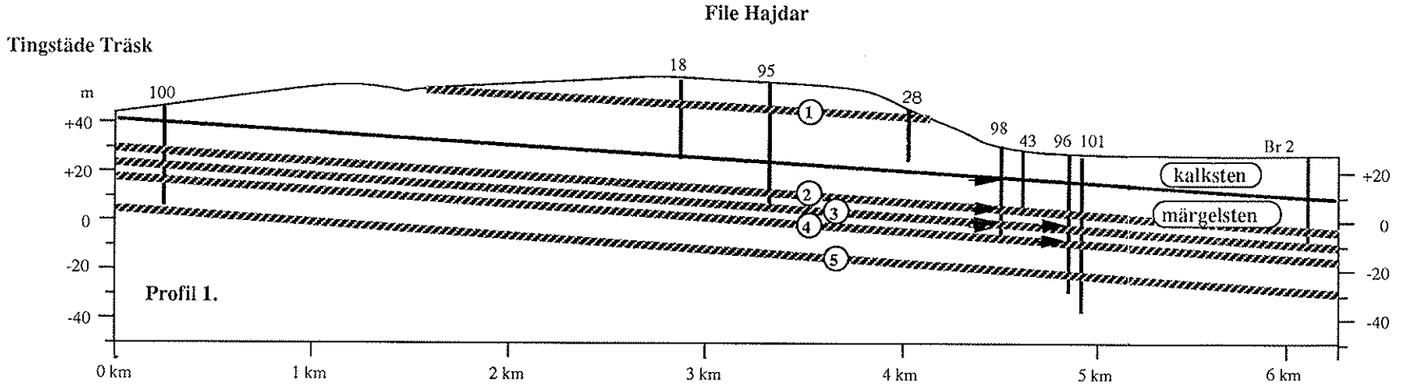
Övriga anmärkningar

SGU 35 1975 11 1 000x25 SCORUPS TRYCKERI AB 53749 LF/ALLF 315 75 001

Blankettutgivare
SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Telefon
08 - 768 02 85





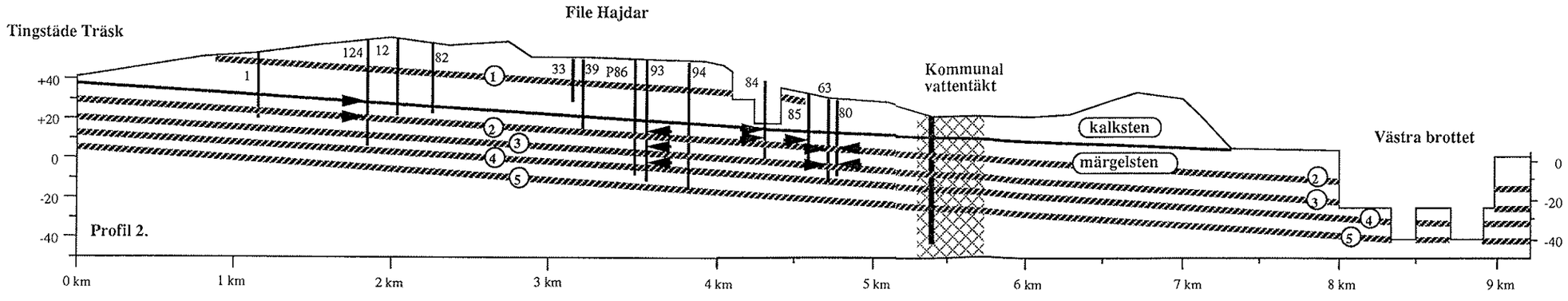
APPENDIX G

Schematiska profiler för området mellan Tingstäde Träsk och Västra brottet med Bergartsgräns och vattenförande lager.

Vattenförande Lager

Resistivitetsanomali

Sprickzon



APPENDIX H:
GRUNDVATTENOBSERVATIONSRÖR PÅ FILE HAJDAR

I Tabell H.1 redovisas nivåer och mätperiod för grundvattenrör belägna på File Hajdar. Grundvattenrörens läge framgår av Appendix H:2.

Tabell H.1 Rördata och mätperiod för grundvattenobservationsrör på File hajdar.

Obs.rör	Nivå r.ö.k. (m ö.h.)	Nivå botten (m ö.h.)	Mätperiod
1	56.29	21.17	670907 - 910416
12	58.98	19.48	670907 - 890630
18	59.95	24.35	771018 - 890630
28	50.91	25.21	771018 - 910416
33	50.79	26.79	670907 - 890630
39	48.48	13.08	771018 - 910416
43	29.56	3.36	670907 - 910416
80	34.59	-7.01	771018 - 910416
82	58.34	16.34	771018 - 890630
84	40.50	-1.70	771018 - 910416
85	41.81	-0.19	771018 - 910416
86	49.20	-10.80	771018 - 910416
87	40.82	9.82	771018 - 910416
93	47.15	-12.85	771018 - 890630
94	43.85	-16.15	771018 - 821115
94T	43.85	8.11	821216 - 910416
94F*	8.11	-16.15	821216 - 910416
95	56.40	6.40	771018 - 910416
96	20.17	-29.83	771018 - 910416
98	31.85	-8.15	890815 - 910416
100	46.91	6.91	771018 - 910416
102	42.01	2.01	771018 - 910416
124	61.20	5.55	780831 - 890630

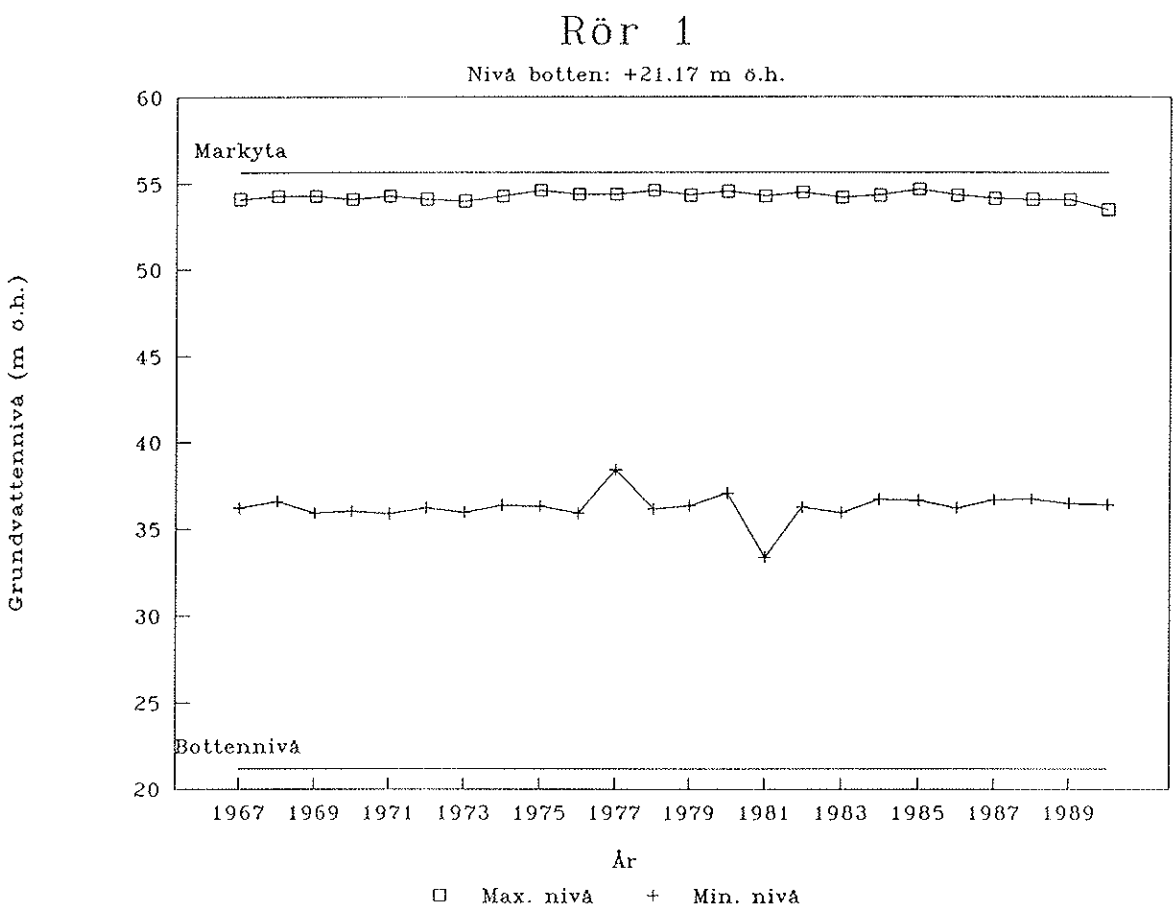
*Röret mäter grundvattentryck under igengjutning på nivån +8.11 m ö.h.

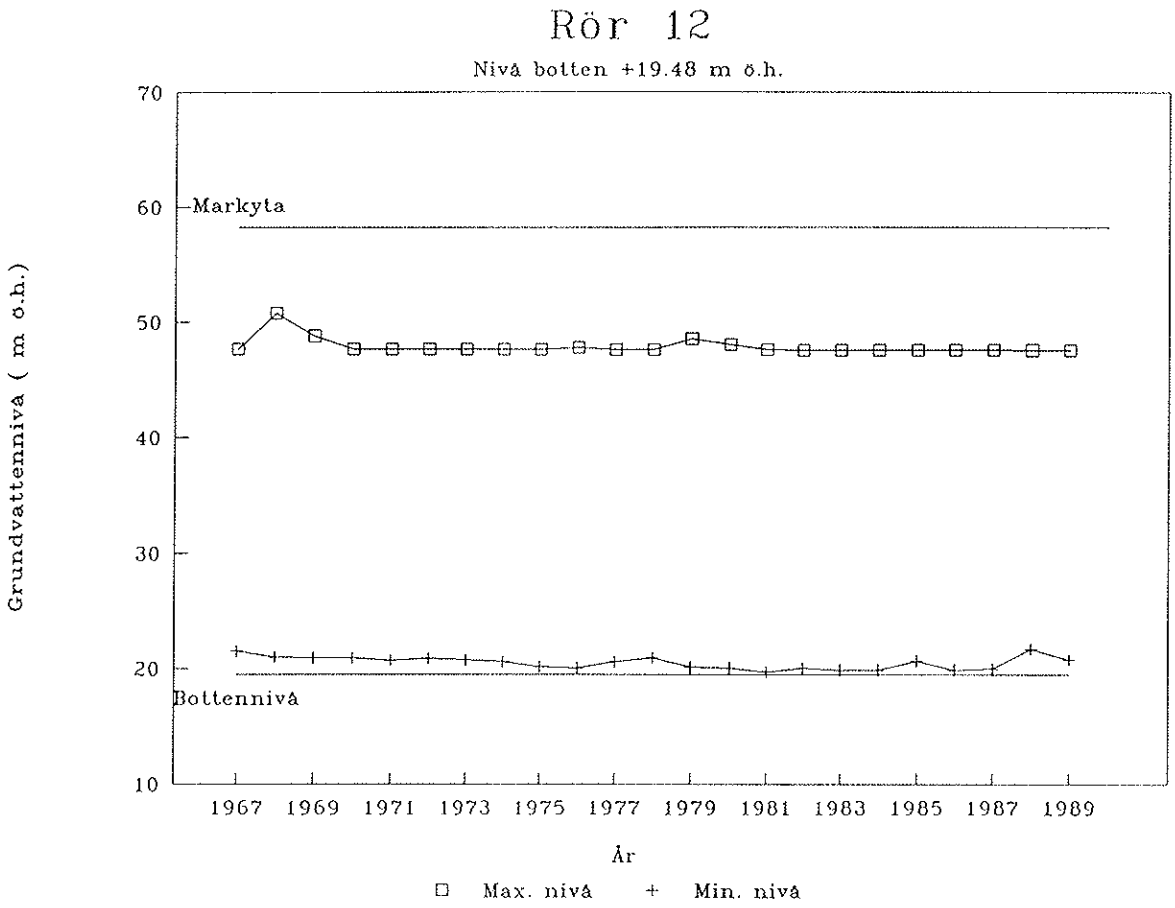
APPENDIX H:2

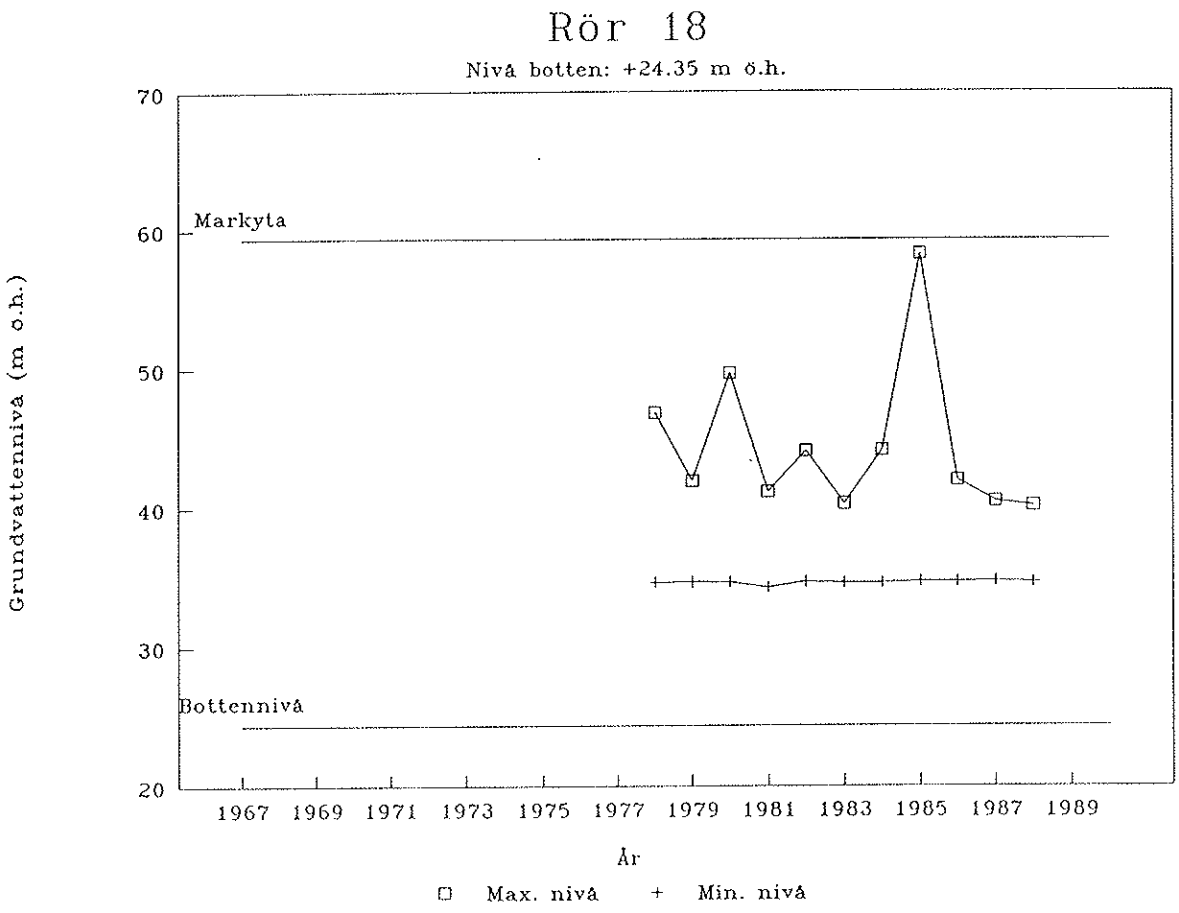
Grundvattenrör vid File Hajdar

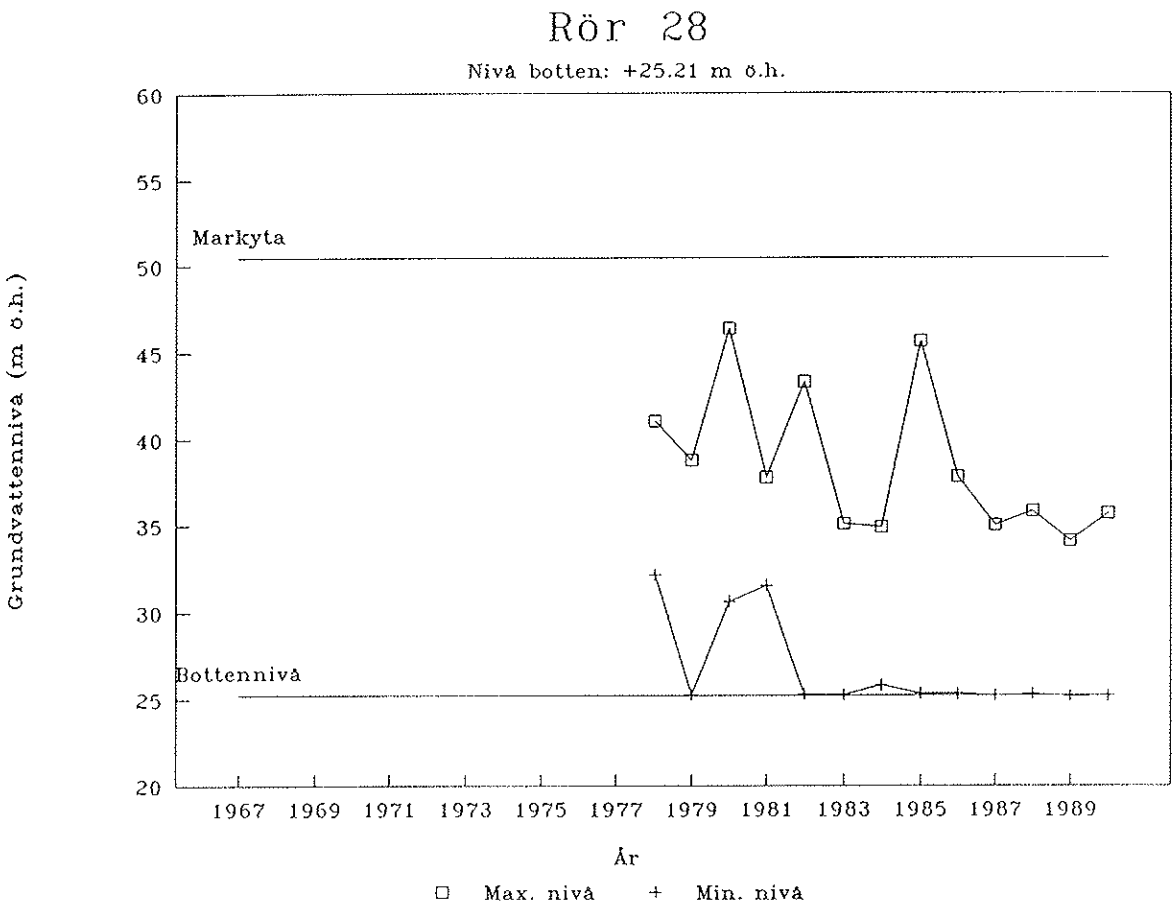
Skala 1:20 000

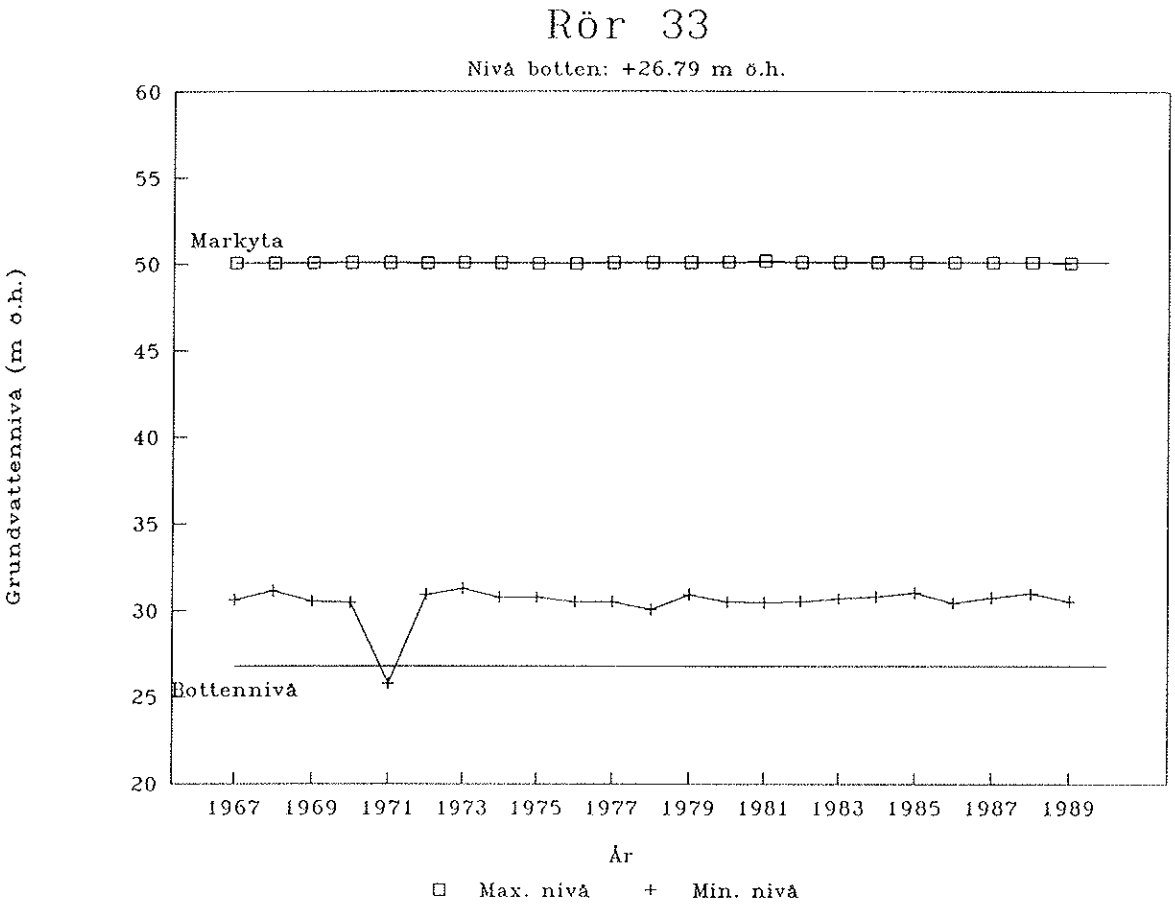
APPENDIX I:
GRUNDVATTENNIVÅNS MAXIMI- OCH MINIMINIVÅER UNDER ÅREN 1967 - 90 I OLIKA OBSERVATIONSRÖR

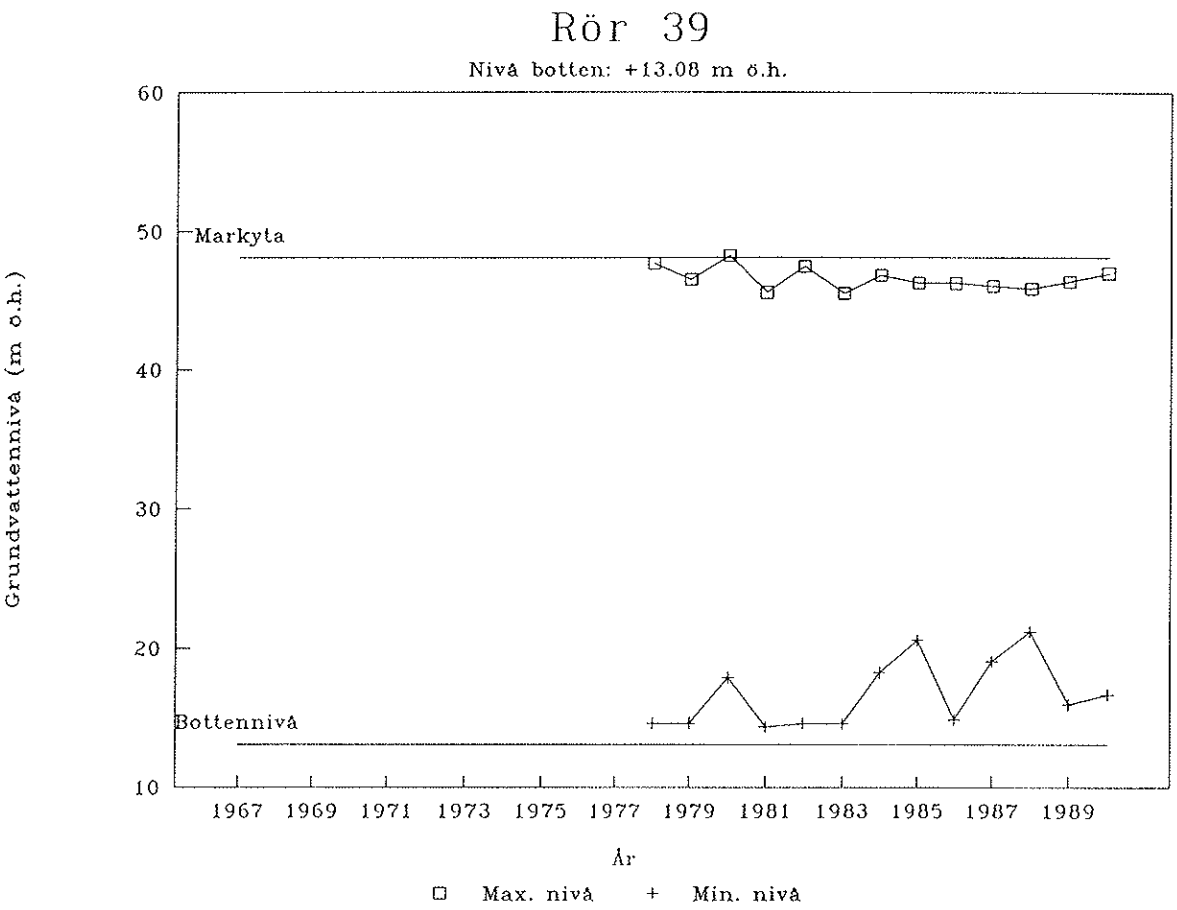

Rör 1
Nivå botten: +21.17 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
55
50
45
40
35
30
25
20
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

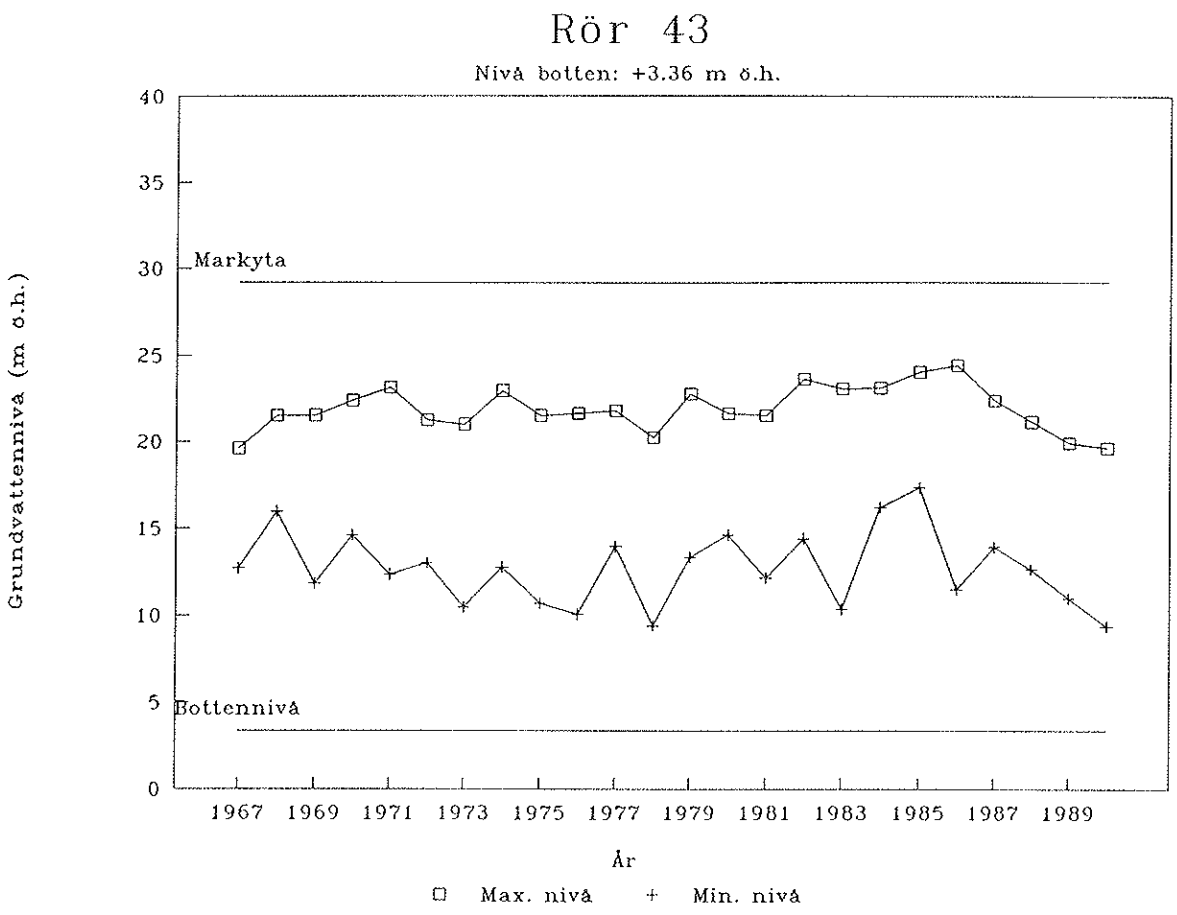

Rör 12
Nivå botten +19.48 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
70
60
50
40
30
20
10
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

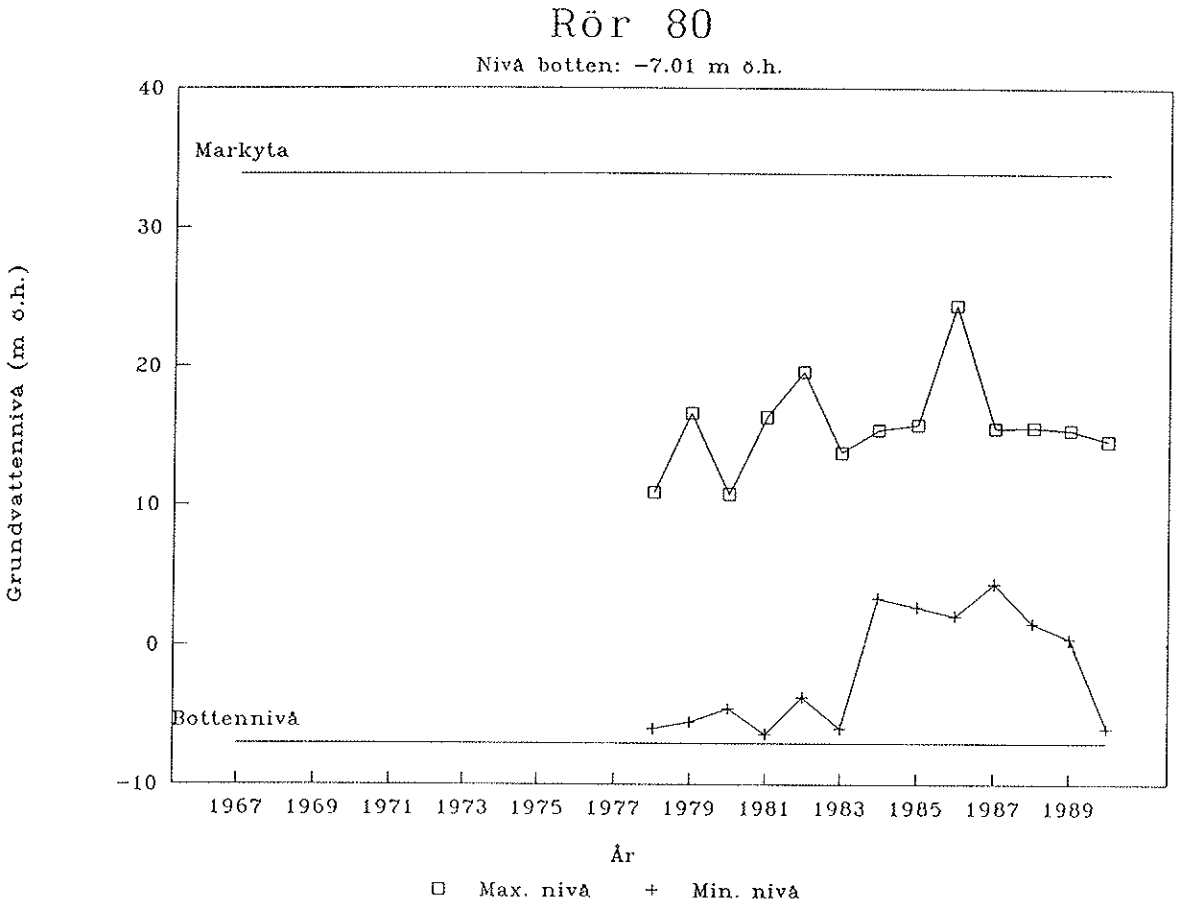

Rör 18
Nivå botten: +24.35 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
70
60
50
40
30
20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

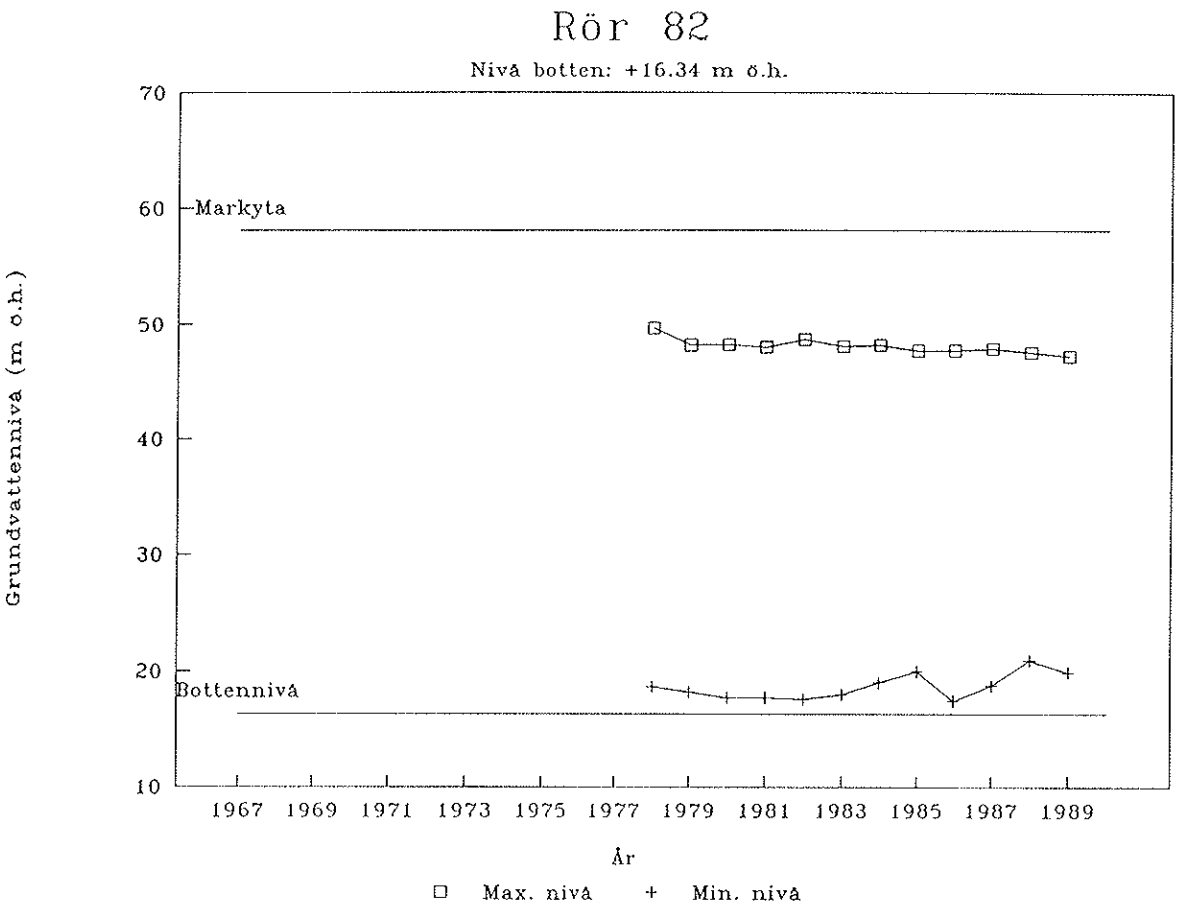

Rör 28
Nivå botten: +25.21 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
55
50
45
40
35
30
25
20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
□ Max. nivå + Min. nivå

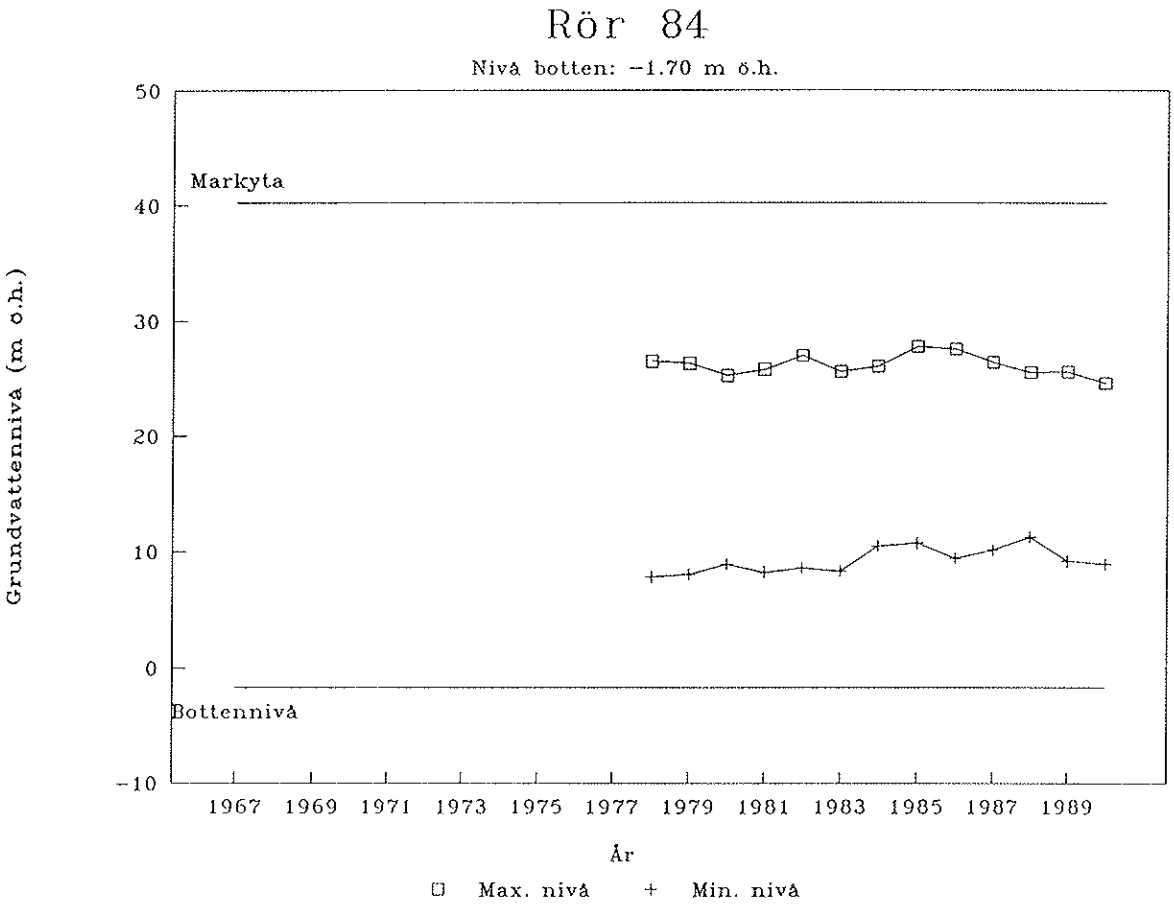

Rör 33
Nivå botten: +26.79 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
55
50
45
40
35
30
25
20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

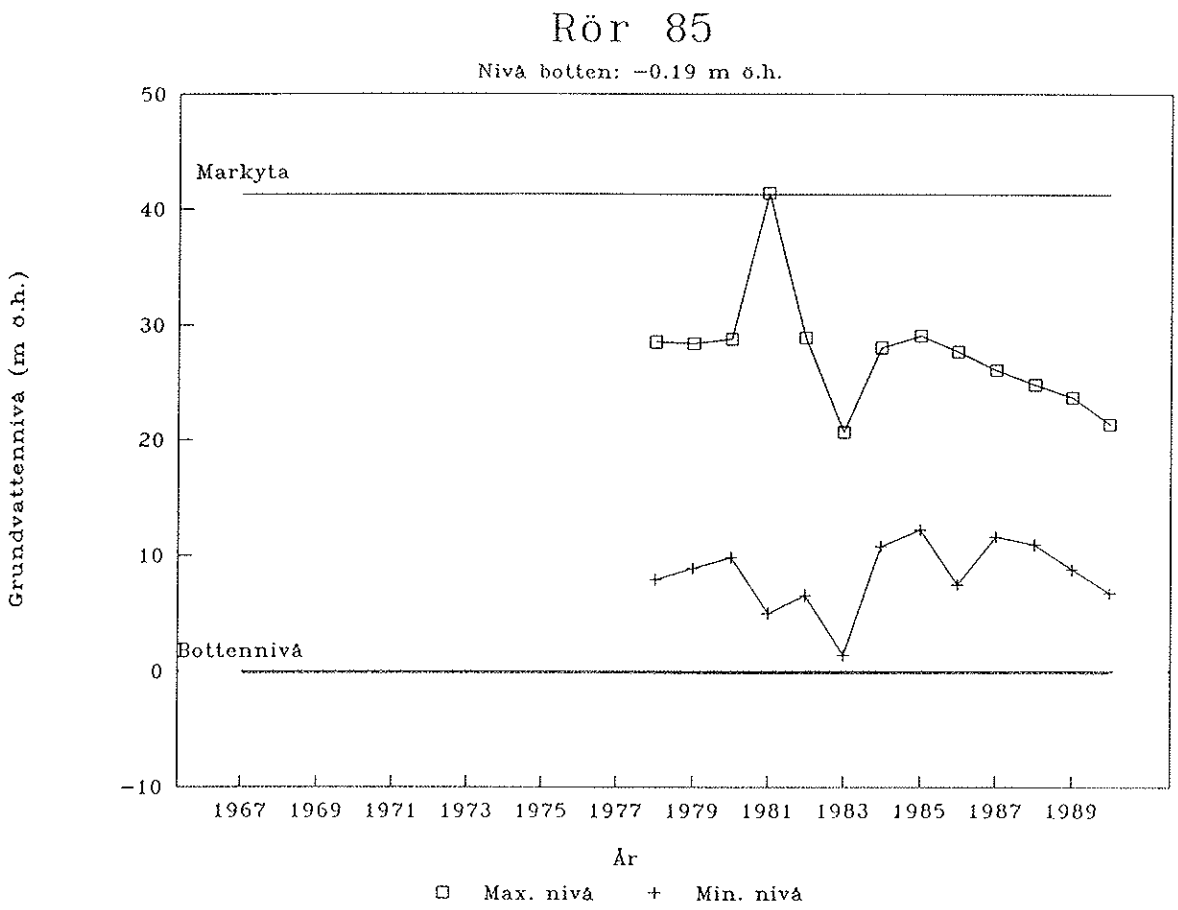

Rör 39
Nivå botten: +13.08 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

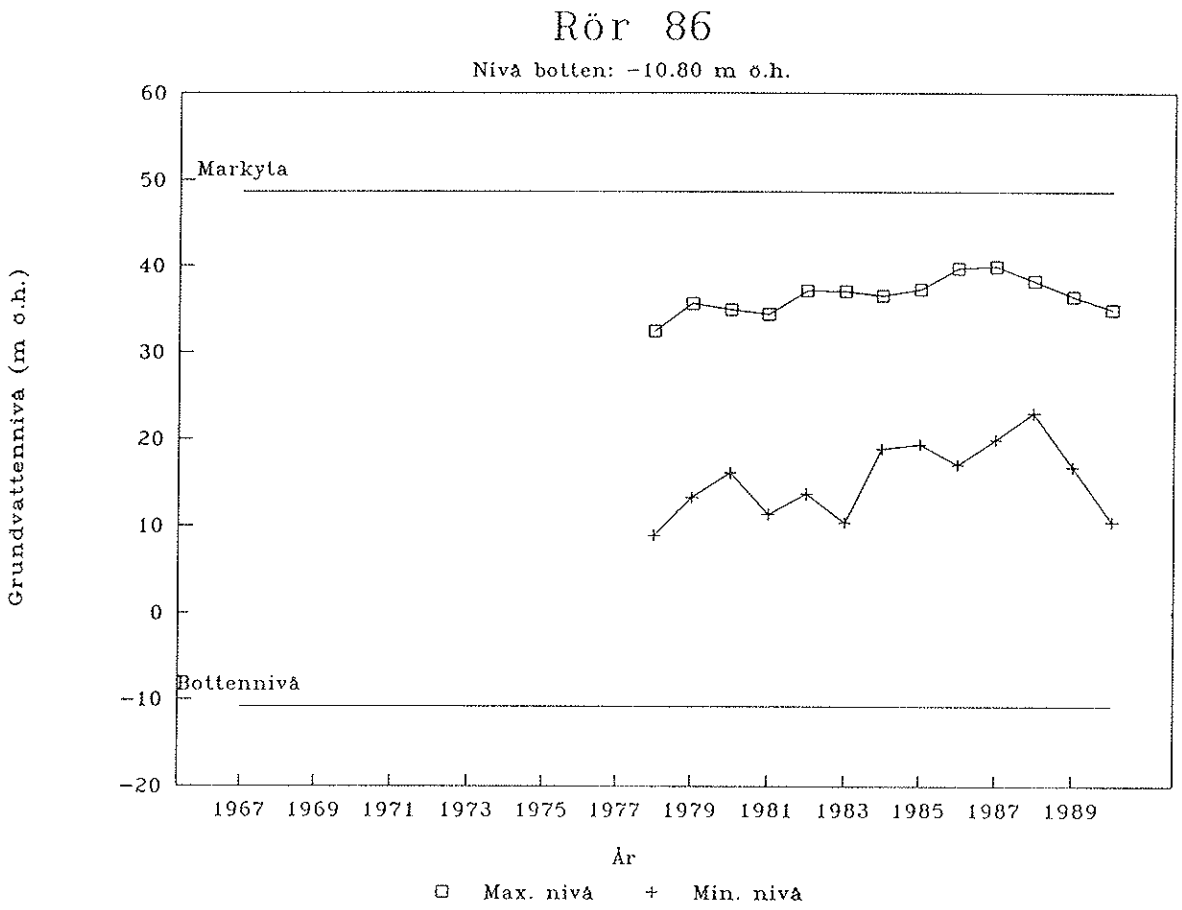

Rör 43
Nivå botten: +3.36 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

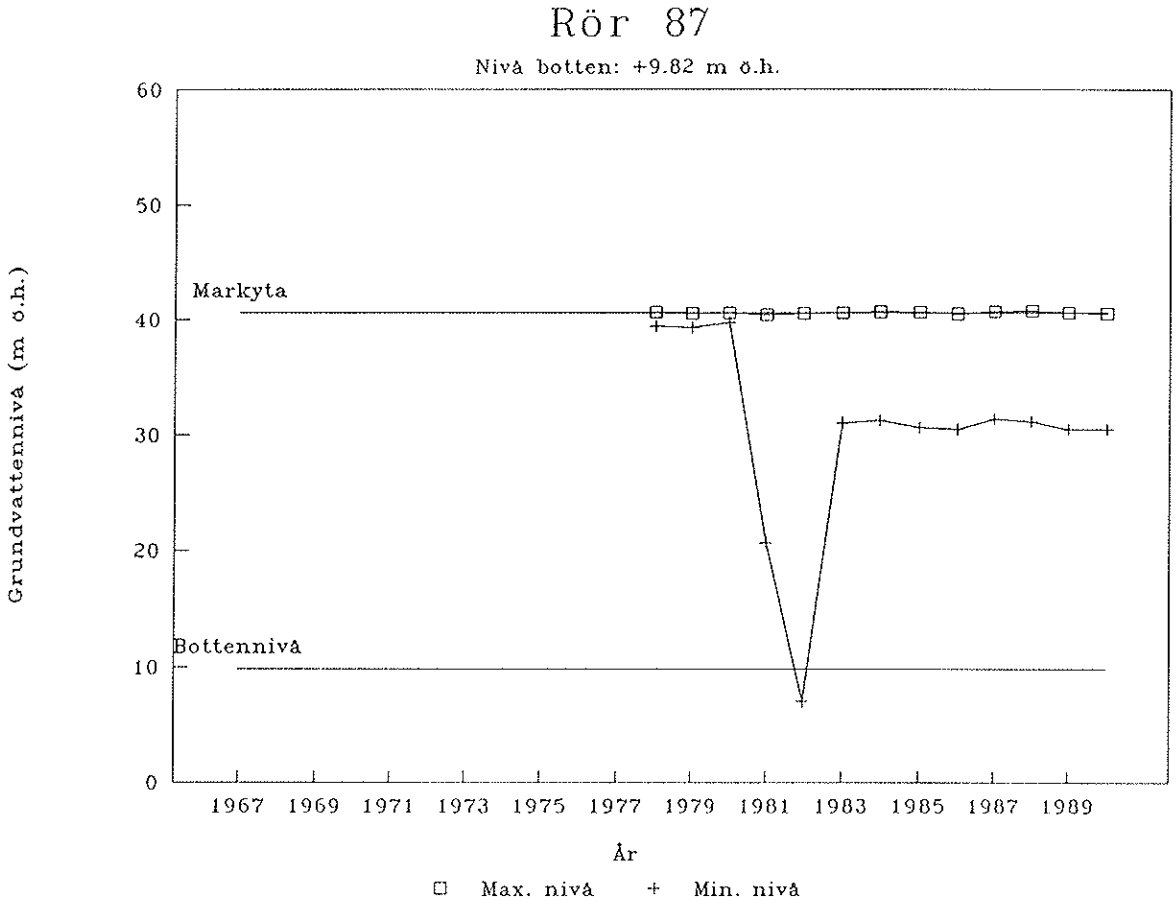

Rör 80
Nivå botten: -7.01 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
40
30
20
10
0
-10
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

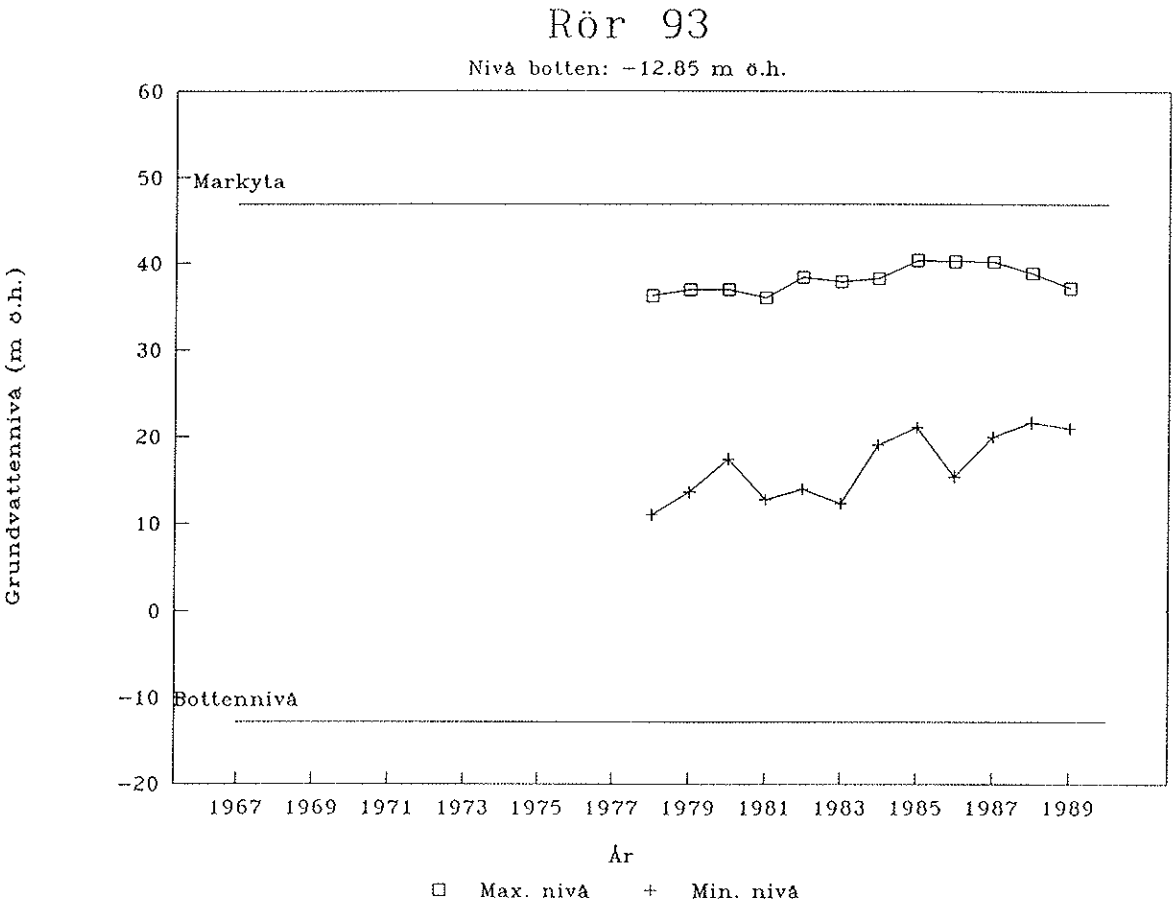

Rör 82
Nivå botten: +16.34 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
70
60
50
40
30
20
10
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

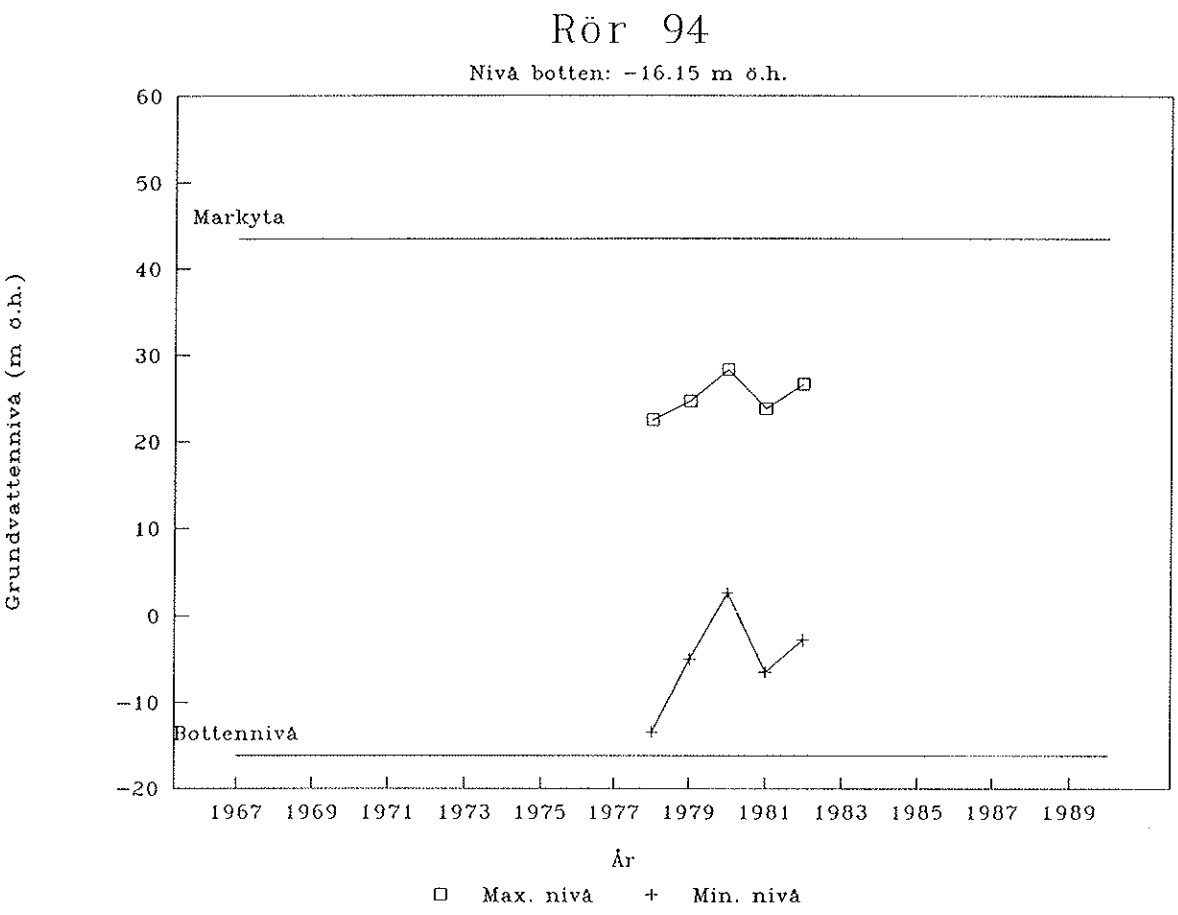

Rör 84
Nivå botten: -1.70 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
50
40
30
20
10
0
-10
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

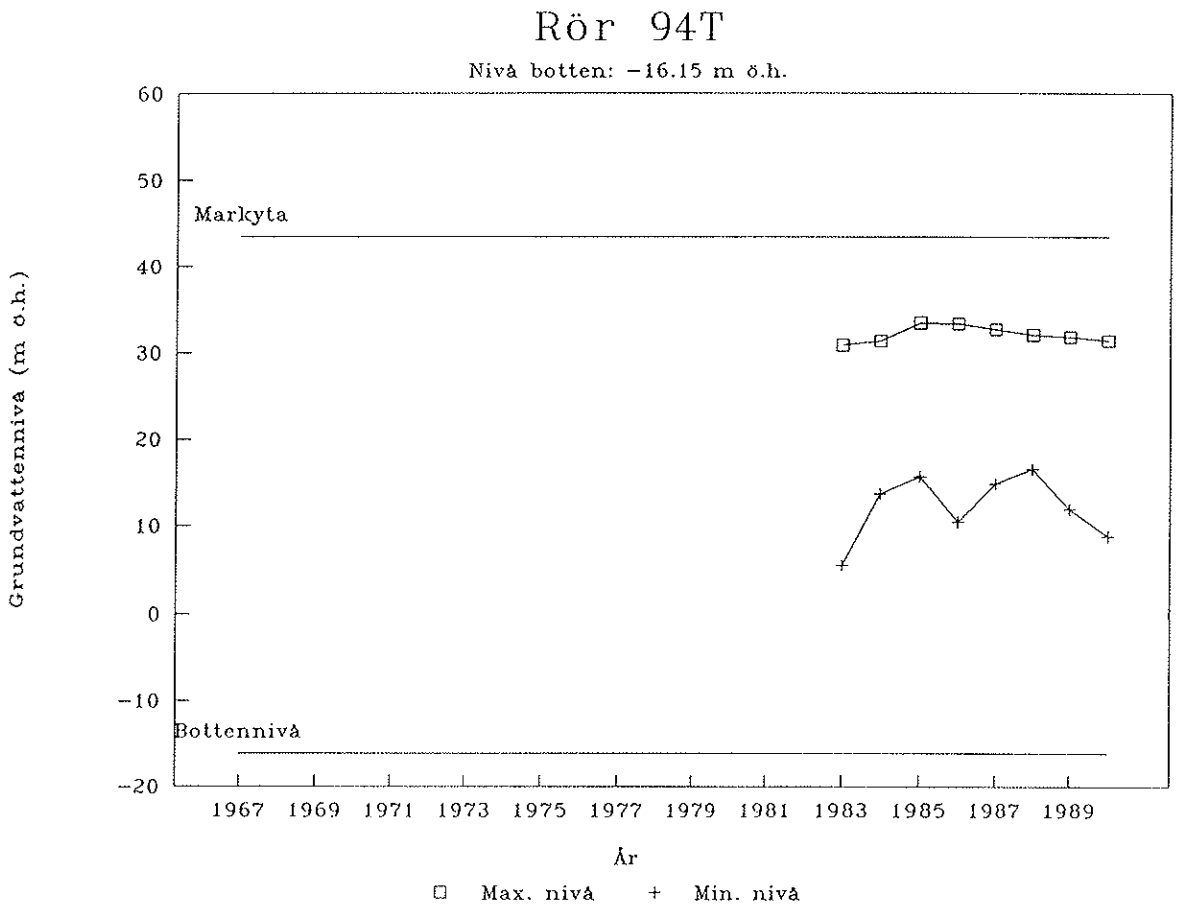

Rör 85
Nivå botten: -0.19 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
50
40
30
20
10
0
-10
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

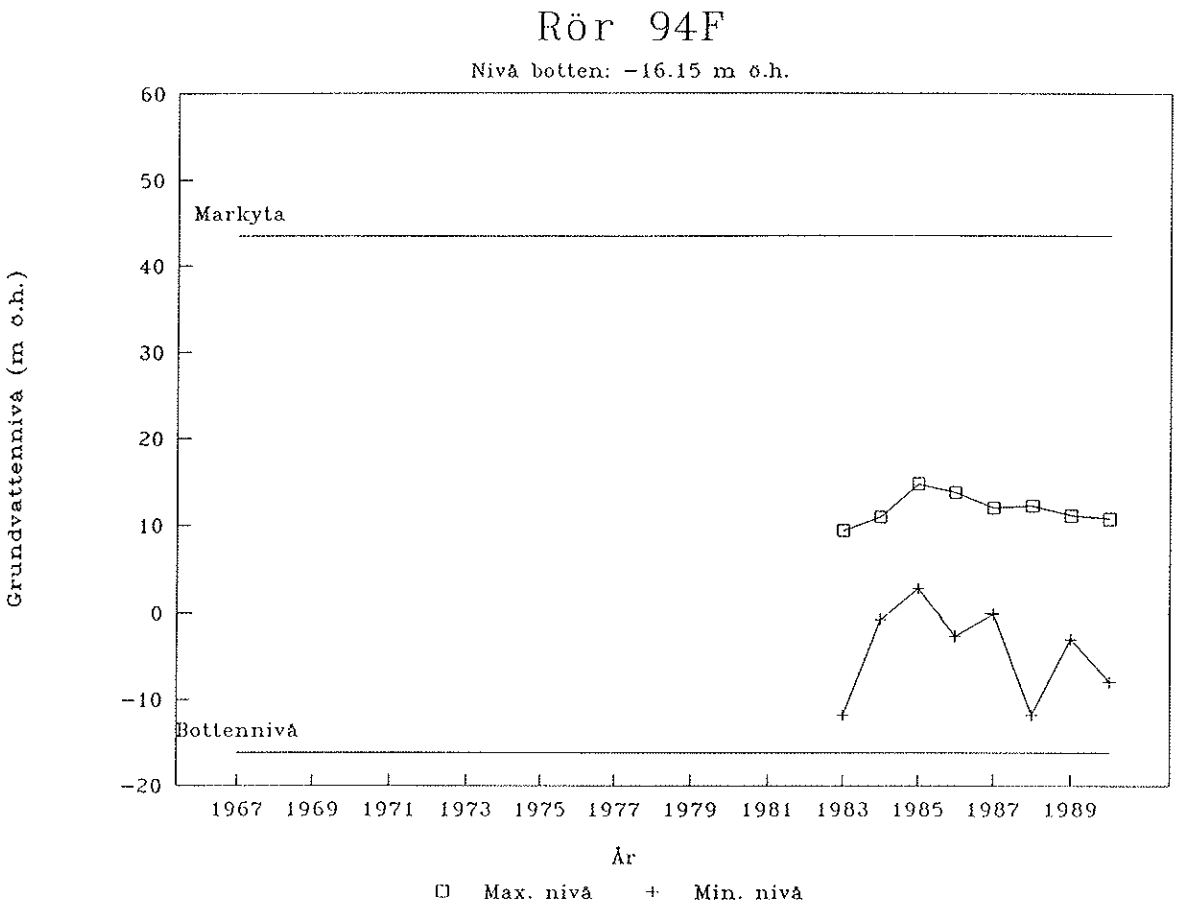

Rör 86
Nivå botten: -10.80 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

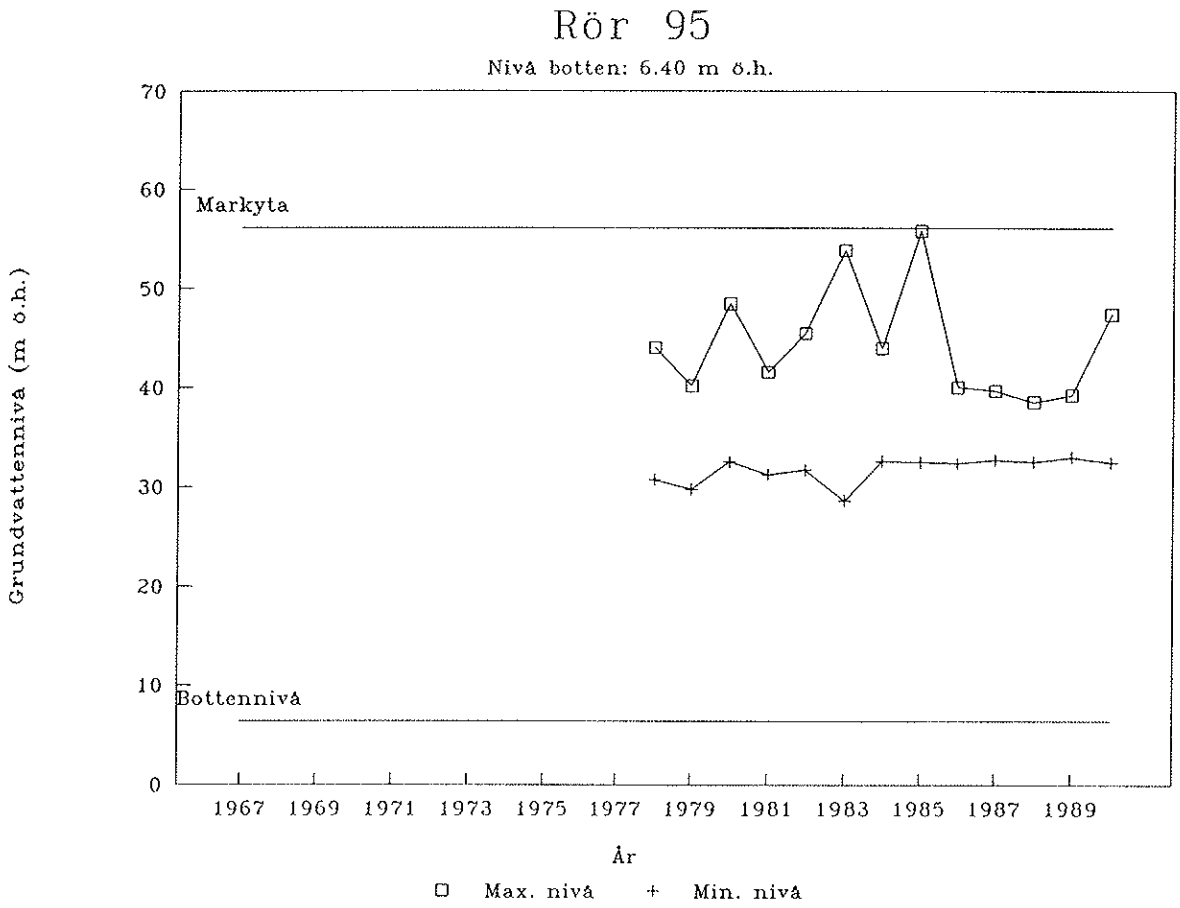

Rör 87
Nivå botten: +9.82 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

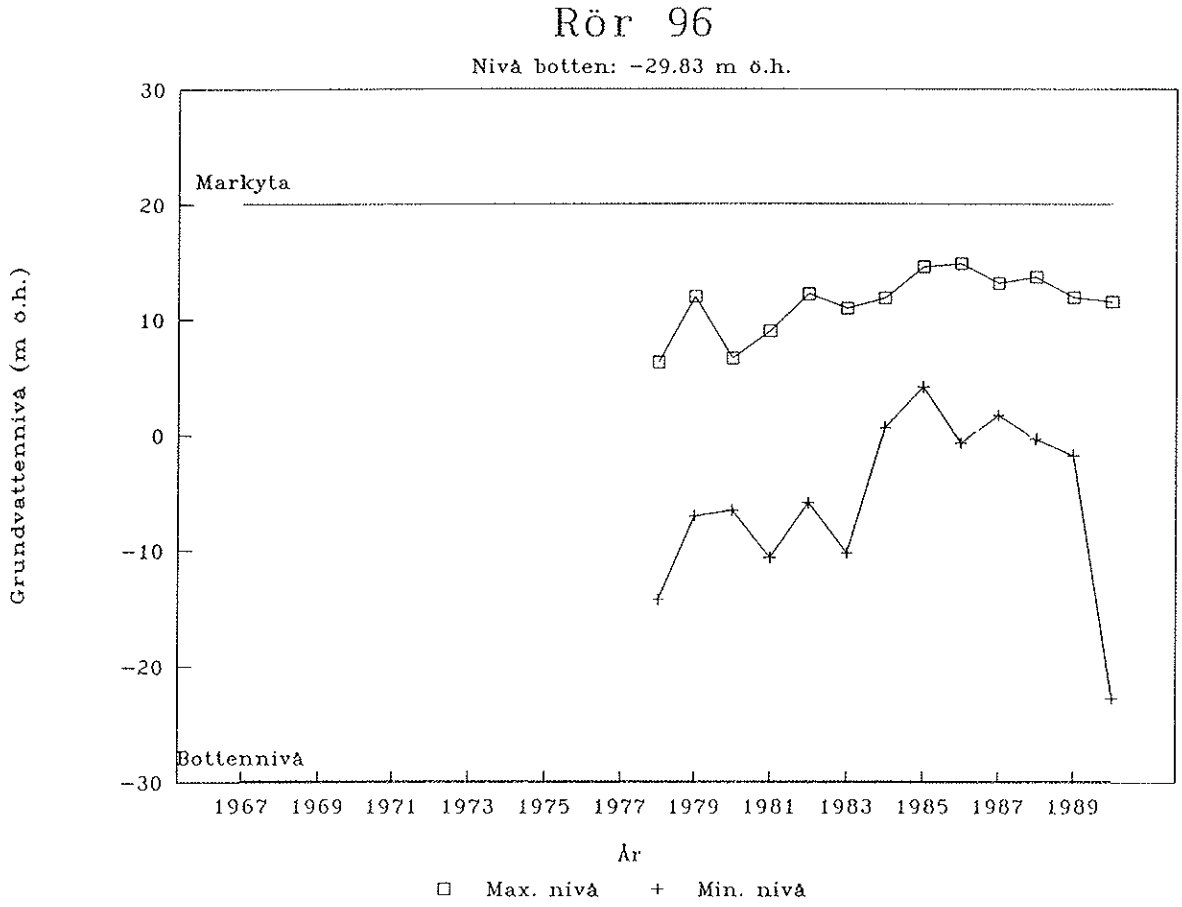

Rör 93
Nivå botten: -12.85 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

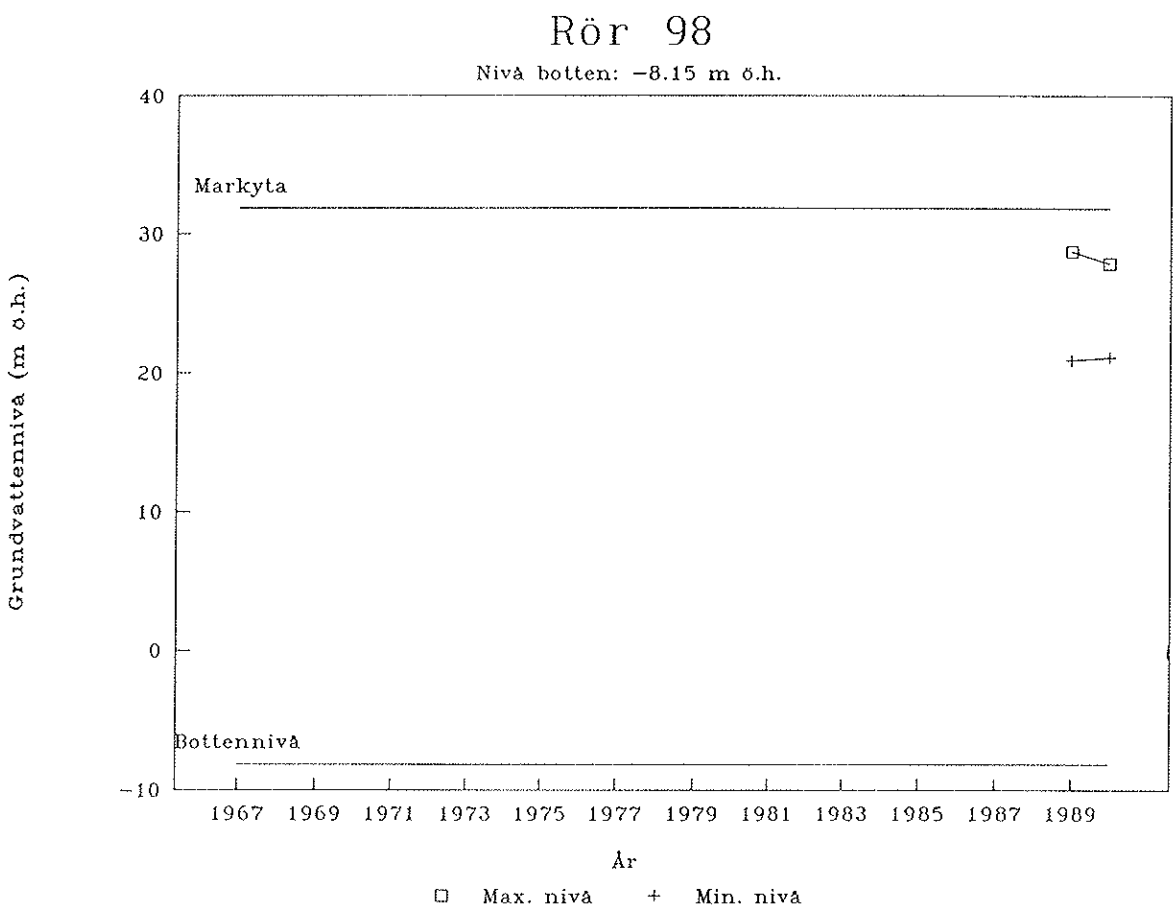

Rör 94
Nivå botten: -16.15 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

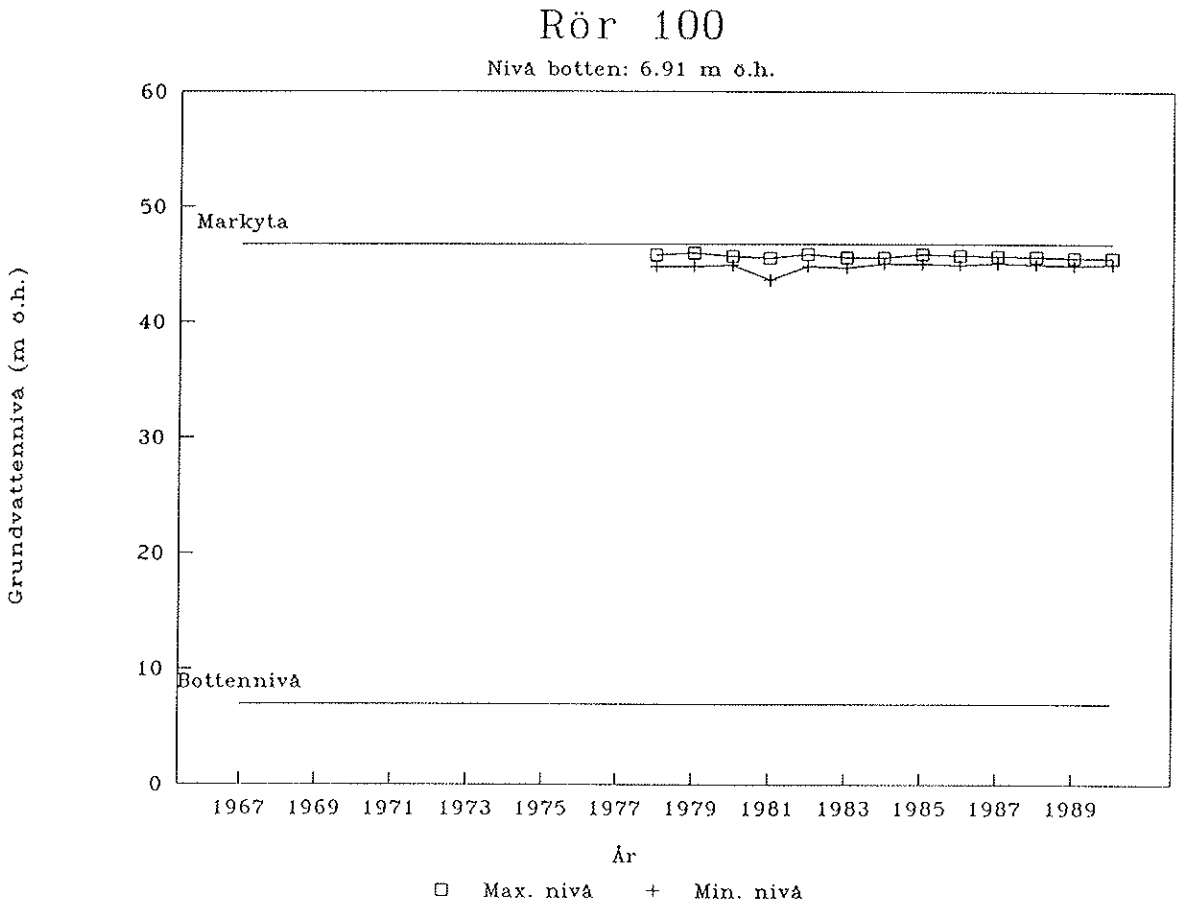

Rör 94T
Nivå botten: -16.15 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

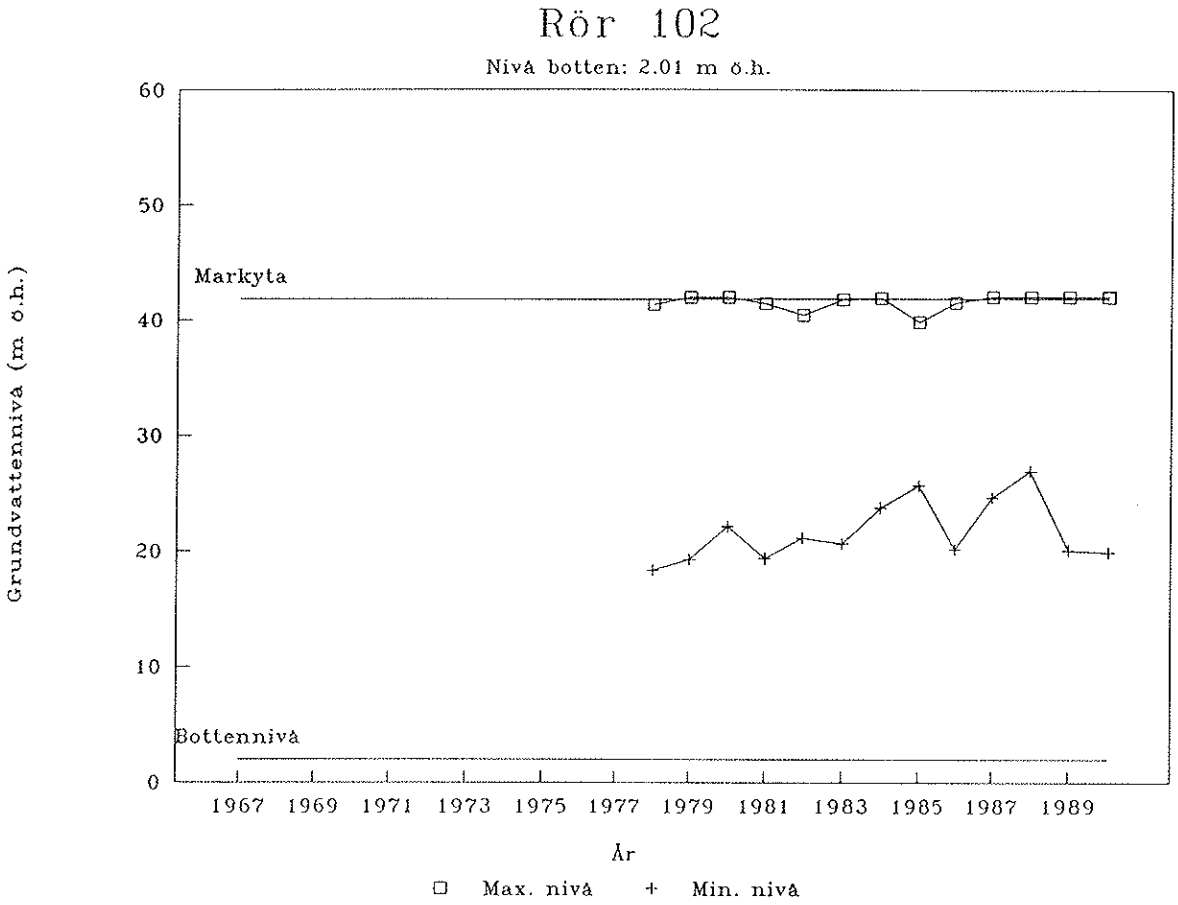

Rör 94F
Nivå botten: -16.15 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå

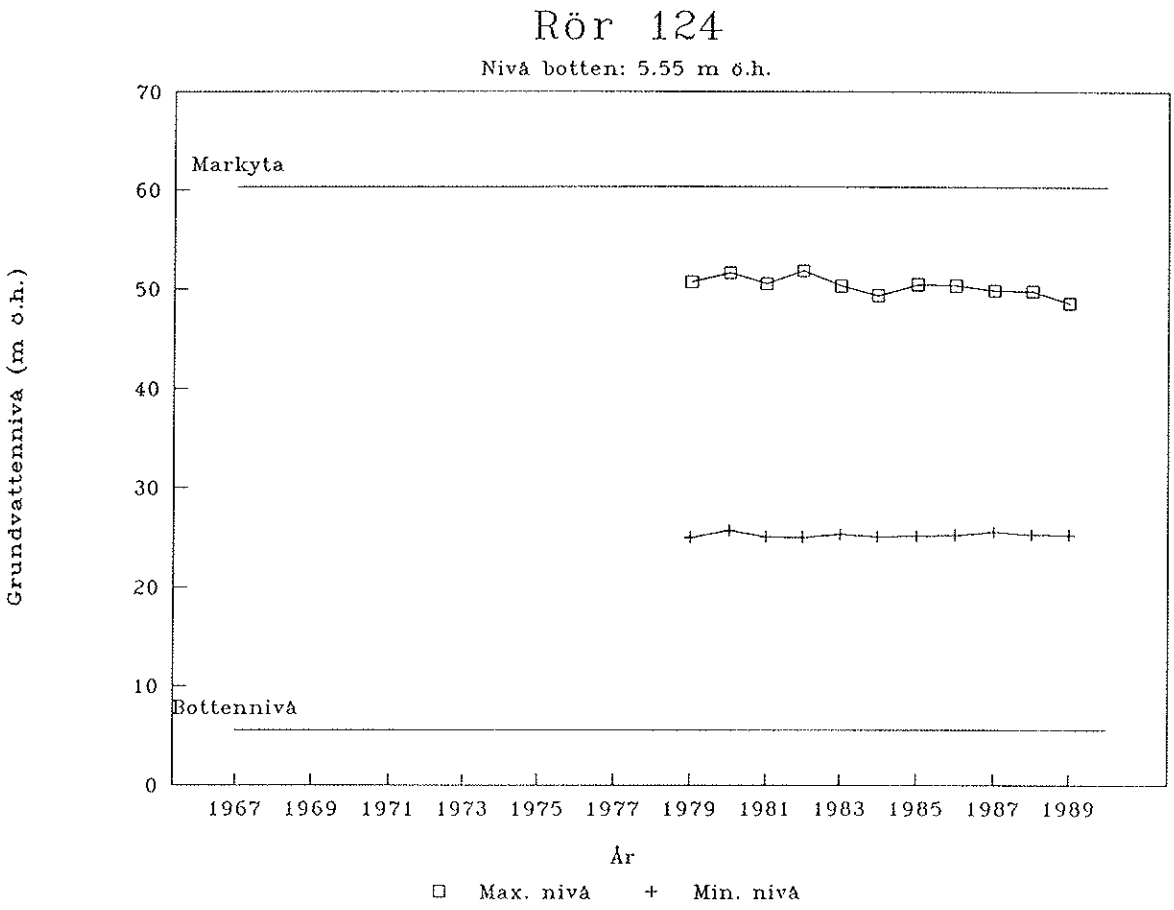

Rör 95
Nivå botten: 6.40 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
70
60
50
40
30
20
10
0
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå


Rör 96
Nivå botten: -29.83 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
30
20
10
0
-10
-20
-30
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå


Rör 98
Nivå botten: −8.15 m ö.h.
Markyta
Bottennivå
Grundvattennivå (m ö.h.)
40
30
20
10
0
−10
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå


Rör 100
Nivå botten: 6.91 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå


Rör 102
Nivå botten: 2.01 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
60
50
40
30
20
10
0
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
Max. nivå
Min. nivå


Rör 124
Nivå botten: 5.55 m ö.h.
Grundvattennivå (m ö.h.)
70
60
50
40
30
20
10
0
Markyta
Bottennivå
1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
År
□ Max. nivå + Min. nivå

APPENDIX J:
HYDRAULISK KARAKTÄRISERING AV BERGMASSAN

J.1 BAKGRUND

I samband med de diskussioner som har förts avseende en potentiell förbindelse mellan kalbrott och den kommunala vattentäkten i Slite uppstod ett behov av att med fältförsök bestämma de hydrauliska egenskaperna hos bergmassan. Arbetshypotesen var den att berget ur hydraulisk synpunkt bestod av ett horisontellt tvålagersystem särskiljt av ett mer eller mindre ogenomträngligt lager (aqviklud). Denna hypotes skulle om möjligt verifieras med hydraultest i ett urval av provborrhålen.

J.2 METODBESKRIVNING

Hydraultesterna utfördes med hjälp av injektionstest och återhämtningstest mellan två tätningar(manschetter) i borrhålen 63 och 98. Testningen utfördes i utvalda delar av dessa borrhåll sektionsvis. Sektionslängden mellan manschetterna varierade mellan 1- 5 meter. Försöksuppställningen åskådliggörs i Figur J.1.

J.3 UTVÄRDERINGSMETODER

Vatteninpressnings/injektionstesten utvärderades enligt sk "Constant head", efter det att stationärt tillstånd erhållits. Följande formel användes;

(1) $k = (Q / P * L) * (1 + \ln (L/d)) / 2 * \pi$

där;

k	= Hydraulisk permeabilitet	(m/s)
Q	= Flöde	(m^3/s)
P	= Hydrostatiskt tryck	(m vattenpelare)
L	= Sektionslängd	(m)
d	= Borrhålsdiameter	(m)

För utvärderingen av återhämtningstest användes Jacobs approximation för den transienta fasen av återhämtningen enligt;

(2) $T = 0{,}183 * Q / S$

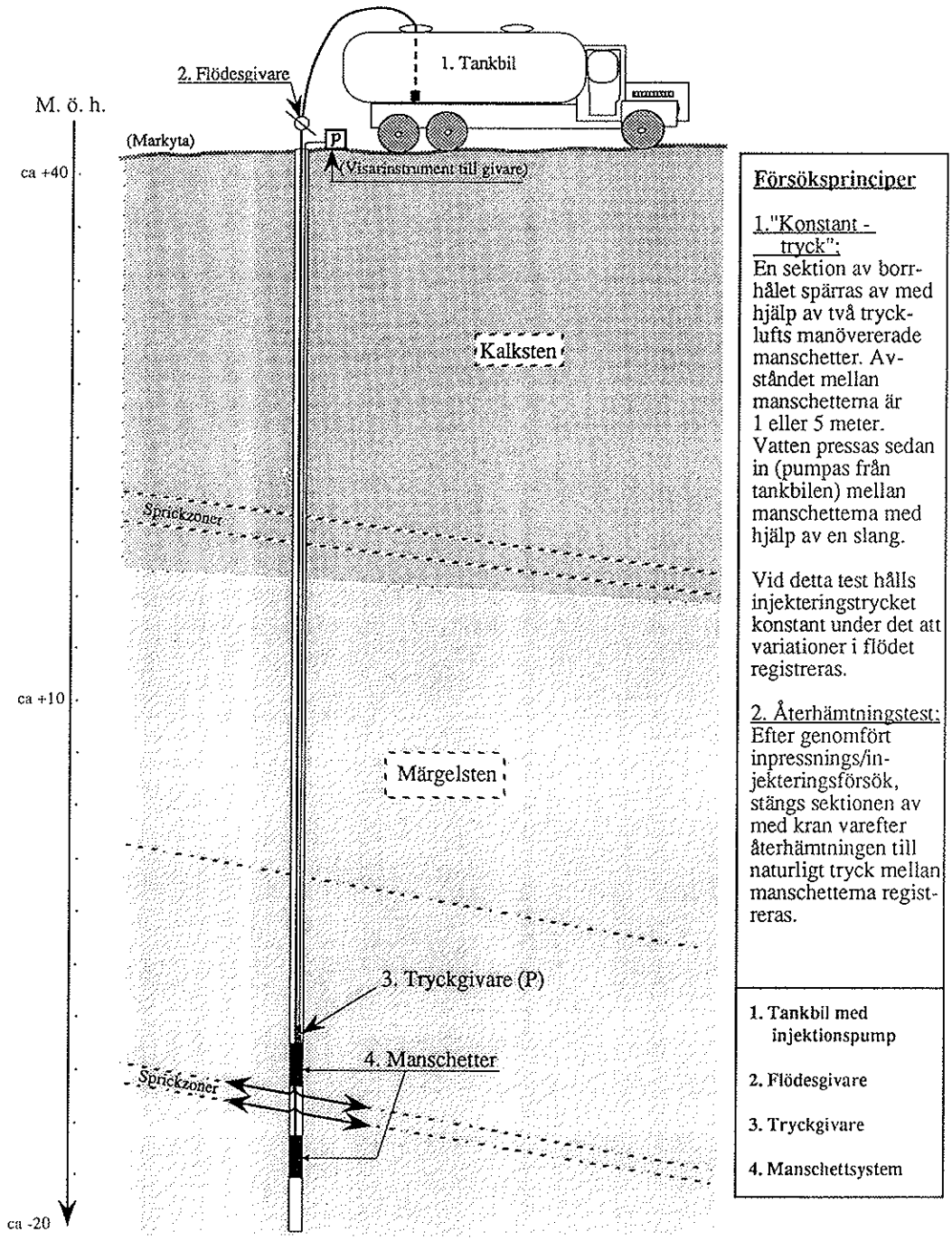
där,

T	= Transmissiviteten	(m^2/s)
Q	= Flöde	(m^3/s)
S	= Tryckskillnad	(m vattenpelare)

erhålles ur grafisk utvärdering av återhämtningskurvan.

J.4 RESULTAT

Resultaten av hydraultesterna redovisas i Tabell J.1 och J.2 samt i ett utdrag i huvudtexten.



Figur J.1 Principskiss; Försöksuppställning för vatteninpressning.

Tabell J.1 Konduktivitetsvärden (k) och transmissivitetsvärden (T) i borrhål 63.

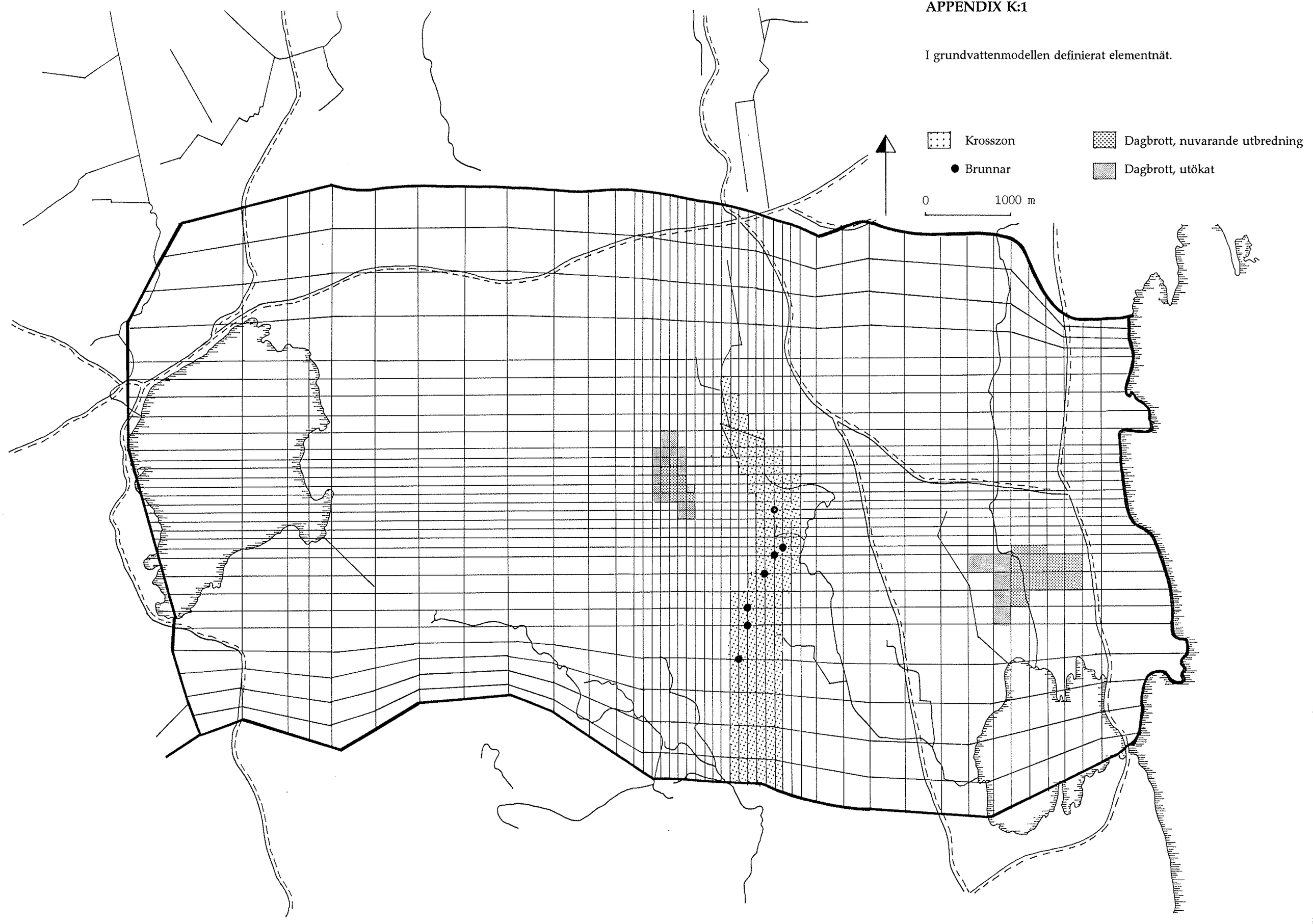
Bh	Sektion (m u.r.ö.k)	k (injekt) m/s	k (recov) m/s	T (injekt) m^2/s	T (recov) m^2/s
63:1	32.5-37.7	$6.2\ 10^{-6}$	$2.3\ 10^{-5}$	$3.2\ 10^{-5}$	$1.2\ 10^{-4}$
63:2	28.8-34.0	$1.6\ 10^{-5}$	$1.3\ 10^{-5}$	$8.5\ 10^{-5}$	$6.8\ 10^{-5}$
63:2	23.8-29.0	$1.2\ 10^{-5}$	$1.1\ 10^{-5}$	$6.4\ 10^{-5}$	$5.9\ 10^{-5}$
63:4	36.7-37.7	$5.0\ 10^{-6}$	$2.2\ 10^{-6}$	$5.0\ 10^{-5}$	$2.2\ 10^{-6}$
63:5	35.7-36.7	$5.8\ 10^{-6}$	$4.5\ 10^{-6}$	$5.8\ 10^{-6}$	$4.5\ 10^{-6}$
63:6	34.7-35.7	$1.8\ 10^{-6}$	N/A	$1.8\ 10^{-6}$	N/A
63:7	33.7-34.7	$1.6\ 10^{-6}$	$1.3\ 10^{-6}$	$1.6\ 10^{-6}$	$1.3\ 10^{-6}$
63:8	32.7-33.7	$1.8\ 10^{-6}$	$8.3\ 10^{-7}$	$1.8\ 10^{-6}$	$8.3\ 10^{-7}$
63:4-8	32.7-37.7	$1.6\ 10^{-5}$			

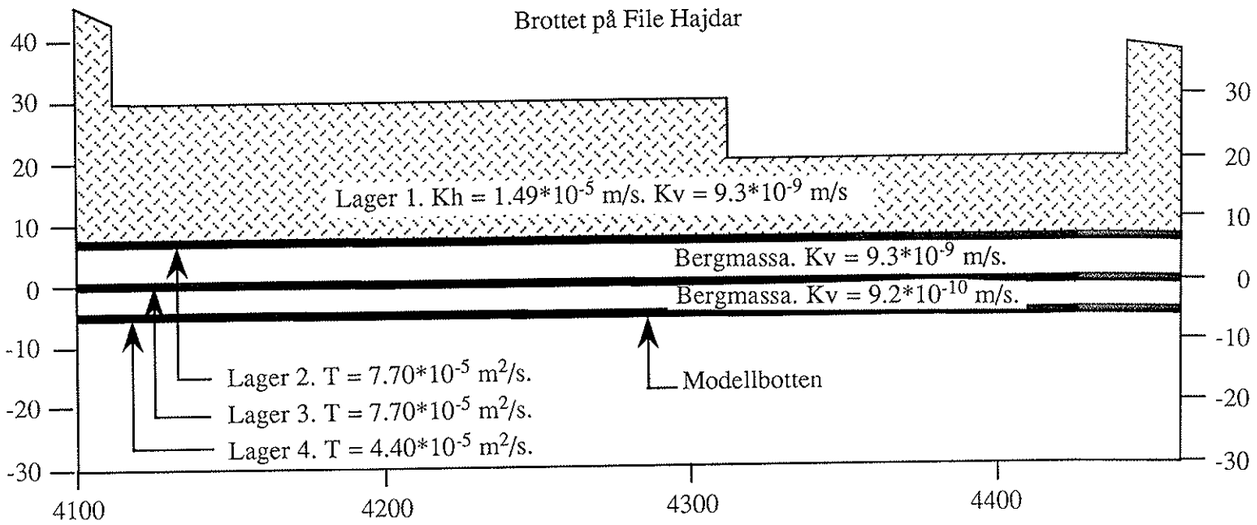
Tabell J.2 Konduktivitetsvärden (k) och transmissivitetsvärden (T) i borrhål 98.

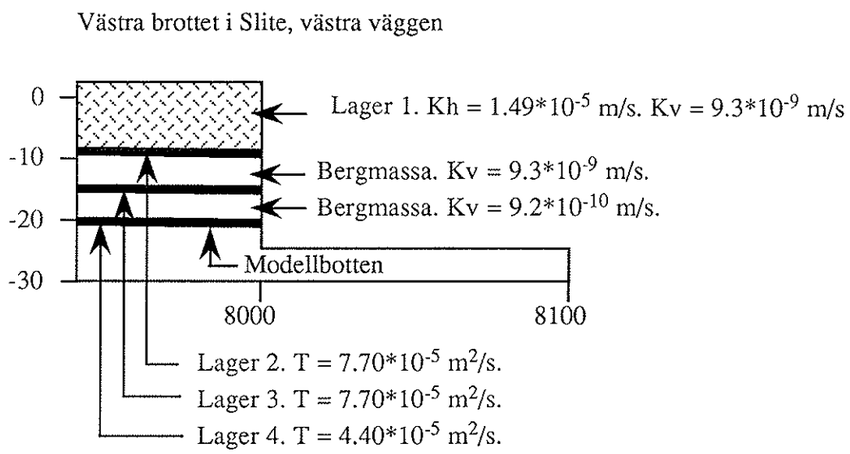
Bh	Sektion m u.r.ö.k	k (injekt) m/s	k (recov) m/s	T (injekt) m^2/s	T (recov) m^2/s
98:1	37.2-38.2	$1.3\ 10^{-6}$	$1.3\ 10^{-6}$	$1.3\ 10^{-6}$	$1.3\ 10^{-6}$
98:2	36.2-37.2	$1.2\ 10^{-6}$	$1.4\ 10^{-6}$	$1.2\ 10^{-6}$	$1.4\ 10^{-6}$
98:3	35.2-36.2	$9.8\ 10^{-7}$	N/A	$9.8\ 10^{-7}$	N/A
98:4	34.2-35.2	$6.8\ 10^{-7}$	N/A	$6.8\ 10^{-7}$	N/A
98:5	33.2-34.2	$8.0\ 10^{-7}$	N/A	$8.0\ 10^{-7}$	N/A
98:6	32.2-33.2	$7.7\ 10^{-7}$	N/A	$7.7\ 10^{-7}$	N/A
98:7	31.2-32.2	$5.2\ 10^{-7}$	N/A	$5.2\ 10^{-7}$	N/A
98:8	30.2-31.2	$7.1\ 10^{-7}$	N/A	$7.1\ 10^{-7}$	N/A
98:9	29.2-30.2	$7.7\ 10^{-7}$	N/A	$7.7\ 10^{-7}$	N/A
98:10	28.2-29.2	$7.5\ 10^{-7}$	N/A	$7.5\ 10^{-7}$	N/A
98:11	27.2-28.2	$7.8\ 10^{-7}$	N/A	$7.8\ 10^{-7}$	N/A
98:12	26.2-27.2	$7.7\ 10^{-7}$	N/A	$7.7\ 10^{-7}$	N/A
	26.2-38.2			$1.0\ 10^{-5}$	
98:13	26.2-39.2	$9.3\ 10^{-8}$	N/A	$1.2\ 10^{-6}$	N/A

APPENDIX K:1

I grundvattenmodellen definierat elementnät.



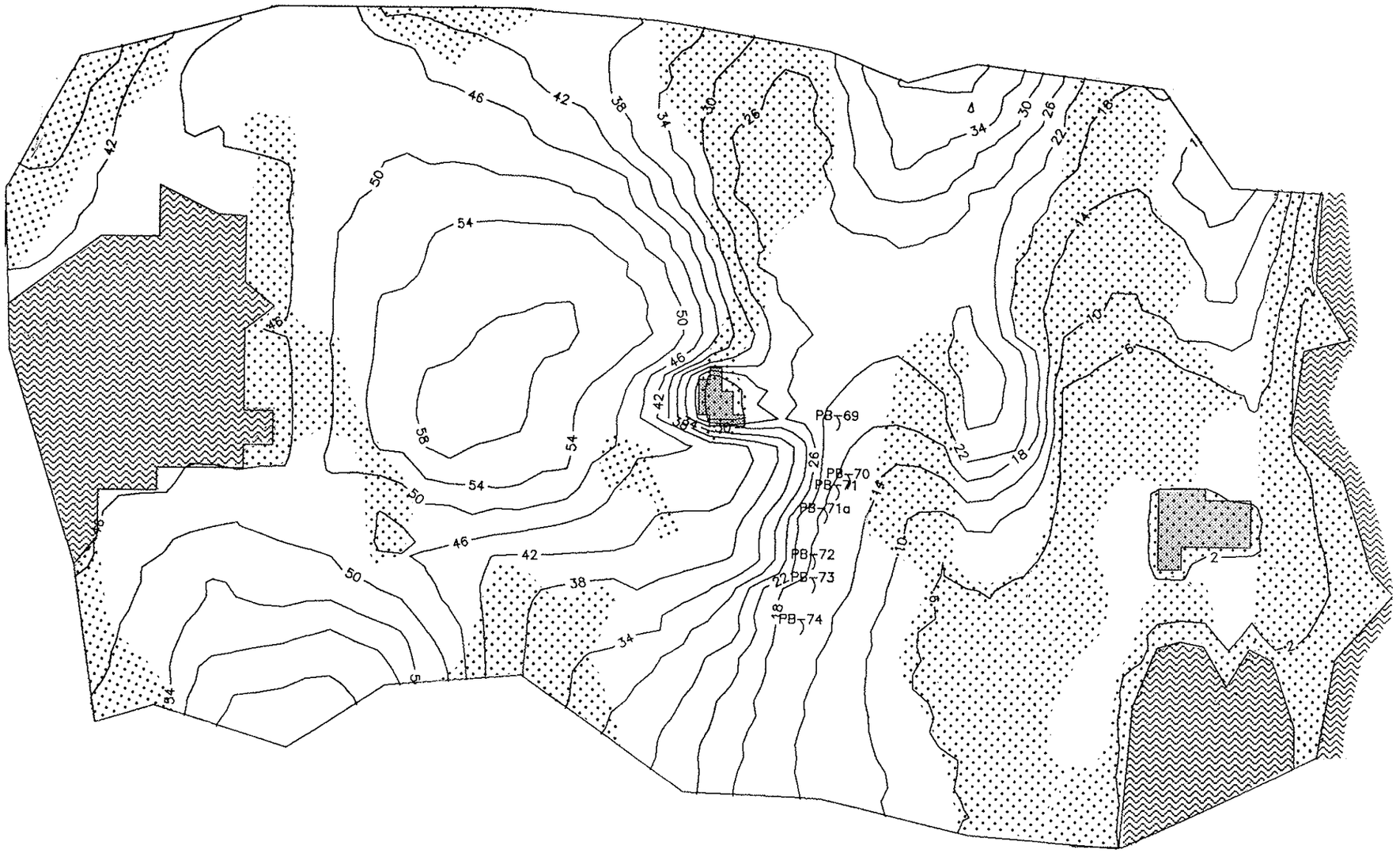




APPENDIX K:2

Definition av lager i grundvattenmodellen samt tilldelade hydrauliska konduktivitets- och transmissivitetsvärden för vattenförande lager och bergmassa.

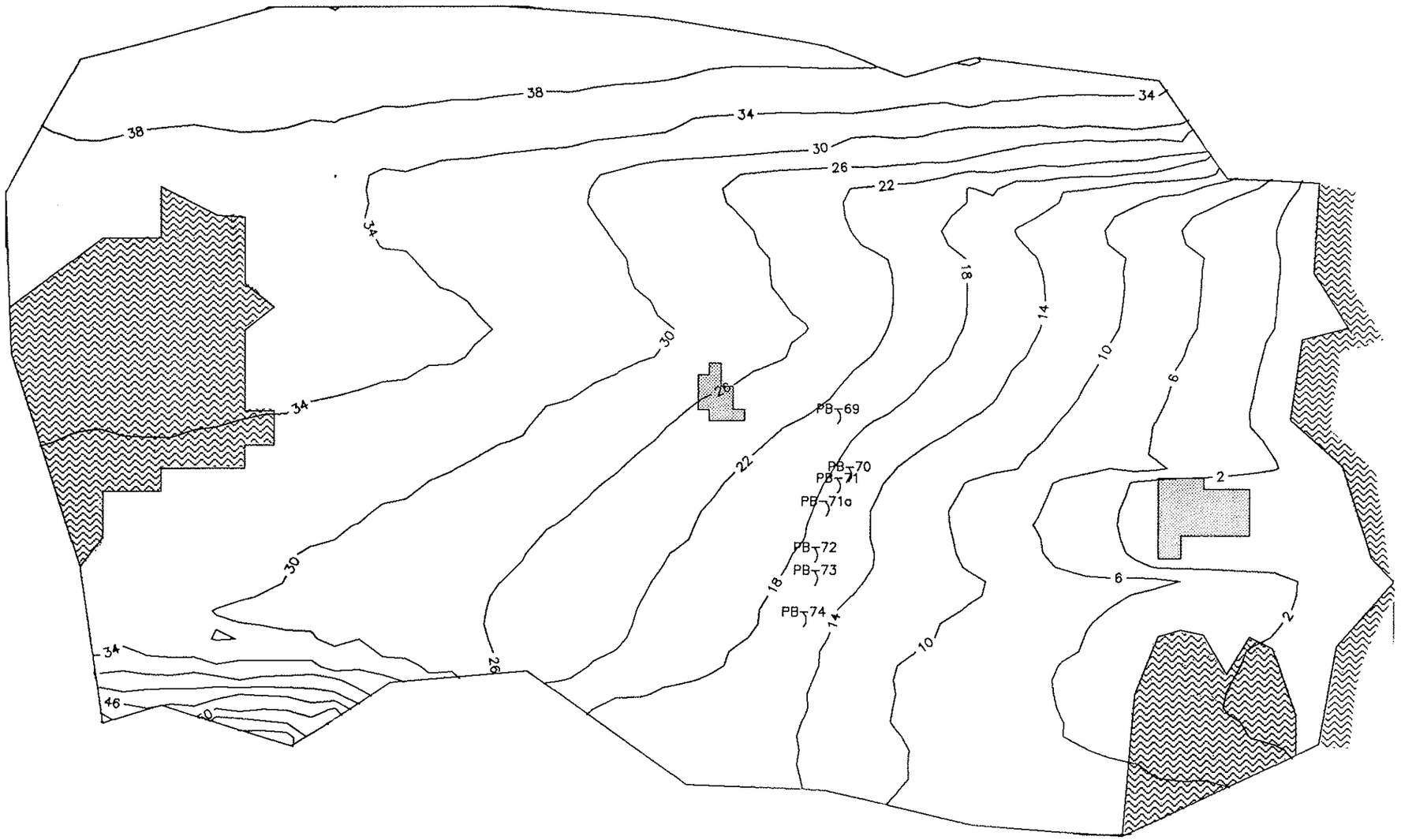
Kv = Vertikal hydraulisk konduktivitet.
Kh = Horisontell hydraulisk konduktivitet.
T = Transmissivitet

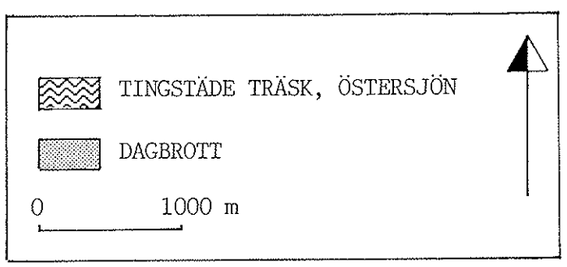


APPENDIX K:3

Högvattensituation (Jan 1990) - Nuvarande dagbrott.

Grundvattennivåer (m ö.h.)

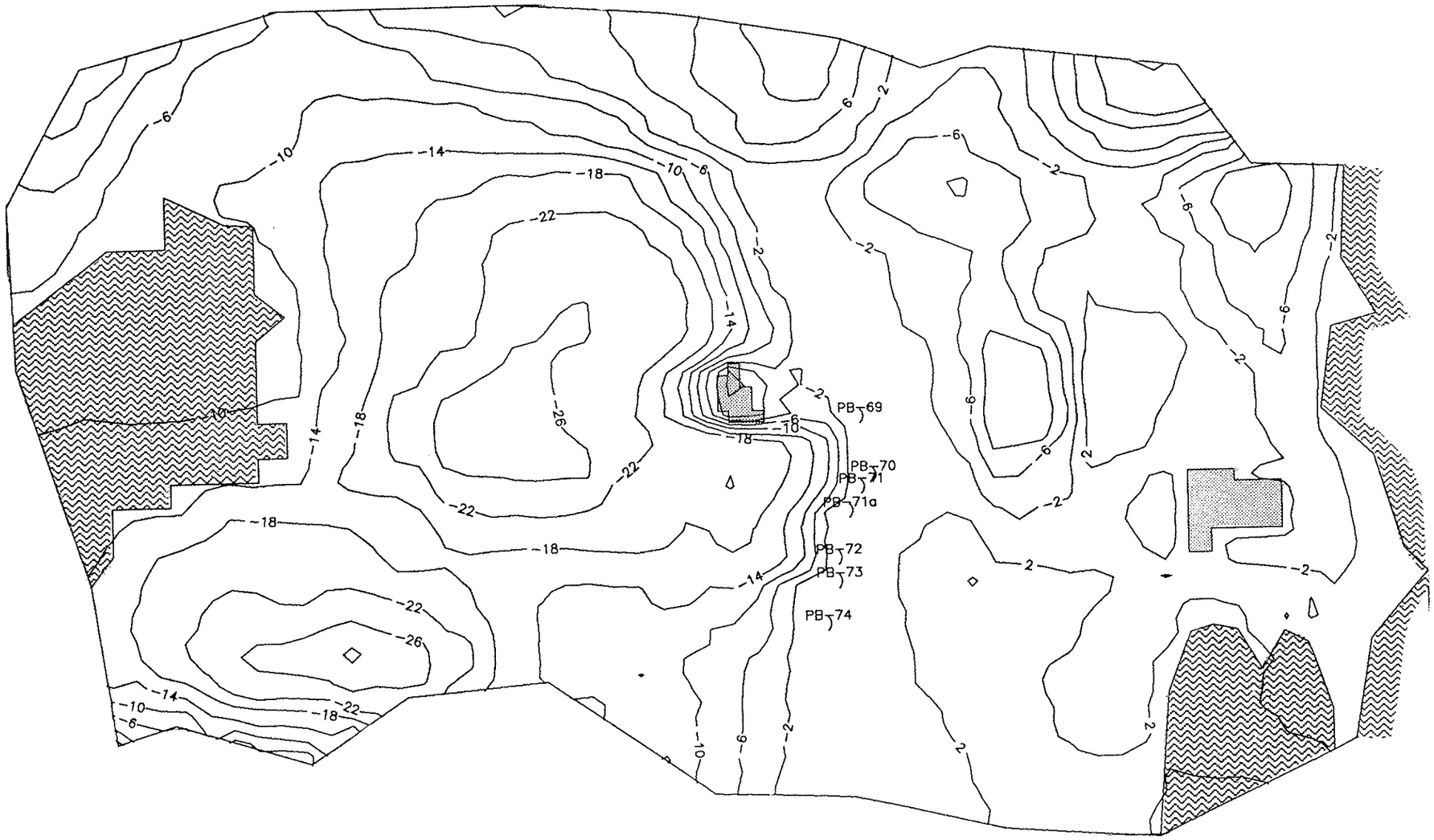


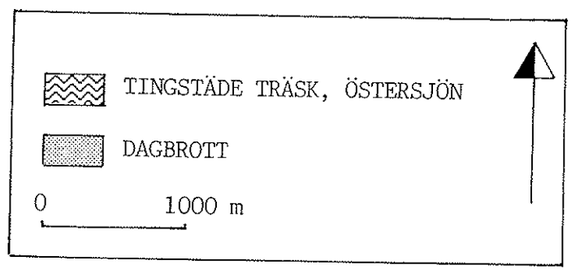


APPENDIX K:4

Högvattensituation (Jan 1990) - Nuvarande dagbrott.

Piezometriskt tryck i lager 4 (m ö.h.)





APPENDIX K:5

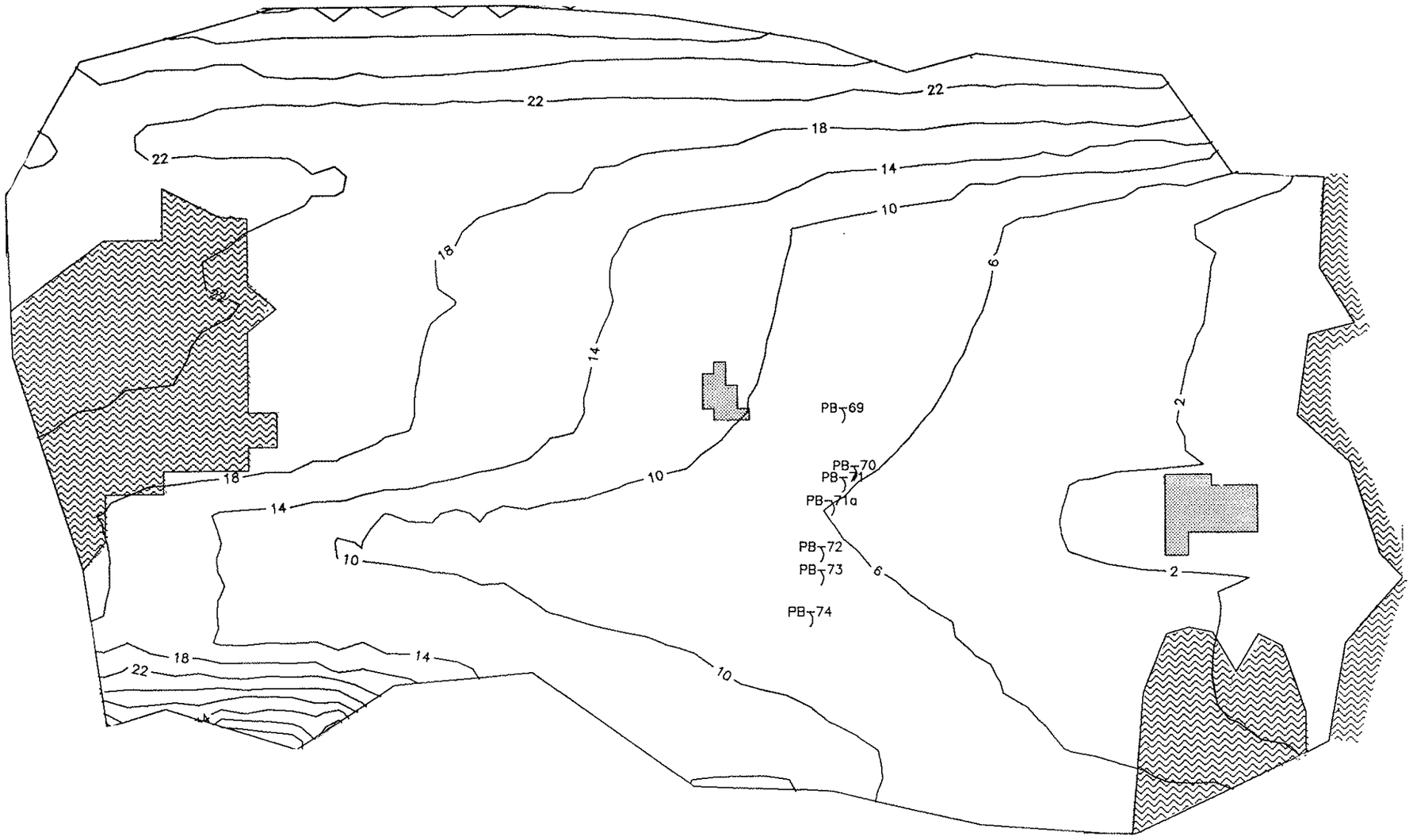
Högvattensituation (Jan 1990) - Nuvarande dagbrott.

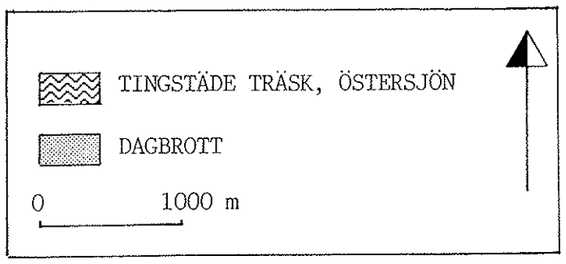
Differenstryck: lager 4 - lager 1

APPENDIX K:6

Lågvattensituation (Juli 1990) - Nuvarande dagbrott.

Grundvattennivåer (m ö.h.)





APPENDIX K:7

Lågvattensituation (Juli 1990) - Nuvarande dagbrott.

Piezometriskt tryck i lager 4 (m ö.h.)

TINGSTÄDE TRÄSK, ÖSTERSJÖN

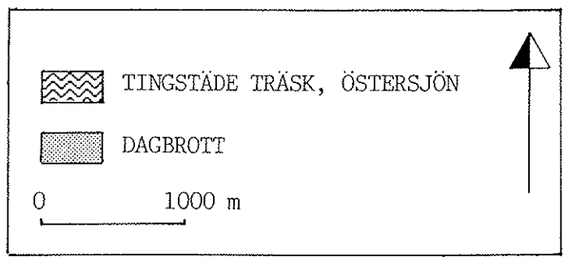
DAGBROTT

0 1000 m

APPENDIX K:8

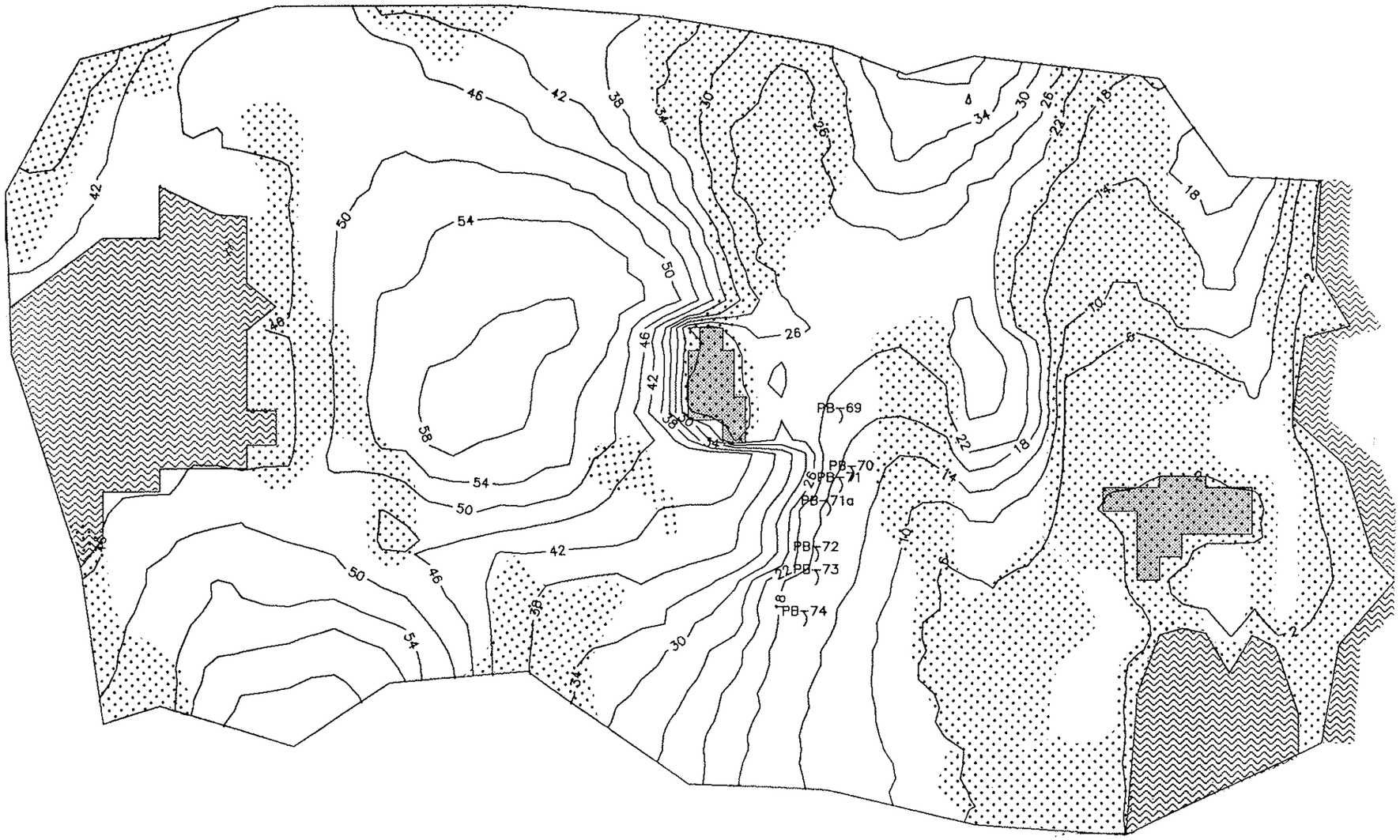
Lågvattensituation (Juli 1990) - Nuvarande dagbrott.

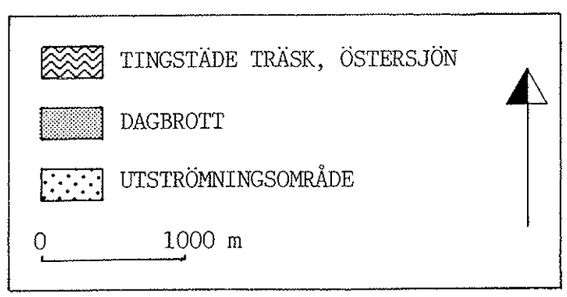
Differenstryck: lager 4 - lager 1



APPENDIX K:9

Grundvattennivåns förändring mellan hög- och lågvattensituation.

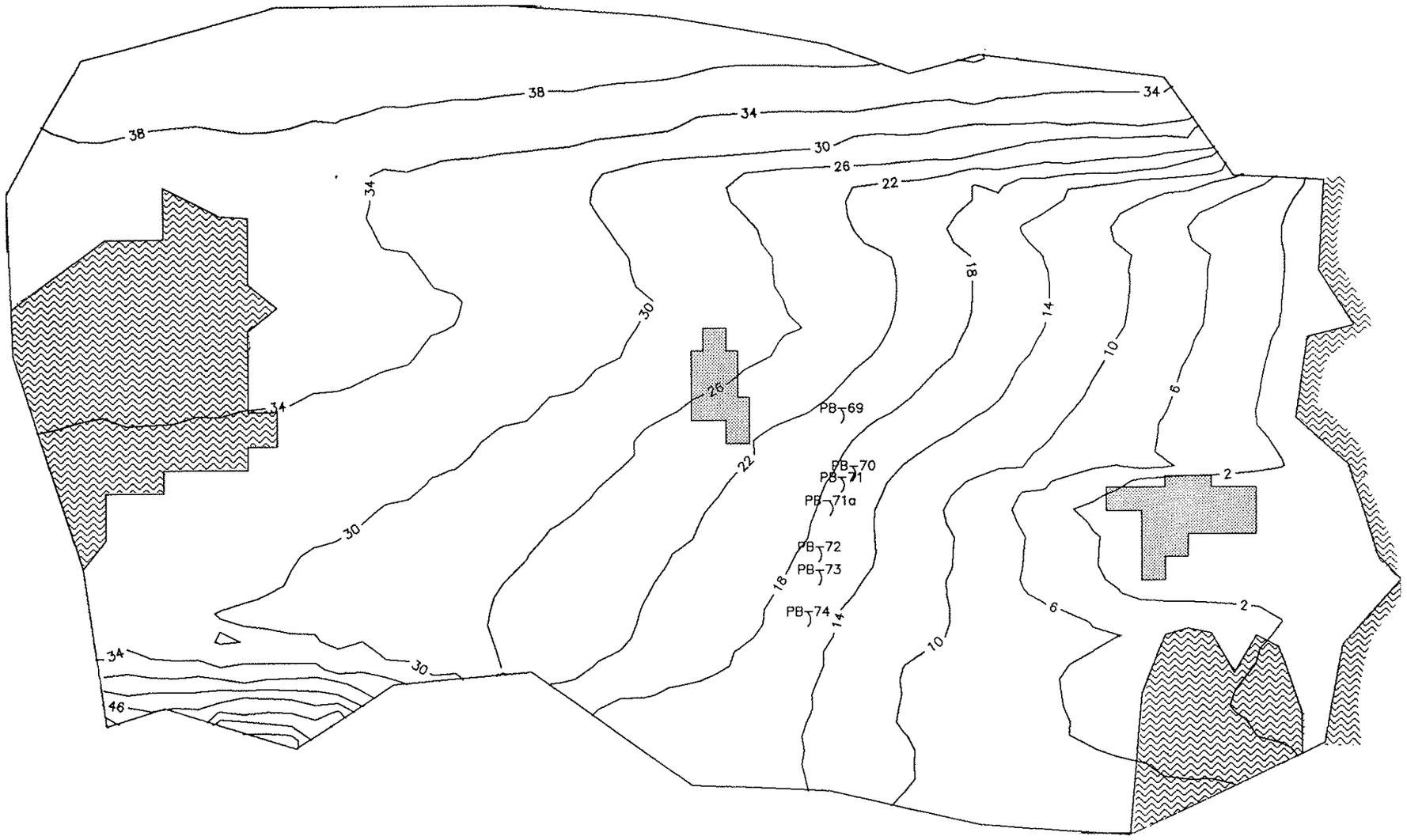


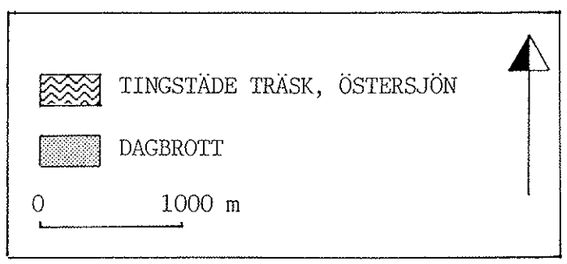


APPENDIX L:1

Högvattensituation (Jan 1990) - utökat dagbrott.

Grundvattennivåer (m ö.h.)





APPENDIX L:2

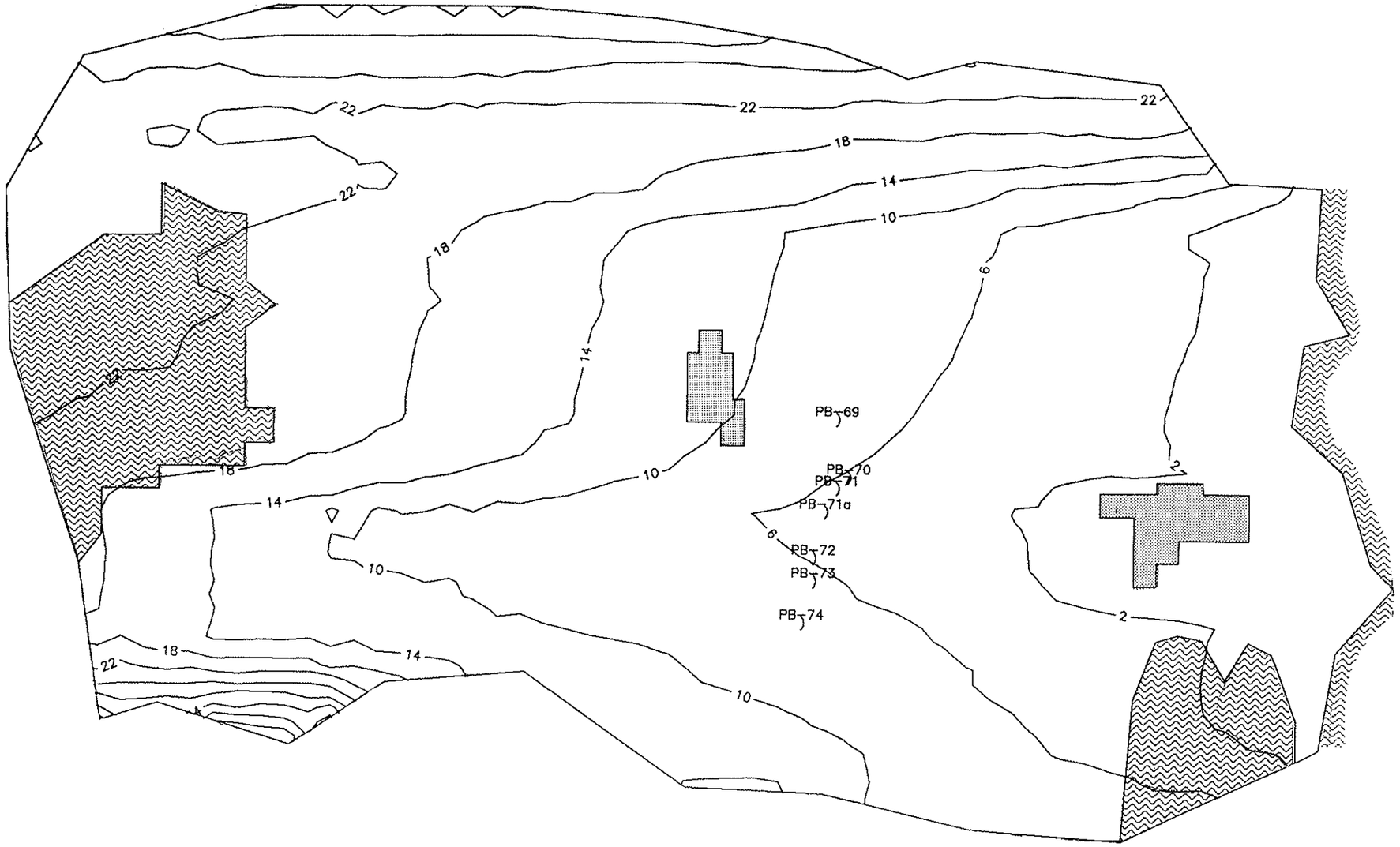
Högvattensituation (Jan 1990) - utökat dagbrott.

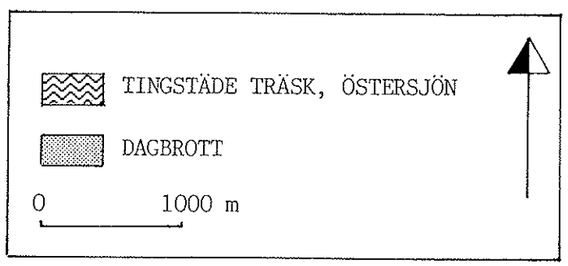
Piezometriskt tryck i lager 4 (m ö.h.)

APPENDIX L:3

Lågvattensituation (Juli 1990) - utökat dagbrott.

Grundvattennivåer (m ö.h.)





APPENDIX L:4

Lågvattensituation (Juli 1990) - utökat dagbrott.

Piezometriskt tryck i lager 4 (m ö.h.)

907-1502

FILE HAJDAR

TÄKTVERKSAMHETENS INVERKAN PÅ GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDENA

Rapport sammanställd vid Golder Geosystem AB på uppdrag av Cementa AB, Slite.

Juni 1991

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD 3

SAMMANFATTNING 4

1 INLEDNING 5
1.1 Bakgrund
1.2 Syfte
1.3 Genomförande

2 CEMENTAS TÄKTVERKSAMHET I SLITE 7
2.1 Nuvarande brytningsförhållanden
2.1 Planerad verksamhet

3 GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN 8
3.1 Lösa jordlager
3.2 Berggrund
3.2.1 Brottet på File Hajdar
3.2.2 Västra brottet
3.2.3 Sammanfattning
3.3 Tektonik

4 VATTENBALANS 15
4.1 Allmänt
4.2 Nederbörd
4.3 Avdunstning
4.4 Potentiell grundvattenbildning

5 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN 17

5.1 Grundvattnets uppträdande
5.2 Grundvattennivåns variationsmönster
5.3 Hydrauliska egenskaper
5.3.1 Packertests
5.3.2 Slugtests
5.3.3 Provpumpningar
5.3.4 Sammanfattning av hydraultester

6 PÅVERKAN AV NUVARANDE VERKSAMHET VID FILE HAJDAR 30
6.1 Inläckage i dagbrott
6.2 Påverkan på grundvattennivån i omgivningen

7 SLITE KOMMUNALA VATTENTÄKT 33
7.1 Tekniska data
7.2 Pumpade vattenmängder

INNEHÅLLSFÖRTECKNING (Fortsättning)

8 GRUNDVATTENMODELLERING 36
8.1 Begreppsmässig modell - numerisk modell
8.2 Kalibrering
8.3 Validering
8.3.1 Stationära förhållanden under högvatten 1990
8.3.2 Stationära förhållanden under lågvatten 1990
8.4 Analys av kalibrering och validering
8.5 Simulering av framtida brytningsförhållanden
8.5.1 Högvattensituation
8.5.2 Lågvattensituation
8.6 Simulering av ökat uttag i Slite vattentäkt

9 RISKANALYS 57
9.1 Högvattensituation
9.2 Lågvattensituation

10 ALTERNATIVT LÄGE FÖR SLITE VATTENTÄKT 63
10.1 Förutsättningar
10.2 Slutsatser
10.3 Förslag till fortsatta undersökningar

11 KONTROLLPROGRAM 64
11.1 Nuvarande kontrollprogram
11.2 Kommentar till nuvarande kontrollprogram

12 SLUTSATSER 67

13 REFERENSER 70

APPENDIX

A Fortsatt täkt 1991-2001. Översikt.
B Tre alternativa berggrundstolkningar för området mellan Tingstäde Träsk och Västra brottet.
C Vattenbalansstudie.
D Grundvattenrör för resistivitetsmätning och packertest.
E Borrhålsloggning - Resistivitetsmätningar.
F Borrprotokoll.
G Schematiska profiler för området mellan Tingstäde Träsk och Västra brottet med bergartsgräns och vattenförande lager.
H Grundvattenobservationsrör på File Hajdar.
I Grundvattennivåns maximi- och miniminivåer under åren 1967-90 i olika observationsrör.
J Hydraulisk karaktärisering av bergmassan.
K Grundvattenmodellering - Kalibrering och validering.
L Grundvattenmodellering - Fortsatt täkt 1991-2001.

FÖRORD

Föreliggande utredning har utförts vid Golder Geosystem AB i Uppsala på uppdrag av Cementa AB, Slite. Arbetet har bedrivits i samråd med Anders Carlstedt vid Sveriges Geologiska Undersökning, som även har utrett alternativt läge för Slite vattentäkt.

Arbetet har bedrivits i en projektgrupp, där olika personer haft ansvar för olika delar av utredningen enligt följande:

- Geologisk kartering: Lars Hansen och Karin Rybäck
- Hydraulisk testning av bergmassan: Åke Eriksson och Nils Rahm
- Hydrogeologisk beskrivning: Anders Ekstav
- Grundvattenmodellering: Johan Holmén

De olika grupperna har förutom fältarbete även ansvarat för utvärdering, analys och skrivning av respektive del i utredningen. Carl-Lennart Axelsson har, som projektansvarig, samordnat arbetet och deltagit i den slutliga skrivningen och granskningen av rapporten.

SAMMANFATTNING

Föreliggande utredning är utförd i syfte att bedöma eventuella risker för förorening av Slite kommunala vattentäkt vid en utökad kalkstensbrytning på File Hajdar.

För att utreda de hydrogeologiska förhållandena på File Hajdar utfördes fältarbeten under februari 1991. Härvid genomfördes en strukturgeologisk kartering av brottet vid File Hajdar och Västra brottet, resistivitetsloggning av borrhål samt hydraulisk karaktärisering av bergmassan genom så kallad packertest. Det sålunda insamlade materialet har sedan analyserats tillsammans med tidigare befintligt material i form av provpumpningar och grundvattennivåer och utgör basen för en hydrogeologisk beskrivning av förhållandena på File Hajdar. Slutligen har en tredimensionell grundvattenmodell kalibrerats på nuvarande förhållanden och sedan använts för att prognosticera effekten av dels en utökad verksamhet på File Hajdar och dels ökade uttag från Slite vattentäkt.

Riskbedömningen av förorening av Slite kommunala vattentäkt som följd av en olycka i dagbrottet på File Hajdar baseras på den allmänna hydrogeologiska utvärderingen, resultaten från grundvattenmodelleringen samt överslagsberäkningar. Resultatet av genomförd riskanalys visar att en viss potentiell föroreningsrisk av vattentäkten föreligger under perioder med låga grundvattennivåer i kombination med ett föroreningsläckage från i första hand brottets södra del. Låga grundvattennivåer har uppskattats föreligga under i medeltal 7 - 9 månader per år. Under perioder med höga grundvattennivåer föreligger ej någon föroreningsrisk av vattentäkten.

En överslagsberäkning har gjorts av transporttiden för en vattenburen förorening mellan brottet på File Hajdar och vattentäktsområdet. Denna ger en transporttid som varierar mellan ca 17 och 70 dygn. Dessa beräkningar tar ingen hänsyn till fastläggning av föroreningen som sker på sprickytor och i bergmassa dels i den omättade zonen ovanför grundvattenytan, och dels i grundvattenzonen. De beräknade transporttiderna bör därför ses som en konservativ uppskattning av verkliga tider.

Det befintliga kontrollprogrammet föreslås kompletteras med kemisk provtagning och analys av grundvattnet i borrhål dels mellan brottet på File Hajdar och den kommunala vattentäkten och dels uppströms dagbrottet. Ett djupare borrhål föreslås även borras mellan brottet och vattentäktsområdet, för hydrogeologisk undersökning och grundvattenkemisk provtagning.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Cementa AB har hos länsstyrelsen i Gotlands län ansökt om tillstånd att få fortsätta och utvidga täktverksamheten inom File Hajdar. Såväl länsstyrelsens som kommunens miljöskyddsenheter har påtalat brister i underlaget till ansökan, främst vad avser riskbedömning av Slites vattentäkt vid utvidgad täkt mot söder. Tillsvidare har dock länsstyrelsen medgivit förlängning av gällande tillstånd så att Cementa AB skall hinna genomföra kompletterande undersökningar.

Vid sammanträde 1990-09-13 enades representanter för Cementa, Kommunen, Länsstyrelsen och Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) om ett antal frågeställningar som ytterligare borde belysas. På basis av dessa frågeställningar sammanställde SGU med hjälp av Golder Geosystem AB ett förslag på undersökningsprogram 1990-10-12. Vid ett informationsmöte på Cementa AB i Slite med Länsstyrelsen och Kommunen, där detta program presenterades, framkom ytterliga frågor gällande djupet till akviferen på File Hajdar, vilket är av betydelse för lägsta tillåtna brytningsnivå i dagbrottet.

1.2 Syfte

De övergripande frågeställningar och problemområden som skall belysas för den framtida täktverksamheten på File Hajdar är:

- Sprängningens inverkan på grundvattenkvaliteten.
- Vilka möjligheter finns till reservvattentäkt för Slite? Finns det tex en fortsättning mot söder på den krosszon, belägen öster om File Hajdar, i vilken Slites nuvarande vattentäkt är belägen?
- Har det inre skyddsområdet för kommunens vattentäkt en relevant utformning?
- På vilken nivå ligger akviferens övre begränsning?
- Hur rör sig grundvattnet i berggrunden från täktområdet mot krosszonen och hur fort rör det sig?
- Komplettering av befintligt kontrollprogram med provtagningspunkter mellan brytområde och vattentäkten.
- Riskanalys beträffande kvalitetspåverkan i vattentäkten. Bland annat skall rutinerna vid brytning studeras liksom bedömning av maskinparkens sammansättning.

1.3 Genomförande

Delar av frågeställningarna besvaras av Cementa AB, som utreder dels sprängningens inverkan på grundvattenkvaliteten och dels rutinerna vid brytning liksom

bedömning av maskinparkens sammansättning. De undersökningar som har bedömts nödvändiga för att utreda resterande frågeställningar och sålunda trygga Slite vattenförsörjning vid en fortsatt brytning på File Hajdar redovisas nedan. Arbetet är uppdelat på olika moment, som avser att ge svar på specificerade frågeställningar.

Prospektering av ny vattentäkt

Sveriges Geologiska Undersökning har genomfört en översiktlig utredning av möjliga lägen för alternativ vattentäkt för Slite kommun. Denna redovisas i kapitel 10 i föreliggande rapport.

Bestämning av grundvattnets strömningmönster

För att ge svar på hur grundvattnet rör sig i berggrunden från brottet på File Hajdar, har en begreppsmässig modell och en numerisk grundvattenströmningsmodell upprättats över området. Den begreppsmässiga modellen baseras på resultatet från nedanstående arbetsmoment:

1. Strukturgeologisk kartering
2. Borrhålsloggning-resistivitetsmätning
3. Hydraultester
4. Vattenbalansstudier
5. Genomgång av befintligt geologiskt och hydrogeoloiskt material

Det genomförda fältarbetet med strukturgeologisk kartering, borrhålsloggning-resistivitetsmätning samt hydraultestning ger en sammanfattande bild av läget på vattenförande lager med hög genomsläpplighet.

Den numeriska grundvattenmodellen har kalibrerats mot såväl uppmätta grundvattennivåer i observationsrör och produktionsbrunnar i Slite vattentäkt, som inläckage i dagbrott under 1990. Kalibreringen har dels utförts för en högvattensituation (januari 1990), och dels för en lågvattensituation (juli 1990).

Riskanalys

Den kalibrerade grundvattenmodellen har sedan använts för att simulera olika scenarier vad avser effekter av:

- förändrad brytningsnivå och utbredning av brottet på File Hajdar
- ökat uttag ur den kommunala vattentäkten

Utifrån utvärdering av befintligt material, fältarbeten samt modellresultat har en konsekvensbedömning/riskanalys av en utökad täktverksamhet på File Hajdar utförts, med avseende på Slite kommunala vattentäkter.

Komplettering av befintligt kontrollprogram

Ett förslag på kompletteringar av det befintliga kontrollprogrammet har upprättats utifrån genomförd riskanalys.

2 CEMENTAS TÄKTVERKSAMHET I SLITE

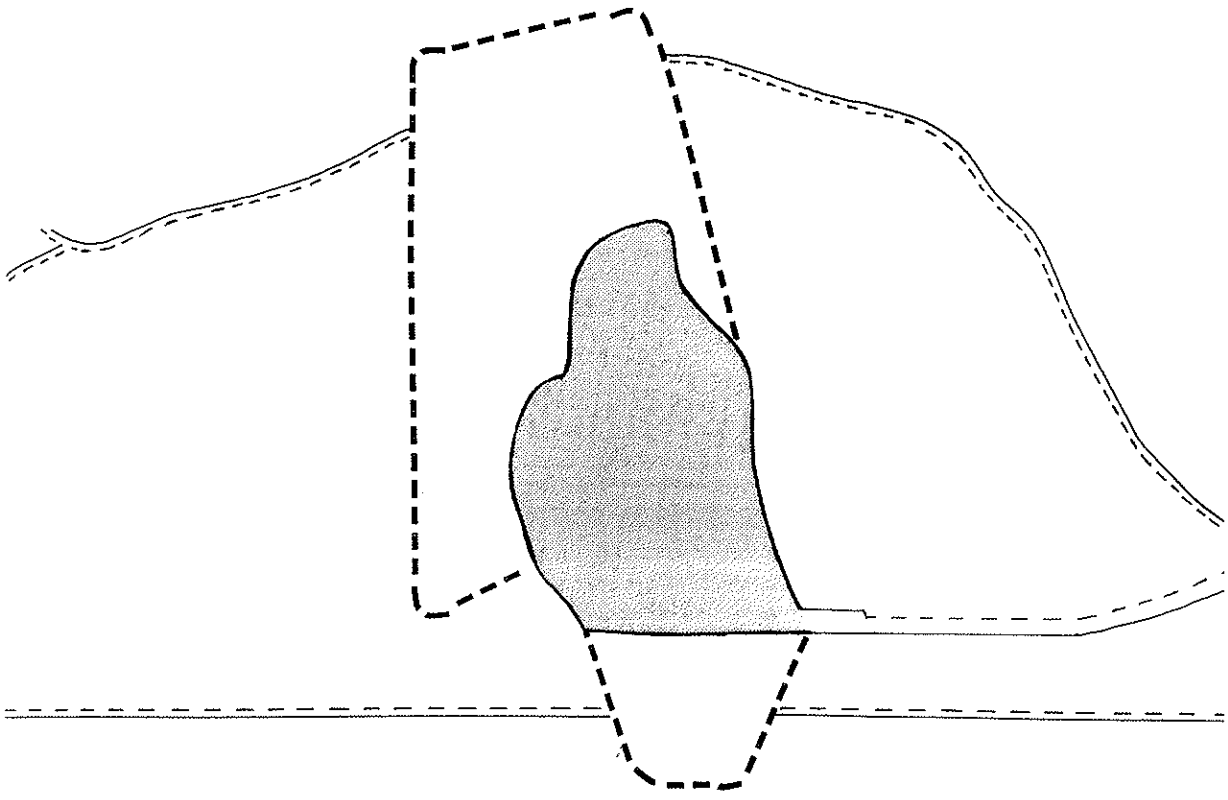
2.1 Nuvarande brytningsförhållanden

Cementa bedriver för närvarande täktverksamhet vid Slite i två dagbrott, Västra brottet vid Slite samhälle och brottet på File Hajdar (Appendix A). I Västra brottet bryts märgelsten till nivån -26 m över havet. Inom mindre områden har dock brytningen fortsatt ned till nivån -40 m över havet.

Tillstånd för brytning på File Hajdar erhölls 1981-12-15 och brytningen påbörjades under 1982. Dessförinnan byggdes en transportväg fram till File Hajdar och ett litet påslag gjordes på nivån ca +30 m över havet. Brottet på File Hajdar omfattar för närvarande ett område på ca 13 ha. Inom östra delen av brottet har brytning skett ned till nivån +20 m ö.h., medan västra delen brutits till nivån +30.5 m över havet.

2.2 Planerad verksamhet

Den planerade täktverksamheten på File Hajdar omfattar ett område på ca 47 ha (Figur 2.1). Brytning av kalksten kommer att ske norrut ned till nivån +22 till +20 m över havet. Söderut kommer även kalksten att brytas i syfte att avtäcka underliggande märgelsten, som förväntas ligga under nivån +20 m över havet.



Figur 2.1 Nuvarande och planerad utbredning av dagbrottet på File Hajdar.

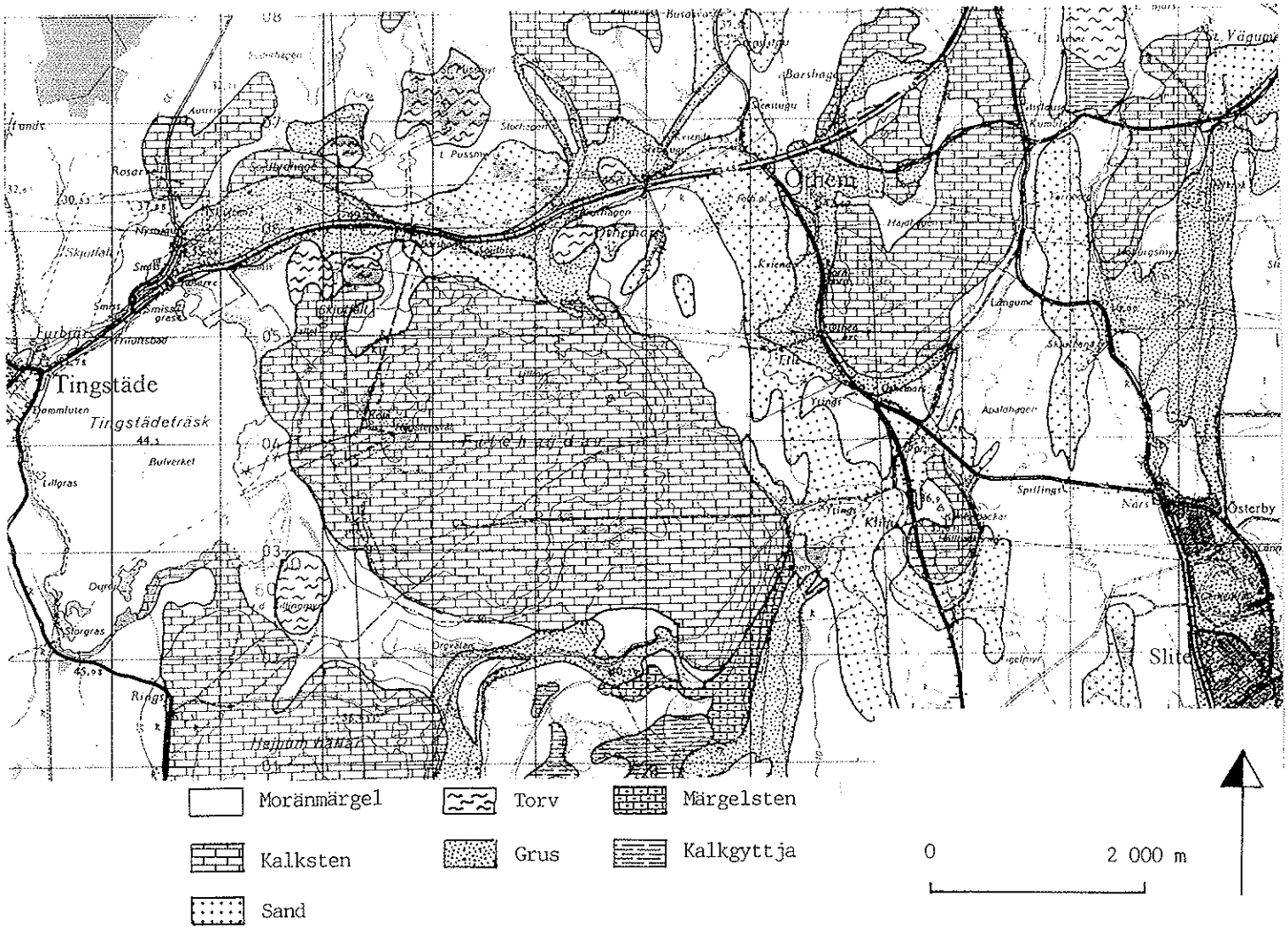
3 GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

3.1 Lösa jordlager

De lösa jordlagren på File Hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen. Övriga förekommande jordarter utgörs av moränmärgel, grus, sand och organogena jordar såsom kalkgjyttja och agtorv (Figur 3.1).

Lerig moränmärgel förekommer till största delen i lågpartierna i anslutning till File Hajdar samt i sluttningen mot Tingstäde Träsk. Sand- och grusavlagringar påträffas till största delen i området mellan File Hajdar och Klints Backar, där de överlagrar moränmärgeln. De organogena jordarna förekommer i anslutning till myrar inom området.

De lösa jordlagren i anslutning till File Hajdar utgörs således av täta jordarter med liten mäktighet. Detta medför att jordlagren till viss del begränsar infiltrationen till underliggande bergrund, vilket ger en relativt stor ytavrinning som följd.



Figur 3.1 Jordarternas utbredning på och i anslutning till File Hajdar.

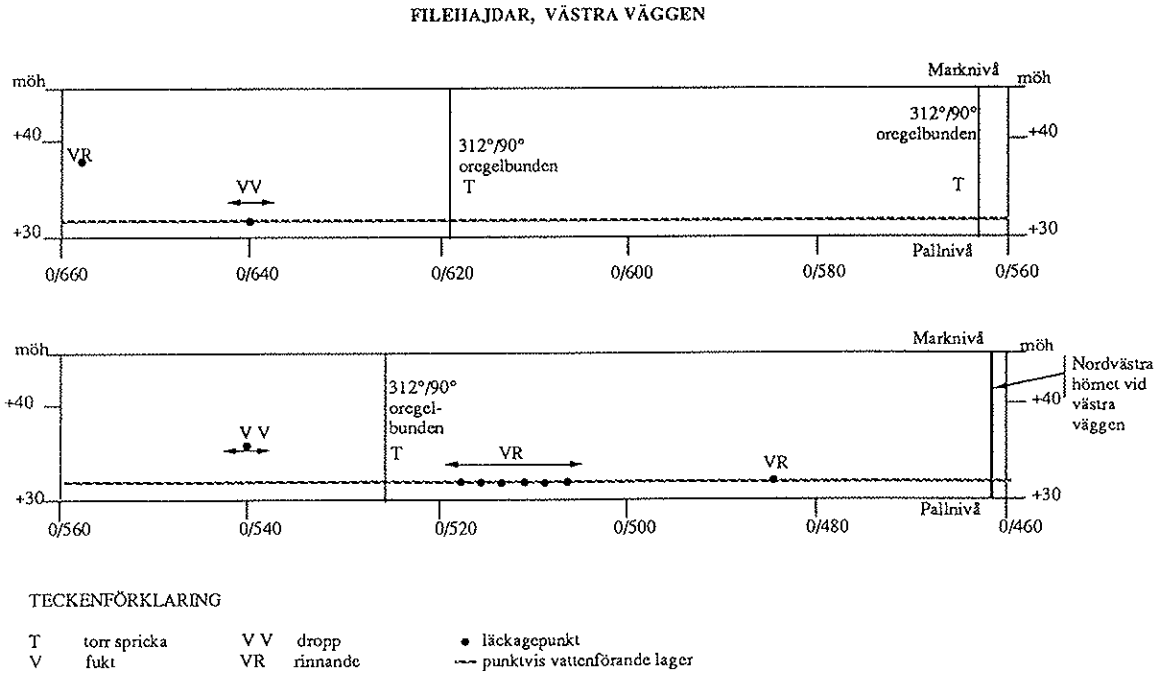
3.2 Berggrund

Under perioden 910218 - 910220 utfördes en strukturgeologisk kartering av bergrunden i brottet på File Hajdar samt i det Västra brottet. Syftet var främst att kartera vattenförande sprickor och lager i kalk- och märgelstenen, samt att beskriva vattnets uppträdande i dessa.

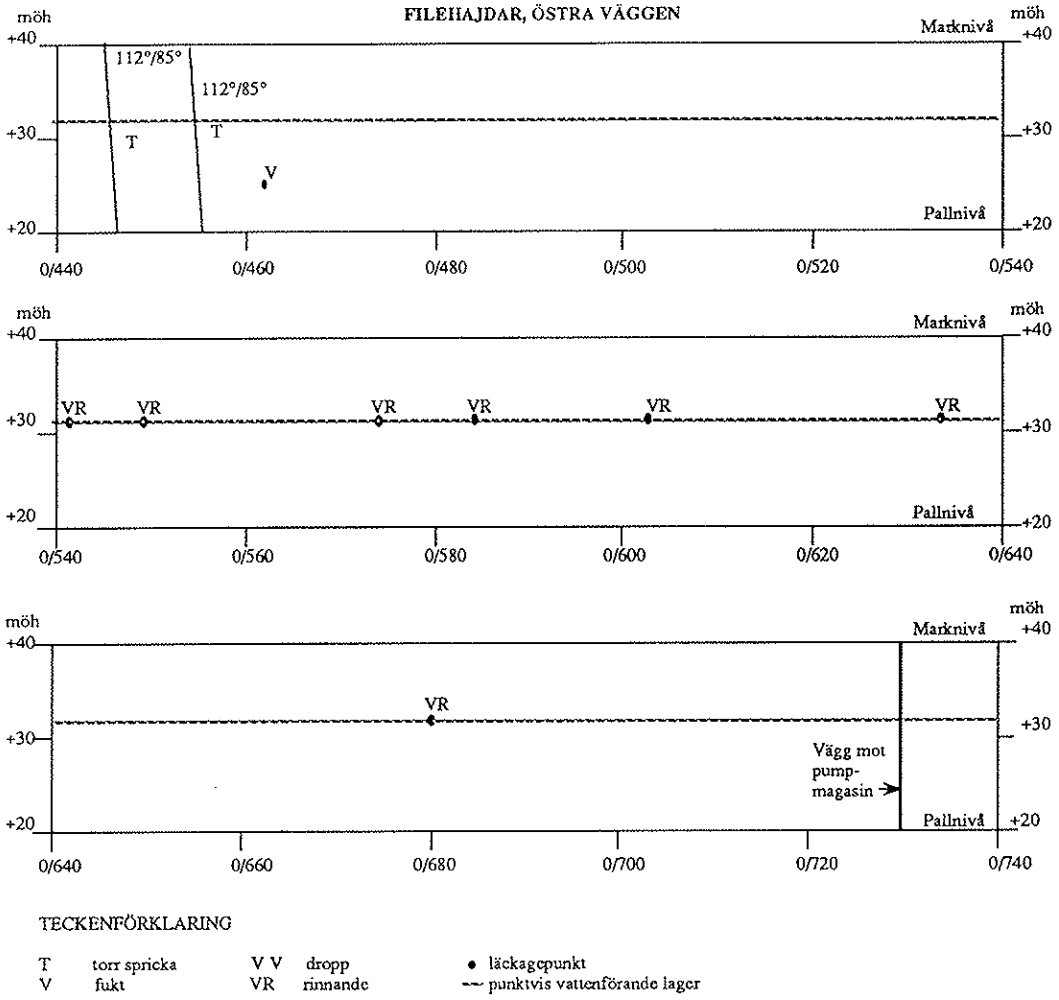
3.2.1 Brottet på File Hajdar

En sammanställning av resultaten från karteringen av dagbrottet på File Hajdar visas i Figurerna 3.2 och 3.3. Berggrunden består av praktiskt taget horisontellt lagrad kalksten, vars bankar är mellan 1 och 5 m mäktiga och jämntjocka genom hela brottet. Kalkstenen är växellagrad med mer eller mindre leriga skikt. Det tjockaste finns på nivån +32 m ö.h. och är upp till 20 cm tjockt. Möjligen är det av vulkaniskt ursprung.

Enligt Cemlabrapport 90:16 (Klingberg, 1990) finns linser av märglig kalksten inbäddade mellan kalkstenslagren. Någon linsstruktur har dock ej observerats i brottet. Frånsett lerskikten är lagren jämntjocka genom hela brottet. Möjligen kan det röra sig om mineralogiska variationer inom samma lager utan samband med strukturen. Cemlabrapporten bygger på kartering av borrkax, och det mest sannolika är att de leriga lagren vid borrningen blandas med kalkstenen och utgör en felkälla vid geologisk tolkning.



Figur 3.2 Kartering av sprickor och vatteninläckning i kalkbrottet på File Hajdar, västra väggen.

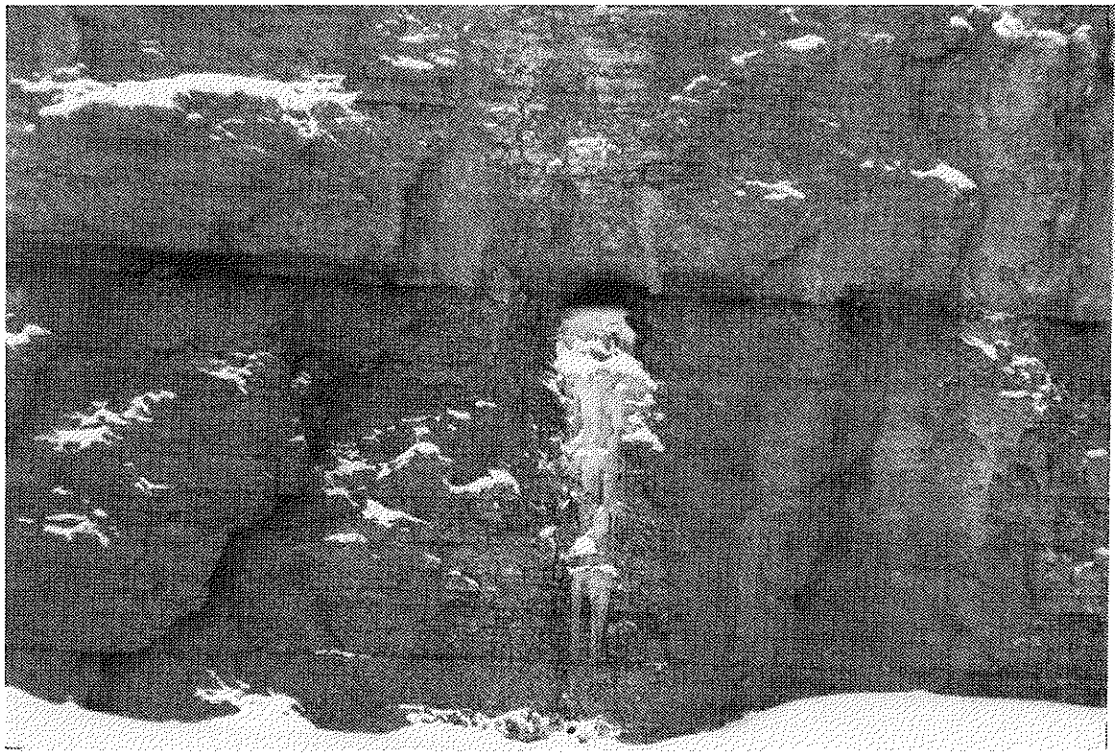


Figur 3.3 Kartering av sprickor och vatteninläckning i kalkbrottet på File Hajdar, östra väggen.

Förutom några få punktläckage i kalkstenen, förekommer den största vatten-inläckningen i ett lerskikt på nivån +32 m ö.h. (Figur 3.4). Enligt gruvförman Curt Rosberg "sprutar" vatten in i brottet under höst och vår medan det under sommaren är torrt. Vattnet uppträder punktvis längs skiktet i brottets södra och mellersta del (Figur 3.5 och 3.6). Skiktet tunnar ut och försvinner i brottets norra del, där ingen vatteninläckning förekommer.

Figur 3.4 Kalkbrottet på File Hajdar, östra väggen. Vattenförande lager på nivån +32 m ö.h.

Figur 3.5 Kalkbrottet på File Hajdar, västra väggen. Vattenförande lager på nivån +32 m ö.h.



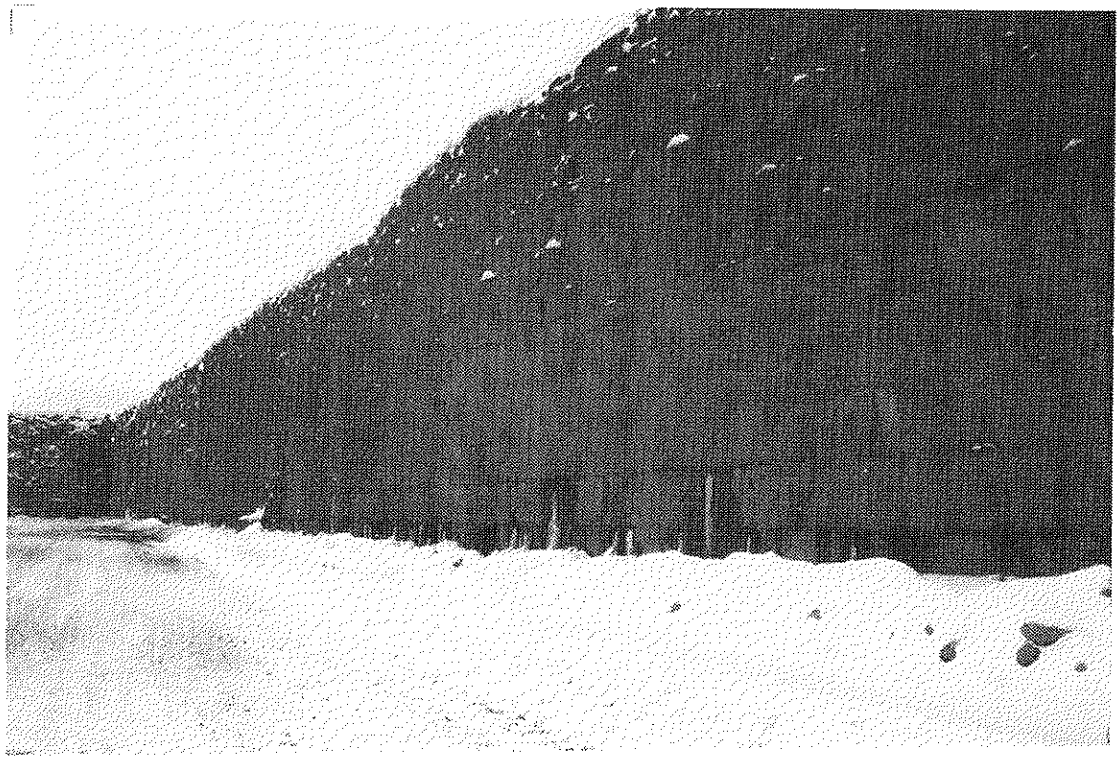
Figur 3.6 Kalkbrottet på File Hajdar, västra väggen. Detalj av vattenförande lager på nivån +32 m ö.h.

3.2.2 Västra brottet

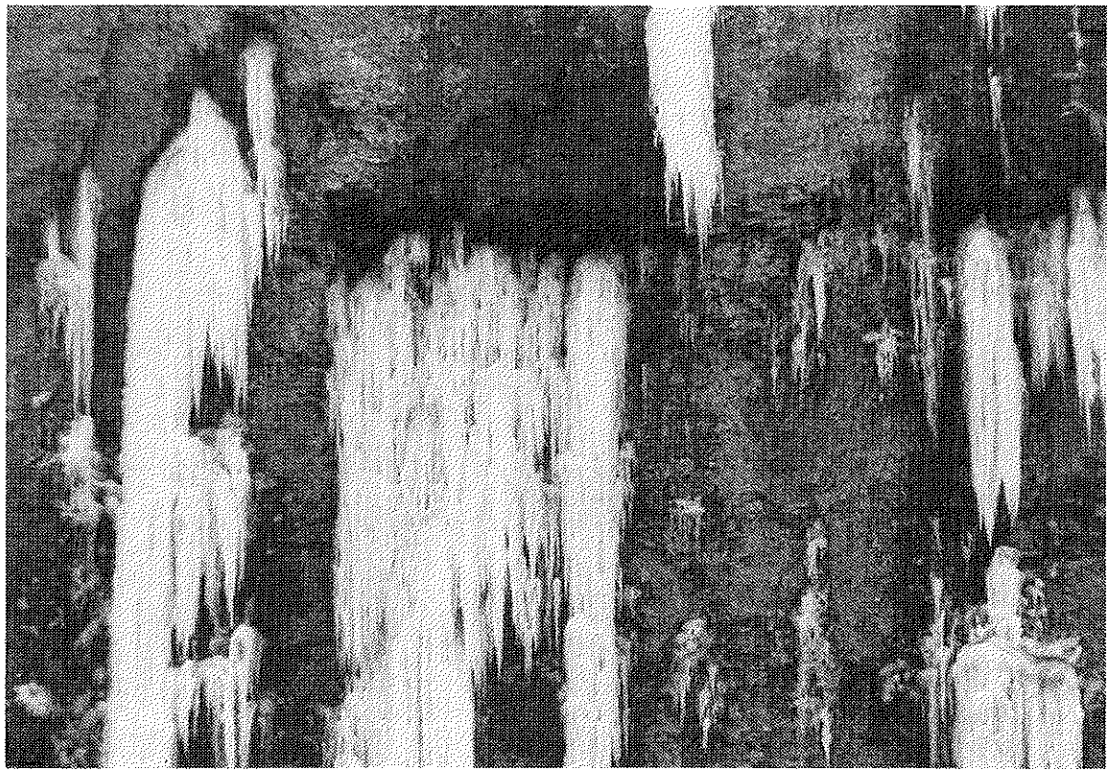
Berggrunden i Västra brottet består av horisontellt lagrad märgelsten. Märgelstenens bankar är mellan 1 och 5 m mäktiga och jämntjocka. Lagerstrukturen kan följas genom hela brottet som är ca 1 km långt. Märgelstenen är växellagrad med mer eller mindre leriga skikt som liknar skiktet på nivån +32 m ö.h. i File Hajdar brottet. Sådana skikt uppträder bl. a. på nivåerna -10, -22, -32 och -38 m ö.h., där de kan följas genom hela brottet. De är upp till 20 cm mäktiga och kan ibland tunna ut och försvinna.

De leriga skikten är vattenförande. Vatteninläckningen uppträder inte homogent i skikten utan punktvist längs vissa avsnitt, ofta där skikten är som tjockast. Vatteninläckning har dock också observerats på platser där skikten endast är någon centimeter tjocka. Vatteninläckningen i skiktet på nivån -22 m ö.h. kan följas genom nästan hela brottet (Figur 3.7). Mesta inläckaget sker längs västra väggen, där även andra skikt utöver de fyra nämnda är punktvis vattenförande (Figur 3.8). Den östra väggen är i det närmaste torr. Detsamma gäller brottet öster om landsvägen.

I brottet finns även ett fåtal vertikala sprickor med strykning åt väst-nordväst. Sprickvidden är någon cm och dessa sprickor svarar för nära all vertikal transport av vatten från ytan och ned till de horisontella lagren.



Figur 3.7 Västra brottet i Slite, norra väggen mot tillfartsramp. Vattenförande lager på nivån -22 m ö.h.



Figur 3.8 Västra brottet i Slite, västra väggen. Detalj av vattenförande lager kring nivån -10 m ö.h.

3.2.3 Sammanfattning

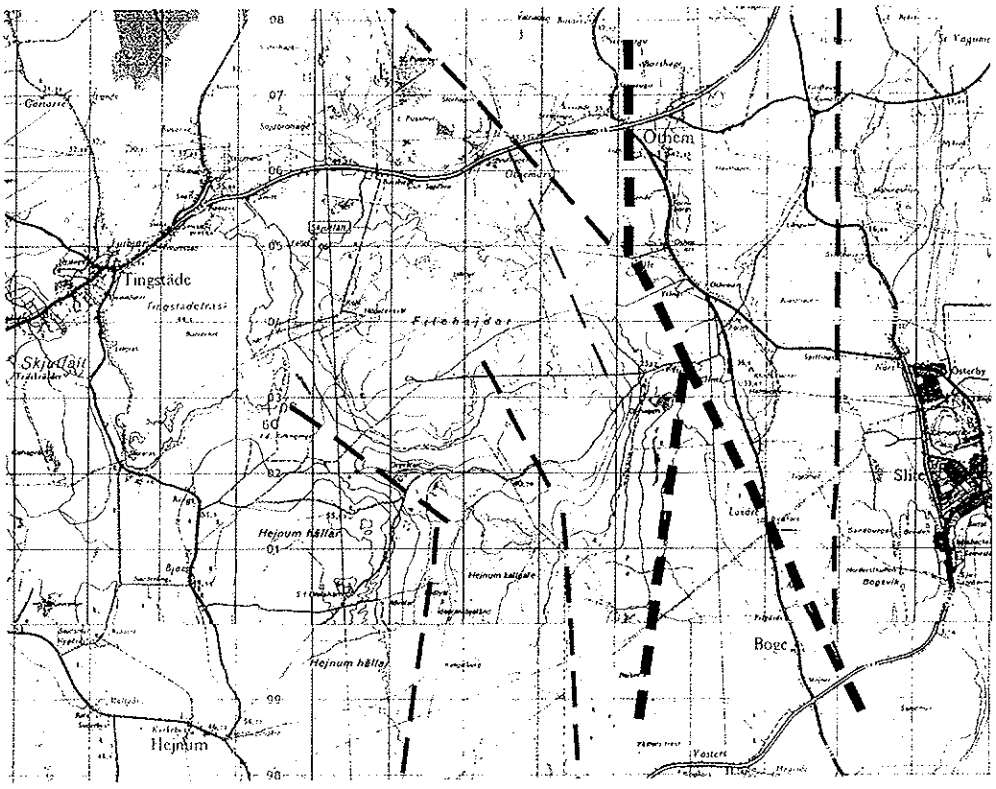
I Appendix B redovisas tre olika tolkningar av geologin mellan Tingstäde Träsk och Västra brottet. Av dessa har alternativ 3 bedömts vara den mest sannolika och har därför använts som utgångspunkt för den begreppsmässiga modellen över området. Den förstorade höjdskalan gör att lagren ser ut att luta mer än vad de gör i verkligheten. Gränsen mellan märgelsten och kalksten har verifierats i flera borrkärnor till omkring +20 m ö.h. vid File Hajdar (SGU, 1974) och något över 0 meters nivån vid västra brottet (muntlig uppgift från Magnus Helmer, Cementa). Detta motsvarar en lutning på ca 0.3 grader.

3.3 Tektonik

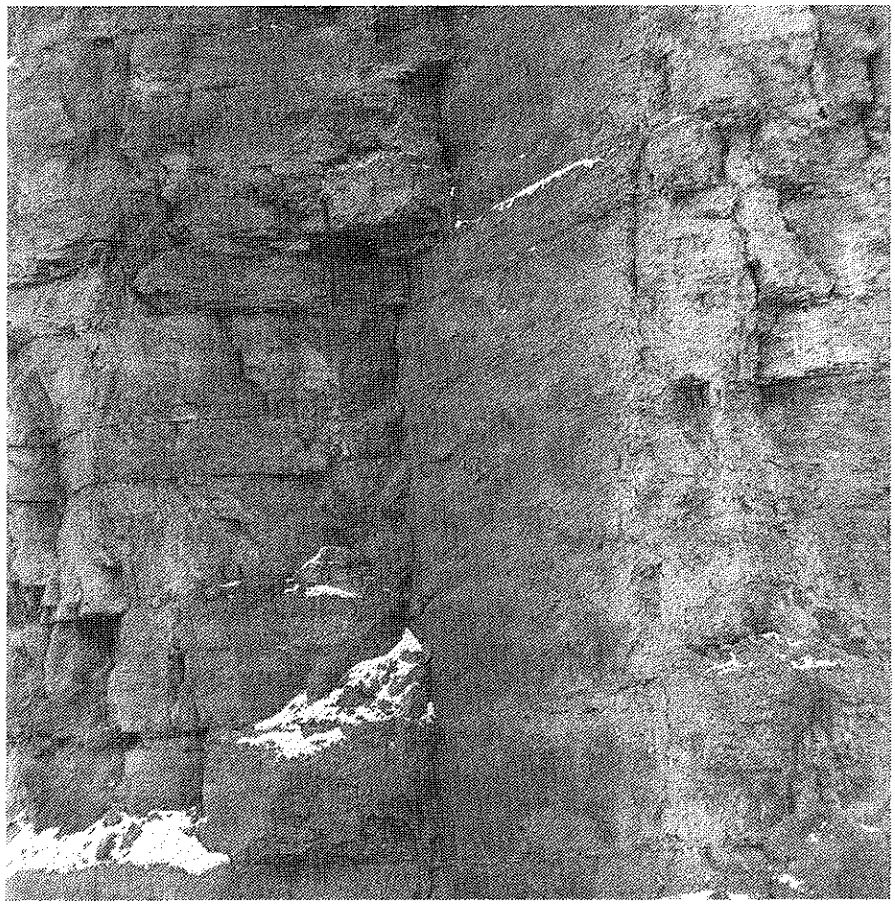
Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av ca 0.3 grader åt sydost. Varken i Västra Brottet eller i brottet på File Hajdar har några förkastningar observerats.

Figur 3.9 visar en tolkning av sprickzoner i området baserat på topografin. En större, vattenförande vertikal sprickzon skär området i ungefär nord-sydlig riktning. Kommunens vattentäkt är lokaliserad till denna zon, vilken dock ej har kunnat fastställas med VLF-mätningar i fält.

Några öppna, vertikala sprickor med en vidd av ca 1 cm skär genom brotten (Figur 3.10). Längs liknande sprickor på File Hajdar har det bildats slukhål i vilka betydande vattenmängder kan transporteras i vertikal riktning (Svantesson, 1980).



Figur 3.9 Tolkade sprickzoner.



Figur 3.10 Västra brottet i Slite. Vertikal öppen spricka i södra väggen.

4 VATTENBALANS

4.1 Allmänt

Den nederbörd som faller över ett område fördelas mellan avrinning i form av yt- och grundvattenavrinning, avdunstning och förändring av mängden magasinerat vatten. Vid en vattenbalansstudie kvantifieras dessa storheter. Metoden kan således användas för att uppskatta den mängd vatten som avrinner från ett område.

I föreliggande utredning har en vattenbalansstudie genomförts i syfte att kvantifiera den potentiellt möjliga grundvattenbildningen, dvs den grundvattenbildning som skulle råda om all tillgänglig nettonederbörd infiltrerar och når grundvattenytan. En detaljerad beskrivning av vattenbalansstudien redovisas i Appendix C.

4.2 Nederbörd

Vattenbalansberäkningar har utförts för en årsnederbörd som inträffar med sannolikheten 50% baserad på perioden 1945-90 samt för de enskilda åren 1988, 1989 och 1990. Då kontinuerliga nederbördsobservationer saknas på File Hajdar har beräkningarna baserats på nederbördsdata från SMHI-stationen Rings under perioden 1954-70. För perioden 1971-90 har nederbördsdata från SMHI-stationen Hejnum använts, vilken ersatte Rings i SMHI's observationsnät år 1971. SMHI-

stationen Rings är belägen ca 1 km söder om Tingstäde Träsk, medan Hejnum ligger ca 4 km söder om Tingstäde Träsk. Båda nederbördstationerna ligger således i File Hajdars närhet och kan anses som representativa för området.

Under perioden 1954-90 uppgår den korrigerade årsnederbörden som inträffar med sannolikheten 50% till 739 mm, medan den korrigerade nederbörden för åren 1988, 1989 och 1990 uppgick till 792 mm, 706 mm respektive 789 mm.

4.3 Avdunstning

Den verkliga avdunstningen har beräknats utifrån den potentiella avdunstningen för normalåret 1961-78 vid Visby flyplats. Då den verkliga avdunstningen bland annat är beroende av jordart och vegetationens rotdjup, har beräkningar utförts för en lerig morän med varierande rotdjup samt för lera. Den leriga moränen kan anses representera moränmärgeln i anslutning till File Hajdar, medan leran representerar vittringsjordarna uppe på File Hajdar. Rotdjupet har ansatts till 0.2 m samt 1.0 m. Rotdjupet 0.2 m kan anses vara representativt för förhållandena på File Hajdar, medan rotdjupet 1.0 m representerar förhållandena i lågpartierna i File Hajdars omgivningar. Beräkningarna visar att avdunstningen är upp till 90 - 120 mm lägre per år uppe på File Hajdar (lera) än för områden bestående av moränmärgel i anslutning till File Hajdar (morän, rotdjup 1.0 m) (Tabell 4.1).

Enligt den hydrogeologiska kartan över Gotlands län (Karlqvist et al., 1982) uppgår den verkliga avdunstningen på File Hajdar till ca 450 mm f r normalåret 1930-60, vilket överensstämmer relativt väl med den beräknade avdunstningen vid ett rotdjup på ca 0.2 m.

Tabell 4.1 Verklig avdunstning (mm/år) från morän med rotdjup 0.2 m och 1.0 m samt lera med rotdjup 0.2 m.

År	Morän		Lera
	0.2 m	1.0 m	0.2 m
Sannolikhet 50%	440 - 450	518 - 561	435
1988	475 - 485	538 - 576	470
1989	413 - 426	496 - 541	399
1990	414 - 424	504 - 548	403

4.4 Potentiell grundvattenbildning

Den potentiella grundvattenbildningen uppgår under ett år med sannolikheten 50% till ca 300 mm/år för morän och lera med ett rotdjup på 0.2 m, vilket kan antas motsvara rotdjupet på File Hajdar (Tabell 4.2). Detta motsvarar en avrinning

på ca 9.5 l/s*km^2. För omgivande moränmärgel är den potentiella grundvattenbildningen ca 150 - 200 mm/år under ett år med sannolikheten 50%, vilket motsvarar en avrinning av ca 5 - 6 l/s*km^2.

Vid SMHI-stationen Orgvätar, belägen i dalgången mellan File Hajdar och Hejnum Hällar, mäts avrinningen i Vikeån kontinuerligt sedan 1979. Under åren 1988, 1989 och 1990 uppgick denna till 293 mm, 264 mm respektive 291 mm, vilket överenstämmer relativt väl med den beräknade avrinningen vid rotdjupet 0.2 m.

Tabell 4.2 Potentiell grundvattenbildning (mm/år) för morän med rotdjup 0.2 m och 1.0 m samt lera med rotdjup 0.2 m.

	Morän		Lera
År	0.2 m	1.0 m	0.2 m
Sannolikhet 50%	288 - 298	177 - 220	303
1988	307 - 317	215 - 254	322
1989	280 - 293	165 - 210	307
1990	365 - 375	241 - 285	386

5 HYDRGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

5.1 Grundvattnets uppträdande

En beskrivande modell har upprättats över grundvattnets uppträdande i berggrunden, som baseras på den geologiska karteringen, borrhålsloggning (Appendix D och E) samt borrprotokoll (Appendix F).

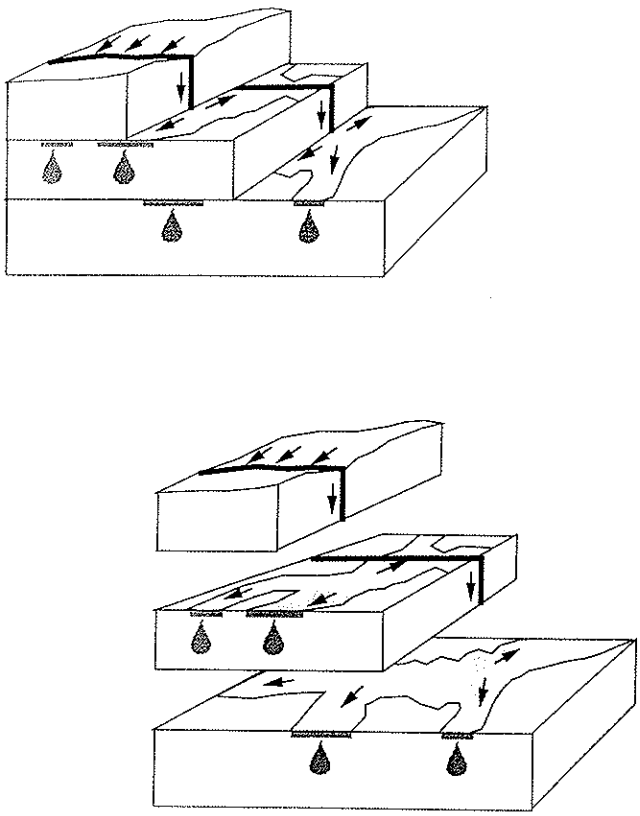
Grundvattenflödet är till största delen koncentrerat till de i stort sett horisontella lerskikt som förekommer i både kalkstenen (File Hajdar) och den underlagrande märgelstenen (Västra brottet). De vattenförande lagren som har observerats i märgelstenen i Västra brottet har extrapolerats parallellt med bergartsgränsen in under File Hajdar (Appendix G). Extrapoleringen stöds av observationer i Västra brottet, där de vattenförande lagren kan följas över en sträcka av ca 1 kilometer. De extrapolerade vattenförande lagrens inbördes avstånd och nivåer stämmer väl överens med resistivitetsmätningar i borrhål (Appendix D och E). Det är dock inte möjligt att korrelera en given resistivitetsanomali med en viss observation i Västra brottet, utan extrapoleringen är helt baserad på de strukturgeologiska förhållandena som har observerats i brotten.

På de platser där lerskikten observerats (brottet på File Hajdar, Västra brottet) varierar deras mäktighet från ett par millimeter till ca 20 cm. I kalk- och märgelsten är dock karstbildning vanligt förekommande. Det kan därför ej uteslutas att

detta även förekommer vid File Hajdar, vilket innebär att de vattenförande skikten kan ha en större mäktighet än vad som observerats i de båda brotten. De vattenförande skikten åtskiljs av lager med tätare material. Totalt har 5 st vattenförande skikt kunnat identifieras genom geologisk kartering och borrhålsloggning. Dessa har även kunnat verifierats av information från borrprotokoll, där vattenförande lager påträffats (Appendix F). De undre lagren utgör sannolikt den av SGU definierade akviferen (SGU, 1977).

Det vertikala grundvattenflödet mellan olika lager är betydligt mindre än det horisontella och sker sannolikt genom vertikala sprickor i bergmassan.

Vatteninläckningen i dagbrottet på File Hajdar och i Västra brottet sker nästan uteslutande längs de uthålliga horisontella lerlagren och i form av punktläckage i dessa. Grundvattenflödet i lerskikten sker således ej homogent, utan är snarare koncentrerat till vissa stråk eller kanaler inom respektive skikt (Figur 5.1). De synliga punktläckagen utgör dock endast en undre begränsning av antalet möjliga vattenförande kanaler på grund av att bergmassan är dränerad, vilket innebär att vissa kanaler kan vara torra. Det är även väsentligt att påpeka att det som visuellt kan iakttagas i dagbrotten inte nödvändigtvis gäller för bergmassan som helhet. Antalet kanaler samt storlek och riktning hos dessa kan variera inne i bergmassan.



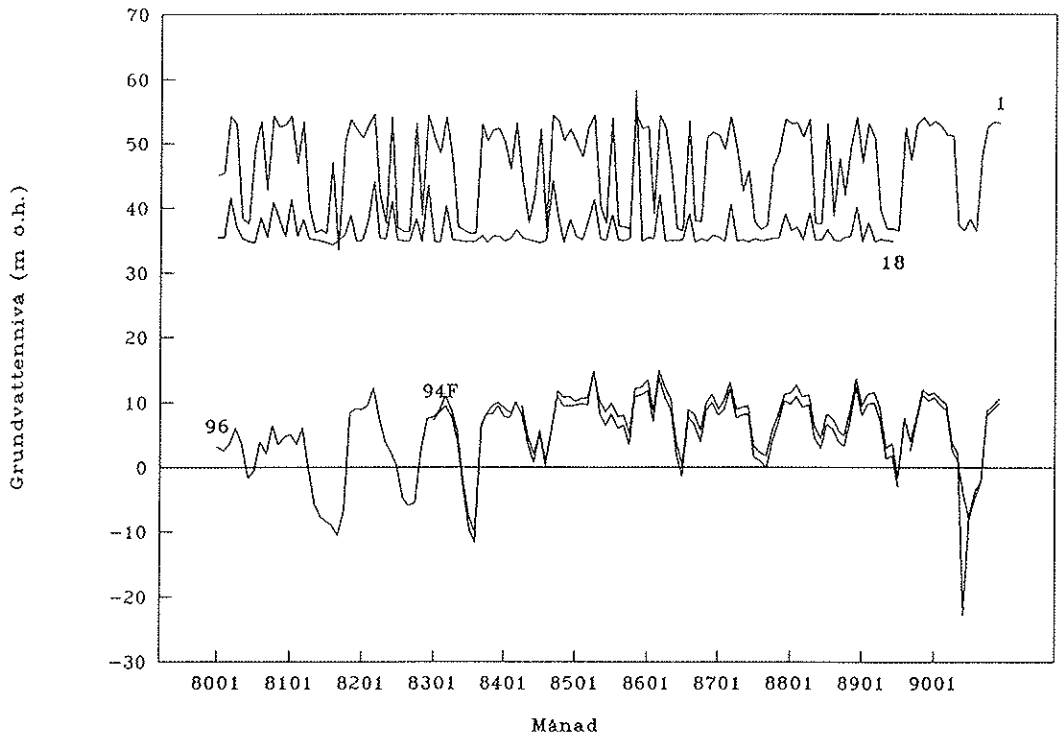
Figur 5.1 Grundvattnets uppträdande i berggrunden.

5.2 Grundvattennivåns variationsmönster

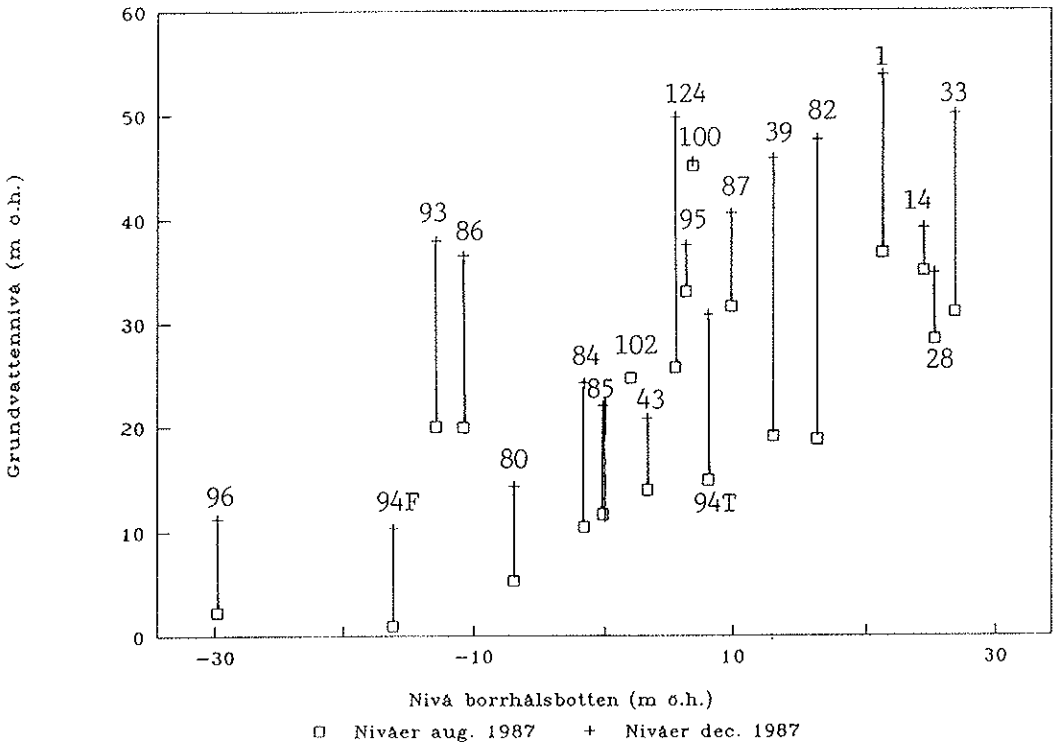
Grundvattennivån har mätts av SGU, i 22 st borrhål med varierande djup. Mätperiodens längd, djup samt höjd över havet redovisas för respektive borrhål i Appendix H. Mätning av grundvattennivån har generellt skett 1 gång per månad.

Grundvattennivåns generella variationsmönster inom området karakteriseras av snabba och stora förändringar. Höjning av grundvattennivån på 20 - 30 m under mindre än ett dygn kan förekomma i samband med nederbörd (Fagerlind och Nordberg, 1973). De snabba och stora variationerna av grundvattennivån är sannolikt en effekt av en mycket låg effektiv porositet hos bergmassan. Detta medför att grundvattenmagasinet är helt fyllt under perioder med hög nederbörd såsom vinter och höst, medan grundvattenytan når ett bottenläge under sommaren. Detta mönster är relativt konstant under åren med mindre förändringar i vissa rör beroende på nederbördsvariationer (Appendix I).

Uppmätta grundvattennivåer indikerar att de största och snabbaste variationerna sker i de ytligare rören, medan variationerna i djupare rör är mer dämpade. Detta framgår av Figur 5.2 där grundvattennivåns variation redovisas för borrhålen 96, 94F, 18 och 1 med bottennivå på -29.83, -16.16, +24.35 respektive +21.17 m över havet. Ett starkt samband förekommer även mellan grundvattennivå och borrhålsdjup. Generellt ligger grundvattenytan såväl vid högvatten som vid lågvatten på en lägre nivå i djupare borrhål (Figur 5.3).

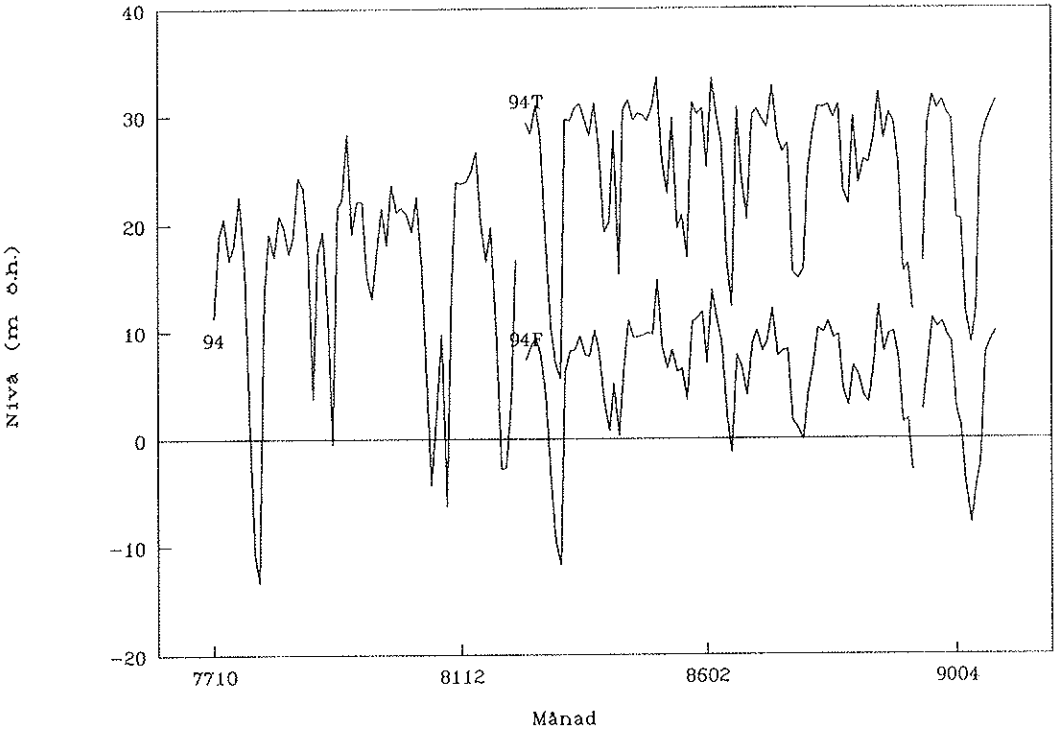


Figur 5.2 Grundvattennivåns variation i grunda (1, 18) och djupa (94F, 96) borrhål.



Figur 5.3 Grundvattennivåns variation med bottennivån hos borrhål under högvatten (december 1987) och lågvatten (augusti 1987).

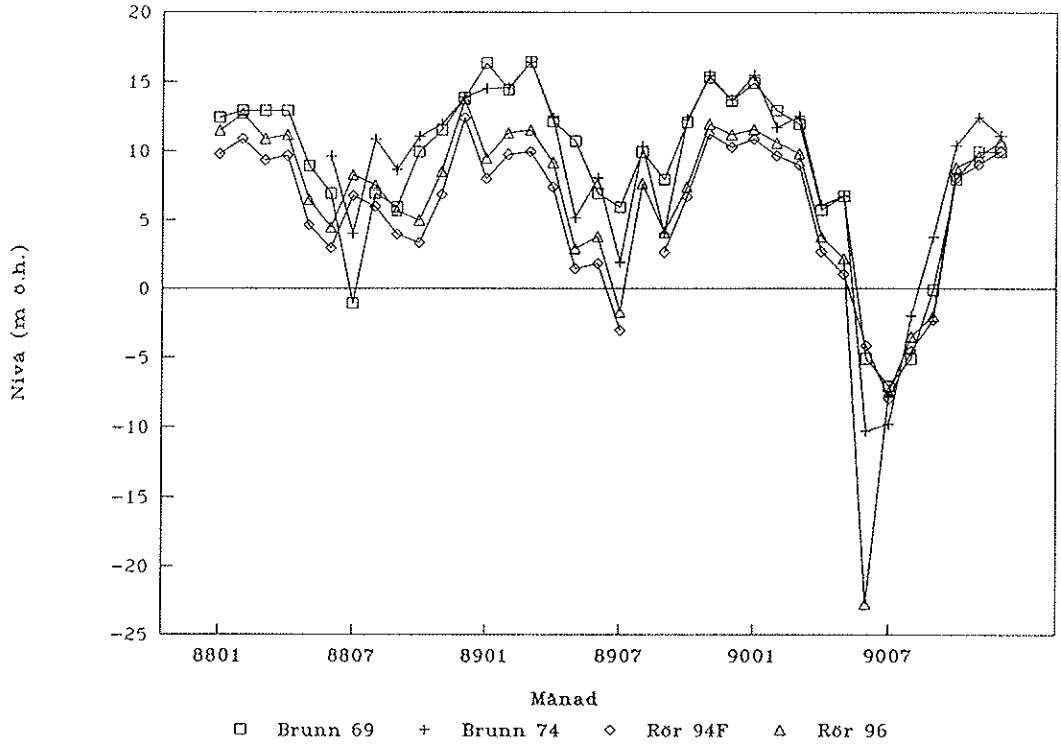
Grundvattennivåerna i borrhål med olika djup är dock ej helt jämförbara, då den uppmätta grundvattennivån i ett borrhål utgör ett integrerat värde av grundvattentrycken över hela borrhålslängden. Effekten av detta framgår av borrhål 94, där en igengjutning skett vid nivån +8.11 m ö.h., varefter uppborrning gjorts i en mindre dimension. Borrhål 94 utgörs således av två rör, ett yttre med botten på +8.11 m ö.h. (94T) samt ett inre med botten på -16.15 m ö.h (94F). I Figur 5.4 redovisas de uppmätta grundvattennivåerna för borrhål 94 före installation av det inre röret, dvs den integrerade grundvattennivån för bergmassan ner till nivån -16.15 m ö.h., samt nivåerna under och över igengjutningen. Grundvattennivåns variation är större för den integrerade grundvattennivån (94) än för bergmassan över +8.11 m ö.h. (94T) respektive under +8.11 m ö.h. (94F). Grundvattennivån i den övre delen av bergmassan (94T) ligger även högre än den integrerade nivån, medan grundvattennivån i den undre delen (94F) ligger betydligt lägre än den integrerade nivån. En jämförelse mellan den övre och undre delen av bergmassan visar även att den undre har mindre variation och reagerar långsammare på nederbördstillfällen. Grundvattentrycken i den övre delen av bergmassan (94T) är dessutom högre än grundvattentrycken i den undre delen (94F) under hela den observerade mätperioden. Således föreligger en nedåtriktad gradient från de övre vattenförande lagren till de undre lagren. Detta innebär att grundvattenflödet alltid sker från de övre delarna av bergmassan till de undre.



Figur 5.4 Grundvattennivåns variation i borrhål 94, 94T samt 94F.

En jämförelse av grundvattennivån i djupa borrhål uppe på File Hajdar (94F) och borrhål och brunnar i krosszonen (96, 69, och 74), visar en god samvariation mellan de olika borrhålen och brunnarna (Figur 5.5). Grundvattennivån varierar likartat och ligger nästan på samma nivå i de djupa borrhålen och i produktionsbrunnarna. Grundvattennivån i rören 94F och 96 följs åt nästan identiskt med en nivådifferens av maximalt 2 m. Grundvattennivån ligger något högre i rör 96 än i rör 94F, vilket är förvånande då den generella grundvattenströmningen sker från File Hajdar (94F) mot krosszonen (96). Grundvattennivåerna är dock ej helt jämförbara då rör 96 visar ett integrerat värde för hela bergmassan ner till nivån -29.83 m ö.h., medan rör 94F ger grundvattentrycket mellan +8.11 och -16.15 m över havet.

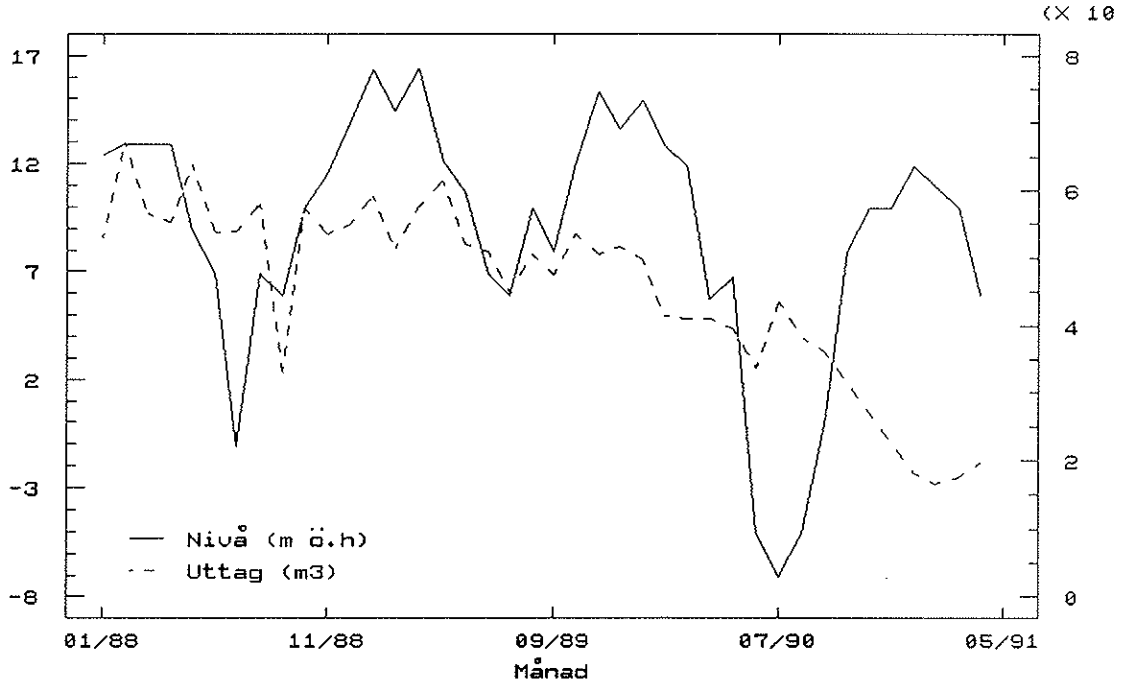
Medelvärdet av grundvattennivån under åren 1988-90 är +5.53 m ö.h. i borrhål 94F, +6.25 m ö.h. i borrhål 96, +8.59 m ö.h. i brunn 74 samt +8.83 m ö.h. i brunn 69. Således ligger grundvattennivån i genomsnitt ca 3 m högre i produktionsbrunnarna (i krosszonen) än i de djupare lagren under File Hajdar. Detta är sannolikt en effekt av att grundvattennivån i brunnarna utgör ett integrerat värde av grundvattentrycken över hela brunnsdjupet, medan grundvattennivån i borrhål 94F endast utgör ett integrerat värde över de nedre lagren. Den goda överensstämmelsen mellan grundvattennivåerna kan dock tolkas som att de djupare vattenförande lagren under File Hajdar har en hög genomsläpplighet, vilket medför en relativt liten gradient (skillnad i grundvattennivå) mellan de djupa borrhålen på File Hajdar och produktionsbrunnarna i krosszonen.



Figur 5.5 Grundvattennivåns variation i borrhål 94F och 96 samt i produktionsbrunnarna 69 och 74.

De absoluta nivåerna i produktionsbrunnarna kan dock ifrågasättas, då dessa ligger i medeltal 2 - 2.5 m över nivån i rör 96, vilket innebär att grundvatten strömmar från produktionsbrunnarna norrut mot rör 96. Detta stöds ej av de topografiska förhållandena, där marknivån vid rör 96 är ca + 20 m ö.h., medan den vid produktionsbrunnarna är +15 till +18 m över havet. Dräneringen från området sker således mot sydöst och ej mot norr.

Grundvattennivåerna i produktionsbrunnarna uppvisar en svag korrelation med pumpade vattenmängder, med korrelationskoefficienter som varierar i intervallet -0.43 till 0.31. I brunn 69 föreligger en positiv korrelation, dvs då uttaget ökar stiger grundvattenivån i brunnen (Figur 5.6). Detta antyder att uttaget i produktionsbrunnarna till en mycket liten grad styr grundvattennivåerna i brunnarna och de djupare vattenförande lagren på File Hajdar. Den höga samvariationen mellan grundvattennivån i djupare borrhål på File Hajdar och produktionsbrunnarna tyder istället på att nivåerna i brunnarna följer det naturliga variationsmönstret. Detta är troligen en effekt av en stor tillrinning till krosszonen i förhållande till uttaget ur produktionsbrunnarna. Detta stöds även av kemiska analyser av grundvatten i brunnarna (SGU, 1977), vilka indikerar att brunnarna tar huvuddelen av sitt vatten från relativt ytliga vattenförande lager. Resultatet från analyserna visar en betydligt lägre kloridhalt och ledningsförmåga hos grundvattnet i brunnarna än grundvattnet i exempelvis borrhål 96 (Tabell 5.1).



Figur 5.6 Variation i grundvattennivå och uttagna mängder i brunn 69 under åren 1988 - 1991. (Korrelatonskoeff. = 0.31)

Tabell 5.1 Resultat av grundvattenanalyser i borrhål 96 och brunn 71a (SGU, 1977).

Borrhål/brunn	Datum	Ledningsförmåga (μ mhos/cm)	Kloridhalt (mg/l Cl)
71a	770303	480	91
	770322	465	61
	770705	515	121
	770802	610	121
96	770823	1 800	515
	770906	1 400	424

5.3 Hydrauliska egenskaper

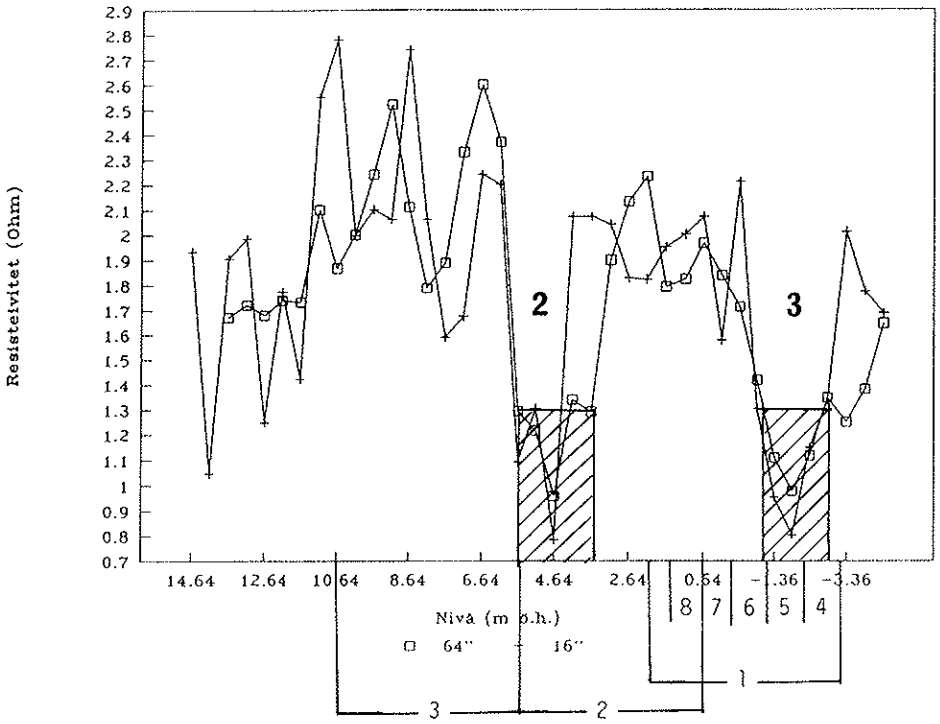
5.3.1 Packertests

Hydraultester för att bestämma bergmassans genomsläpplighet, sk "packertests" med dubbelmanschett, har utförts i borrhålen 63 och 98 under perioden 910227 - 910301. I borrhål 63 utfördes hydraultester från nivån +10.84 m ö.h till -3.06 m ö.h. i tre 5-meters sektioner. I den nedersta 5-meters sektionen, från +2.14 m ö.h. till -3.06 m ö.h., utfördes dessutom tester med en sektionslängd på 1 m. I borrhål 98 utfördes hydraultesterna från nivån +5.65 m ö.h. till -6.35 m ö.h. i mätsektioner om 1 m. Resultatet från utvärderingen ger en transmissivitet i intervallet $8.3*10^{-7}$ - $8.5*10^{-5}$ m^2/s i borrhål 63 samt i intervallet $1.4*10^{-6}$ - $5.2*10^{-7}$ m^2/s i borrhål 98 (Appendix J).

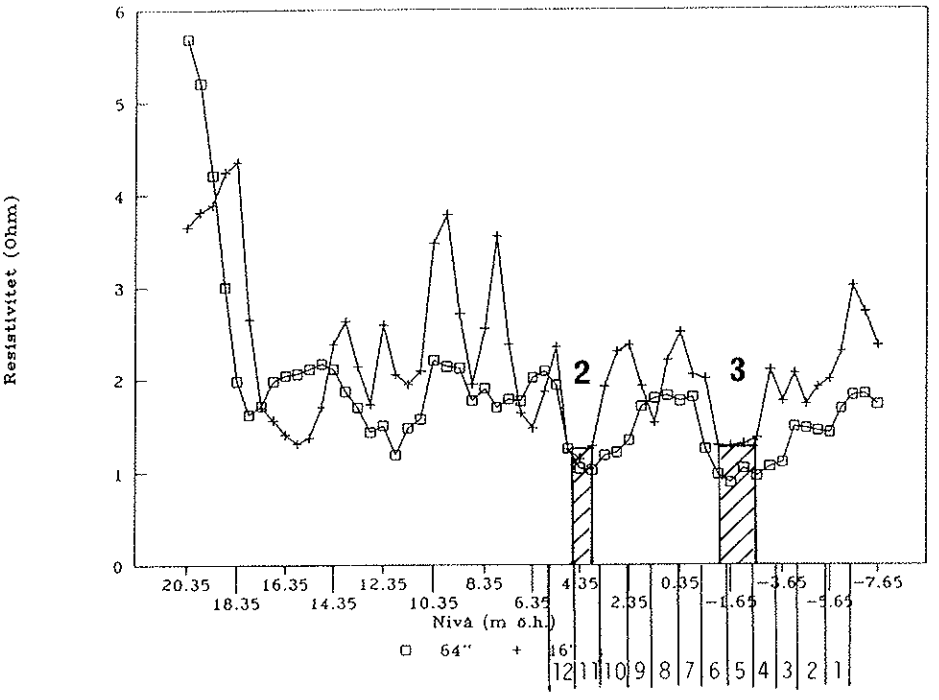
I båda de hydraultestade borrhålen har även borrhålsloggning genom resistivitetsmätning genomförts. På de nivåer som visade zoner med lägre resistivitet erhölls även hög vattengenomsläpplighet i motsvarande mätsektioner i hydraultesterna. Detta gäller framför allt borrhål 63, medan vattengenomsläppligheten är förhållandevis konstant i borrhål 98, som således inte uppvisar några zoner med högre genomsläpplighet. I borrhål 63 återfanns zonerna på nivåerna +4.5 och -2 m ö.h. och i borrhål 98 på nivåerna +4.4 och -2 m över havet. Dessa har tolkats utgöra fortsättningen på de vattenförande lerlager som observerats i Västra brottet. I den hydrogeologiska modellen över File Hajdar har dessa tolkats motsvara lager 2 och 3 (Appendix G).

I Figurerna 5.7 och 5.8 redovisas resistivitetskurvor och mätsektionerna för packertesten i respektive borrhål. I borrhål 63 sammanfaller de två 1-meters sektionerna 63:4 och 63:5 med den nedersta lågresistiva zonen som tolkats motsvara lager 3, medan den övre lågresistiva zonen, lager 2, faller inom 5-meters sektionen 63:2. Den uppmätta transmissiviteten i sektion 63:4 och 63:5 ligger i intervallet $5.0*10^{-6}$ - $5.8*10^{-6}$ m^2/s, vilket innebär ca 3 gånger större transmissivitet än övriga mätta 1-meters sektioner (sektionerna 63:6-8). Vid en jämförelse mellan 5-meters sektionerna framgår att sektion 63:2 har ca 3 gånger högre transmissivitet än sektion 63:1 och ca 1.5 högre transmissivitet än sektion 63:3 (Appendix J). Således har de tolkade vattenförande lerlagren påvisats både genom resistivitetsmätning och hydraultester.

I borrhål 98 sammanfaller de detekterade lågresistiva zonerna med 1-meters sektionerna 98:5 och 98:11 (Figur 5.8). I detta borrhål förekommer dock ingen signifikant skillnad i transmissivitet mellan olika mätsektioner. Detta förhållande visar att resistivitetsmätningarna endast indikerar lerlager, som ej nödvändigtvis är mer genomsläppliga än omgivande bergmassa.



Figur 5.7 Resistivitet (Ohmm) och mätsektioner för hydraultester i borrhål 63.



Figur 5.8 Resistivitet (Ohmm) och mätsektioner för hydraultester i borrhål 98.

5.3.2 Slugtests

I en tidigare undersökning redovisas resultatet från 8 st slugtests (SGU, 1977). Beräknade transmissiviteter för olika borrhål tillsammans med borrhålsdjup samt de tolkade lager som respektive borrhål penetrerar redovisas i Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Beräknade transmissiviteter från slugtest i olika borrhål (SGU, 1977).

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m o.h.)	T (m^2/s)	K (m/s)	Penetrerade lager
6	48.5	+15.12	$2.9*10^{-6}$	$2.0*10^{-6}$	1,2
12	39.5	+19.48	$2.2*10^{-5}$	$5.5*10^{-6}$	1
19	37.8	+18.69	$1.0*10^{-6}$	$6.0*10^{-8}$	1
33	24.0	+26.79	$2.2*10^{-6}$	$3.4*10^{-7}$	1
43	26.3	+3.36	$1.5*10^{-5}$	$1.5*10^{-6}$	2,3
80	41.6	-7.01	$7.7*10^{-5}$	$2.0*10^{-5}$	2,3
81	41.8	+6.07	$8.8*10^{-7}$	$1.0*10^{-7}$	1,2
84	42.2	-1.17	$4.2*10^{-6}$	$3.5*10^{-7}$	2,3,4

5.3.3 Provpumpningar

I den tidigare utredningen utfördes även korttidsprovpumpningar av 3 borrhål på File Hajdar (96, 86 och 95), samt en av produktionsbrunnarna i vattentäkten vid Dyhagen (71a) (SGU, 1977). Resultaten redovisas i Tabell 5.3 i form av beräknade transmissiviteter. I de fall då transmissiviteten beräknats vid olika tillfällen för samma borrhål, redovisas medelvärdet.

Som ett resultat av korttidsprovpumpningarna framkom följande (SGU, 1977):

- Vid provpumpning av brunn 71a vid den kommunala vattentäkten framkom att brunnarna vid vattentäkten ligger i en gemensam kanalformad akvifer sannolikt betingat av en större krosszon.

- En god hydraulisk förbindelse förekommer mellan vattentäktsområdet och borrhål 96 norr därom, samt borrhål 63 uppe på File Hajdar. Det är dock ej troligt att borrhål 63 är beläget i kanalen.

- Data från korttidsprovpumpningen av borrhål 96 visar att detta sannolikt ej ligger i kanalen, men står i god hydraulisk kontakt med brunnarna i den kommunala vattentäkten.

- Vid avsänkning och återhämtning i borrhål 96 reagerade endast djupa borrhål uppe på File Hajdar (63, 86, 94 och 101)
- Vid provpumpning av borrhål 86 framkom att borrhål 91 och 94 står i direkt hydraulisk kontakt med borrhål 86, medan borrhålen 81, 92 och 93 endast reagerade under avsänkningsförloppet och därför kan tolkas stå i ett läckagesamband med borrhål 86.
- Vid provpumpning av borrhål 95 reagerade endast närbelägna borrhål (19, 99).

Tabell 5.3 Beräknade transmissiviteter från korttidsprovpumpningar (SGU, 1977).

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m ö.h.)	T (m^2/s)	Penetrerade lager
69	40.1	-17.27	$1.0*10^{-2}$	2,3,4,5
70	39.4	-20.86	$2.2*10^{-3}$	2,3,4,5
71	39.1	-21.21	$1.2*10^{-2}$	2,3,4,5
71a	56.4	-37.59	$1.0*10^{-2}$	2,3,4,5
72	54.0	-33.10	$1.3*10^{-2}$	2,3,4,5
73	56.6	-36.17	$1.5*10^{-2}$	2,3,4,5
96	50.0	-29.83	$4.0*10^{-3}$	2,3,4,5
63	44.4	-9.76	$3.2*10^{-4}$	2,3,4
101	60.0	-38.67	$3.8*10^{-4}$	2,3,4,5
94	60.0	-16.15	$3.0*10^{-4}$	1,2,3,4,5
86	60.0	-10.80	$1.2*10^{-5}$	1,2,3,4
40	40.4	+8.41	$1.6*10^{-5}$	1,2
91	42.0	+7.01	$1.8*10^{-5}$	1,2
83	41.7	+4.10	$6.0*10^{-5}$	1,2
19	37.8	+18.69	$1.1*10^{-6}$	1
95	50.0	+6.40	$9.4*10^{-7}$	1,2

5.3.4 Sammanfattning av hydraultester

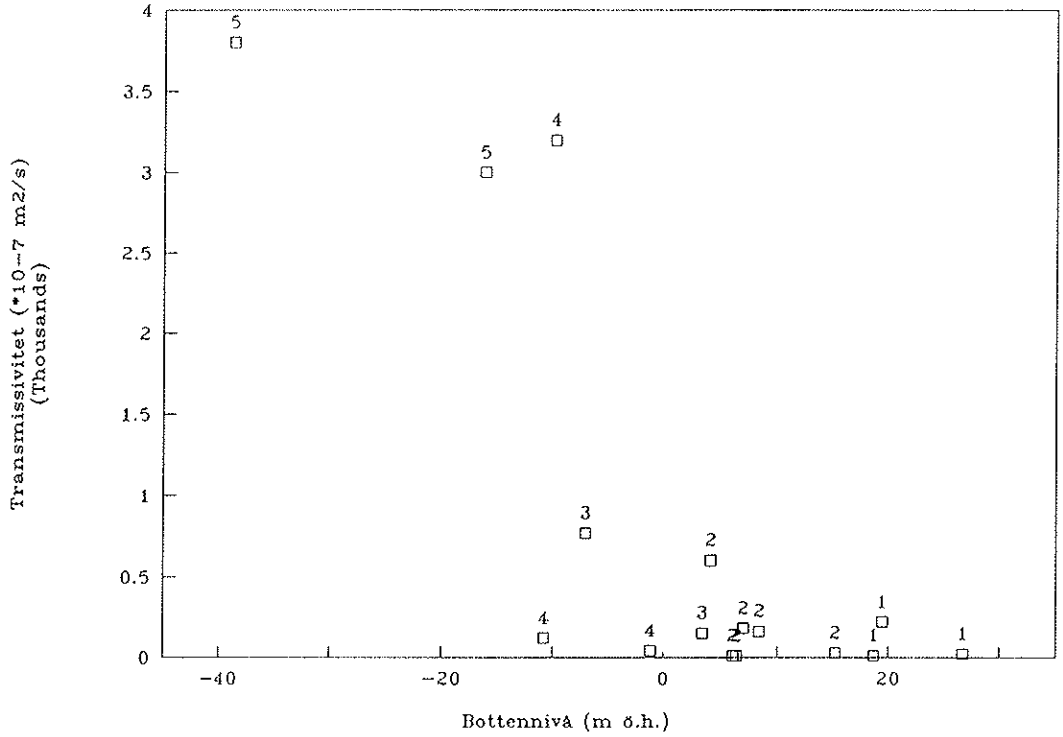
Som framgår av Tabell 5.3 ökar den beräknade transmissiviteten med minskande bottennivå i borrhålen. För att få en uppfattning av hur transmissiviteten varierar med djupet i bergmassan, har beräknade värden från korttidsprovpumpningarna och slugtests plottats mot bottennivån för respektive borrhål (Figur 5.9). Härvid har inte borrhål 96 och produktionsbrunnarna i vattentäkten medtagits, då dessa ligger i en krosszon med mycket högre transmissivitet än övriga borrhål på File Hajdar.

Vid en jämförelse av transmissiviteten med det lägst liggande vattenförande lagret i ett borrhål, framgår att framför allt lager 4 och 5 har en högre transmissivitet än ovanför liggande lager.

Generellt ligger transmissiviteten i intervallet $8.8*10^{-7}$ - $7.7*10^{-5}$ m^2/s för borrhål i lager 1-3, medan transmissiviteten ligger i intervallet $4.2*10^{-6}$ - $4.0*10^{-3}$ m^2/s för borrhål i lager 4-5. Den större genomsläppligheten i de djupare lagren indikeras även av den goda hydrauliska förbindelsen mellan de djupa borrhålen 94, 63, 96, 101 med botten på nivåerna -16.16, -9.76, -29.83, -38.67 m ö.h., och brunnarna vid vattentäktsområdet. Vid korttidsprovpumpning av ett grundare borrhål, 95 med botten på nivån +6.40 m ö.h., reagerade endast närbelägna borrhål.

Korttidsprovpumpningar och packertests indikerar även att de vattenförande lagren ej är homogent genomsläppliga. Kortidsprovpumpning av borrhål 86 med bottennivå på -10.80 m ö.h. gav en betydligt lägre transmissivitet än korttidsprovpumpning av borrhål 94 med botten på nivån -16.15 m över havet. Tidigare utförda grundvattenanlyser indikerar att borrhål 86 och 95 huvudsakligen tar sitt vatten från ytligare vattenförande lager (SGU, 1977). Analyserna visar en betydligt lägre kloridhalt och ledningsförmåga hos grundvattnet i dessa borrhål jämfört med borrhål 96, som har en bottennivå på -29.83 m ö.h. och således går genom djupare lager (Tabell 5.4). Detta indikerar att de djupare lagren i borrhål 86 är mindre genomsläppliga, och att grundvattnet i borrhålet företrädesvis får sitt vatten från ytligare lager. Variationen i genomsläpplighet inom de vattenförande lagren framgår även av packertesten. I borrhål 63 har de vattenförande lagren ca 3 gånger större genomsläpplighet än bergmassan, medan samma lager i borrhål 98 har samma genomsläpplighet som bergmassan.

Korttidsprovpumpning av brunn 71a vid det kommunla vattentäktsområdet indikerar att brunnarna ligger i en högpermeabel kanalformad akvifer. Denna utgörs sannolikt av en krosszon med en beräknad transmissivitet av ca $1.1*10^{-2} m^2/s$.



Figur 5.9 Transmissivitetens variation med bottennivån hos borrhål. (Siffrorna anger det lägst liggande penetrerade lagret för respektive borrhål)

Tabell 5.4 Resultat från grundvattenanalyser i borrhål 86, 95 och 96 (SGU, 1977).

Borrhål	Datum	Ledningsförmåga (μ mhos/cm)	Kloridhalt (mg/l Cl)
86	770207	350	< 30
	770222	370	< 30
	770816	380	< 30
	770830	388	< 30
95	770628	460	30
	770701	440	30
96	770823	1 800	515
	770901	1 400	424

6 PÅVERKAN AV NUVARANDE VERKSAMHET VID FILE HAJDAR

6.1 Inläckage i dagbrott

Inläckaget till dagbrottet vid File Hajdar har uppskattats genom beräkning av pumparnas gångtid, vilken sedan räknats om till vattenmängd utifrån känd pumpkapacitet och uppfordringshöjd. Metoden är osäker, varför nedanstående beräkningar endast ger en grov uppskattning av inläckande vattenmängder.

De bortpumpade vattenmängderna under åren 1989 och 1990 har på detta sätt beräknats till 429 000 m^3 respektive 423 522 m^3, vilket motsvarar i genomsnitt 1175 m^3/dygn och 1160 m^3/dygn.

Nederbörden under åren 1989 och 1990 uppgick till 705 mm respektive 789 mm. Med den nuvarande utbredningen uppgår dagbrottets area till ca 13 ha. Nederbörden över dagbrottets area under 1989 och 1990 motsvarar således en vattenmängd på 92 000 m^3 respektive 103 000 m^3, eller i genomsnitt 250 m^3/dygn och 280 m^3/dygn.

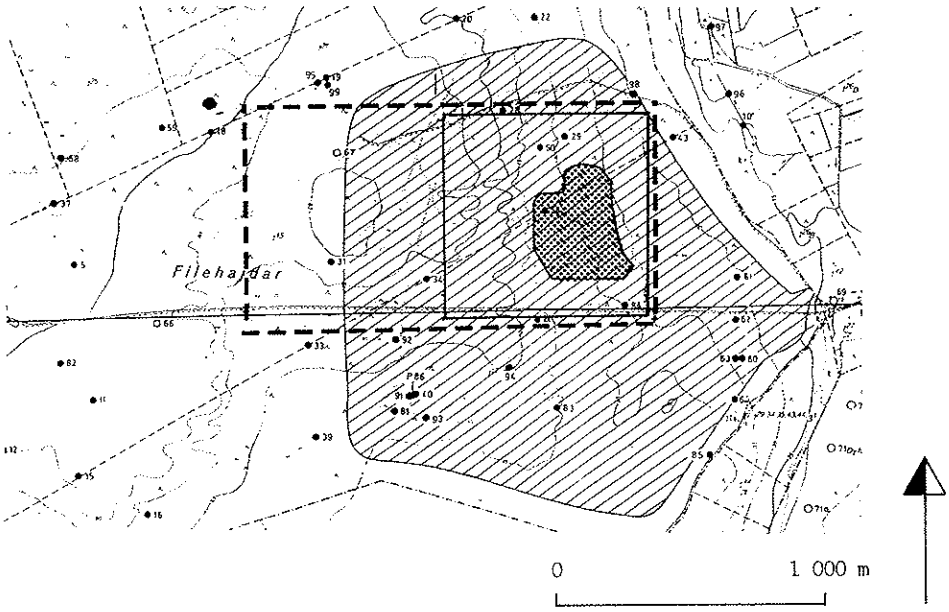
Den direkta nederbörden över dagbrottet utgör således ca 20% av den bortpumpade vattenmängden, vilket innebär att ca 80% utgörs av inläckande yt- och grundvatten. Under åren 1989 och 1990 uppgår inläckaget följaktligen till i genomsnitt 925 m^3/dygn respektive 880 m^3/dygn.

Den area som krävs för att generera den bortpumpade vattenmängden kan beräknas utifrån uppmätt nederbörd. Om ingen hänsyn tas till avdunstning, dvs all nederbörd avrinner direkt genom yt- och grundvattenavrinning krävs ett område på ca 44 ha utöver dagbrottets area för att generera den pumpade mängden vatten (Figur 6.1). Detta utgör således den minsta area som krävs för att ge den bortpumpade vattenmängden. Vattenbalansberäkningar och data från SMHI's representativa station Orgvätar ger dock en avrinning på ca 300 mm/år. Detta motsvarar ca 40% av nederbörden. Om hänsyn tas till detta faktum krävs ett område på ca 110 ha utöver dagbrottets area för att generera den bortpumpade mängden vatten.

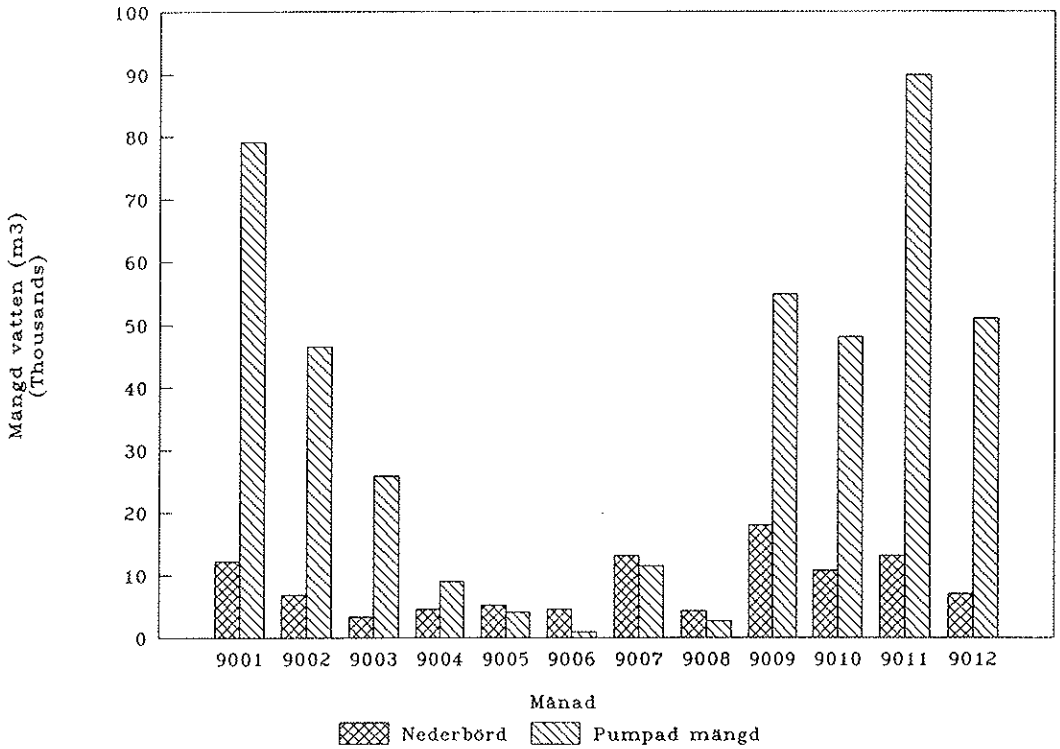
Inläckage av yt- och grundvatten från omgivningen sker dock ej kontinuerligt under året utan endast under perioder med höga grundvattennivåer. I Figur 6.2 redovisas månadsvis bortpumpade vattenmängder från dagbrottet tillsammans med den korrigerade nederbörden över dagbrottets yta under 1990. Som framgår av figuren sker inläckaget av yt- och grundvatten till dagbrottet under perioderna januari - april och september - december. Under perioden maj - augusti balanseras de bortpumpade vattenmängderna av nederbörden över dagbrottet.

En prediktion av inläckande vattenmängder vid en utökad verksamhet i brottet på File Hajdar är svår att göra, då den största delen (ca 80%) utgörs av punktvis inläckande grundvatten i distinkta lager. Kanaltätheten längs brottväggarna och de enskilda kanalernas storlek bestämmer inläckaget av grundvatten till brottet. Vid en fortsatt brytning på dagens bottennivå (+20 m ö.h.) kommer inget nytt vattenförande lager att påträffas. Under förutsättning att antalet vattenförande kanaler kan antas vara proportionellt mot längden av de exponerade brott-

väggarna, kan en översiktlig bedömning göras av inläckaget vid en utökad verksamhet på File Hajdar. Det nuvarande brottet har en total längd hos väggarna av ca 1560 m, medan den framtida brytningen beräknas ha en längd av ca 2720 m. Detta innebär att inläckaget vid den framtida omfattningen kommer att uppgå till ca 740 000 m^3 per år (2 000 m^3/d), vilket är en ökning med omkring 75%.



Figur 6.1 Nödvändig yta för att generera bortpumpade vattenmängder.
——— Korrigerad nederbörd
– – – Potentiell grundvattenbildning

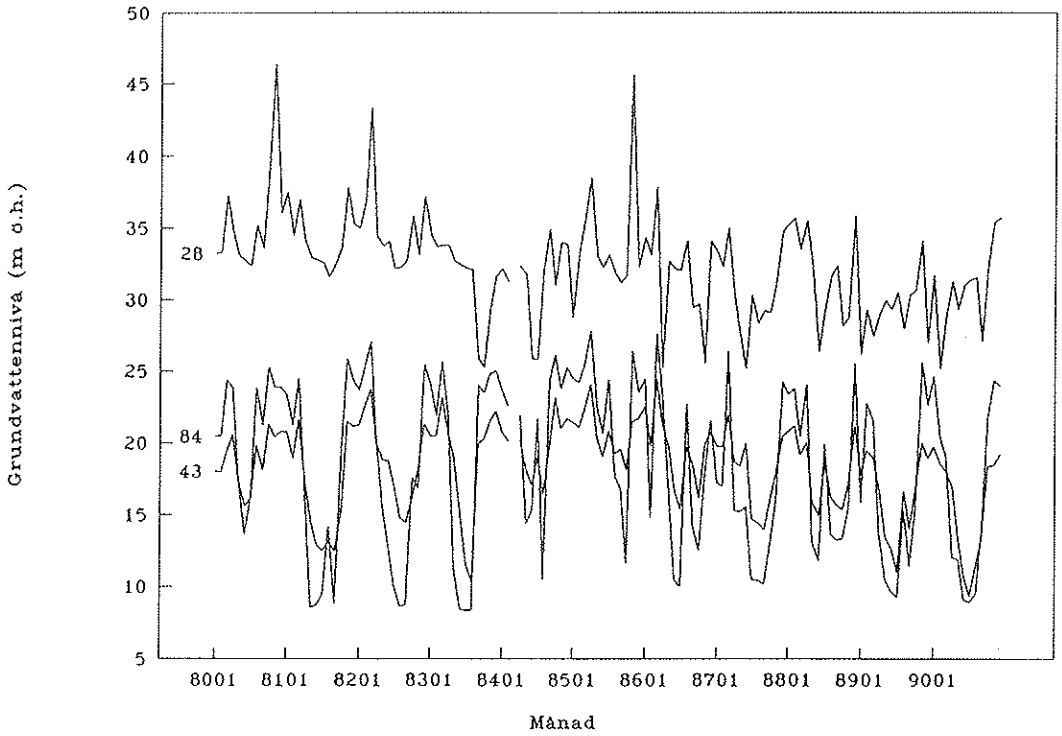


Figur 6.2 Bortpumpad vattenmängd samt vattenmängd genererad av nederbörden över dagbrottet under 1990.

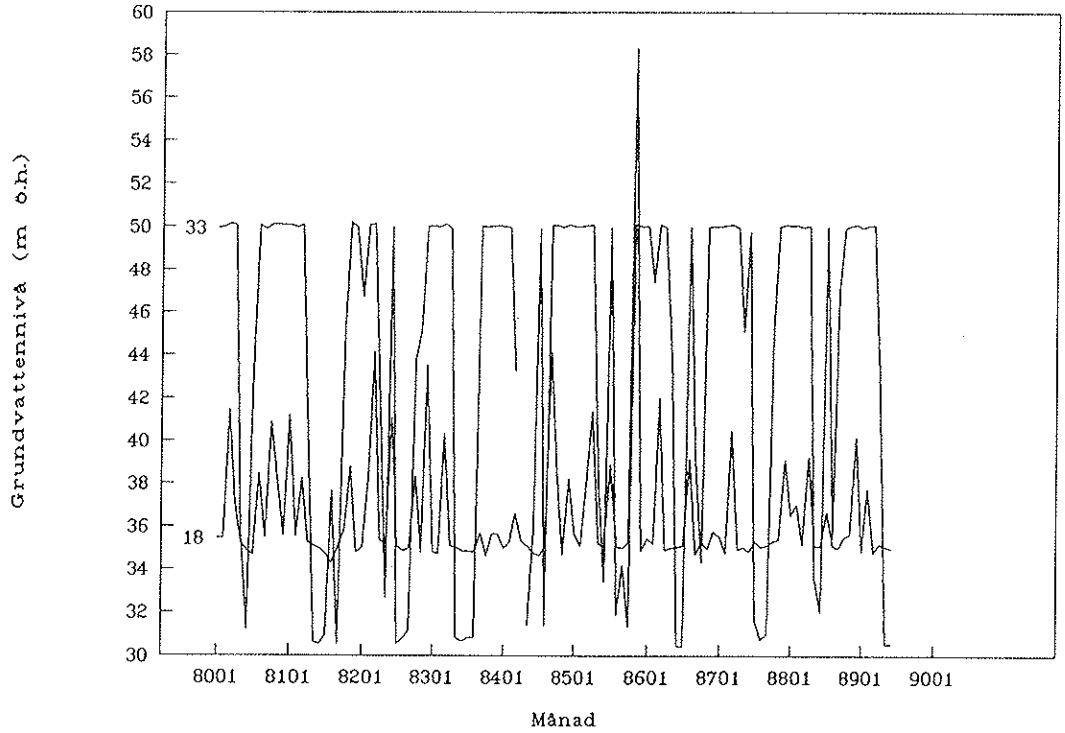
6.2 Påverkan på grundvattennivån i omgivningen

Dagbrottets påverkan på grundvattennivån i området har undersökts i de närmast belägna borrhålen. I Figur 6.3 redovisas grundvattennivåns variation i borrhålen 28, 84 och 43 för perioden 1980-90. Av dessa kan en påverkan endast påvisas i borrhål 28. Från och med september 1983 sjunker den lägsta grundvattennivån under året från ca +31 - +32 m ö.h. till ca +25 m över havet. I de övriga två borrhålen kan ingen förändring av variationsmönstret noteras. Sannolikt är detta en effekt av borrhålsdjupen. Bottennivån i borrhål 28 ligger på +25.21 m ö.h., medan bottennivån i borrhål 84 och 43 ligger på -1.70 repektive +3.36 m över havet. Borrhålsbotten i borrhål 28 ligger således över den aktuella brytningsnivån i dagbrottet, medan bottennivån i borrhål 84 och 43 ligger betydligt under densamma. Då den uppmätta grundvattennivån i borrhålen utgör ett integrerat värde för grundvattentrycken över hela borrhålslängden, syns sannolikt inte effekterna i de övre vattenförande lagren vid betraktande av den uppmätta grundvattennivån i de djupare borrhålen.

I de grunda borrhålen 18 och 33, vilka har en bottennivå på +24.35 m ö.h. repektive +26.79 m ö.h., kan ingen påverkan från dagbrottet konstateras (Figur 6.4). Detta tyder på att dagbrottets påverkan på grundvattennivån är relativt lokal och till största delen koncentrerad till de översta vattenförande lagren.



Figur 6.3 Grundvattennivåns variation under perioden 1980-90 i borrhål 28, 43 och 84.



Figur 6.4 Grundvattennivåns variation under perioden 1980-90 i borrhål 18 och 33.

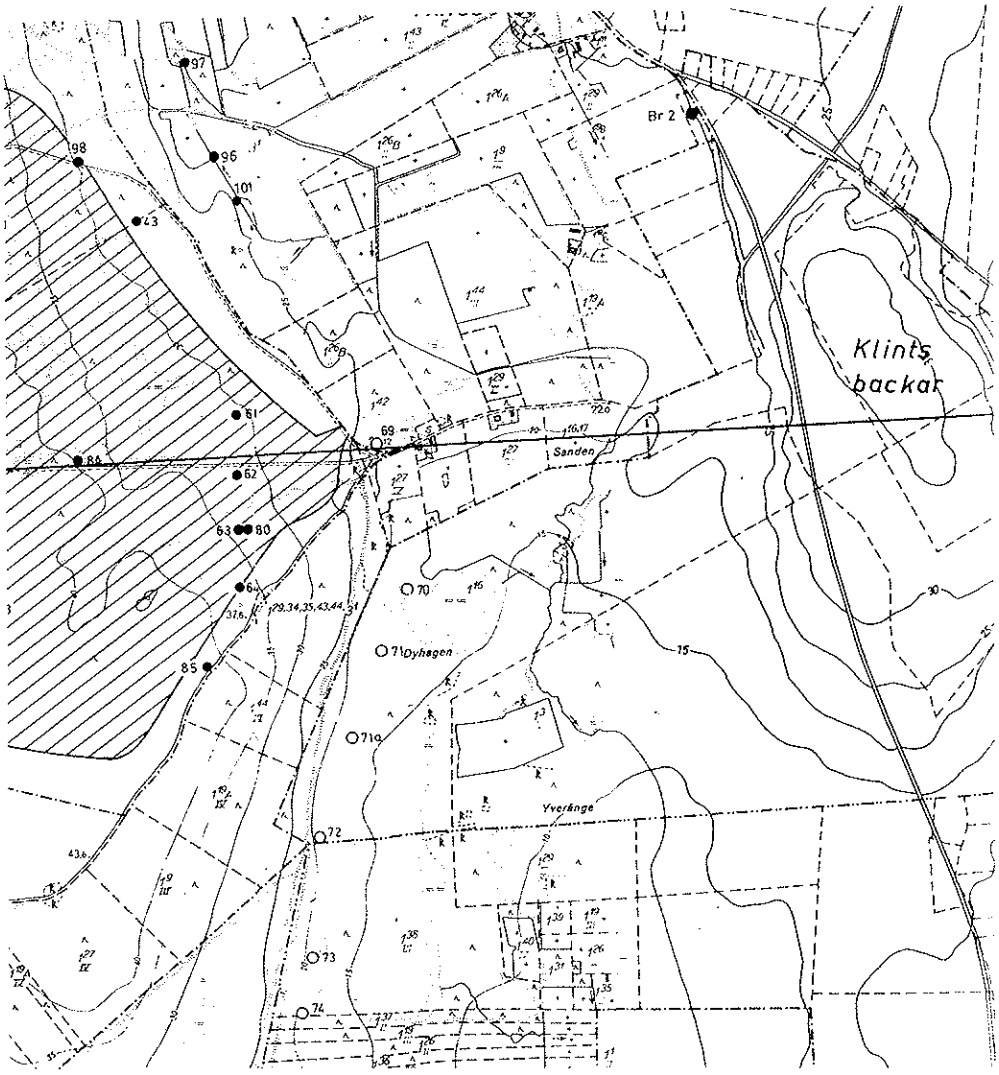
7 SLITE KOMMUNALA VATTENTÄKT

7.1 Tekniska data

Slite kommunala vattentäkt består av ett antal brunnar borrade i kalk- och märgelstenen öster om File Hajdar vid Dyhagen. Vattentäkten består för närvarande av 9 st bergborrade brunnar av vilka 7 st (69 - 74) är i produktion (Figur 7.1). Provpumpning av produktionsbrunn 71a har indikerat att brunnarna är belägna i en zon med större genomsläpplighet än angränsande berggrund och zonens bredd har bestämts till ca 550 m (SGU, 1977). Brunnarna är placerade i en nordsydlig linje med ett inbördes avstånd av 150 - 500 m. Brunnsdjup och nivå över havet för produktionsbrunnarna framgår av Tabell 7.1

7.2 Pumpade vattenmängder

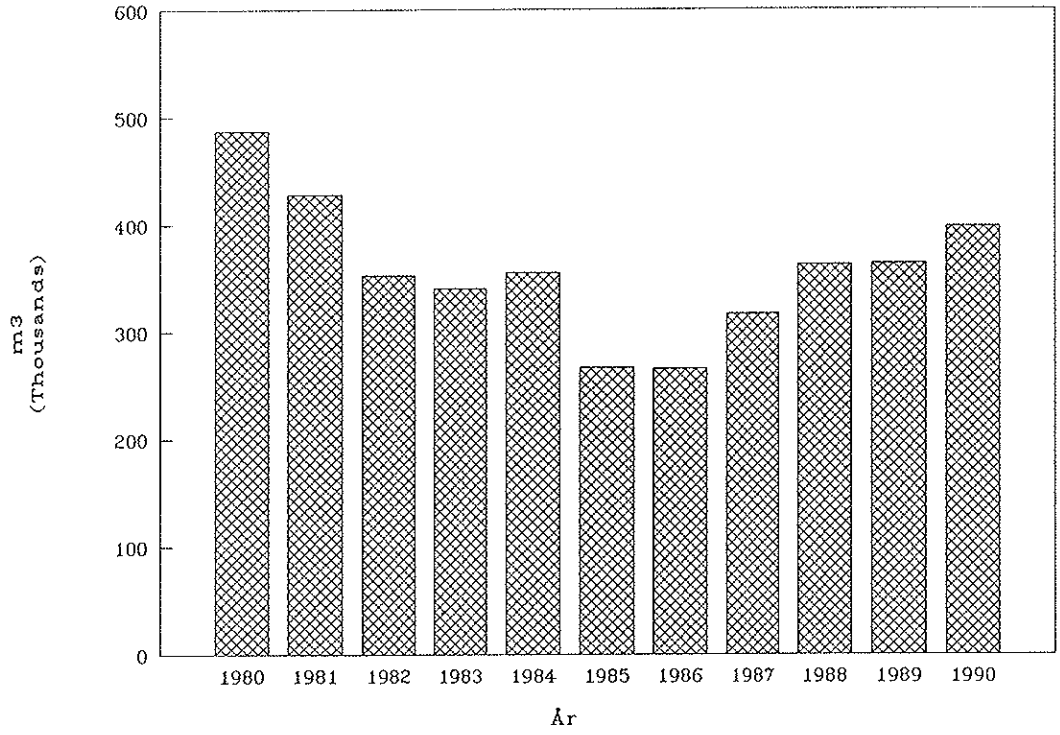
Det årliga grundvattenuttaget i Slite kommunala vattentäkt under perioden 1980-90 varierar i intervallet 270 000 - 490 000 m^3/år (Figur 7.2). Till och med 1986 har uttaget sjunkit från ca 490 000 till ca 265 000 m^3/år, för att sedan åter öka till omkring 400 000 m^3/år under 1990. Under perioden 1989-90 var det totala uttaget från vattentäkten 760 000 m^3, vilket kan jämföras med den bortpumpade vattenmängden i dagbrottet på File Hajdar, som uppgick till 850 000 m^3. Således bortpumpades i storleksordningen lika mycket vatten från dagbrottet som från vattentäkten. Stora vattenmängder pumpas från dagbrottet under vinter, vår och höst medan uttaget ur vattentäkten fördelas mer jämt under året (Figur 7.3). Någon påverkan från dagbrottet på vattentäktens kapacitet kan ej konstateras.



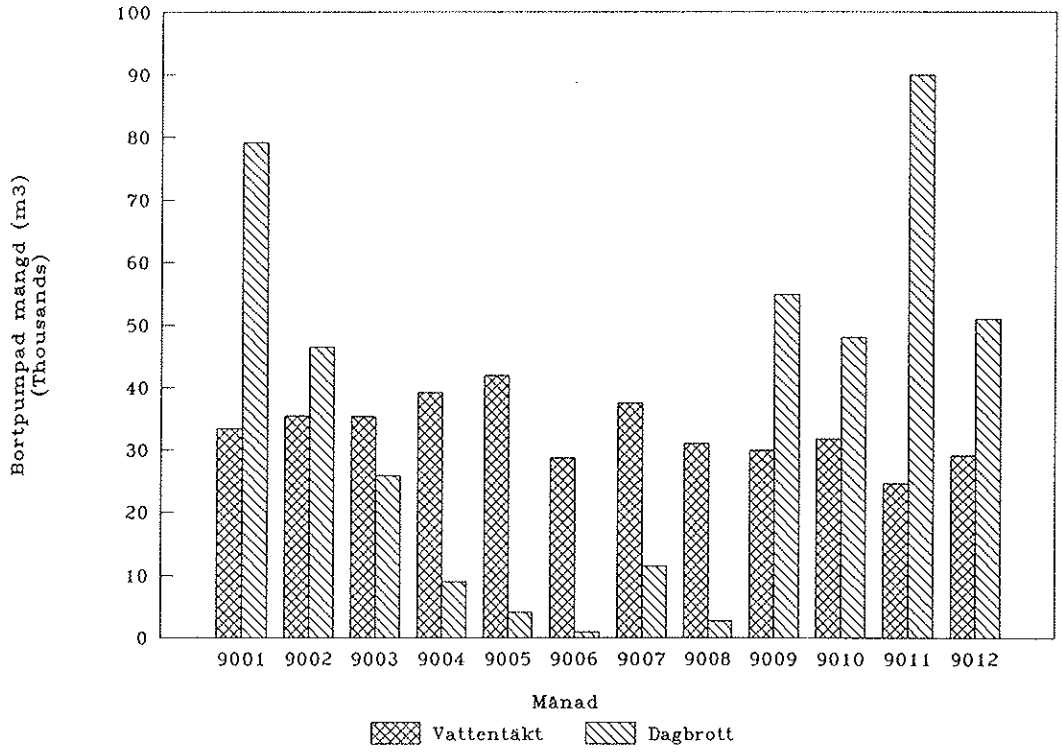
Figur 7.1 Läge av produktionsbrunnarna i Slite kommunala vattentäkt.

Tabell 7.1 Data för produktionsbrunnarna i Slite kommunala vattentäkt.

Brunn	Nivå r.ö.k. (m ö.h.)	Djup (m)	Nivå botten (m ö.h.)
69 (P1)	22.83	40.10	-17.27
70 (P2)	18.54	39.40	-20.86
71 (P3)	17.89	39.10	-21.21
71a (P3a)	18.81	56.40	-37.59
72 (P4)	20.90	54.00	-33.10
73 (P5)	20.41	56.60	-36.19
74 (P6)	20.15	52.80	-32.65



Figur 7.2 Årliga uttag ur samtliga produktionsbrunnar vid Slite vattentäkt.



Figur 7.3 Uppfordrade vattenmängder i dagbrottet på File Hajdar och Slite vattentäkt under 1990.

8 GRUNDVATTENMODELLERING

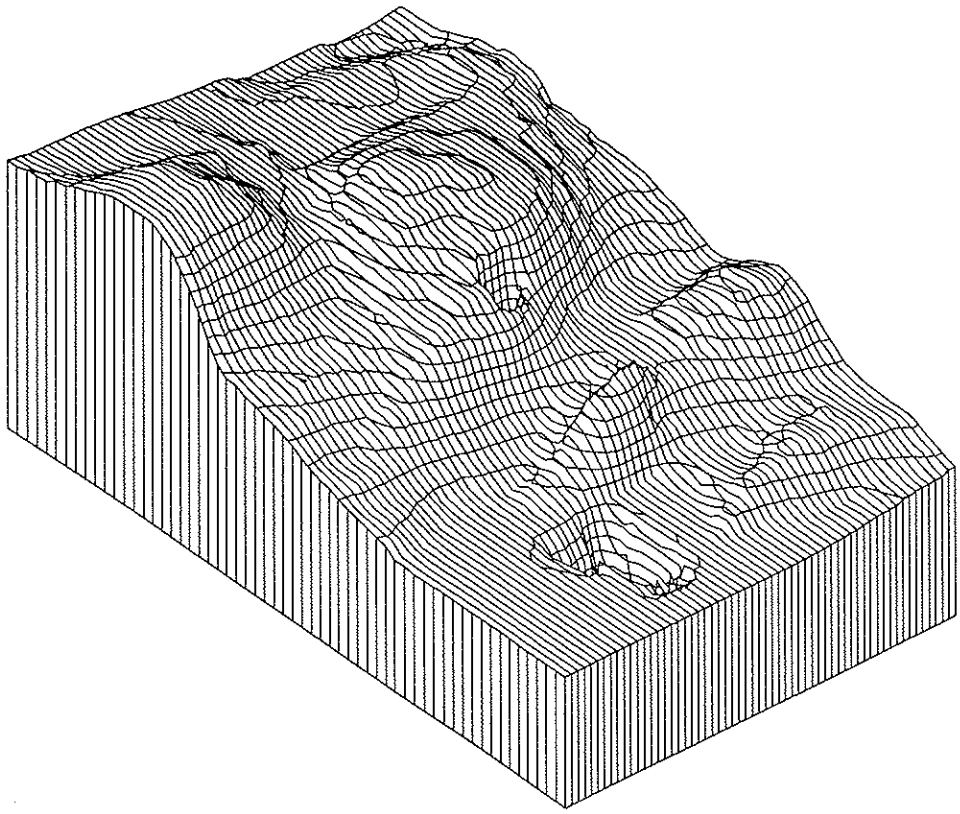
För att kunna studera grundvattensystemet i undersökningsområdet har en grundvattenmodell upprättats. Den modellkod som utnyttjats är en finit element modell, Golder Groundwater Computer Package, utvecklad av Golder Asociates (Golder Associates, 1983). Modellen kan simulera stationär och icke stationär grundvattenströmning i tre dimensioner, samt transport av vattenlösliga föroreningar.

Modellarbetet inleds med att en begreppsmässig modell skapas. Den begreppsmässiga modellen är en generaliserad beskrivning av hur grundvattensystemet fungerar. Baserad på den begreppsmässiga modellen upprättas därefter den numeriska modell.

8.1 Begreppsmässig modell - numerisk modell

Allmänt

Undersökningsområdets högsta punkt är belägen centralt på File Hajdar. Väster om denna punkt sjunker marknivån ned mot Tingstäde Träsk, och österut avtar den ned mot Östersjön (Figur 8.1). Markytans topografi har använts i den upprättade grundvattenmodellen som en övre begränsning av de vattenförande lagren.



Figur 8.1 Perspektivbild över markytans topografi.

Grundvattenmodellen begränsas areellt av identifierade hydrauliska gränser, och dess utbredning är i öst-västlig riktning ca 12 000 m och i nord-sydlig riktning ca 8 000 m. De i modellen definierade lagren stupar ca 0.2 grader mot öster. Varje lager definieras av 1426 noder och 1350 element (Appendix K:1), vilket totalt ger 5 704 noder och 5 400 element.

Vertikal indelning i olika lager.

Totalt har fem horisontella vattenförande lager observerats på File Hajdar (Appendix G). Mellan dessa markerade lager förekommer en betydligt tätare bergmassa. I grundvattenmodellen har fyra horisontella lager definierats enligt:

Lager 1 består både av det tolkade vattenförande lagret 1 samt av bergmassan ned till lager 2.

Lager 2 och 3 motsvarar de tolkade vattenförande lagren 2 och 3.

Lager 4 motsvarar de tolkade vattenförande lagren 4 och 5, och ligger på samma nivå som det tolkade lagret 4.

Det vertikala flödet mellan de tolkade horisontella lagren sker via vertikala sprickzoner. Dessa sprickzoner är dock inte definierade i modellen, utan det vertikala flödet antas ske genom en homogent genomsläpplig bergmassa.

Hydrauliska gränser

Undersökningsområdet är beläget mellan Tingstäde Träsk i väster och kustlinjen i öster. Kustlinjen är en hydraulisk gräns i samtliga delar av grundvattensystemet, medan Tingstäde Träsk endast är en hydraulisk gräns i de övre delarna av grundvattensystemet. Norr och söder om File Hajdar förekommer inga tydliga hydrauliska gränser. Den övre hydrauliska gränsen är markytan, medan den undre hudrauliska gränsen utgörs av gränsskiktet mellen sött och salt grundvatten.

Följande hydrauliska gränser är definierade i de olika lagren i grundvattenmodellen (Appendix K:1).

Lager 1:

- Kustlinjen utgör grundvattenmodellens östra begränsning. Grundvattentrycket utmed kustlinjen är givet till +0 m ö.h.
- Tingstäde Träsk är definierat som en gräns med trycket specificerat till +44.8 m ö.h.
- Vattendragen som strömmar till Tingstäde Träsk från söder och från Tingstäde Träsk mot norr är definierade som gränser, med vattendragets nivå som ett givet tryck.

- Norr och söder om undersökningsområdet har toppografiska vattendelare identifierats från kartmaterial. Dessa topografiska vattendelare har utnyttjats som hydrauliska gränser genom att de har definierats som grundvattendelare.

- Den övre begränsningen av modellen i lager 1 utgörs av markytan.

Lager 2, 3 och 4:

- Kustlinjen är definierad som en hydraulisk gräns i öster med det givna trycket +0 m ö.h.

- De övriga gränserna är definierade som grundvattendelare. Detta betyder att dessa lager endast kan erhålla grundvatten via vertikalt flöde från ovanför liggande lager.

- Den undre begränsningen av modellen sammanfaller med den undre begränsningen av det tolkade vattenförande lagret 4.

Grundvattenbildning

Det modellerade området har delats upp i olika delområden beroende på typ av jordart. Grundvattenbildningen inom de olika delområdena baseras på vattenbalansberäkningarna för undersökningsområdet (se kapitel 4).

Grundvattenmodellen är indelad i två delområden:

- Områden med ett tjockare jordtäcke, huvudsakligen beväxta med skog. Dessa områden benämns i vattenbalansberäkningarna som morän-märgel (Figur 3.1).

- Områden med ett tunnt jordtäcke, huvudsakligen beväxta med mindre utvecklad vegetation. Dessa områden benämns i vattenbalansberäkningarna som vittringsjord (Figur 3.1)

Den beräknade grundvattenbildningen för respektive område har i modellen definierats som potentiell grundvattenbildning. Detta innebär att hela den potentiella grundvattenbildningen infiltrerar och bildar grundvatten i områden där grundvattennivån är lägre än marknivån. Om grundvattennivån ligger i markytan sker ingen grundvattenbildning, utan istället avrinner den potentiella grundvattenbildningen som ytvatten.

Hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten och transmissiviteten för de olika vattenförande lagren samt för bergmassan mellan lagren har beräknats utifrån utförda hydraultester (se kapitel 5.3).

De fyra olika lagren i grundvattenmodellen har tilldelats hudrauliska egenskaper enligt dessa beräkningar. I Appendix K:2 redovisas de i modellen definierade

lagrens nivå i förhållande till dagbrotten samt konduktivitetsvärdena som tilldelats de olika hydrauliska enheterna (vattenförande lager och bergmassa). Nedan ges även en redogörelse för antagna konduktivitetsvärden i respektive hydraulisk enhet.

Lager 1. Lager 1 inkluderar både bergmassa och ett tolkat vattenförande lager. Konduktivitetsvärdet för detta lager är därför ett integrerat värde för dessa båda enheter. Lager 1 har tilldelats konduktiviteten $1.5 * 10^{-5}$ m/s, vilket endast gäller för grundvattenflöde i horisontalplanet.

Lager 2. Lager 2 är identiskt med det tolkade vattenförande lagret 2. Lagret har tilldelats transmissiviteten $7.7*10^{-5}$ m²/s.

Lager 3. Lager 3 är identiskt med det tolkade vattenförande lagret 3. Lagret har tilldelats transmissiviteten $7.7*10^{-5}$ m²/s.

Lager 4. Lager 4 representerar de två tolkade vattenförande lagren 4 och 5. Transmissiviteten för detta lager är därför summan av de båda tolkade lagrens transmissivitet. Lagret har givits transmissiviteten $4.4*10^{-3}$ m²/s.

I grundvattenmodellen är bergmassan mellan de olika lagren definierad på ett sådant sätt att endast vertikalt grundvattenflöde kan ske mellan lagren. Den vertikala hydrauliska konduktiviteten i de olika enheterna har definierats enligt:

Lager 1 och bergmassan mellan lager 2 och lager 3 antas ha en vertikal konduktivitet av $9.3*10^{-9}$ m/s.

Bergmassan mellan lager 3 och lager 4 antas ha en vertikal konduktivitet av $9.2*10^{-10}$ m/s

Krosszonen öster om File Hajdar

I grundvattenmodellen är krosszonen definierad som ett område med större genomsläpplighet. Krosszonen sträcker sig vertikalt genom alla lagren, och dess horisontella utbredningen är i öst-västlig riktning c:a 500 m och i nord-sydlig riktning c:a 6000 m (Appendix K:1). Inom krosszonen har lager 1 tilldelats konduktivitetsvärdet $2.0*10^{-4}$ m/s, lager 2 och 3 har tilldelats transmissiviteten $2.0*10^{-4}$ m²/s och lager 4 har tilldelats transmissiviteten $4.4*10^{-3}$ m²/s. Bergmassan mellan lagren har, inom krosszonen, tilldelats konduktivitetsvärdet $1.0*10^{-5}$ m/s.

Vattentäkterna öster om File Hajdar

Slite komuns vattentäkter ligger öster om File Hajdar, i den ovan nämnda krosszonen. I grundvattenmodellen har brunnarna antagits penetrera alla vattenförande lager. Vattentäkternas placering i grundvattenmodellen framgår av Appendix K:1.

Vattendrag

Vattendragen som förekommer inom undersökningsområdet har huvudsakligen sitt ursprung i området. Undantaget utgörs av Spillingsån som strömmar in i undersökningsområdet från norr.

Grundvattenmodellen genererar vattendragen utifrån topografiska betingelser och den beräknade grundvattennivån. Detta gör att modellen korrekt kan simulera interaktionen mellan vattendragen och grundvattensystemet. Om förutsättningar finns, genom en riklig grundvattenbildning, genererar modellen vattendrag i topografiska lågpunkter. Vid en mindre grundvattenbildning minskar flödet i vattendragen och under torrperioder kan vattendragen vara helt torra.

Dagbrotten

Två stora dagbrott förekommer inom undersökningsområdet: Västra brottet beläget vid Slite och dagbrottet på File Hajdar. Dagbrottens placering i grundvattenmodellen framgår av Appendix K:1.

8.2 Kalibrering

Grundvattenmodellen har kalibrerats mot stationära förhållanden under 1990. Kalibreringen sker genom att variera hydraulisk konduktivitet och transmissivitet i de olika definierade strukturerna. Detta pågår till de av modellen beräknade grundvattentrycken och flödena överensstämmer med en generalliserad bild av kända nivåer och flöden. De slutgiltigt valda värdena presenterades i kapitel 8.1.

Av Appendix K:1 framgår den nuvarande utbredningen av Västra brottet samt dagbrottet på File Hajdar. Grundvattenmodellen har kalibrerats och validerats för den nuvarande utbredningen av dagbrotten. Dagbrottet på File Hajdar har definierats med en basnivå på +20 m ö.h, medan Västra brottet har definierats med en basnivå på -26 m över havet. Detta betyder att Västra brottet skär igenom alla de i grundvattenmodellen definierade lagren.

Modellen har kalibrerats stationärt mot de vattenvolymer som uppfordras ur det nuvarande dagbrottet på file Hajdar. Dessa vattenvolymer har antagits vara desamma som inflödet till dagbrottet. Dessutom har modellen kalibrerats mot uppmätta grundvattennivåer, både i observationsrören på File Hajdar samt mot nivåerna i produktionsbrunnarna i Slite kommuns vattentäkt. Kalibreringen har utförts för år 1990, med anledning av att de, ur dagbrottet, uppfordrade vattenmängderna under detta år är mätta månadsvis.

Under 1990 uppfodrades 423 522 m^3 ur dagbrottet på File Hajdar. Grundvattenbildningen var under denna period 386 mm/år för moränmägeln och 375 mm/år för vittringsjorden. Uttaget ur vattentäkten var under samma period 397655 m^3/år.

För 1990 beräknar modellen, under stationära förhållanden, ett inflöde till dagbrottet på File Hajdar som är 421 257 m^3, vilket är en underskattning av ca 0.5%. De av modellen, under dessa förutsättningar beräknade grundvattennivåerna, representerar ett medelvärde av de fluktuerande grundvattennivåerna under 1990

och kan inte direkt jämföras med de uppmätta nivåer.

Förändringar i de uppmätta grundvattennivåerna på File Hajdar sker fort. Detta visar på att systemet snabbt ställer om sig då grundvattenbildningen förändras. Den från vattenbalansen beräknade grundvattenbildningen är baserad på uppmätt nederbörd per månad. Detta betyder att en kortare tidsperiod än en månad inte kan modelleras. Eftersom grunvattensystemet snabbt ställer om sig är "eftersläpningen" i tryck och flöden från en tidsperiod till nästa troligen mycket liten. Därför kan en enskild månad modelleras stationärt utan att ett stort fel introduceras i de beräknade flödesmängderna.

Grundvattensystemet på File Hajdar svänger mellan två situationer, antingen en lågvattensituation eller en högvattensituation. För att validera kalibreringen har en högvatten- och en lågvattensituation modellerats.

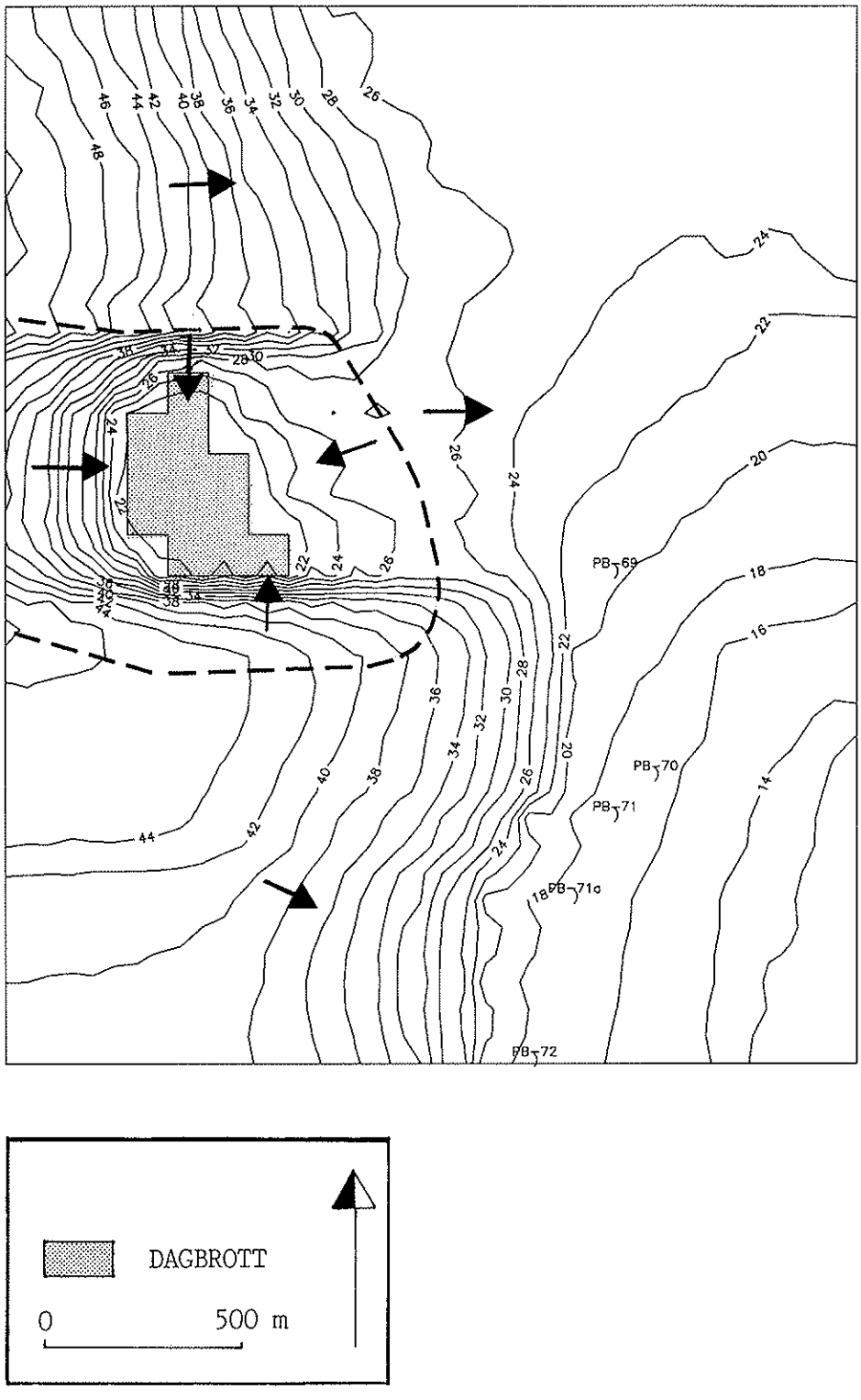
8.3 Validering

8.3.1 Stationära förhållanden under högvatten 1990

För att studera ett högvattentillfälle har modellen använts för att beräkna nivåer och flöden under januari 1990. Under denna månad var grundvattenbildningen 86 mm för både moränmägeln och vittringsjorden. Ur vattentäkten pumpades 33372 m^3 och ur dagbrottet uppfordrades 79038 m^3.

För januari 1990 beräknar modellen, under stationära förhållanden, ett inflöde till dagbrottet på File Hajdar som är 62548 m^3. De av modellen, under dessa förutsättningar beräknade grundvattennivåerna, representerar ett medelvärde av de fluktuerande grundvattennivåerna under denna tidsperiod. Appendix K:3 visar de beräknade grundvattennivåerna och utbredningen av utströmningsområden under ett högvattentillfälle. I utströmningsområdena strömmar grundvatten ut från grundvattensystemet och bildar ytvatten. I Appendix K:4 visas de beräknade piezometriska trycken i lager 4. Tryckdifferansen mellan grundvattennivån och det piezometriska trycket i lager 4 visar hur grundvattnet strömmar i vertikal led (Appendix K:5); negativa tryck indikerar att grundvattnet strömmar nedåt i systemet, positiva tryck indikerar att grundvattnet strömmar uppåt i systemet.

Figur 8.2 visar de beräknade grundvattennivåerna i området kring dagbrottet på File Hajdar under högvattensituationen. Dagbrottet avsänker grundvattennivåerna i dess närhet och skapar en grundvattendelare mellan dagbrottet och vattentäktsområdet.



Figur 8.2 Beräknade grundvattennivåer (m ö.h.) vid dagbrottet på File hajdar under en högvattensituation (januari 1990).
— — Grundvattendelare
← Strömningsriktning

8.3.2 Stationära förhållanden under lågvatten 1990

För att studera ett lågvattentillfälle har modellen använts för att beräkna nivåer och flöden under juli 1990. Under denna månad var grundvattenbildningen 0 mm för både moränmägeln och vittringsjorden. Grundvattenttaget från vattentäkten var 37578 m^3 och ur dagbrottet uppfordrades 11412 m^3.

För juli 1990 beräknar modellen, under stationära förhållanden, ett inflöde till dagbrottet på File Hajdar som är 0 m^3. De av modellen, under dessa förutsättningar beräknade grundvattennivåerna, representerar ett medelvärde av de fluktuerande grundvattennivåerna under denna tidsperiod. Under lågvattentillfället avtar de beräknade grundvattennivåerna från Tingstäde Träsk ner mot havet, och inga större utsrömningsområden förekommer (förutom västra brottet) (Appendix K:6). De beräknade piezometriska trycken i lager 4 ligger lägre än i det översta lagret (Appendix K:7). Tryckdifferensen mellan grundvattennivån och det piezometriska trycket i lager 4 visar att grundvattnet strömmar från de övre liggande lagren ner till lager 4 i området väster om dagbrottet på File Hajdar och Tingstäde Träsk (Appendix K:8).

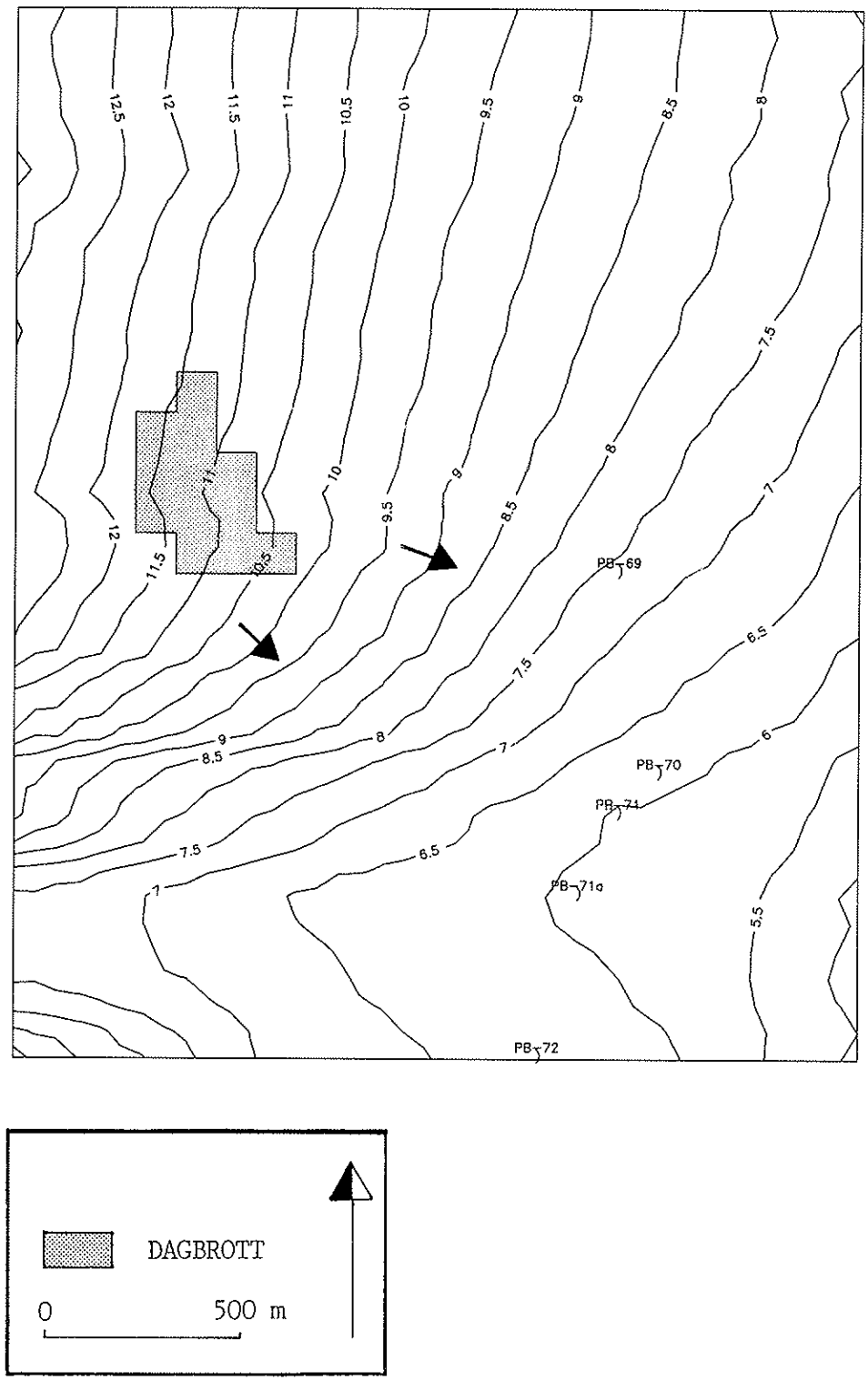
Figur 8.3 visar de beräknade grundvattennivåerna i området kring dagbrottet på File Hajdar vid lågvattensituationen. Dagbrottet påverkar inte grundvattennivåerna under lågvattensituationen, då grundvattennivåerna kring dagbrottet på File Hajdar är lägre än botten på dagbrottet.

8.4 Analys av kalibrering och validering

Den av grundvattenmodellen beräknade grundvattennivån i en punkt, kan avika med flera meter från den verkligt uppmätta nivån. Detta beror av flera orsaker, där huvudorsaken är att modellen behandlar undersökningsområdet som ett poröst medium i vilket flödet sker i homogent definierade lager. Grundvattenflödet i undersökningsområdet sker i verkligheten i diskreta sprickor. Detta betyder att grundvattennivån i ett observationsrör beror av vilka sprickor röret genomskär. Stora skillnader i grundvattennivåer mellan närliggande rör är fullt normalt. I grundvattenmodellen definieras de tolkade vattenförande lagren som homogena lager. Mångfalden av lokala sprickor mellan de vattenförande lagren ersätts med ett integrerat värde som representerar lager och bergmassa. Dessa generalliseringar gör att modellen inte exakt kan avbilda de lokala förhållanden som ger upphov till grundvattennivån i ett specifikt observationsrör. De beräknade grundvattennivåerna är dessutom medelvärden för tidsperioden en månad, medan de uppmätta värdena endast representerar ett enstaka mättillfälle. De uppmätta grundvattennivåerna visar dessutom stora nivåförändringar under tidsperioder betydligt kortare än en månad.

Dessa orsaker gör att en direkt jämförelse ej kan göras mellan beräknade nivåer och i enstaka rör uppmätta nivåer. En värdering av kalibreringen bör istället grundas på en jämförelse av beräknade och uppmätta flöden, samt en jämförelse av beräknade och uppmätta tryckförändringar i grundvattensystemet.

Skillnaderna mellan de uppmätta och beräknade flödena är relativt små. Modellen kalibrerades mot år 1990, då den erhållna avikelsen mellan ur dagbrottet upp-



Figur 8.3 Beräknade grundvattennivåer (m ö.h.) vid dagbrottet på File hajdar under en lågvattensituation (juli 1990).
← Strömningsriktning

fordrad vattenvolym och av modellen beräknat inflöde är 0.5%. Denna kalibrering validerades genom att en låg- och en högvattensituation simulerades.

För högvattensituationen erhölls en avvikelsen på 21% mellan uppmätt pumpad vattenvolym från dagbrottet och beräknat inflöde.

Under lågvattensituationen pumpades 11412 m^3, vilket motsvarar nederbörden som föll över dagbrotten under den studerade tidsperioden. Detta antyder att inflödet av grundvatten till dagbrottet var försumbart. Modellen beräknar grundvatteninflödet till dagbrottet till noll, vilket således väl överensstämmer med detta resonemag.

Vattennivån i observationsrören på File Hajdar beror av trycket och transmissiviteten i de vattenförande lagren som rören genomskär. Detta betyder att vattennivån i ett rör kan vara betydligt lägre än det piezometriska trycket i vissa av lagren, om röret också genomskär andra lager vars piezometriska tryck är lägre och vars transmissivitet är större än de förstnämnda legrens. I grundvattenmodellen är fyra lager definierade. Vid en jämförelse mellan uppmätta och beräknade vattennivåer i ett observationsrör, är det därför viktigt att identifiera vilka lager som observationsröret genomskär. Det av grundvattenmodellen beräknade värdet, som skall representera vattennivån i ett observationsrör, är definierat som det aritmetriska medelvärdet av de piezometriska trycken i varje lager som röret genomskär. Denna metod tar ingen hänsyn till lagrens transmissivitet. Generellt kan sägas att eftersom det mest genomsläppliga lagret i grundvattenmodellen också är det understa lagret, överskattar denna metod vattennivån i rören då den vertikala gradienten är nedåtriktad, och underskattar trycken då den vertikala gradienten är uppåtriktad.

För att med hjälp av ett observationsrör mäta det piezometriska trycket i ett specifikt lager, erfodras att kommunikationen mellan olika lager via observationsröret förhindras. Detta sker normalt genom att en sektion av röret isoleras med hjälp av manschetter. Ett observationsrör, nummer 94, är avmanschetterat på nivån +8.11 m ö.h. (se kapitel 5.2). Trycket under manschetten kan sägas representera ett integrerat värde för de piezometriska trycken i de tolkade lagren 4 och 5 och trycket över manschetten kan sägas representera ett integrerat värde för de högre liggande lagren (Appendix:G). Tryckdifferensen över manschetten är ett mått på den vertikala gradienten.

För det studerade högvattentillfället är den uppmätta tryckdifferensen över manschetten i obsevationsrör 94 lika med 20.6 m. Grundvattenmodellen beräknar också tryckdifferansen till 20.6 m (Appendix K:5). För det studerade lågvattentillfället är den uppmätta tryckdifferensen över manschetten i obsevationsrör 94 lika med 16.8 m, medan grundvattenmodellen beräknar tryckdifferansen till 0.2 m (Appendix K:8). En orsak till att modellen underskattar tryckdifferansen, under lågvattentillfället, är att modellen består av ett begränsat antal lager, vilket innebär att modellen har en definierad bottennivå. Detta dämpar tryckfallet i de understa lagren vilket kan förorsaka den underskattade tryckdifferansen.

Avvikelsen mellan de uppmätta vattennivåerna i nio observationsrör på File Hajdar och de av modellen beräknade vattennivåerna varierar från några cen-

timeter till åtskilliga meter (Tabell 8.1). Det aritmetriska medelvärdet av avikelserna är för högvattensituationen +5.3 m, och för lågvattensituationen -0.8 m.

De uppmätta förändringarna i vattennivå, varierar mellan 10 m och 29 m, med ett aritmetriskt medelvärde av 19.4 m. Grundvattenmodellen beräknar förändringarna i vattennivå till mellan 9 m och 34 m, med ett aritmetriskt medelvärde av 25.5 m.

Resultatet av den stationära kalibreringen visar att den upprättade grundvattenmodellen är en acceptabel generalisering av grundvattensystemet inom undersökningsområdet.

Tabell 8.1 Avikelsen mellan uppmätta och beräknade vattennivåer i nio observationsrör på File Hajdar för hög- och lågvattensituationen, samt uppmätt och beräknad förändring av vattennivån i rören mellan hög- och lågvattensituationen.

Obs.rör	Avikelse vid högvatten (m)	Avikelse vid lågvatten (m)	Förändring av uppmätta nivåer (m)	Förändring av beräknade nivåer (m)
1	-4.7	-12.4	15.2	22.9
39	-1.4	-6.0	28.7	33.3
87	-5.0	-21.7	9.9	26.6
86	-0.8	0.4	29.0	27.8
94t	12.3	1.1	22.6	33.8
94f	12.4	17.7	18.8	13.4
84	10.9	0.2	15.6	26.3
85	10.3	0.0	14.6	24.9
80	13.6	13.5	20.6	20.72
Medelvärde	5.3	-0.8	19.4	25.5

8.5 Simulering av framtida brytningsförhållanden

I dessa modellsimuleringar studeras hur ett utökat dagbrott på File Hajdar påverkar grundvattentryck och grundvattenflöden i dagbrottets omgivningar. Simuleringar utförs dels för en högvattensituation och dels för en lågavattensituation. Som exempel på en högvattensituation och en lågvattensituation har valts att simulera de förhållanden som rådde under januari 1990 respektive juli 1990, dvs samma tidsperioder som användes vid valideringen av grundvattenmodellen. Under dessa simuleringar används således samma grundvattenbildning och samma grundvattenuttag ur vattentäkten som under de tidigare simuleringarna.

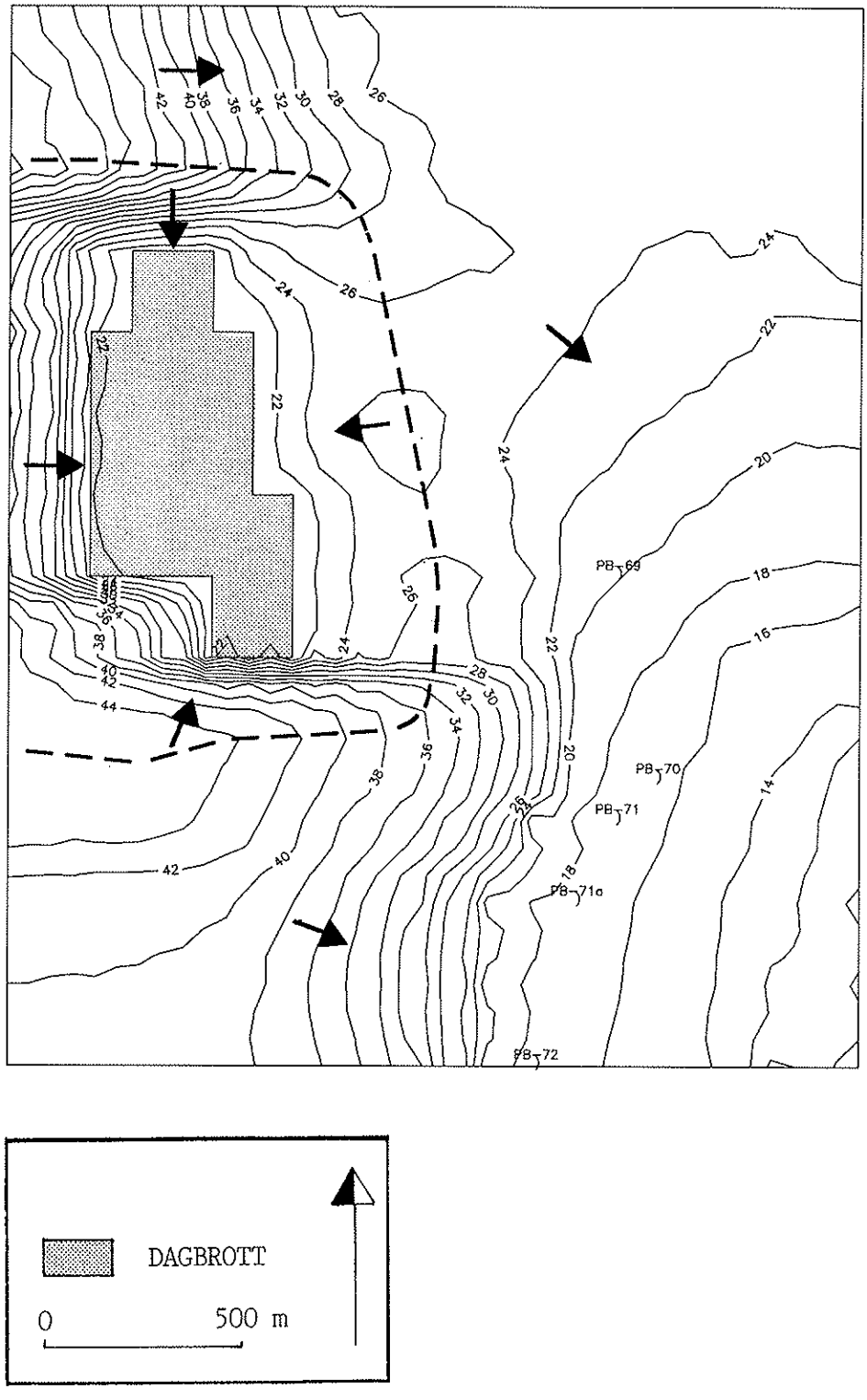
Den framtida utbredningen av Västra brottet samt dagbrottet på File Hajdar, som använts vid modellsimuleringarna, visas i Appendix K:1. Dagbrottet på File Hajdar har definierats med en basnivå på +20 m över havet, medan Västra brottet har definierats med en basnivå på -26 m över havet. Detta betyder att Västra brottet skär igenom alla de i grundvattenmodellen definierade lagren.

8.5.1 Högvattensituation

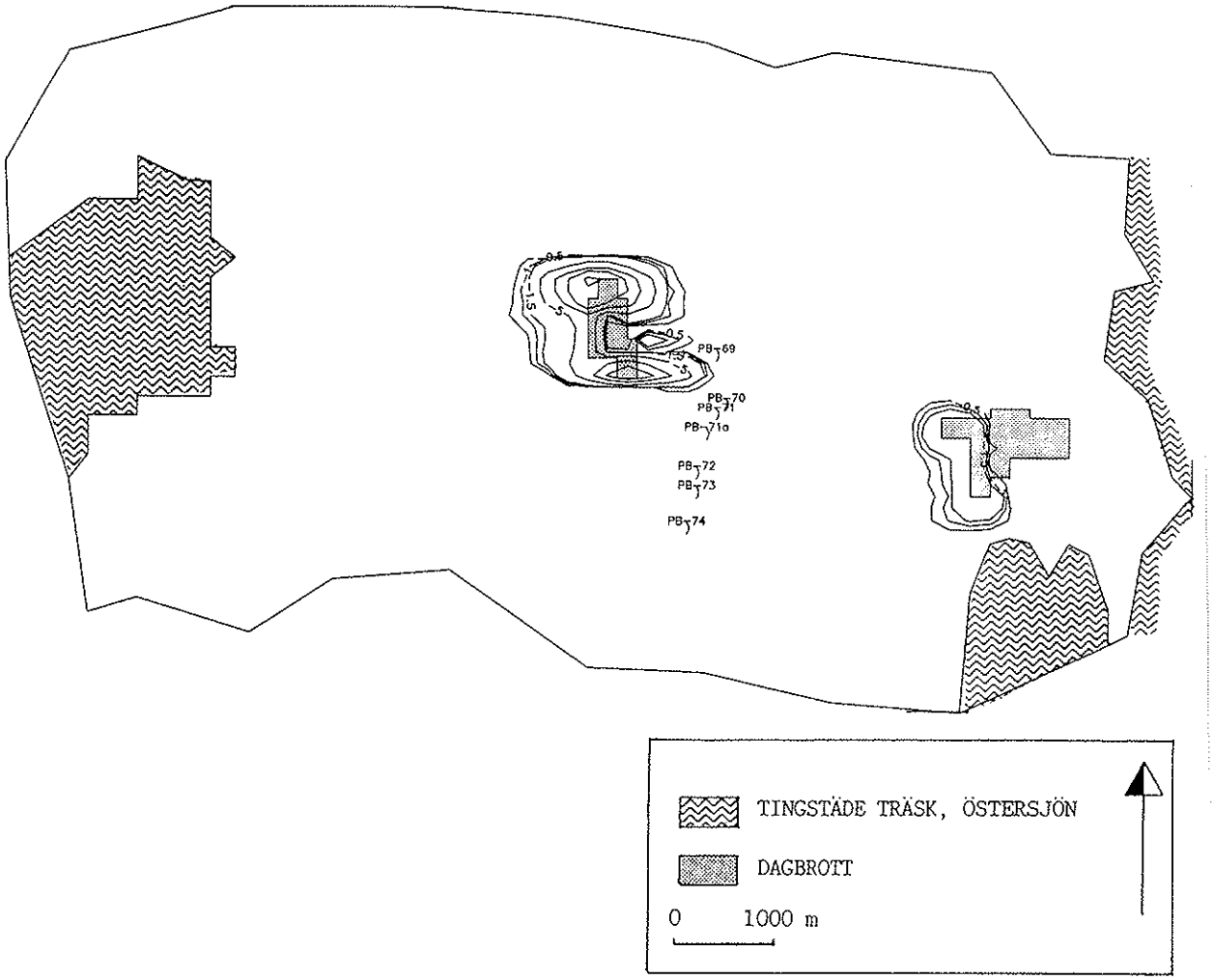
Under högvattensituationen medför det utökade dagbrottet på File Hajdar att grundvattennivån avsänks till mellan +22 och +20 m ö.h. över en motsvarande större area (Appendix L:1). Detta förorsakar ett beräknat inflöde av grundvatten till dagbrottet som uppgår till 122950 m^3/månad. I jämförelse med simuleringen av den nuvarande utbredningen av dagbrottet erhålles en ökning av inflödet med 97%. De beräknade piezometriska trycken i lager 4 är i stort desamma som vid den nuvarande utbredningen (Appendix L:2).

Dagbrottet på File Hajdar avsänker grundvattennivåerna under högvattensituationen och skapar en grundvattendelare mellan dagbrottet och vattentäktsområdet (Figur 8.4). En jämförelse mellan simulerade grundvattennivåer samt piezometriska tryck i lager 4 under nuvarande förhållanden och vid utökad verksamhet på File Hajdar och i Västra brottet visas i Figurerna 8.5 och 8.6. En avsänkning av grundvattennivån uppkommer kring båda dagbrotten, huvudsakligen begränsad till dagbrottens nära omgivningar. Detta beror på den låga genomsläppligheten hos bergmassan i kombination med den goda vattentillgången under en högvattensituation, vilket medför att grundvattennivån ligger i markytan inom stora delar av området. Dagbrotten dränerar inte så mycket att det uppkommer en brist på infiltrerande vatten, förutom i omedelbar närhet till brotten. Detta medför att grundvattennivån kommer att ligga i markytan förutom i närområdet.

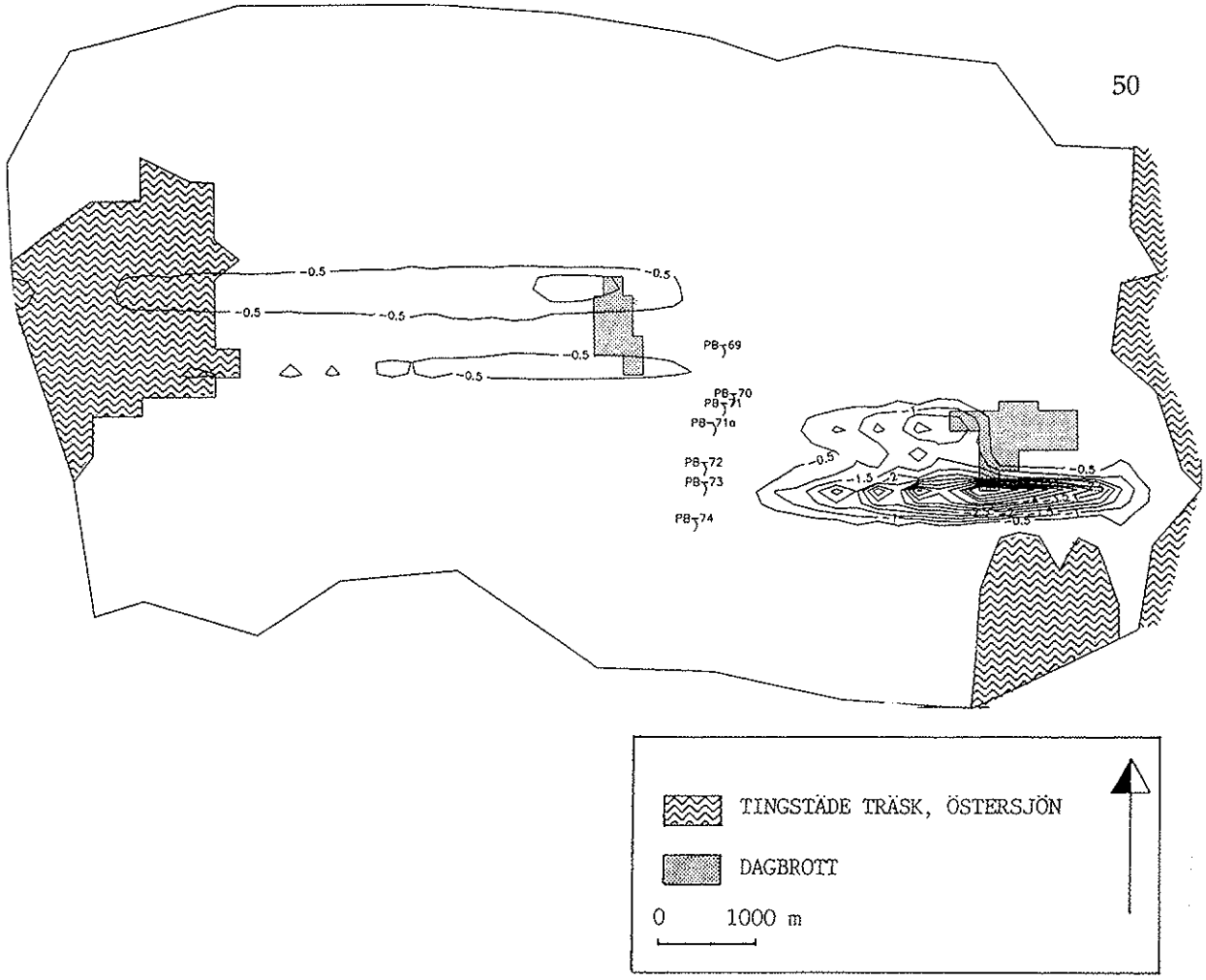
Avsänkningen i piezometriskt tryck i lager 4 har en större utbredning än avsänkningen i grundvattennivå. Detta beror troligen på att infiltrationen till djupare lager är i stort densamma, medan inflödet till dagbrotten ökar.



Figur 8.4 Beräknade grundvattennivåer (m ö.h.) vid dagbrottet på File hajdar vid utökad verksamhet under en högvattensituation (januari 1990).
— — Grundvattendelare
← Strömningsriktning



Figur 8.5 Jämförelse av grundvattennivåer mellan en utökad och nuvarande verksamhet vid en högvattensituation.

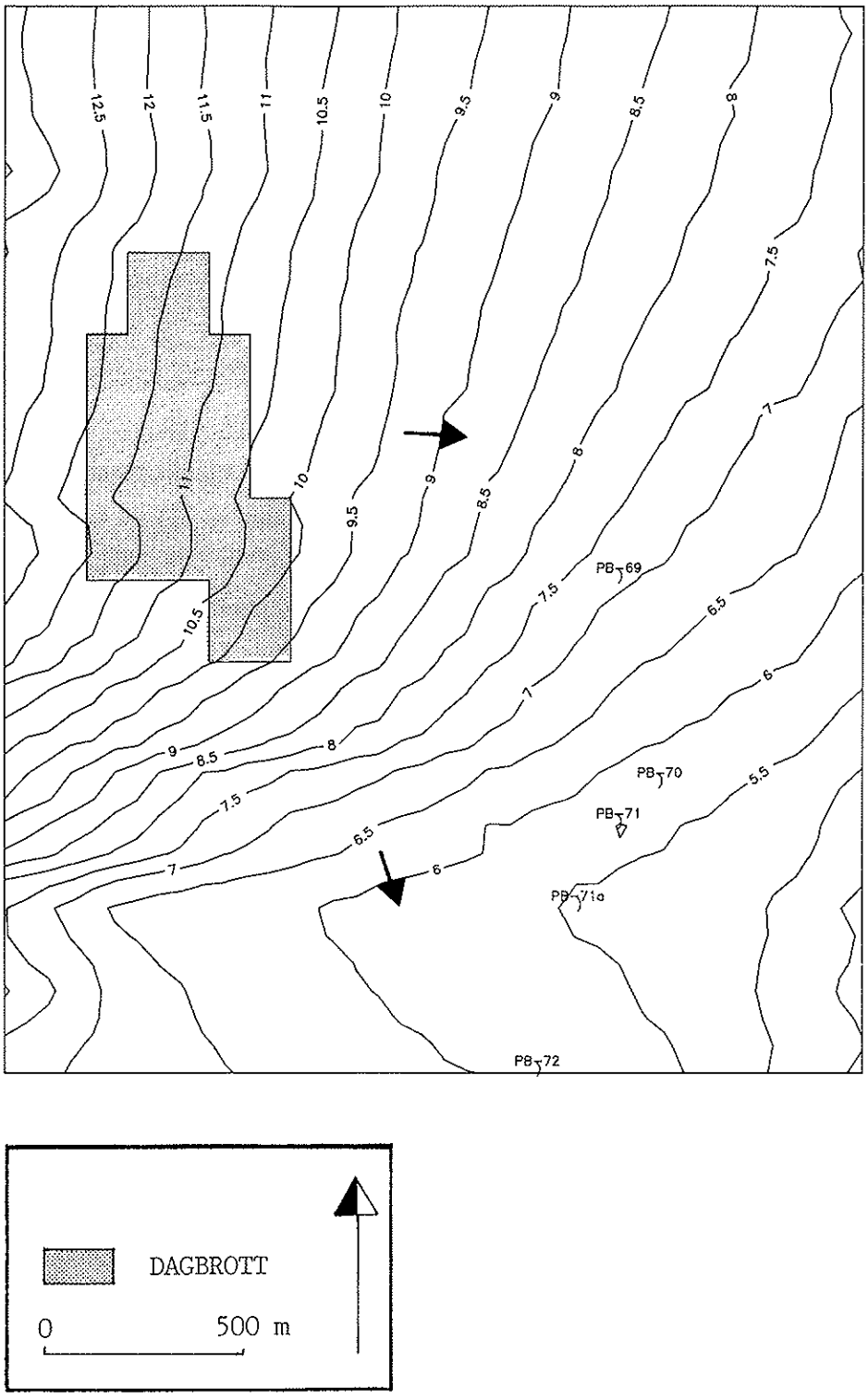


Figur 8.6 Jämförelse av piezometriska tryck i lager 4 mellan en utökad och nuvarande verksamhet vid en högvattensituation.

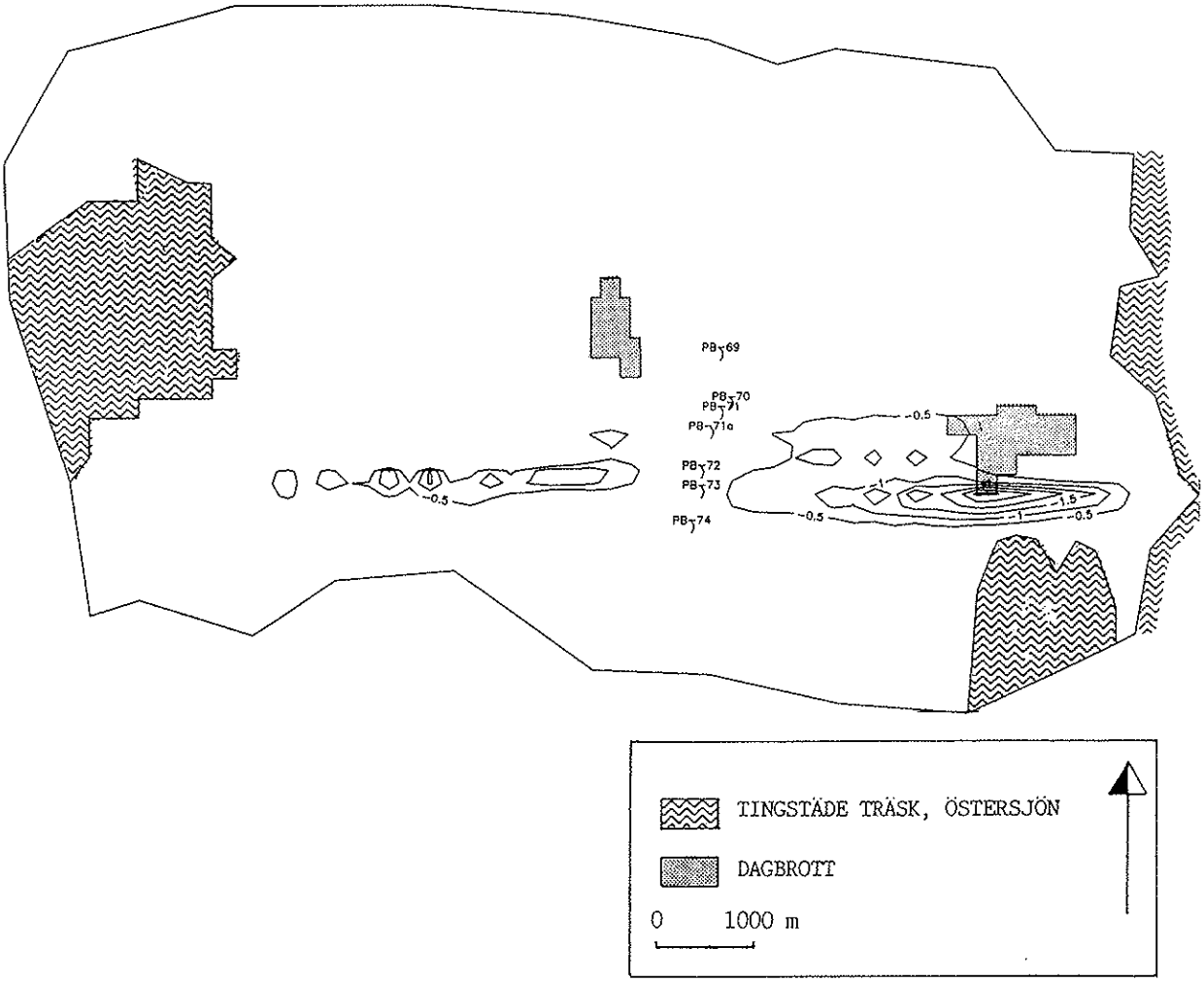
8.5.2 Lågvattensituation

Under lågvattensituationen påverkar inte det utökade dagbrottet på File Hajdar grundvattennivån eftersom grundvattennivåerna kring dagbrottet är lägre än bottennivåerna på det utökade dagbrottet (Appendix L:3). Därför sker heller inget inläckage av grundvatten till dagbrottet. De beräknade piezometriska trycken i lager 4 visas i Appendix L:4. Utströmningsområden föreligger endast i anslutning till Västra brottet, som dränerar de djupare liggande vattenförande lagren.

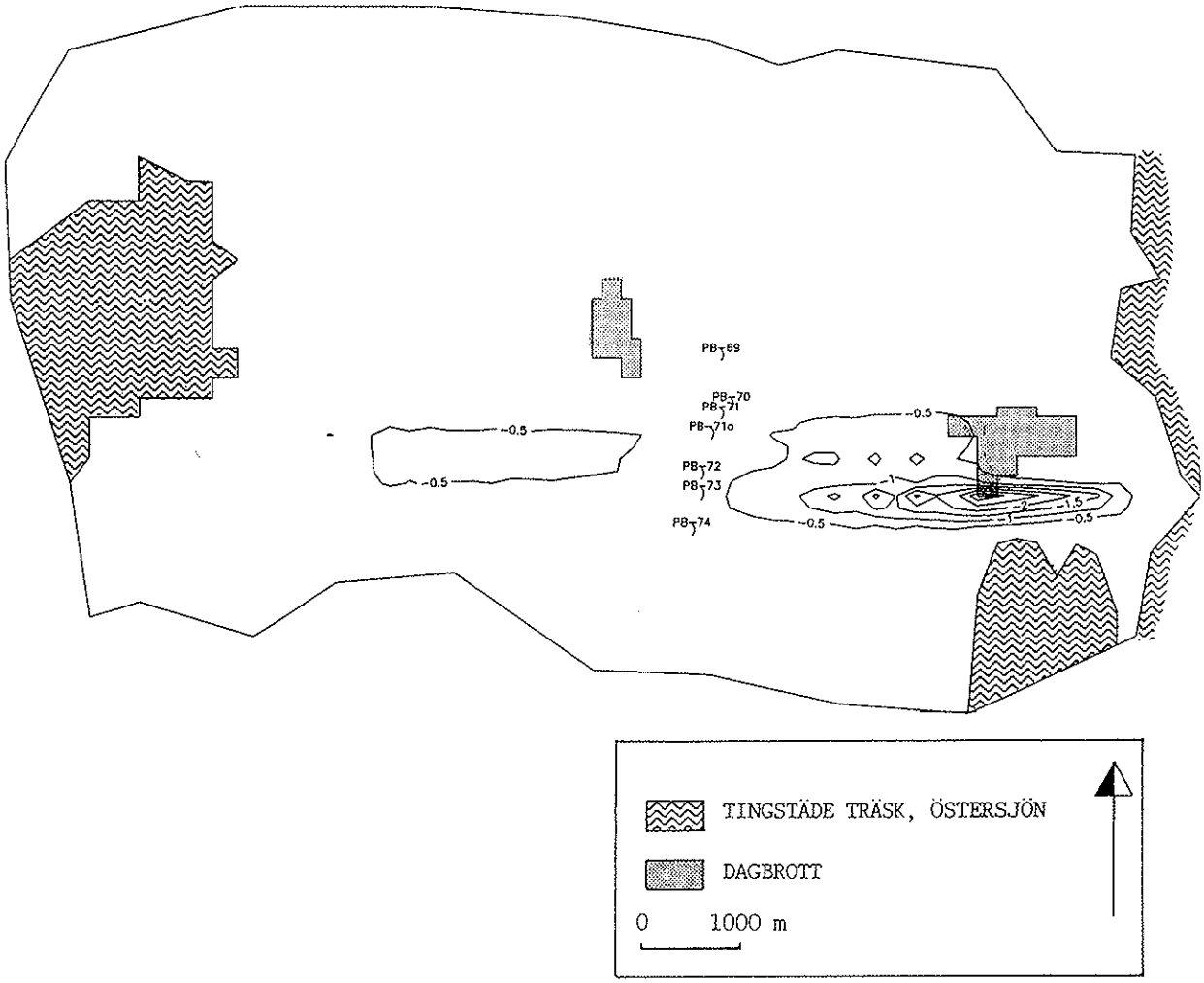
Dagbrottet på File Hajdar påverkar inte grundvattennivåerna under lågvattensituationen (Figur 8.7). En jämförelse mellan simulerade grundvattennivåer samt piezometriska tryck i lager 4 under nuvarande förhållanden samt vid utökad verksamhet visas i Figurerna 8.8 och 8.9. Förändringar i grundvattennivån sker endast som en effekt av Västra brottet (Figur 8.8). Den genererade avsänkningen av grundvattennivån sträcker sig mot väster i dalgången mellan File Hajdar och Hejnum Hällar. Avsänkningen är mindre i krosszonen, vilket är förorsakat av att denna har en högre hydraulisk konduktivitet än omgivningen. Avsänkningen av det piezometriska trycket i lager 4 sker på ett likartat sätt som avsänkningen av grundvattennivån (Figur 8.9).



Figur 8.7 Beräknade grundvattennivåer (m ö.h.) vid dagbrottet på File hajdar vid utökad verksamhet under en lågvattensituation (juli 1990).
← Strömningsriktning



Figur 8.8 Jämförelse av grundvattennivåer mellan en utökad och nuvarande verksamhet vid en lågvattensituation.



Figur 8.9 Jämförelse av piezometriska tryck i lager 4 mellan en utökad och nuvarande verksamhet vid en lågvattensituation.

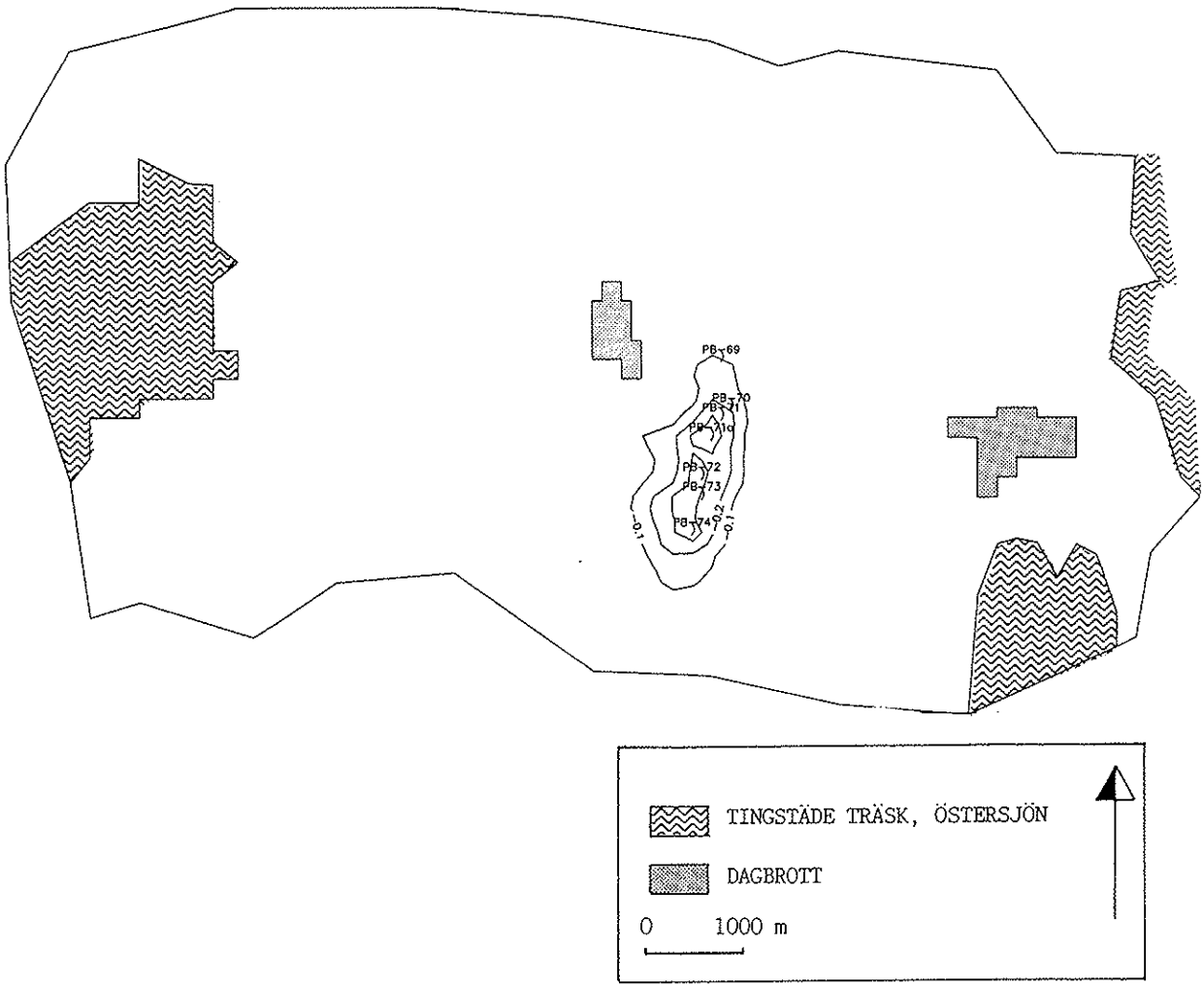
8.6 Simulering av ökat uttag i Slite vattentäkt

I dessa modellsimuleringar studeras hur ett ökat vattenuttag i Slite vattentäkt påverkar grundvattentryck och grundvattenflöden i dagbrottets omgivningar. Simuleringar utförs dels för en högvattensituation och dels för en lågavattensituation. Som exempel på en högvattensituation och en lågvattensituation har valts att simulera de förhållanden som rådde under januari 1990 respektive juli 1990, dvs samma tidsperioder som användes vid valideringen av grundvattenmodellen. Under dessa simuleringar används således samma grundvattenbildning som under de tidigare simuleringarna. Dagbrottens begränsning har definierats vid den utökade verksamheten.

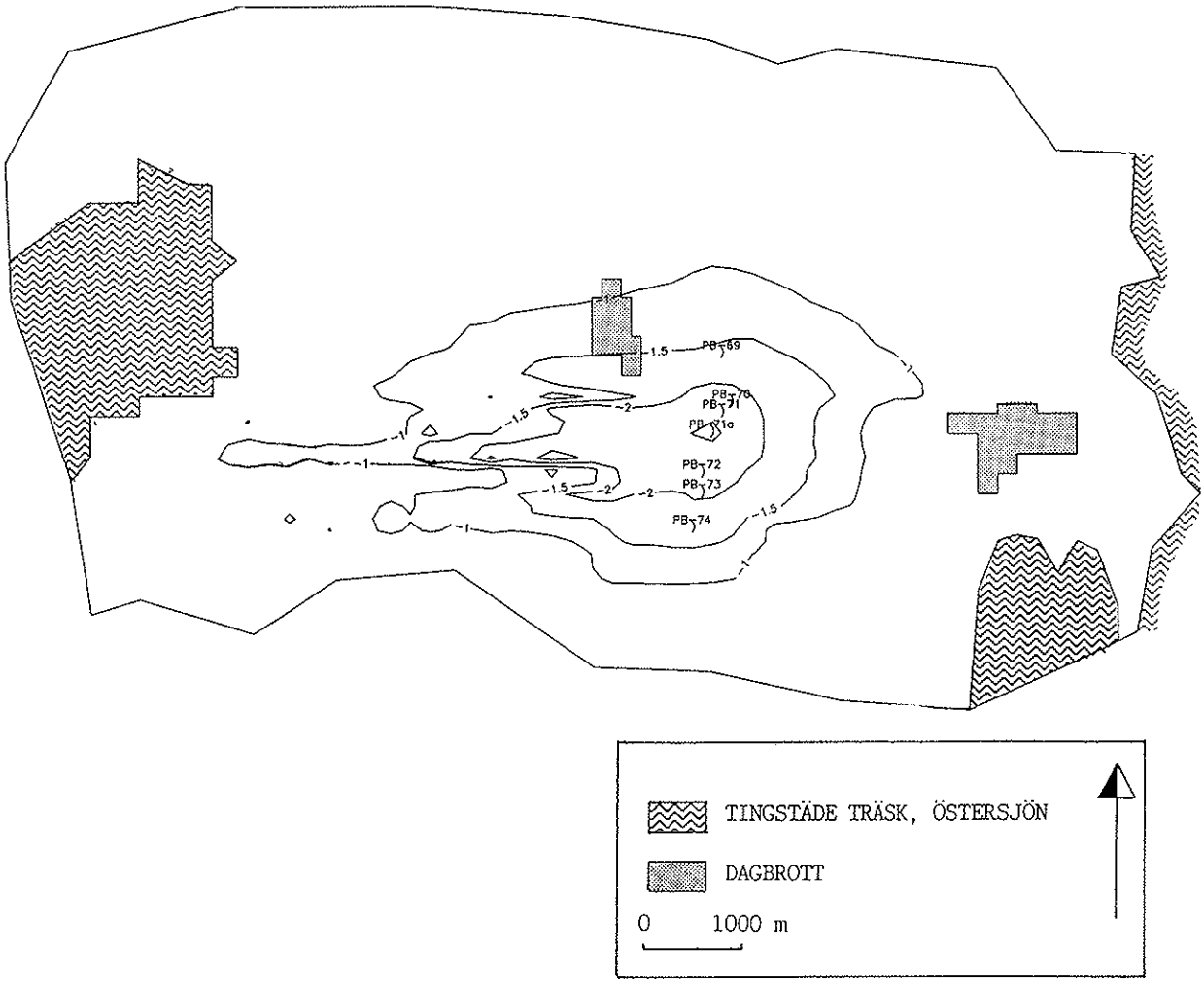
Uttaget i vattentäkterna antas fördubblas, vilket innebär att uttaget under högvattensituationen är 66744 m^3/månad, medan det är 75156 m^3/månad under lågvattensituationen.

I jämförelse med de beräknade grundvattennivåerna vid utökade dagbrott, orsakar det fördubblade uttaget i vattentäkten en avsänkning i grundvattennivå på några decimeter i vattentäkternas omgivning under en högvattensituation (Figur 8.10).

Under lågvattensituation sker däremot en avsänkning i grundvattennivå på någon meter i vattentäktens omgivning (Figur 8.11). Området som påverkas av det fördubblade uttaget är således betydligt större vid lågvattensituationen än vid högvattensituationen.



Figur 8.10 Jämförelse av grundvattennivåer mellan nuvarande uttag och ett fördubblat uttag i Slite vattentäkt vid en utökad verksamhet under en högvattensituation.

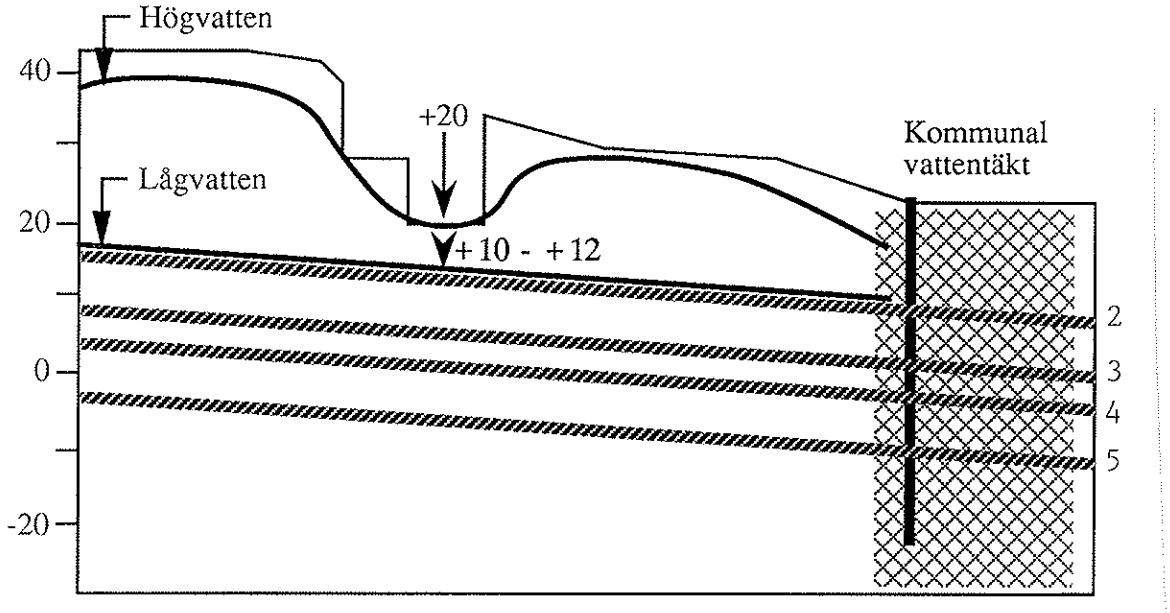


Figur 8.11 Jämförelse av grundvattennivåer mellan nuvarande uttag och ett fördubblat uttag i Slite vattentäkt vid en utökad verksamhet under en lågvattensituation.

9 RISKANALYS

En bedömning har genomförts av risken för kvalitetspåverkan i Slite vattentäkt vid Dyhagen som en effekt av utökad kalkstensbrytning på File Hajdar. Risken har värderats dels vid ett högvattentillfälle och dels vid ett lågvattentillfälle. En schematisk bild av grundvattennivåerna omkring dagbrottet på File Hajdar vid dessa båda tillfällen visas i Figur 9.1.

Riskbedömningen baseras på den allmänna geologiska och hydrogeologiska utvärderingen, resultaten från grundvattenmodelleringen samt överslagsberäkningar. Verkliga transportvägar och transporttider av eventuella föroreningar i dagbrottet till vattentäktsområdet är för närvarande svåra att förutsäga, då kunskapen om grundvattenströmningen i de enskilda lagren är otillräckligt kända mellan File Hajdar och vattentäktsområdet.



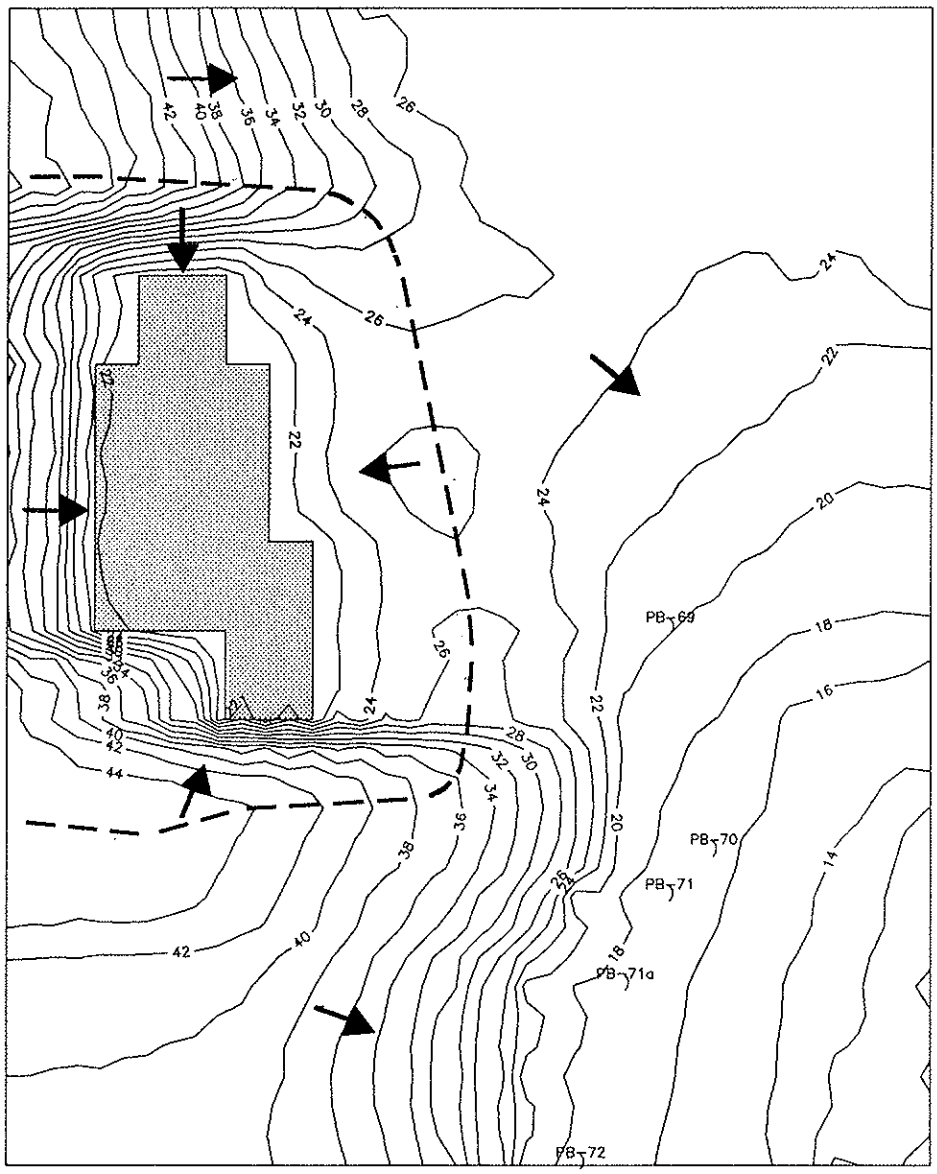
Figur 9.1 Schematisk bild av grundvattennivåerna vid en högvatten- och en lågvattensituation vid dagbrottet på File Hajdar.

9.1 Högvattensituation

Grundvattennivån i rör närmast dagbrottet på File Hajdar (28, 43, 84) ligger under högvattensituationer mellan nivån +20 och +45 m över havet (Tabell 9.1). Då dagbrottets bottennivå ligger på +20 m ö.h. innebär detta att grundvatten dräneras in mot dagbrottet under högvattensituationer, vilket även visas av resultaten från grundvattenmodelleringen (Figur 9.2). Grundvattenmodellen visar även att trycken i djupare lager är större än +20 m ö.h., vilket innebär att grundvatten inte kan strömma från dagbrottet ner i den underliggande berggrunden under en högvattensituation.

Tabell 9.1 Lägsta, högsta och medelhögvattennivå (m ö.h.) uppmätt under åren 1985-1990 i rör närmast dagbrottet.

Rör	Lägsta	Högsta	Medel
28	34.12	45.65	37.38
43	19.65	24.43	21.95
84	24.60	27.83	26.27



Figur 9.2 Högvattensituation vid utökat dagbrott på File Hajdar.
— — Grundvattendelare
← Strömningsriktning

En utvärdering av grundvattennivåerna i de närbelägna rören visar att höga grundvattennivåer varade i medeltal 6, 3 och 4 månader per år under perioden 1985-1990 i rören 28, 43 respektive 84 (Tabell 9.2). Högvattensituationen har härvid subjektivt definierats till olika nivåer i de olika rören. För en riskbedömning är det dock endast väsentligt att bestämma under hur lång tid grundvattennivån i dagbrottets omgivning ligger högre än dagbrottsbotten (+20 m ö.h.). I rör 28 ligger grundvattennivån under hela året högre än nivån +25 m över havet. Detta kan dock vara en effekt av felaktiga mätvärden, då rörets bottennivå ligger på +25.17 m ö.h. och lägsta uppmätta grundvattennivå sedan 1982 har varit 25.2 - 25.3 m över havet. I rören 43 och 84 överstiger grundvattennivån +20 m ö.h. under 3 respektive 5 månader per år i medeltal under perioden 1985-1990.

Högvattensituationen varar under perioden september-november till och med mars-maj. Detta innebär att ingen risk föreligger i medeltal 3 - 5 månader per år under denna period.

Tabell 9.2 Antal månader med högvattensituation samt grundvattennivå högre än +20 m ö.h. i rör närmast dagbrottet.

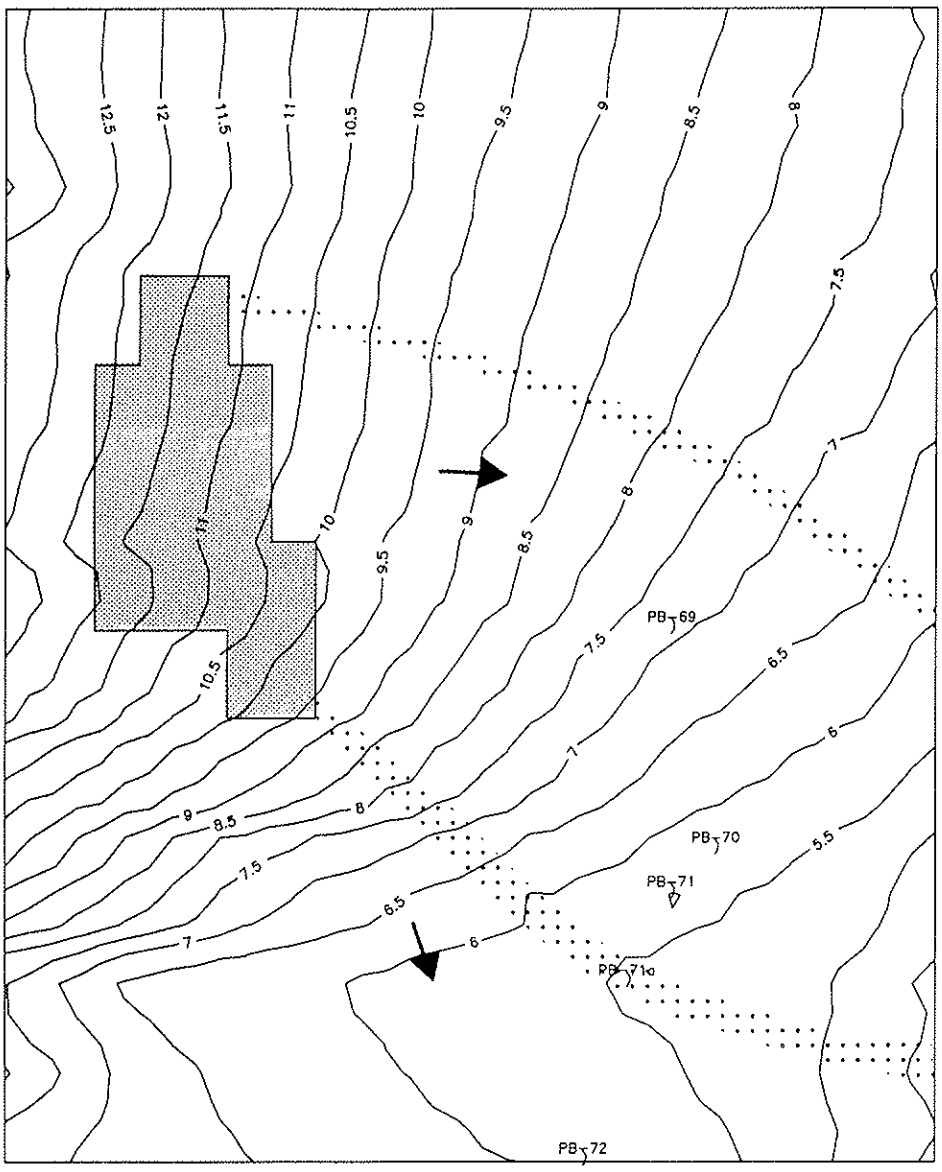
Rör	Nivå m o.h.	Högvattenperiod / Nivå > +20 m ö.h. (mån)						
		1985	1986	1987	1988	1989	1990	Medel
28	>+32	8/12	10/12	6/12	6/12	1/12	3/12	6/12
43	>+20	7/7	4/4	3/3	4/4	0/0	0/0	3/3
84	>+22	8/9	3/4	2/3	4/5	2/3	3/5	4/5

9.2 Lågvattensituation

Grundvattennivån i rör närmast dagbrottet på File Hajdar (43, 84) ligger under lågvattensituationer mellan nivån +9 och +17 m över havet (Tabell 9.3). Då dagbrottets bottennivå ligger på +20 m ö.h. innebär detta att nederbörd som faller i dagbrottet under en lågvattensituation kan infiltrera till djupare liggande lager i bergmassan. Resultaten från grundvattenmodelleringen visar att trycken i bergmassan under dagbrottet ligger på nivån +10 till +12 m ö.h., vilket motsvarar läget på det tolkade lagret 2 (Figur 9.3). Grundvattenmodellen visar även att trycken minskar i djupare lager, vilket innebär att grundvatten kan bildas i dagbrottet och strömma ner i den underliggande berggrunden under en lågvattensituation. Det föreligger således en risk för förorening av vissa produktionsbrunnar i Slite kommunala vattentäkt, om icke önskvärda ämnen frisläpps i den sydligaste delen av dagbrottet i samband med nederbörd. Om något händer i de norra delarna föreligger däremot troligen ingen risk.

Tabell 9.3 Lägsta, högsta och medellågvattennivå (m ö.h.) uppmätt under åren 1985-1990 i rör närmast dagbrottet. (* Troligen felaktiga värden pga att lågvattennivån sammanfaller med bottennivån för röret)

Rör	Lägsta	Högsta	Medel
28*	25.17	25.32	25.25
43	9.34	17.39	12.63
84	8.94	11.31	9.98



Figur 9.3 Lågvattensituation vid utökat dagbrott på File Hajdar.
Potentiell spridningsväg
Strömningsriktning

En utvärdering av grundvattennivåerna i de närbelägna rören visar att låga grundvattennivåer varade i medeltal 2 och 4 månader per år under perioden 1985-1990 i rören 43 respektive 84 (Tabell 9.4). Lågvattensituationen har härvid subjektivt definierats till olika nivåer i de olika rören. För en riskbedömning är det dock endast väsentligt att bestämma under hur lång tid grundvattennivån i dagbrottets omgivning ligger lägre än dagbrottsbotten (+20 m ö.h.). Mätvärdena för lågvattensituationer i rör 28 är troligen felaktiga och går således ej att utvärdera. I rören 43 och 84 är grundvattennivån lägre än +20 m ö.h. under 9 respektive 7 månader per år i medeltal under perioden 1985-1990.

Grundvattennivåer lägre än +20 m ö.h. påträffas under perioden mars-maj till och med november-december. Detta innebär att en potentiell risk således föreligger i medeltal 7 - 9 månader per år under denna period. Under större delen av perioden ligger dock grundvattennivån omkring 5 m under brottbotten, vilket innebär att nederbörden måste strömma genom en förhållandevis stor omättad zon, där fastläggning kommer att ske. Infiltrationen sker dessutom huvudsakligen i vertikala sprickor i berggrunden. Dessa sprickor är ej så frekvent förekommande enligt den geologiska karteringen.

Risk för förorening av vattentäkten bedöms således endast föreligga om en olycka inträffar i anslutning till en vertikal sprickzon i dagbrottets botten och samtidigt med ett nederbördstillfälle. Om ingen nederbörd faller i samband med olyckan finns tid för sanering i brottet och således föreligger ingen risk.

Om dagbrottet bryts till en djupare nivå än den grundvattennivå som föreligger vid produktionsbrunnarna i vattentäktsområdet, vilken varierar mellan +5 och -10 m ö.h., föreligger ingen risk även under lågvattenperioden. Däremot uppkommer problem med inläckage i dagbrottet, som då troligen kommer att penetrera genom lager 3 (vid brytning till +5 m ö.h.) respektive lager 5 (vid brytning till -10 m ö.h.). Grundvattentillrinningen till vattentäktsområdet kommer även att minska väsentligt, vilket kan medföra vissa problem med grundvattentillgången.

Tabell 9.4 Antal månader med lågvattensituation samt grundvattennivå lägre än +20 m ö.h. i rör närmast dagbrottet.

Rör	Nivå m ö.h	Lågvattenperiod / Nivå < +20 m ö.h. (mån)						
		1985	1986	1987	1988	1989	1990	Medel
28	<+27	1/0	1/0	1/0	2/0	2/0	1/0	1/0
43	<+15	0/5	1/8	1/9	2/8	3/12	4/12	2/9
84	<+14	2/3	3/8	4/9	5/7	4/9	5/7	4/7

Transporttiden för grundvatten mellan dagbrottet och vattentäktsområdet har överslagsmässigt beräknats med hjälp av formeln för laminär strömning i planparallella sprickor.

$$\bar{U} = \frac{\rho_v g b^2}{12 \mu_v} \cdot \frac{dh}{dx}$$

$\bar{U}$ = medelhastigheten över sprickan (m/s)

ρ_v = vattnets densitet (1000 kg/m^3)

g = tyngd accelerationen (9.81 m/s^2)

b = sprickans öppning (m)

μ_v = vattnets viskositet (0.001 Pa s)

$\frac{dh}{dx}$ = gradienten (m/m)

Ett realistiskt medelvärde på sprickornas öppning har antagits vara 0.2 mm. Under lågvattenperioder är grundvattennivån vid dagbrottet ca +10 m ö.h., medan den vid vattentäktsområdet varierar mellan +5 och -10 m över havet. Avståndet är omkring 1000 m, vilket medför en medelgradient av ca 0.005 till 0.02 m/m.

Transporttiden för en vattenburen förorening kan således beräknas enligt formeln:

$$\text{Transporttid} = \frac{L}{\bar{U}}$$

Med de antagna förutsättningarna erhålles en transporttid som varierar mellan ca 17 och 70 dygn för en förorening som transporteras löst i grundvattnet mellan dagbrottet på File Hajdar och vattentäktsområdet. Det bör dock påpekas att detta är en konservativ uppskattning av transporttiden med hänsyn till givna antaganden.

Transporttiden är även beroende på typ av förorening och dess kemiska egenskaper. Föroreningar fastläggs i mer eller mindre utsträckning på sprickytor och i bergmassan, varvid skilda ämnen uppvisar olika egenskaper. Fastläggning sker framför allt i den omättade zonen, över grundvattenytan, men även i grundvattenzonen.

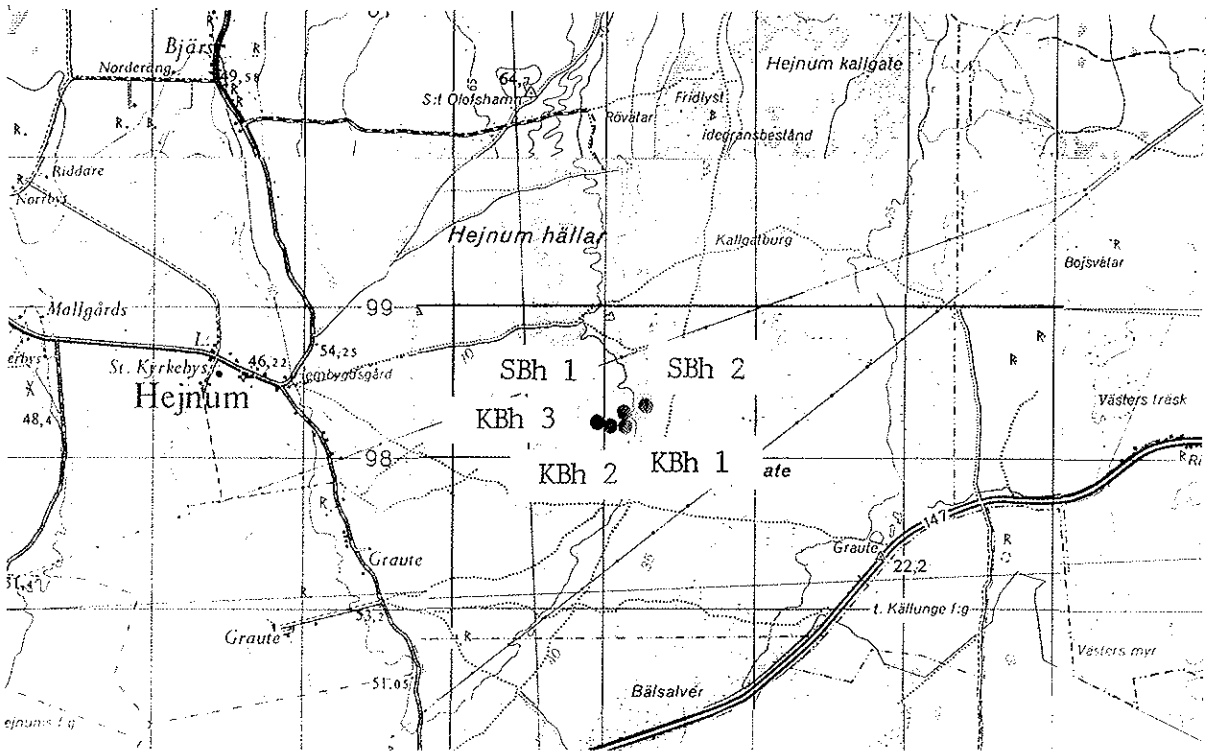
Den ovan redovisade transporttiden bör således ses som en konservativ uppskattning, dels med hänsyn till konservativa antaganden, och dels beroende på fastläggning i den omättade zonen samt i grundvattenzonen.

10 ALTERNATIVT LÄGE FÖR SLITE VATTENTÄKT

10.1 Förutsättningar

För att påträffa större grundvattenmängder vid borrning i de s k Slitelagren, bör borrning utföras i sprickzoner. Om grundvattnet i den zon, i vilken de nuvarande produktionsbrunnarna är belägna, skulle komma att påverkas kvalitativt av kalkstensbrytningen på File Hajdar i sådan omfattning att vattnet inte längre skulle tjäna sitt syfte, måste nya uttagspunkter lokaliseras. Det nya området bör inte stå i kontakt med den nu ianspråktagna sprickzonen.

I samband med förundersökningar för ett bergrum i Hejnum Hällar, deltog bl a SGU i arbetet med grundvattenprospektering. På grund av olika omständigheter kom detta bergrum aldrig att utföras. Vid förundersökningarna borrades bland annat två stycken brunnar, tre stycken kärnborrhål samt gjordes seismiska mätningar inom det aktuella området (Figur 10.1). Av de seismiska mätningarna framgår att det, i en linje i nord-sydlig riktning strax öster om klinten på Hejnum Hällars östra sida, finns en låghastighetszon i berggrunden vilken tolkats som en sprickzon. I denna zon borrades en brunn, SBh2, medan den andra brunnen, SBh1, borrades uppe på Hejnum Hällar. Båda brunnarna provpumpades och befanns ge ca 2 l/s vardera. Fram till 1986-06-30, dokumenterade SGU grundvattennivåvariationerna i SBh1 och SBh2.



Figur 10.1 Prospekteringsbrunnar (SBh) och kärnborrhål (KBh) på Hejnum Hällar.

10.2 Slutsatser

En preliminär bedömning visar att möjligheter finns till förhållandevis stora grundvattenuttag ur borrade brunnar även inom detta område, och möjligheterna till en utbyggnad av ett vattentäktsområde liknande det som idag finns vid Dyhagen bedöms som gynnsamma. Därför föreslås att vidare undersökningsinsatser koncentreras till området vid Hejnum Hällar.

Då risken för negativ inverkan av kalkstensbrytningen på grundvattnets kvalitet i Slite vattentäkt bedöms vara liten, torde det inte vara påkallat att färdigställa ersättningsvattentäkt innan tillstånd till fortsatt brytningskoncession ges.

10.3 Förslag till fortsatta undersökningar

Under kommande koncessionsperiod bör en mer ingående undersökningsinsats genomföras, så att sprickzonernas läge och utsträckning kartläggs. Vidare föreslås att dokumentationen av grundvattennivåvariationerna återupptas i SBh1 och SBh2 genom installation av tryckgivare och dataloggers. En provpumpning av SBh2 bör även genomföras för en mer ingående analys av akviferens hydrauliska egenskaper. Detta är väsentligt för det fortsatta planeringsarbetet för att trygga vattenförsörjningen för Slite tätort i den händelse vattnet i den nuvarande vattentäkten skulle komma att påverkas negativt av Cementas kalkstensbrytning på File Hajdar.

11 KONTROLLPROGRAM

Regeringen har ålagt Cementa AB att upprätta förslag till sådant kontrollprogram rörande täktverksamhetens inverkan på grundvattenförhållandena, som kan godkännas av länsstyrelsen. Syftet med kontrollprogrammet är att utreda huruvida och i vilken omfattning bergtäkten på File Hajdar kommer att påverka grundvattenförhållandena i såväl de ytligare delarna av bergmassan som de djupare, mer genomsläppliga delarna samt krosszonen. Särskilt betydelsefullt är att utreda hur en sådan eventuell påverkan kan beröra Slite kommuns vattentäkt.

11.1 Nuvarande kontrollprogram

Ett förslag till kontrollprogram framlades av Sveriges Geologiska Undersökning i samband med en utredning avseende hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File Hajdar, Gotland (SGU, 1977). Länsstyrelsen anmodade Cementa AB, vid ett möte i oktober 1981, att omarbeta detta tidigare ingivna kontrollprogram. Som resultat föreslog Scandiaconsult AB ett nytt kontrollprogram, som godkändes i samband med täkttillståndet 1981-12-15.

En sammanställning och analys av grundvattennivåerna på File Hajdar genomfördes av SGU i oktober 1987 (Johnson, 1987). I samband med denna föreslog SGU en revidering av kontrollprogrammet:

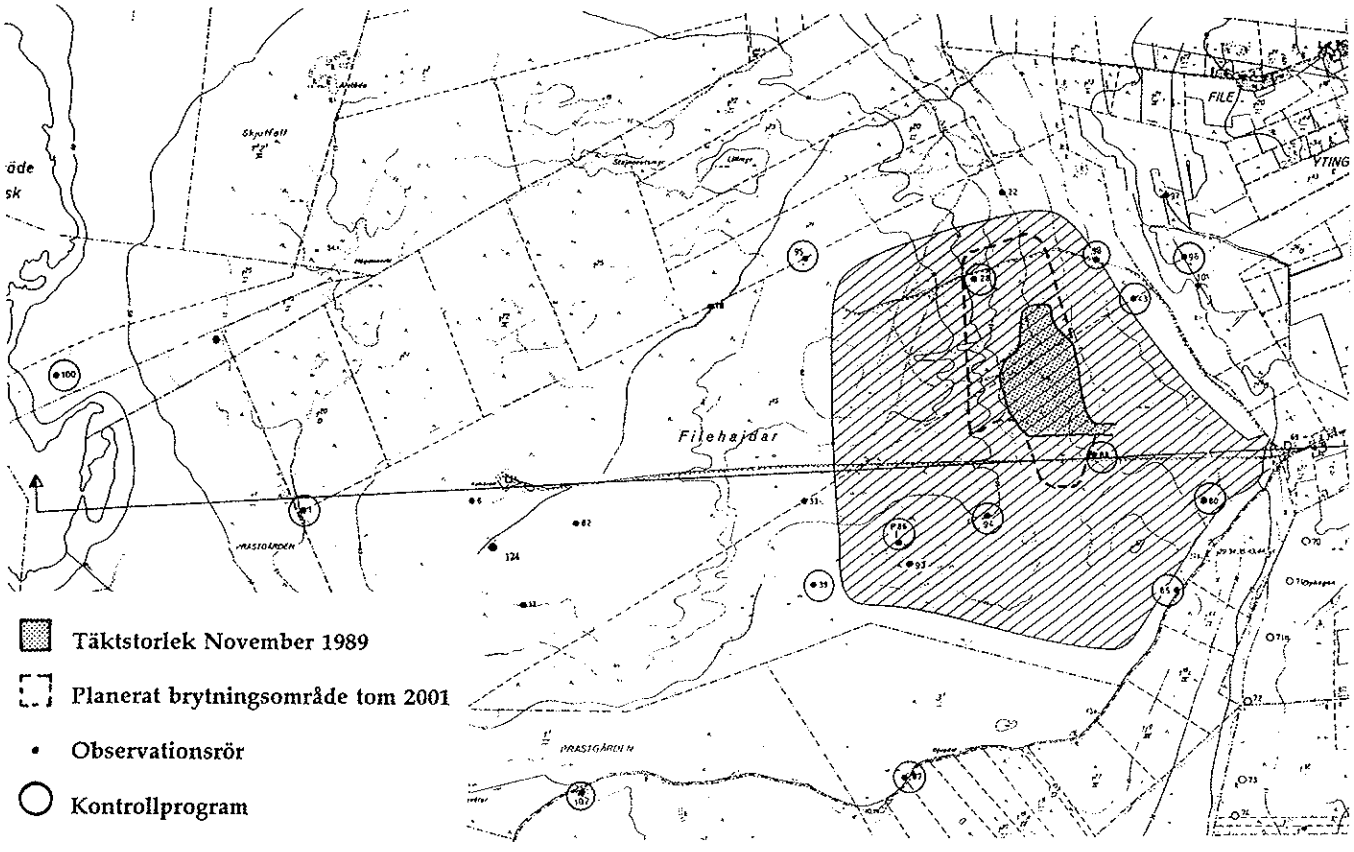
Följande reviderade mätprogram fastställdes av länsstyrelsen 1989-06-19 att gälla tillsvidare. Grundvattennivåer mäts i rören (Figur 11.1):

- Övre delen av bergmassan: 1, 28, 39, 43, 80, 84, 85, 87, 94T, 95, 98, 100 och 102.
- Djupare delen av bergmassan: P86 och 94F.
- Krosszonen: 96

Mätningarna utförs en gång per månad (ca den 15:de) och kontinuerlig bevakning sker av nivåerna i observationsrören 28, 43 och 94F.

Den pumpade vattenmängden från brottet på File Hajdar mätes på lämpligt sätt en gång per månad i samband med nivåmätningarna.

Observationsrör som ej används skall bevaras för att kunna ingå i mätprogrammet vid ett senare tillfälle.



Figur 11.1 Översiktskarta över File Hajdar med nuvarande och planerat täktområde och observationsrör ingående i kontrollprogrammet.

Prov tas på grundvattnet i produktionsbrunn 71a en gång per kvartal. Vattenproverna analyseras enligt sedvanlig fysikalisk-kemisk vattenanalys. Prov tas även på det inläckande vattnet i täktområdet efter pumpen en gång per kvartal. Dessa prover analyseras på parametrarna suspenderat material, NO_3 och Cl.

11.2 Kommentar till nuvarande kontrollprogram

Nuvarande kontrollprogram omfattar de observationsrör som föreslogs av SGU i oktober 1987 (Johnson, 1987) med tillägg av rören 98 och 102. Rören kan grupperas enligt deras hydrogeologiska läge i förhållande till dagbrottet enligt följande (Siffror inom parentes anger djupaste penetrerade vattenförande lager):

Nedströms: 98 (3), 43 (2), 96 (5), 84 (3), 80 (3) och 85 (3).

I anslutning till brottet: 28 (1), 94T (2) och 94F (5).

Uppströms: 95 (2), 86 (4), 39 (2), 87 (2), 102 (4), 1(2) och 100 (4).

Utvärderingar visar att påverkan från dagbrottet endast kan påvisas i närliggande rör som penetrerar de ytligaste lagren i bergmassan (Rör 28). Ingen påverkan kan exempelvis ses i rör 84 trots att detta ligger närmare dagbrottet, vilket kan bero på att det penetrerar lager 3. Om syftet är att påvisa en avsänkning av grundvattennivån på grund av dagbrottet, bör rör 28 fördjupas då det troligen är torrt under lågvattensituationer. Alternativt kan det bytas ut mot rör 41.

Då huvudsyftet med kontrollprogrammet bör vara att påvisa eventuella förändringar av grundvattenkvaliteten, bör kontrollprogrammet utökas med grundvattenkemiska analyser. Dessa bör tas i alla de nedströms liggande observationsrören och de som ligger i anslutning till brottet, samt i några av de uppströms liggande. Förslagsvis provtas rören 95, 86, 87, 102 och 100 som referensprover för olika lager. Samtidigt bör även några av produktionsbrunnarna i vattentäkten provtas. Provtagning sker förslagsvis 4 gånger per år under det första året, varvid en utvärdering görs av insamlat material, som sedan ligger till grund för en revidering av provtagningsprogrammet.

Analyserade parametrar väljs lämpligen i samråd med länsstyrelsen. Ett minimum bör dock vara: Klorid, Konduktivitet, Permanganatförbrukning, Nitrat-Nitrit samt Sulfat.

Det är särskilt väsentligt att observera eventuella kvalitetsförändringar i rören 96 och 80, då dessa penetrerar djupare vattenförande lager (lager 5 och 3), vilka tycks stå i förbindelse dels med rör 94F (lager 5) och dels med vattentäktsområdet.

Eventuellt bör även ett djupare hål borras mellan rören 84 och 62, sydöst om brottet mot vattentäktsområdet. Detta bör borras till en nivå av ca -20 till -30 m över havet. Ett flertal olika typer av undersökningar bör genomföras, som t ex kärnkartering, packertest och resistivitetsloggning, för att bättre utreda de hydrogeologiska förhållandena mellan brottet och vattentäktsområdet. Detta observationsrör bör även ingå i kontrollprogrammet för att kunna påvisa eventuella kvalitetsförändringar på grund av täktverksamheten.

12 SLUTSATSER

Berggrunden mellan brottet på File Hajdar och Västra brottet består av praktiskt taget horisontellt lagrad kalksten ovanpå märgelsten, vilkas bankar är mellan 1 och 5 m mäktiga och jämntjocka genom båda brotten. Gränsen mellan kalksten och märgelsten har verifierats i flera borrkärnor till omkring +20 m ö.h. vid File Hajdar och något över 0-meters nivån vid Västra brottet. Detta motsvarar en lutning på ca 0.3 grader hos lagren. Kalk- och märgelstenen är växellagrad med mer eller mindre leriga skikt, som troligen är av vulkaniskt ursprung. De tjockaste är upp till 20 cm tjocka, men kan tunna ut och försvinna. Förutom några få punktläckage i kalk- och märgelstenen, förekommer den största vatteninläckningen i lerskikten. Vatteninläckningen uppträder inte homogent i skikten, utan punktvis längs vissa avsnitt, ofta där skikten är som tjockast. Vatteninläckning har dock också observerats på platser där skikten endast är någon centimeter tjocka. I de delar där skikten tunnar ut och försvinner förekommer dock ingen vatteninläckning. Stora delar av brottväggarna i File Hajdar och Västra brottet är torra. I båda brotten har observerats ett fåtal vertikala sprickor med strykning åt väst-nordväst. Sprickvidden är någon cm och dessa sprickor svarar för nära all vertikal transport av vatten från ytan ned till de horisontella lagren.

De synliga punktläckagen utgör endast en undre begränsning av antalet möjliga vattenförande kanaler på grund av att bergmassan är dränerad, vilket innebär att vissa kan vara torra. Det är även väsentligt att påpeka att det som visuellt kan iakttagas i dagbrotten inte nödvändigtvis gäller för bergmassan som helhet. Antalet kanaler samt storlek och riktning hos desssa kan variera i bergmassan.

Totalt har 5 stycken vattenförande skikt kunnat identifieras genom geologisk kartering och borrhålsloggning. Dessa har även verifierats av borrprotokoll och hydraultester. Det djupaste är beläget på nivån -38 m ö.h. i Västra brottet och har extrapolerats upp under File Hajdar på nivån -8 m över havet.

Den potentiella grundvattenbildningen under ett normalår uppgår till ca 300 mm/år i den leriga moränmärgeln uppe på File Hajdar, medan den är 150 - 200 mm/år i den omgivande moränmärgeln. Den leriga moränmärgeln uppe på File Hajdar är förhållandevis tät, vilket medför att en stor del av den potentiella grundvattenbildningen avrinner som ytvatten.

Grundvattennivåerna varierar kraftigt på File Hajdar. Höjning av grundvattennivån på 20 - 30 m under ett dygn kan förekomma i samband med nederbörd. De snabba och stora variationerna av grundvattennivån är sannolikt en effekt av en mycket låg effektiv porositet hos bergmassan. Detta medför att grundvattenmagasinet är helt fyllt under perioder med hög nederbörd såsom vinter och höst, medan grundvattenytan når ett bottenläge under sommaren. De största och snabbaste variationerna sker i de ytligare observationsrören, medan variationerna i djupare rör är mer dämpade. Grundvattenytan ligger generellt även på en lägre nivå i djupare borrhål. Mätningar i en dubbelpiezometer visar att trycken i den övre delen av bergmassan är högre än trycken i den undre delen under hela den observerade mätperioden. Således föreligger en nedåtriktad gradient från de övre vattenförande lagren till de undre lagren. Detta innebär att grundvattenflödet alltid sker från de övre delarna av bergmassan till de undre.

En jämförelse av grundvattennivån i djupa borrhål uppe på File Hajdar och borrhål och brunnar i krosszonen, visar en god samvariation mellan de olika borrhålen och produktionsbrunnarna i Slite vattentäkt. Detta tyder på en stor genomsläpplighet i djupare lager, vilket även har visats vid provpumpningar i djupare borrhål och i en produktionsbrunn. Enligt provpumpningarna varierar transmissiviteten i de djupast påträffade lagren i Västra brottet (lager 4 och 5 på nivån -32 och -38 m ö.h.) mellan $4.2*10^{-6}$ och $4.1*10^{-3}$ m^2/s. För lager 1 - 3 ligger transmissiviteten i intervallet $8.8*10^{-7}$ och $7.7*10^{-5}$ m^2/s. Korttidsprovpumpningar och packertest indikerar även att de vattenförande lagren ej är homogent genomsläppliga. Korttidsprovpumpningen av produktionsbrunnen indikerar att brunnarna ligger i en kanalformad akvifer, sannolikt en krosszon, med en beräknad transmissivitet av ca $1.1*10^{-2}$ m/s.

De bortpumpade vattenmängderna från dagbrottet på File Hajdar uppgår till omkring 420 000 m^3/år. Beräkningar visar att den direkta nederbörden över dagbrottet är ca 100 000 m^3/år. Den direkta nederbörden utgör således ca 20% av den bortpumpade vattenmängden, vilket innebär att ca 80% utgörs av inläckande yt- och grundvatten. Under perioden maj - augusti balanseras de bortpumpade vattenmängderna av nederbörden över dagbrottet, vilket stöder att grundvattennivån i lågvattensituationer ligger under brottbotten, vilket även visas av nivåmätningar i närliggande rör.

En uppskattning av inläckande vattenmängder vid en utökad verksamhet i brottet på File Hajdar, baserad på kanalströmning i diskreta lager, ger en framtida inläckning av ca 740 000 m^3 per år. Detta är en ökning med omkring 75% jämfört med nuvarande förhållanden.

Den dränerande verkan som dagbrottet har på omgivande bergmassa är begränsad till den övre delen av kalkstenen i omedelbar närhet till brottet. Lågvattennivåer i anslutning till brottet ligger under brottbotten och kan således inte påverkas.

Det årliga grundvattenuttaget i Slite vattentäkt minskade från ca 490 000 m^3 under 1980 till ca 265 000 m^3 år 1986, för att sedan åter öka till omkring 400 000 m^3 under 1990. Under perioden 1989-90 var det totala uttaget från vattentäkten 760 000 m^3, vilket kan jämföras med den bortpumpade vattenmängden i brottet på File Hajdar, som uppgick till 850 000 m^3. Således bortpumpades i storleksordningen lika mycket vatten från dagbrottet som från vattentäkten. Stora vattenmängder pumpas från dagbrottet under vinter, vår och höst, medan uttaget ur vattentäkten fördelas mer jämt under året. Någon påverkan från dagbrottet på vattentäktens kapacitet kan dock ej konstateras.

Grundvattenmodelleringen visar att dagbrottet avsänker grundvattennivån i omgivningen under högvattenförhållanden, medan brottet ej påverkar lågvattensituationen. Under högvattensituationer utbildas således en grundvattendelare mellan dagbrottet och vattentäktsområdet, vilket innebär att det inte föreligger någon risk för förorening av Slite vattentäkt. Vid lågvattenperioder avtar däremot grundvattennivåerna närmast linjärt från Tingstäde Träsk ner mot havet. Detta medför att grundvattennivån i stort följer nivån hos det tolkade vattenförande lagret 2, som ligger på +10 - +12 m ö.h. vid brottet på File Hajdar. Vid lågvatten-

perioder, som inträffar under 7 - 9 månader per år, föreligger således en risk för förorening av vattentäkten. Risk bedöms dock endast föreligga om en olycka inträffar i anslutning till en vertikal sprickzon i dagbrottets botten och samtidigt med ett nederbördstillfälle. Om ingen nederbörd faller i samband med olyckan finns tid för sanering i brottet och således föreligger ingen risk. Om dagbrottet bryts till en nivå djupare än den grundvattennivå som föreligger vid produktionsbrunnarna i vattentäktsområdet, vilken varierar mellan +5 och -10 m ö.h., föreligger ingen risk även under lågvattenperioden. Däremot uppkommer problem med inläckage i dagbrottet, som då troligen kommer att penetrera genom lager 3 (vid brytning till +5 m ö.h.) respektive lager 5 (vid brytning till -10 m ö.h.). Grundvattenflödet till vattentäktsområdet kommer även att minska väsentligt, vilket kan medföra vissa problem med grundvattentillgången.

Transporttiden för grundvatten mellan dagbrottet och vattentäktsområdet har överslagsmässigt beräknats med hjälp av laminär strömning i planparallella sprickor. Med en antagen skillnad i grundvattennivå mellan dagbrottet och vattentäktsområdet på 5 respektive 20 m, erhålles en transporttid som varierar mellan 17 och 70 dygn för en förorening som transporteras löst i grundvattnet. Transporttiden är även beroende på typ av förorening och dess kemiska egenskaper. Föroreningar fastläggs i mer eller mindre utsträckning på sprickytor och i bergmassan, varvid skilda ämnen uppvisar olika egenskaper. Fastläggning sker framför allt i den omättade zonen, över grundvattenytan, med även i grundvattenzonen. Den redovisade transporttiden bör således ses som en konservativ uppskattning, dels med hänsyn till konservativa antaganden, och dels beroende på fastläggning i den omättade zonen samt i grundvattenzonen.

Om en framtida påverkan på Slite vattentäkt vid Dyhagen skulle omöjliggöra vattenförsörjningen, har en preliminär bedömning visat på ett alternativt läge för produktionsbrunnar. Två bergborrade brunnar ca 2 km öster om Hejnum samhälle har vid provpumpning givit ca 2 l/s. Ytterligare provpumpningar bör dock genomföras för att närmare utvärdera de hydrauliska egenskaperna hos akviferen.

Det föreslås att det nuvarande kontrollprogrammet utvidgas med grundvattenkemiska analyser från ett antal observationsrör, dels nedströms och dels uppströms om dagbrottet på File Hajdar, som penetrerar olika vattenförande lager. Provtagning sker förslagsvis 4 gånger per år under det första året, varvid en utvärdering görs av insamlat material, vilken sedan ligger till grund för en revidering av provtagningsprogrammet. Analyserade parametrar väljs lämpligen i samråd med länsstyrelsen. Ett minimum bör dock vara: Klorid, Konduktivitet, Permanganatförbrukning, Nitrat-Nitrit samt Sulfat.

Ett djupare hål bör även borras mellan rören 84 och 62, sydöst om brottet mot vattentäktsområdet. Detta bör borras till en nivå av ca -20 till -30 m över havet. Flera typer av undersökningar bör göras, som tex kärnkartering, packertest och resistivitetsloggning, för att bättre utreda de hydrogeologiska förhållandena mellan brottet och vattentäktsområdet. Detta observationsrör bör även ingå i kontrollprogrammet för att kunna påvisa eventuella kvalitetsförändringar på grund av täktverksamheten. Vid en eventuell spridning av förorening från dagbrottet kan detta rör även användas för sanering.

13 REFERENSER

Fagerlind, T. och Nordberg, L., 1973: Variation of groundwater levels and a calculation of the effective fissure porosity at File Hajdar, Gotland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Vol. 95, Stockholm.

Golder Associates, 1983: Golder Groundwater Computer Package, User and Theory Manuals. 1983.

Johnson, J., 1987: Utvärdering av kontrollprogram avseende grundvattennivåmätningar på File Hajdar. SGU, Grundvattensektionen, Uppsala.

Karlqvist, L., Fogdestam, B. och Engqvist, P., 1982: Hydrogeologiska kartan över Gotlands län. SGU ser. Ah, Nr. 3, Uppsala.

Klingberg, K. 1990. Kompletterande prospekteringsborrningar i Slite 1990. Cemlabrapport 90:16. Cementa, Slite.

SGU, 1974: Påverkan på grundvattenförhållandena genom planerad kalkstenstäkt vid File Hajdar. Rapport nr 542038-5, 1974-12-19. SGU, Uppsala.

SGU, 1977: Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File Hajdar. SGU-rapport 1977-10-31. SGU, Uppsala.

Svantesson, S. 1980. Geologisk dokumentation av Cementa ABs täktområde på File Hajdar, Gotland. SGU-rapport Januari 1980. SGU, Uppsala.

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Undersökning av alternativt läge för vattentäkt för Silte samhälle

Rapport utarbetad på uppdrag av Cementa AB

ORIGINAL
undertecknat.

Anders Carlstedt
Carl-Fredrik Müllern

Juli 1992

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Naturresurser grundvatten

1992-07-10

Dnr.: 08-139/92
Uppdr.nr. 7691

Undersökning av alternativt läge för vattentäkt för Slite samhälle

Inledning

Den pågående kalk- och märgelstensbrytningens, inom Slite-Filehajdaområdet, eventuella påverkan på grundvattenförhållandena har tidigare varit föremål för ingående utredningar. En påverkan, på grund av täktverksamheten, på Slites nuvarande vattentäkter vid Dyhagen kan inte helt uteslutas. En eventuell påverkan kan vara av såväl kvantitativ som kvalitativ art. Av denna anledning har Visby kommun framfört kravet att Cementa AB skall påvisa alternativa lägen för vattentäkter i den händelse nuvarande täkter skulle komma att påverkas negativt.

Ett möjligt alternativt vattentäktsområde öster om Hejnum hällar (Kallgateområdet) har tidigare anvisats av SGU. Äldre utredningar, utförda av Fortifikationsförvaltningen (FortF) och i vilka SGU deltog, gav vid handen, att relativt stora grundvattenmängder (ca 2 l/s) kunde utvinnas i borrhål inom detta område. I skrivelse daterad 1992-03-06, lämnade SGU ett förslag till undersökningsinsatser för att bättre fastställa Kallgateområdets potential som vattentäktsområde.

Geologiska och hydrogeologiska förhållanden

Enligt de av FortF i början av 1960-talet utförda undersökningarna, består de övre delarna av Hejnum hällar av kalksten (revkalksten) med "nästan kristallin struktur" ned till 18 m (ca + 41 m ö h). Mellan 18 och 24 m är kvaliteten något sämre. Vid 24 m (ca + 35 m ö h) börjar märgelstenen. Detta innebär, att i borrhål SBH2, i vilket en provpumpning genomfördes, finns ca 4 m kalksten ovanpå märgelstenen. Märgelstenen och då särskilt dess övre delar synes vara mest vattenförande. Nybildningen av grundvatten sker genom transport av nederbördsvatten genom vertikala sprickor och karsthål vilka står i förbindelse med genomsläppliga delarna av märgelstenen.

Det är känt, att vattenståndsförändringar sker mycket snabbt i den aktuella typen av grundvattenmagasin och att även förhållandevis små nederbördsmängder kan resultera i grundvattenbildning. Omvänt gäller att frånvaron av nederbörd innebär en stor och relativt snabb

Huvudkontor:
Post: Box 670, 751 28 UPPSALA
Besök: Villavägen 18, Uppsala
Telefon: 018-17 90 00
Telefax: 018-17 92 10

Filialer:
Kungsgatan 4
411 19 GÖTEBORG
Telefon: 031-17 68 80
Telefax: 031-11 53 72

Kiliansgatan 10
223 50 LUND
Telefon: 046-14 01 05
Telefax: 046-12 00 39

Direktval:

avsänkning av grundvattennivån. SGU har tidigare, mellan 1967 och 1986, följt grundvattenytans variation i de nu aktuella borrhålen (SBH1 och SBH2). Den naturliga vattenståndsvariationen är stor, 24 m (SBH1) och >20 m(SBH2). Den högsta nivån i SBH2 har inte kunnat mätas p.g.a. att vattentrycket är högre än (vattnet rinner över) borrhålskanten vid högvattensituationer.

Medelgrundvattennivån, över SGUs mätperiod, i SBH2 (pumpbrunnen) för juni månad är + 28.00 m .ö.h. Innan pumpningen startade den 11/6 var nivån + 27.53 m.ö.h. 15 dagar innan, den 27/5, var nivån + 28.80 m.ö.h. Den naturliga avsänkningen under 15-dagarspeioden före pumpningens påbörjande var sålunda drygt 8 cm per dygn. Detta har beaktats vid utvärderingen av provpumpningen.

Geofysiska mätningar

För att söka nya grundvattentillgångar närmare Slites vattenledningsnät än det av FortF tidigare undersökta området vid Kallgate utfördes först rekognoscerande VLF-mätningar och sedan seismiska mätningar i området mellan Hejnum Hällar och File Hajdar. Se kartan Bil. 1.

VLF-mätningar

Principen för VLF-mätningar är i korthet följande. Radiovågor inom VLF-bandet (Very Low Frequency) utsända från en mycket avlägsen radiosändare utnyttjas vid mätningarna. Sådana radiovågor, med låg frekvens och stor våglängd har förmåga att tränga djupt ner i berggrunden. Om dessa radiovågor träffar en elektriskt ledande bildning i berggrunden t.ex. en långsträckt, brant stupande, vattenförande sprickzon, uppstår genom induktion sekundära radiovågor. Med hjälp av VLF-instrumentet, som är en radiomottagare kan läget för en sådan bildning fastställas. En sådan elektriskt ledande bildning i berggrunden skulle emellertid även kunna utgöras av koncentrationer av elektriskt ledande mineral (osannolikt här), skölzoner (möjligt) eller lerzoner där vattnet är bundet (möjligt).

VLF-mätningarna har utförts i 13 profiler med en sammanlagd längd av 7 160 m. De erhållna indikationerna är genomgående mycket svaga förutom de som förorsakats av elledningar och fårstängsel. Att indikationerna är svaga var väntat, beroende på en förhållandevis liten skillnad i elektrisk ledningsförmåga mellan sprickzoner och mer eller mindre märgliga kalkstenar.

Seismiska mätningar

Vid seismiska mätningar registrerar man ljudhastigheten i berggrunden. Därvid har sprickzoner lägre hastighet än omgivande, sprickfattigt berg.

Sedan VLF-mätningarna utförts valdes tre platser för vidare undersökningar med seismik. Fyra seismiska profiler, sammanlagt 880 m, har uppmätts.

1. Vid stigen mellan Hejnum och Kallgatburg. Platsen valdes därför att en VLF-indikation på detta ställe sammanfaller med en ravin, vilken i sig skulle kunna vara en indikation på en sprickzon. Profil 29. Bil.2.

2. Ca 500 m öster om 1. På detta ställe utfördes två seismiska profiler för att försöka följa upp den sprickzon som indikerats vid FortFs tidigare undersökningar vid Kallgate, och som skulle kunna vara en fortsättning på sprickzonen vid Slites nuvarande vattentäkter.

3. Öster om vägen vid Orgvätar. Denna plats valdes därför att VLF-indikationer anger en sprickzon mellan File Hajdar och Hejnum Hällar. Profil 20 och 28. Bil.2.

Resultaten av de seismiska mätningarna framgår av Bil. 2.

På den första platsen visade seismiken en ca 20 m bred låghastighetszon strax söder om stigen och en smalare zon ca 75 m söder om stigen, i en parallell ravin. Skillnaden i ljudhastighet mellan zonerna och sidoberget är förhållandevis liten (4 100 mot 5 100 m/s) men är av samma storleksordning som vid de tidigare mätningarna vid Kallgate (3 500 mot 4 600 m/s).

På den andra platsen visade seismiken ingen som helst sprickzon. Hastigheten var hela vägen 4 600 m/s. Något direkt samband mellan sprickzon vid Kallgate och den vid Slites vattentäkter synes därför inte föreligga.

På den tredje platsen, vid Orgvätar påvisade seismiken en smal och svag låghastighetszon (4 500 mot 5 100 m/s) ca 85 m söder om bäcken och ca 100 m öster om vägen.

Borrningar

Sedan ovan nämnda geofysiska mätningar utförts valdes platsen vid stigen mellan Hejnum och Kallgatburg för borrning av en undersökningsbrunn och observationsbrunn, båda 70 m djupa och med 140 mm diameter. Platsen valdes för att kunna utgöra ett komplement till området vid Kallgate. Under pågående borrning av undersökningsbrunnen syntes denna kunna ge förhållandevis mycket vatten. Vid en

provpumpning, som snabbt avbröts, visade den sig dock ge endast ca 20 l/min (1 200 l/h), vilket är omkring en tredjedel eller något mindre än vad man kunnat hoppas på.

Provpumpningar

Efter den korta provpumpningen av undersökningsbrunnen utfördes provpumpning av en av de äldre brunnarna,SBH2, vid Kallgate. Denna provpumpning pågick från 11/6 till 25/6 1992. Samtidigt följdes grundvattennivån i en annan äldre brunn, SBH1. Under provpumpningsperioden föll ingen nämnvärd nederbörd och också tiden före provpumpningen var mycket torr. Detta förhållande innebär att provpumpningsresultaten ger underlag för en konservativ bedömning.

Resultaten av provpumpningen vid Kallgate visas i Bil. 3. Där framgår att transmissiviteten, ett mått på berggrundens vattengenomsläpplighet, vid den längre provpumpningen med kapaciteten 100 l/min bestämts till $8{,}4 \times 10^{-4}$ m^2/s beräknat på data från observationsbrunnen, och till nästan exakt samma värde beräknat på data från pumpbrunnen. Magasinskoefficienten har bestämts till $1{,}7 \times 10^{-5}$. Dessa värden är helt i nivå med värden från tidigare hydrogeologiska undersökningar i området kring File Hajdar. Transmissiviteten är förhållandevis hög och berggrundens förmåga att magasinera vatten förhållandevis låg. Detta visar sig bl.a. genom snabba och stora grundvattennivåhöjningar vid nederbördstillfällen.

Det har ovan sagts att zonen vid Kallgate sannolikt inte hänger i hop med zonen vid Slites vattentäkter. De nu beräknade värdena på de hydrauliska parametrarna är också betydligt lägre än de i zonen vid Slite, där transmissiviteten bestämts till ett så högt värde som 1×10^{-2} m^2/s och magasinskoefficienten till $5{,}5\ 10^{-5}$.

Vattenkvalité

Vid provpumpningens inledning togs två vattenprover för kemisk analys. Anlysresultaten visas i Bil. 4. Det framgår att vattnet är av god kvalité, bortsett från att det är hårt, vilket är direkt beroende av kalkberggrunden. Ytterligare ett vattenprov togs alldeles efter provpumpningen, men analysresultatet föreligger inte ännu.

Beräkning av grundvattentillgångar

Med ledning av värdena på de hydrauliska parametrarna som erhållits genom provpumpningen vid Kallgate, har matematiska modellsimuleringar utförts för att bedöma hur stora grundvattenuttag som skulle

kunna göras i området vid Kallgate med särskild hänsyn till begränsningar under torrperioder (tre månader utan någon nederbörd).

Det har därvid visat sig att det skulle vara mest optimalt att anlägga två brunnsområden med ca 500 m avstånd från varandra. Från dessa skulle man då kunna ta ut ca 400 l/min (ca 7 l/s) sammanlagt. Avsänkningen vid brunnarna skulle då i slutet av en tremånaders torrperiod vara ca 10 m. Detta har simulerats som pumpning av 200 l/min (288 m^3/d) ur en brunn med en negativ hydraulisk gräns på 250 m avstånd och utan någon nybildning av grundvatten under 90 dygn. Se Bil. 5.

Slutsatser och rekommendationer

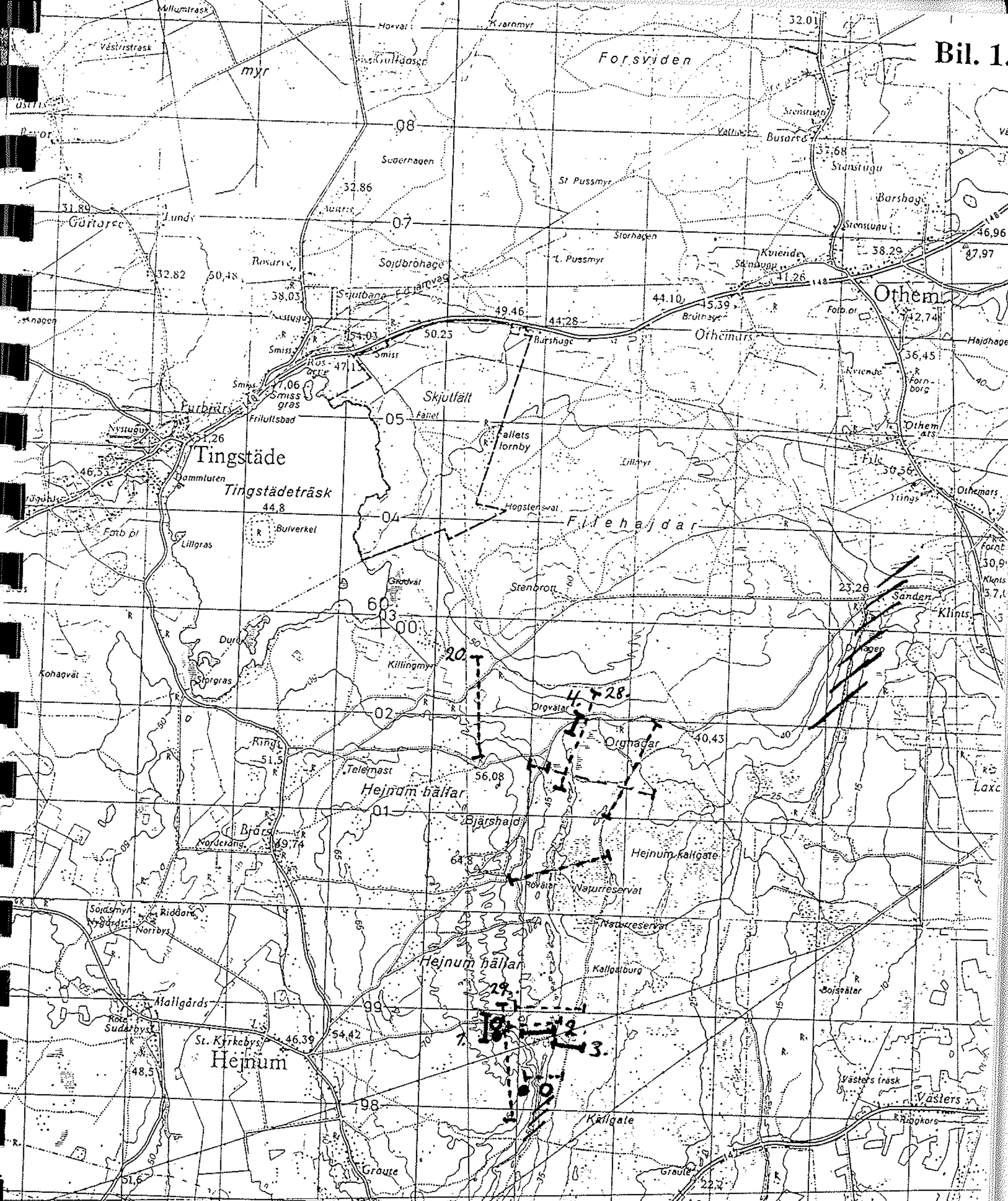
Den genomförda provpumpningen och beräkningar grundade på provpumpningsresultatet, har visat att det är möjligt att utvinna storleksordningen 200 l/min ur ett borrhål inom Kallgateområdet under en extrem torrperiod. För att helt ersätta nuvarande vattenbehov för Slite skulle tre till fyra brunnar behövas. Åtminstone två av dessa kan placeras vid Kallgate, på ett inbördes avstånd av ca 500 m.

För att säkerställa och ersätta hela Slites vattenbehov även under långvariga torrperioder (mer än två månader), måste således kompletterande områden återfinnas. Med nuvarande kunskaper och erfarenheter finner SGU i första hand östsidan av Hejnum hällar längre mot sydväst (mot Bäl) intressant. Ett annat område kan vara det längre österut från det aktuella området vid Kallgate. Ytterligare ett område som SGU tidigare undersökt och som visat sig ha goda förutsättningar för grundvattenuttag är Lärbrodalen norr om Slite.

Anders Carlstedt

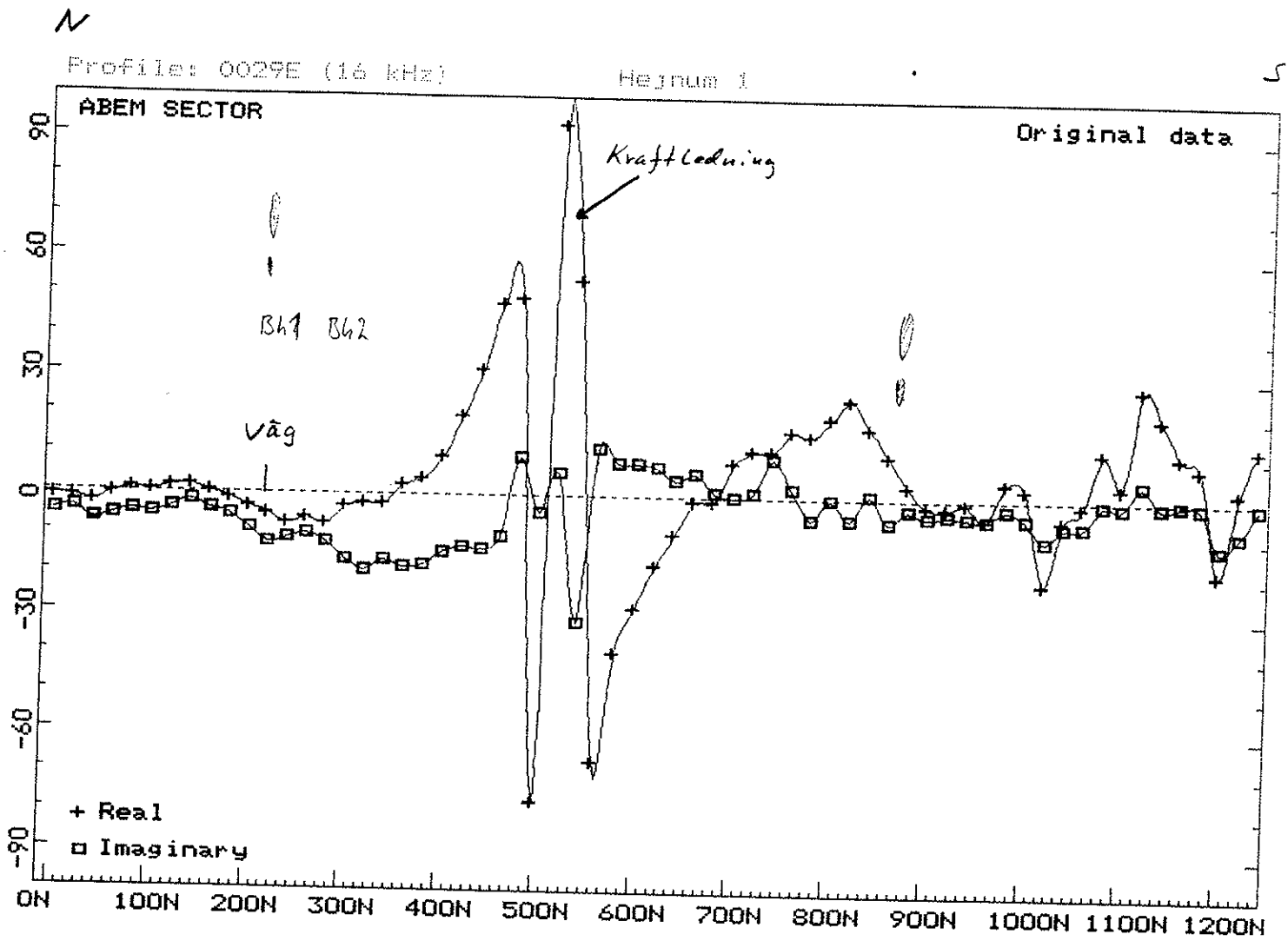
Carl-Fredrik Müllern

Bil. 1.



VLF-profil ⊢ - - ⊣ *Pumpbrunn* ○
Seismisk profil ⊢━⊣ *Observationsbrunn* ●
Sprickzon ///

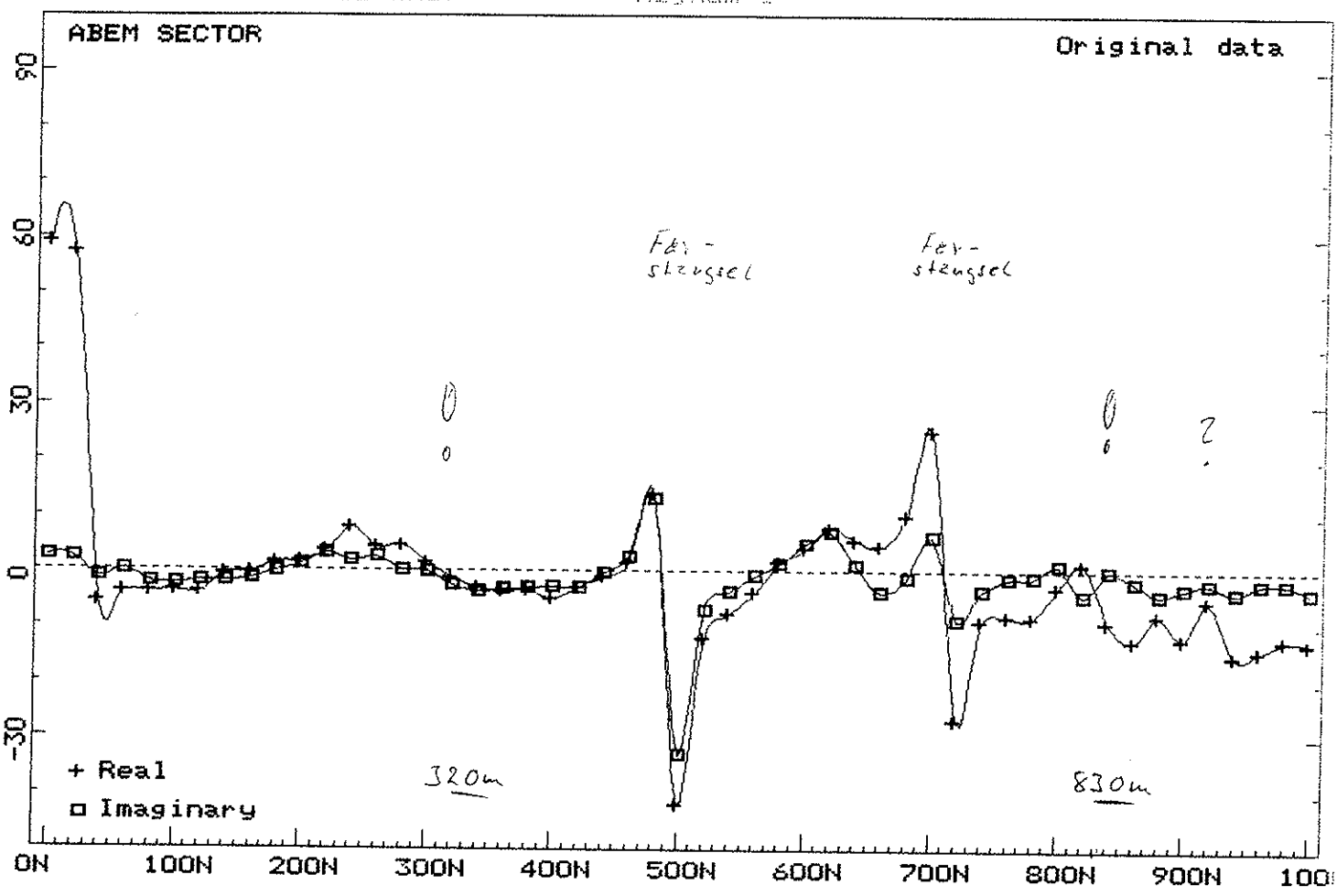
Geofysiska profiler


N
Profile: 0029E (16 kHz)
Hejnum 1
5
ABEM SECTOR
Original data
Kraftledning
BH1
BH2
Väg
90
60
30
0
-30
-60
-90
+ Real
□ Imaginary
0N
100N
200N
300N
400N
500N
600N
700N
800N
900N
1000N
1100N
1200N

S

Profile: 0020E (16 kHz) Hejnum 1

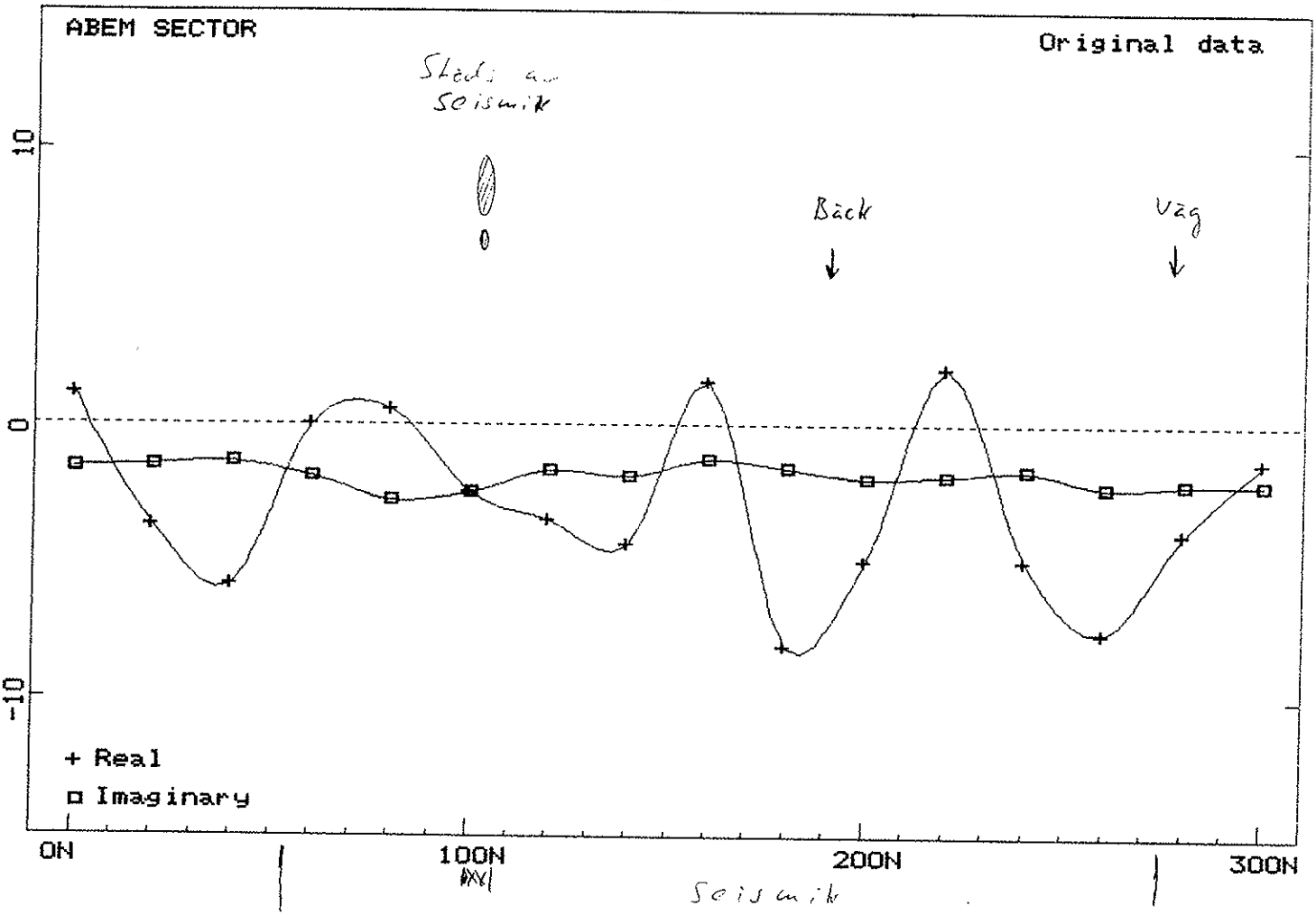
N



S

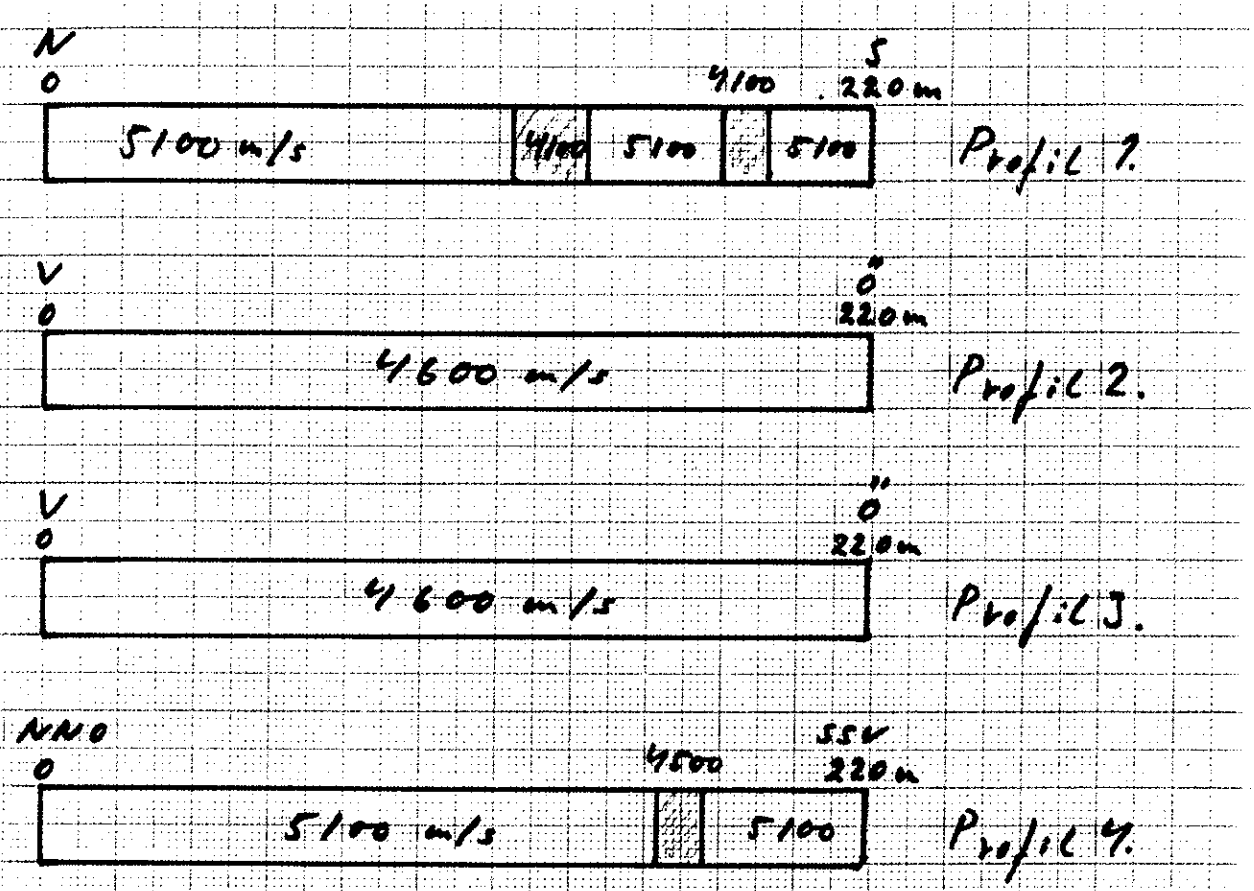
N

Profile: 0028E (16.4 kHz) Hejnum 1



Seismik

File Hajdar
Hejnum Hällar



Bil. 3.

Provpumpningsresultat

File name, Hejnum2.WT7

Test type, Discharge Well type, Observation

R = 150

Record No.	Time	Drawdown	Rate m^3/d
1	16	.24	144
2	17	.25	144
3	18	.27	144
4	19	.29	144
5	20	.3	144
6	22	.31	144
7	50	.45	144
8	52	.46	144
9	232	.73	144
10	1052	.98	144
11	1607	1.03	144
12	2522	1.14	144
13	3167	1.16	144
14	3977	1.17	144
15	4566	1.22	144
16	5360	1.18	144
17	6800	1.2	144
18	8192	1.26	144
19	9727	1.27	144
20	11412	1.3	144
21	12652	1.28	144
22	14198	1.3	144
23	15312	1.3	144
24	16852	1.34	144
25	18207	1.36	144

100 l/min

Calculation of delta s and transmissivity.
You may indicate the data you want to use by number or by time.
If you use time and the data is that of a step test with recovery between steps, then T will be calculated for the first step reaching that time.
Do you want to enter <T>imes or <R>ecord numbers?
First and last record numbers for calculation (eg. 24,34)? 1,25
Working
Slope = .1579254 Y intercept = -.1680918
Delta s = .3636367 Transmissivity = 72.46793 m^2/d $8,4 \cdot 10^{-4}\ m^2/s$
Press 'C' to continue

1LIST 2RUN 3LOAD" 4SAVE" 5CONT 6,"LPT1 7TRON 8TROFF9KEY 0SCREEN

Time of the reading for which you want the calculation (minutes)? 18207
Transmissivity for this calculation? 72.47
Discharge rate for this calculation? 144
W = 8.600913
WU= 4.03793 u= .01 WM=-4.562984
WU= 8.633226 u= .0001 WM= 3.231239E-02
WU= 8.601423 u= 1.032316E-04 WM= 5.102158E-04
Value of u is 1.032E-04 and W(u) is 8.601E+00
Storage coefficient is 1.682E-05
Press 'C' to continue

$1.7 \cdot 10^{-5}$

Bil. 4.

Vattenanalyser

SGU SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

1992-06-26

ANALYSATTEST 92117(1)

Anders Carlstedt

Prov märkt	Hejnum 1. Prov 1
Provtagningsdatum	1992-06-11
Temperatur	-
Färg, mg/l Pt	-
Grumlighet	-
Lukt, styrka	-
Lukt,art	-
Bottensats	-
pH	7.8
Konduktivitet mS/m	46
Permanganattal, mg/l	6
Järn, mg/l	<0.05
Mangan, mg/l	<0.010
Fosfat, mg/l	-
Ammonium, mg/l	<0.05
Nitrit, mg/l	<0.010
Nitrat, mg/l	0.34
Klorid, mg/l	7.5
Sulfat, mg/l	16
Bikarbonat, mg/l	290
Kalcium, mg/l	58
Magnesium, mg/l	13
Natrium, mg/l	11
Kalium, mg/l	1.2
Fluorid, mg/l	0.30
Kiselsyra, mg/l	-

Halten organiskt material, kväveföreningar samtjärn och mangan är låga. Vattnet är hårt. Hårdheten kan medföra problem med utfällningar på sanitetsgods, kokkärl och tvättgods. Fluoridhalten understiger för kariesförebyggande verkan gynnsamt värde. Övriga analysresultat är utan anmärkning.

Carl-Magnus Backman

Adr: Box 670
751 28 UPPSALA
Tel: 018-17 90 00
Telegramadr: Geosurvey
Telex: 76154 geoswed s
Fax: 018-17 92 10
Postgiro: 1 56 75-2

SGU SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

1992-06-26

ANALYSATTEST 92117(2)

Anders Carlstedt

Prov märkt	Hejnum 1. Prov 2
Provtagningsdatum	1992-06-11
Temperatur	-
Färg, mg/l Pt	-
Grumlighet	-
Lukt, styrka	-
Lukt,art	-
Bottensats	-
pH	7.9
Konduktivitet mS/m	45
Permanganattal, mg/l	6
Järn, mg/l	<0.05
Mangan, mg/l	<0.010
Fosfat, mg/l	-
Ammonium, mg/l	<0.05
Nitrit, mg/l	<0.010
Nitrat, mg/l	0.33
Klorid, mg/l	6.2
Sulfat, mg/l	16
Bikarbonat, mg/l	300
Kalcium, mg/l	62
Magnesium, mg/l	13
Natrium, mg/l	8.4
Kalium, mg/l	1.1
Fluorid, mg/l	0.33
Kiselsyra, mg/l	-

Halten organiskt material, kväveföreningar samtjärn och mangan är låga. Vattnet är hårt. Hårdheten kan medföra problem med utfällningar på sanitetsgods, kokkärl och tvättgods. Fluoridhalten understiger för kariesförebyggande verkan gynnsamt värde. Övriga analysresultat är utan anmärkning.

Carl-Magnus Backman

Adr: Box 670
751 28 UPPSALA
Tel: 018-17 90 00
Telegramadr: Geosurvey
Telex: 76154 geoswed s
Fax: 018-17 92 10
Postgiro: 1 56 75-2

Bil. 5.

Modellberäkning av grundvattentillgångar

DRAWDOWN
Calculation of drawdowns in various aquifer configurations.

What type of aquifer? Confined, Unconfined, Leaky? U
Extent of aquifer;
Infinite, One boundary, Strip? O
Type of boundary; Discharge, or Recharge? I
Do you want calculations for One time, or a Series of times? S
What time unit, Minute, or Day? D

Distance of piezometer from discharging well? (m) 2
Transmissivity? (m*m/day) 72.86
Storage coefficient? 1.7E-05
Number of steps 1
All times must be measured from the beginning of the test.
Finishing time for step 1, (days)? 90
Discharge rate for step 1, (m^3/day) 28? 200 l/min
Thickness of saturated part of aquifer (m) 30

Distance from discharging well to boundary (m) 250
Distance from piezometer to boundary (m 248

No.	min.	days	Drawdown	Rate	Pumps
1	1	0.0007	2.433	288.00	1
2	2	0.0014	2.671	288.00	1
3	3	0.0023	2.841	288.00	1
4	5	0.0034	2.980	288.00	1
5	7	0.0048	3.104	288.00	1
6	9	0.0065	3.223	288.00	1
7	13	0.0087	3.341	288.00	1
8	17	0.0115	3.462	288.00	1
9	22	0.0150	3.586	288.00	1
10	28	0.0194	3.720	288.00	1
11	36	0.0250	3.859	288.00	1
12	46	0.0320	4.001	288.00	1
13	59	0.0408	4.149	288.00	1
14	75	0.0519	4.302	288.00	1
15	95	0.0659	4.458	288.00	1
16	120	0.0835	4.619	288.00	1
17	152	0.1057	4.782	288.00	1
18	193	0.1337	4.948	288.00	1
19	243	0.1690	5.117	288.00	1
20	307	0.2135	5.288	288.00	1

Press any key to continue.

20	307	0.2135	5.288	288.00	1

Press any key to continue.

No.	min.	days	Drawdown	Rate	Pumps
21	388	0.2695	5.462	288.00	1
22	490	0.3400	5.637	288.00	1
23	618	0.4289	5.814	288.00	1
24	779	0.5409	5.993	288.00	1
25	982	0.6820	6.174	288.00	1
26	1238	0.8598	6.356	288.00	1
27	1561	1.0838	6.541	288.00	1
28	1967	1.3660	6.726	288.00	1
29	2479	1.7215	6.914	288.00	1

30	3124	2.1695	7.103	288.00	1
31	3937	2.7339	7.294	288.00	1
32	4961	3.4450	7.486	288.00	1
33	6251	4.3410	7.681	288.00	1
34	7876	5.4690	7.877	286.00	1
35	9924	6.8920	8.074	286.00	1
36	12505	8.6839	8.274	286.00	1
37	15756	10.9415	8.476	288.00	1
38	19852	13.7860	8.677	288.00	1
39	25012	17.3698	8.885	288.00	1
40	31514	21.8850	9.092	288.00	1

Press any key to continue.

26	1238	0.8598	6.356	288.00	1
27	1561	1.0838	6.541	288.00	1
28	1967	1.3660	6.726	288.00	1
29	2479	1.7215	6.914	288.00	1
30	3124	2.1695	7.103	288.00	1
31	3937	2.7339	7.294	288.00	1
32	4961	3.4450	7.486	288.00	1
33	6251	4.3410	7.681	288.00	1
34	7876	5.4698	7.877	286.00	1
35	9924	6.8920	8.074	286.00	1
36	12505	8.6839	8.274	288.00	1
37	15756	10.9415	8.476	288.00	1
38	19852	13.7860	8.677	288.00	1
39	25012	17.3698	8.885	288.00	1
40	31514	21.8850	9.092	288.00	1

Press any key to continue.

No.	min.	days	Drawdown	Rate	Pumps
41	39706	27.5733	9.302	288.00	1
42	50028	34.7415	9.513	286.00	1
43	63032	43.7721	9.727	288.00	1
44	79416	55.1499	9.943	288.00	1
45	100058	69.4850	10.162	288.00	1
46	126066	87.5461	10.383	288.00	1
47	129600	90.0000	10.410	288.00	1

Save data to disk, or Finish?

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

1992-08-03

Dnr .: 08-139/92
Uppdr.nr.: 7691

Cementa AB
Magnus Helmer
Box 102
620 30 SLITE

Undersökning av alternativit läge för vattentäkt för Slite samhälle.

Härmed översändes resultatet från analys av vatten taget efter genomförd provpumpning. Provet togs i brunnen efter det att pumpningsanordningarna tagits upp. Vidare har denna analys. till skillnad från de båda i rapporten redovisade, utförts av KM-Lab i Uppsala. Anledningen till detta är att SGU avvecklat analysverksamheten fr.o.m. 1992-07-01.

Järnhalten är i det senaste provet, till skillnad från i de två tidiga proven, anmärkningsvärt hög. I övrigt synes vattnet vara utan anmärkning förutom vad avser hårdheten.

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Naturresurser grundvatten
Enligt uppdrag

Anders Carlstedt

Huvudkontor:
Post: Box 670, 751 28 UPPSALA
Besök: Villavägen 18, Uppsala
Telefon: 018-17 90 00
Telefax: 018-17 92 10

Filialer:
Kungsgatan 4
411 19 GÖTEBORG
Telefon: 031-17 68 80
Telefax: 031-11 53 72

Kiliansgatan 10
223 50 LUND
Telefon: 046-14 01 05
Telefax: 046-12 00 39

Direktval: _____

KM Lab

SWEDAC ACKREDITERING 1215

RAPPORT
utfärdad av
ackrediterat
laboratorium

BOX 87, 751 03 UPPSALA
Tel: 018-673040

LABORATORIERAPPORT
JOURNALNR: 92-004050

S G U

BOX 670
751 28 UPPSALA

S G U

BOX 670
751 28 UPPSALA

Plats :HEJANUM
Platspaketnr :0380-3009-9999-0008

Provtagare :ANDERS CARLSTEDT

Prov taget	920625
Prov inkom	920709
Klockan	0900

Turbiditet	FNU	0.52	Kalium, K	mg/l	2.5
Bottensats		ingen	Järn, Fe	mg/l	1.27
Bottensats, art		-	Mangan, Mn	mg/l	<0.02
Lukt 20°C		ingen	Aluminium, Al	mg/l	0.18
Lukt 50°C		ingen	Koppar, Cu	mg/l	0.02
Lukt 20°C, art		-	Zink, Zn	mg/l	0.38
Färgtal		7	Ammonium, NH4-N	mg/l	<0.1
COD(Mn)	mg/l	1.6	Nitrit, NO2-N	mg/l	0.008
Konduktivitet 25°C	mS/m	41	Nitrat, NO3-N	mg/l	<1
pH		8.1	Fosfat, PO4-P	mg/l	<0.03
Alkalinitet, HCO3	mg/l	244	Fluorid, F	mg/l	1.8
Kolsyra aggr, CO2	mg/l	<1	Klorid, Cl	mg/l	9
Hårdhet tot, Ca+Mg	mg/l	42	Sulfat, SO4	mg/l	9
Hårdhet total	°dH	5.9			
Kalcium, Ca	mg/l	29			
Magnesium, Mg	mg/l	7.9			
Natrium, Na	mg/l	65			

KM-Lab

JOHNNY LARSSON

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium iförväg skriftligen godkänt annat.

Golder Associates AB
Lilla Bommen 6
411 04 GÖTEBORG
Tel: [+46] 31 700 82 30
Fax: [+46] 31 700 82 31
http://www.golder.se

BESKRIVNING AV YT- OCH GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

Bilaga till ansökan om tillstånd för bortledning av yt- och grundvatten från Cementas två kalkstenstäkter på fastigheten Österby 1:229 i Slite

BILAGA B
Datum: 2009-04-30
Uppdragsnummer: 0570559
Uppdragsgivare: Cementa AB

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 Inledning 2
2 Ytvatten- och nederbördsförhållanden 3
3 Geologiska och geohydrologiska förhållanden 6
3.1 Berggrund 6
3.2 Kvartära avlagringar 6
3.3 Struktur- och hydrogeologi 7
3.4 Hydrogeologisk modell 8
4 Uppmätta grundvattennivåer 12
5 Tidigare undersökningar av grundvattenförhållanden på File Hajdar 14
6 Annan vattenanvändning i området 19
6.1 Kommunens vattentäkt 19
6.2 Enskilda brunnar 22
6.3 Annan användning 23
7 Salt grundvatten 24
7.1 Brotten 24
7.2 Kommunens grundvattentäkt 26
7.3 Enskilda brunnar 26
8 Referenser 28

1 Inledning

I denna handling är yt- och grundvattenförhållandena i området runt Cementas kalkstenstäkter i Slite beskrivna. Beskrivningarna baseras framför allt på uppgifter och resultat från tidigare utförda undersökningar och kontrollaktiviteter samt från utförd modellering med hjälp av en flödesmodell. Modellen beskrivs närmare i en separat bilaga (Bilaga 7).

Beskrivningarna avser primärt nuvarande och historiska förhållanden. De förändringar och de konsekvenser som beräknats uppkomma i framtiden (sökt verksamhet) redovisas i en miljökonsekvensbeskrivning som återfinns i Bilaga C.

Beskrivningen av vattenverksamheten dvs. bortledningen av vatten från kalkstenstäkterna återfinns i den tekniska beskrivningen i Bilaga A.

I avsnitt 6.2 i denna handling beskrivs hur identifieringen av **enskilda brunnar** som kan påverkas av vattenverksamheten utförts. Från detta avsnitt ges hänvisningar till bilagor över influensområden och en förteckning över de brunnsägare som kan förutses vara sakägare.

I denna handling används några återkommande begrepp som förklaras i det följande.

Vattenföring (Q): Volym vatten som per tidsenhet rinner i ett vattendrag. Jämförbart med begreppet flöde som används för att beskriva den volym vatten som per tidsenhet pumpas från t.ex. en pumpstation.

Hydraulisk konduktivitet (K): Ofta förkortat K-värde. Är ett mått på markens eller bergets genomsläpplighet d v s den mängd vatten som kan rinna genom marken eller berget på en viss tid. Ju tätare berg desto lägre är K-värdet.

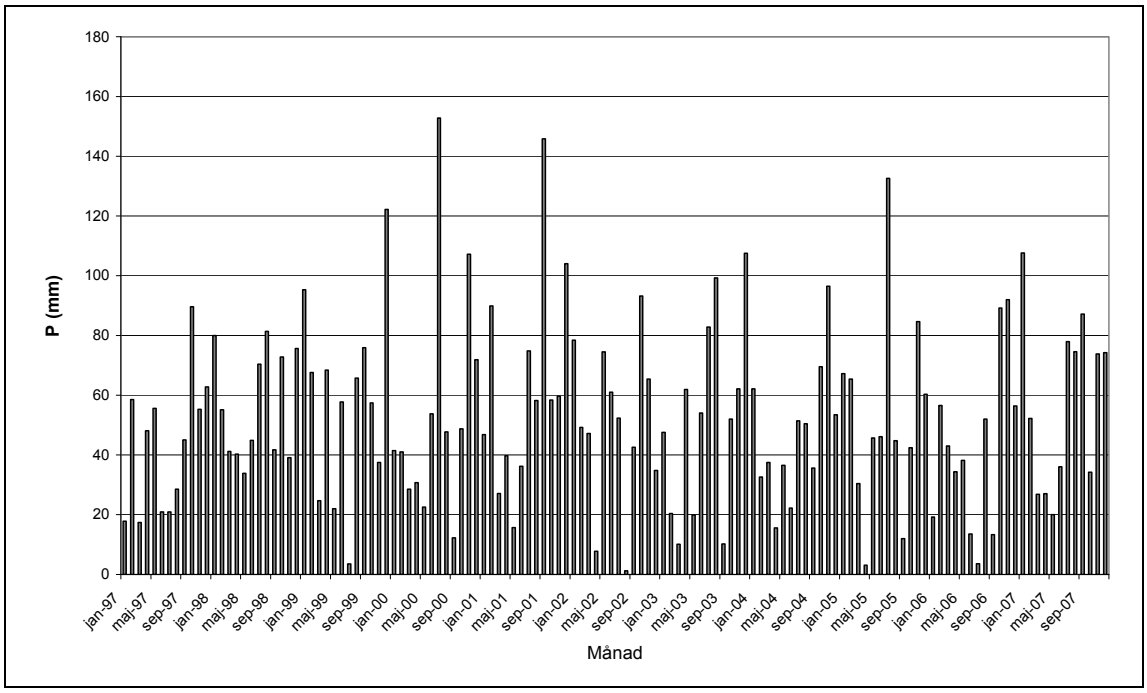
Transmissivitet (T): Om man multiplicerar K-värdet med ett vattenförande lagers mäktighet erhålls ett mått som benämns transmissivitet. Detta används ofta som ett mått på kapaciteten i brunnar.

2 Ytvatten- och nederbördsförhållanden

Kalkstenstäkterna ligger inom ett avrinningsområde, som av SMHI (1994) benämns Sjuströmmar, och som uppgår till totalt cirka 46 km^2. Inom fastigheten Österby 1:229 finns två ytvattendrag som i olika grad berörs av verksamheten, Anerån och Spillingsån. Dessa vattendrag avbördas i sydlig respektive sydostlig riktning genom fastigheten och mynnar i Bogeviken sydväst om Slite tätort. Parallellt med och öster om Spillingsån rinner ett mindre vattendrag, Närsbäcken, vilken via ett utjämningsmagasin norr om Västra brottet ansluter (genom pumpning) till Spillingsdammen som utgör en del i Spillingsåns vattensystem. Vattendragens lägen framgår av Bilaga 2.

Nederbörden i området uppgår till cirka 600 mm per år (data för station Hejnum 1961 – 1990). Nederbördsmängderna är lägst under månaderna februari till juni (cirka 30 - 40 mm per månad) och under övriga månader tämligen jämt fördelade (cirka 60 mm per månad).

Nederbördens variation (månadsvärden) mellan åren 1997 och 2007 vid station Hejnum är illustrerad i nedanstående Figur 1.



Figur 1 Månadsnederbörd vid station Hejnum mellan 1997 och 2007.

Enligt Gotlands kommuns vattenplan (februari 2005), är den effektiva nederbörden (nederbörd minus avdunstning) i området 125 – 150 mm per år. I andra rapporter t.ex. Gottschalk (1980) och SGU (1977) anges denna till 200 mm per år. Räknat på den senare siffran skulle detta innebära att medelavrinningen från avrinningsområdet Sjuströmmar uppgår till cirka 290 L/s.

Karakteristisk vattenföring för Spillingsån har beräknats tidigare i samband med tillståndsprövningen av bolagets vattenuttag ur ån (Spillingsdammen) och visas i nedanstående Tabell 1. Motsvarande vattenföringsuppgifter för Anerån har nyligen erhållits

av SMHI och framgår också av tabellen. Angivna vattenföringsdata i tabellen avser vattendragens mynningar i Bogeviken.

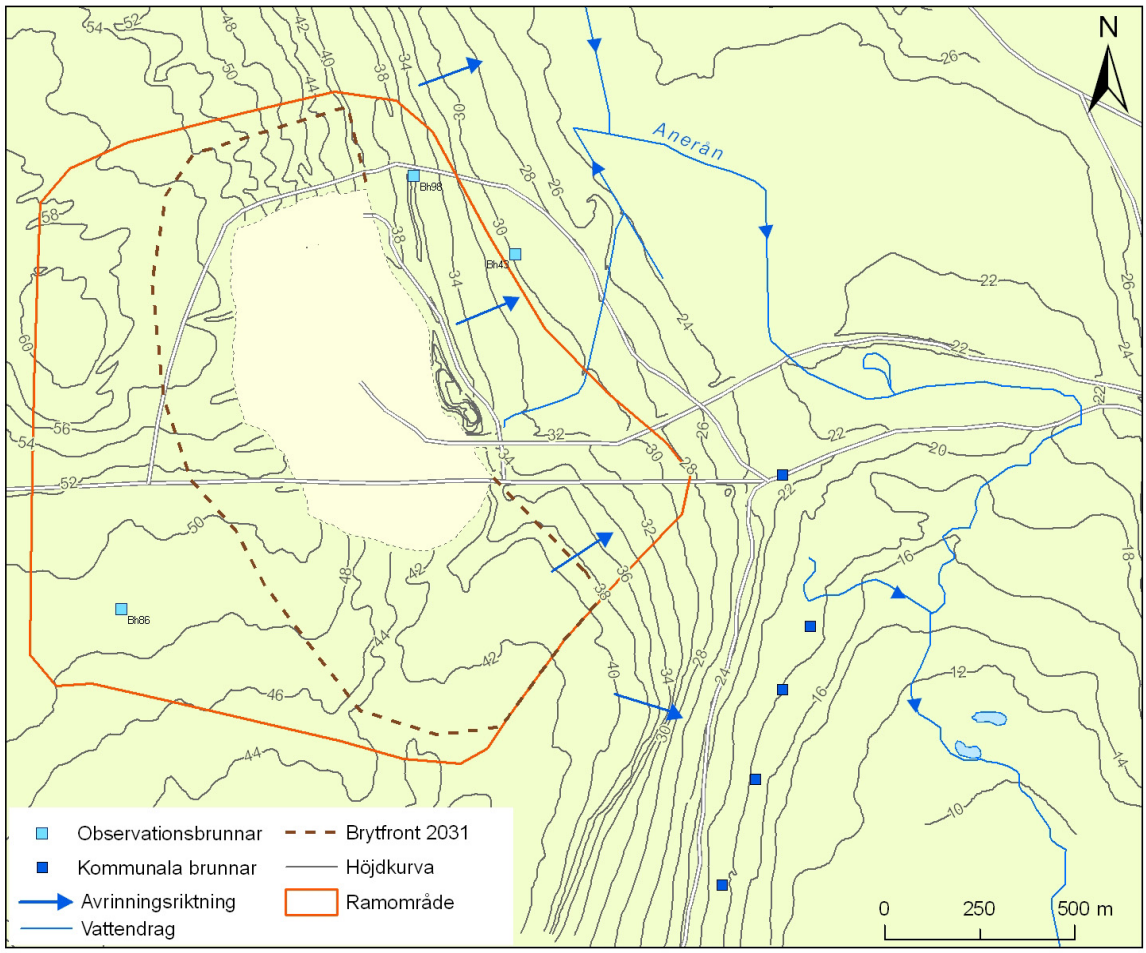
Tabell 1 Vattenföringsdata för Spillingsån och Anerån.

Storhet	Spillingsån	Anerån
Areal ARO (km^2)	17	21,1
HHQ, Högsta högvattenföring (L/s)	3500	3400
MHQ, Medelhögvattenföring (L/s)	1200	1200
MQ, Medelvattenföring (L/s)	108[A]	150
MLQ, Medellågvattenföring (L/s)	3	3
LLQ, Lägsta vattenföring	0	0

Vattenföringsuppgifterna i tabellen avser opåverkade (oreglerade) förhållanden. Genom bolagets vattenuttag ur Spillingsån (för kyländamål och rökgasrening) reduceras vattenföringen betydligt i ån. Vid fullt utnyttjad dom som medger ett uttag på 657 000 m^3 per år, reduceras medelvattenföringen i ån från beräknade 108 L/s till 87 L/s. Vidare torde den befintliga Spillingsdammen medföra att högvattenföringen i praktiken är lägre än den som redovisas i tabellen ovan.

Jämfört med en opåverkad situation får Anerån ett visst tillskott av vatten genom den pumpning som sker i File Hajdar brottet till ån. Tillskottet påverkar främst medelvattenföringen och i mindre grad högvattenföringen. Det faktiska tillskottet kommer från till dagbrottet inläckande grundvatten. Av nedanstående Figur 2 som visar höjdkurvorna runt File Hajdar brottet framgår avrinningsriktningen mot Anerån.

[A] Detta värde är beräknat utifrån en specifik avrinning på 200 mm och avviker från den vattenföringsuppgift på 140 L/s som redovisats i samband med tillståndsprövningen av vattenuttaget ur Spillingsån.



Figur 2 Höjdkurvor vid File Hajdar brottet. Avrinningsriktning för ytavrinningen illustreras med blå pilar.

3 Geologiska och geohydrologiska förhållanden

3.1 Berggrund

Berggrunden (i det aktuella området) på Gotland består av sedimentära bergarter. Sedimenten som har omvandlats till bergarter avsattes i ett subtropiskt till tropiskt hav. De ytnära bergarterna är av silurisk ålder (415– 440 miljoner år gamla). En betydande andel av dessa bergarter utgörs av kalkstenar med hög kalciumkarbonathalt. Förutom kalkstenar finns även märgelstenar (lerblandad kalksten) och på vissa ställen sandstenar.

Av särskilt intresse för den industriella användningen av kalksten är Slitelagren. Slitelagren består i huvudsak av kalkstenar och märgelstenar. Märgelstenar består av karbonat- och silikatbergarter. Berggrunden i området runt Slite består av lagrad kalksten: kristallin kalksten, revkalksten och märgelsten. Märgelstenen överlagras av den lagrade kalkstenen och revkalkstenen.

För cementproduktionen skiljer man på kalksten och märgelsten. Sten med en kalciumkarbonathalt över 80% benämns kalksten och den som innehåller mindre än 80% benämns märgelsten. I Västra brottet ligger märgelstenen frilagd. Vid File Hajdar brottet, i de obrutna delarna, överlagras märgelstenen av kalksten med en mäktighet på cirka 20 meter.

En utförlig dokumentation av de geologiska förhållandena inom täktområdet på File Hajdar har gjorts av SGU (1980).

3.2 Kvartära avlagringar

De kvartära avlagringarna i Slitetrakten utgörs av moränlera, grus, sand, vittringsjord och mindre områden med glacial lera. Dessutom förekommer även torv och kalkgyttja lokalt.

I Västra brottet dominerar moränleran som ibland kan nå en mäktighet på cirka 7 meter, se Figur 3 nedan. Leran överlagras av ett tunt organiskt jordlager på någon eller några decimeter.

De lösa jordlagren på File Hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen. Moränmärgel förekommer till största delen i lågpartierna i anslutning till File Hajdar samt i sluttningen mot Tingstäde Träsk. Sand och grusavlagringar påträffas till största delen i området mellan File Hajdar och Klints Backar, där de överlagrar moränmärgeln.

De lösa avlagringarna i anslutning till File Hajdar utgörs således av täta jordarter med ringa mäktighet. Detta medför att jordlagren till viss del begränsar infiltrationen till underliggande berggrund på File Hajdar, vilket ger en relativt stor ytavrinning som följd. Se Figur 4 nedan.

Figur 3

Moränlera strax söder om Västra brottet.

Figur 4

Vatten stående på markytan cirka 50 meter från brytfronten på File hajdar.

3.3 Struktur- och hydrogeologi

Bergarterna på Gotland har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. På File Hajdar består berggrunden av i det närmaste horisontellt lagrad kalksten (lutning på cirka 0,3 grader åt sydost). I brottet kan bankar ses som är mellan 1 och 5 meter och som är jämntjocka genom hela brottet. Kalkstenen är växellagrad med mer eller mindre leriga skikt. Ett sådant synligt skikt som är vattenförande ligger på en nivå av cirka + 32 meter.

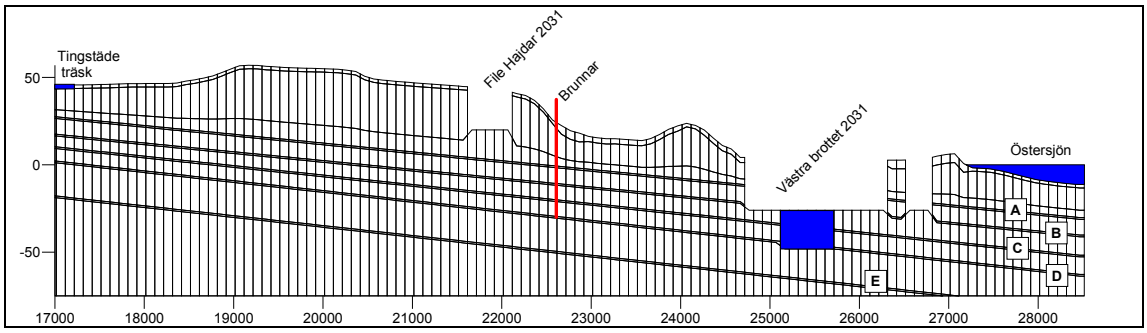
I Västra brottet återfinns horisontellt lagrad märgelsten vars bankar är mellan 1 – 5 meter mäktiga och jämntjocka. Lagerstrukturen kan följas genom hela brottet. Märgelstenen är växellagrad med mer eller mindre leriga skikt som liknar skiktet i File Hajdar brottet (vid nivån + 32). Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av cirka 0,3 grader åt sydost. De leriga skikten i Västra brottet är vattenförande. Inströmningen av vatten sker dock inte homogent i skikten utan punktvis längs vissa avsnitt där skikten är tjockast. Störst inströmning av vatten har observerats längs den västra väggen medan den östra väggen är i det närmaste torr. I Västra brottet finns även några vertikala sprickor med strykning åt väst-nordväst. Dessa sprickor har betydelse för transporten av vatten från markytan ned till de horisontella lagren. Varken i Västra Brottet eller i dagbrottet på File Hajdar har några förkastningar observerats.

I början på 90-talet utfördes en omfattande strukturgeologisk kartering av berggrunden i Västra brottet och i brottet på File Hajdar. Dessutom utfördes detaljerade hydrogeologiska tester (resistivitetsmätningar / borrhålskartering av vattenförande strukturer samt hydraultest med dubbelmanchett mot karterade strukturer) i borrhål på File Hajdar. Syftet med dessa undersökningar var att verifiera den strukturgeologiska modellen, kartera vattenförande sprickor och lager, samt att beskriva vattnets uppträdande i dessa.

3.4 Hydrogeologisk modell

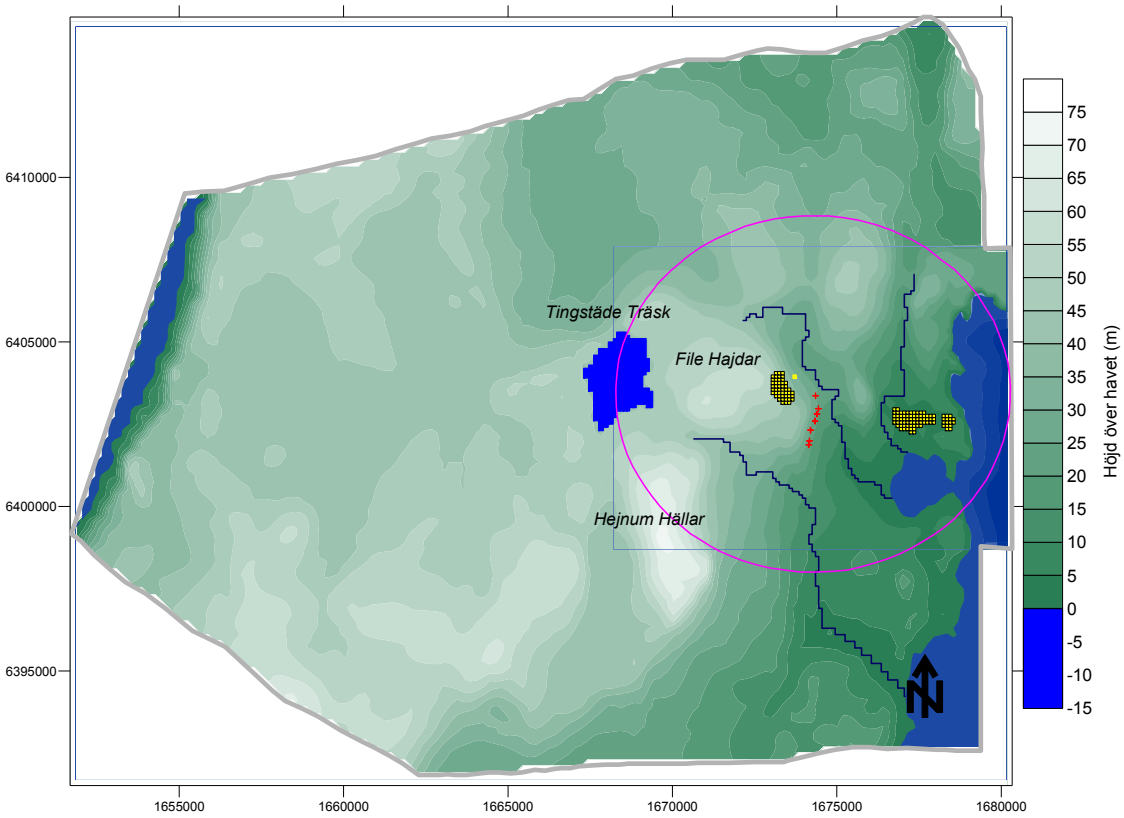
En konceptuell modell över de dominerande hydrogeologiska strukturerna har upprättats baserat på de ovan beskrivna undersökningarna. Grundvattenflödet är till större delen koncentrerat till horisontala lager som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. De vattenförande horisontala lagren som observerats i märgelstenen i Västra Brottet har extrapolerats parallellt med bergartsgränsen in under File Hajdar. Extrapoleringen stöds av observationer i Västra brottet där de vattenförande lagren kan följas över en sträcka av 1 kilometer. De extrapolerade lagrens inbördes avstånd och nivåer stämmer väl överens med resistivitetsmätningar i borrhål på File Hajdar.

De horisontala vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Totalt har 5 stycken vattenförande horisontala lager kunnat identifieras vilka i modellen benämns A, B, C, D och E, se Figur 5 nedan. Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor.



Figur 5 Illustration av de djupa vattenförande lagren. Profilen ligger i rak öst-västlig riktning och kalkstensbrotten framtida form visas då även vattenfyllning av de lägre delarna i Västra brottet påbörjats.

Baserat på den konceptuella modellen har en tredimensionell flödesmodell upprättats av Golder. Modellen kan hantera både grundvatten- och ytvattensystemet samt samspelet mellan dessa. Modellen beskrivs närmare i en separat rapport, Bilaga 7, där även uppgifter såsom hydraulisk konduktivitet i kvartära avlagringar och transmissivitet i de olika vattenförande lagren finns angivna. Den upprättade modellen sträcker sig tvärs över norra Gotland, se Figur 6 nedan. Utsträckningen i öst-västlig riktning är cirka 29 km och i nord-sydlig riktning cirka 24 km. Centralt i modellen ligger Tingstäde träsk och de studerade täkterna ligger i modellens östra del. Ellipsen i figur 6 illustrerar det område som valts ut för närmare studier och täcker det område som berörs av vattenverksamheten.



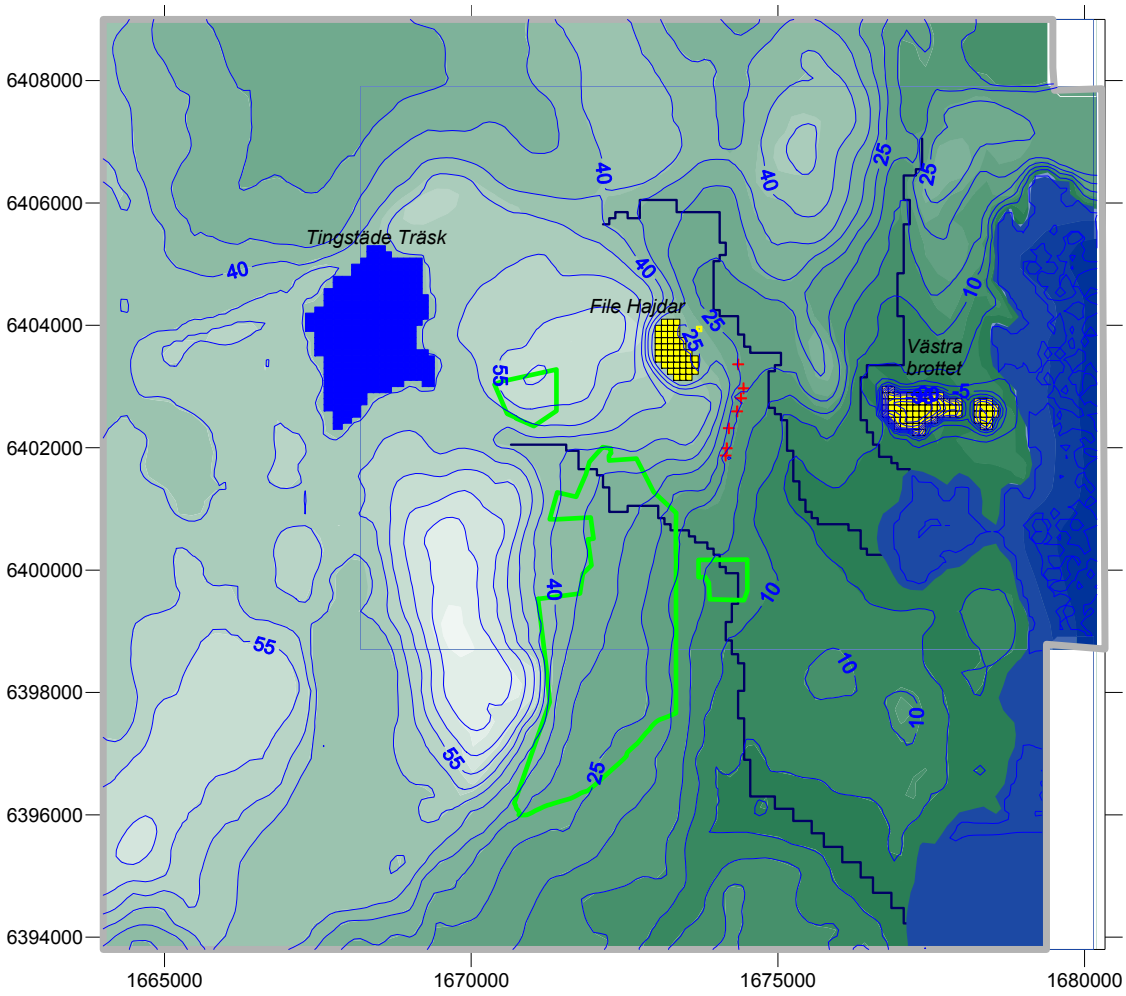
Figur 6 Modellens utsträckning. De aktuella brotten är markerade med gult raster. De små röda markeringarna utgör läget för kommunens brunnar för uttag av vatten till Slite tätort. De mörkblå strecken illustrerar ytvattendrag såsom de är definierade i modellen. Från höger till väster i bild motsvarar strecken Spillingsån, Anerån samt det vattendrag/våtmarksområde som avbördar vatten mot Vikeån vilken mynnar i Tjälderviken.

Det studerade systemet med stora öppna brott fungerar enligt följande:

Under nederbördsrika perioder då grundvattenbildningen är stor befinner sig grundvattenpotentialen (grundvattnets tryckyta) nära markytan. Detta beror på att den vertikala genomsläppligheten är liten och endast små mängder vatten kan infiltrera och bilda grundvatten. Potentialen (trycket) i de djupt liggande vattenförande lagren kan dock vara låga eftersom de står i kontakt med Västra brottet som skär genom lager A-D vilket medför att grundvatten dräneras ut. Under torra perioder då grundvattenbildningen är liten, sjunker potentialen i de marknära lagren snabbt.

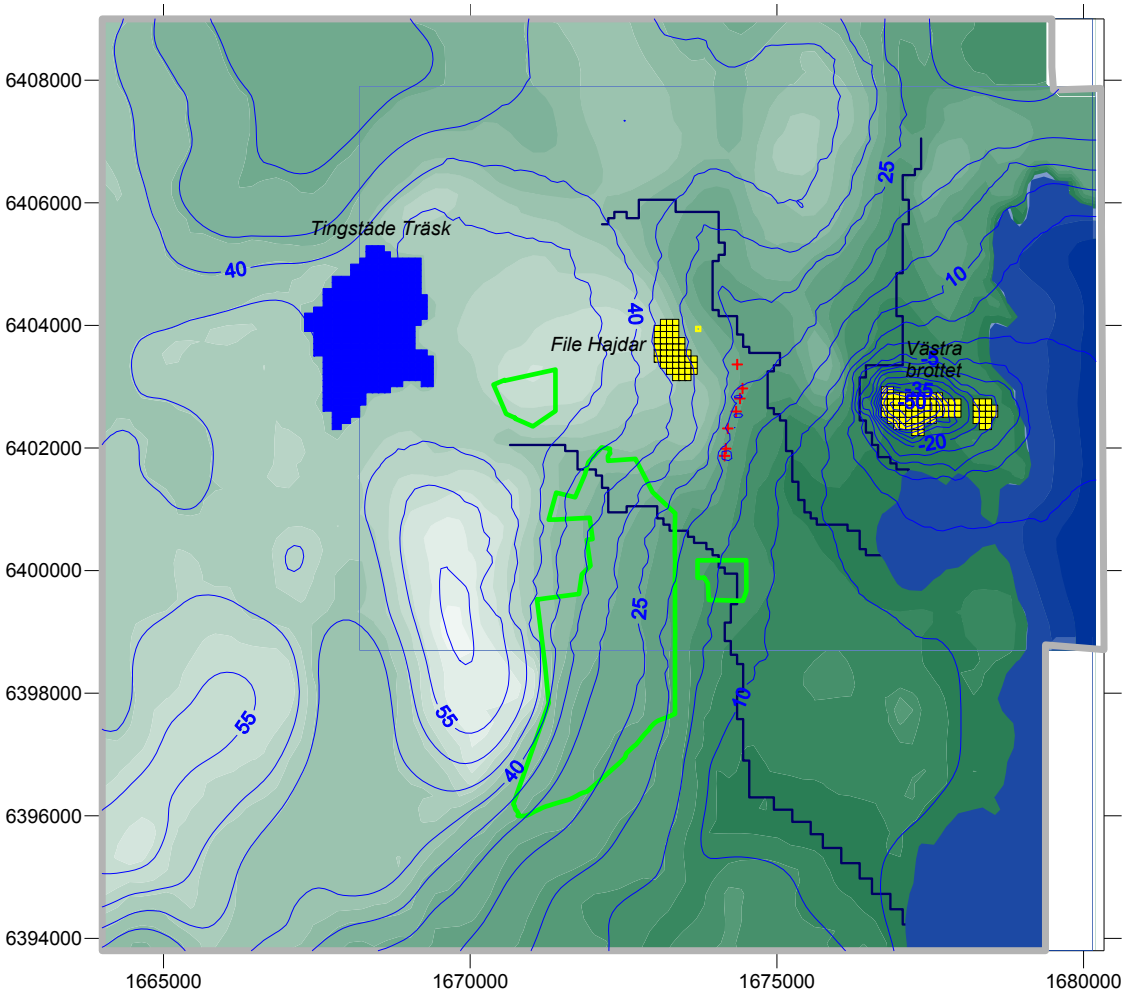
Nybildningen av grundvatten till de djupa vattenförande lagren vid File Hajdar har vid tidigare undersökningar (SGU 1977 respektive Golder Geosystem 1991) beräknats vara så låg som 10 mm/år. Detta skulle då innebära att endast cirka 2% av årsnederbörden bildar grundvatten i dessa lager. Lokalt på andra platser, t.ex. vid den krosszon där de kommunala uttagsbrunnarna är belägna är nybildningen av grundvatten större på grund av en betydligt större vertikal genomsläpplighet, se vidare avsnitt 6.1. Viak AB (1974) redovisar t.ex. en uppskattad grundvattenbildning i detta område på 250 mm/år i medeltal och 100 mm/år under torrår.

I Figur 7 nedan visas trycknivån (potentialen) för grundvattenytan beräknad med hjälp av modellen. Figuren visar situationen vid stationärt tillstånd (en medelvärdessituation) och trycknivån framgår av blå isolinjer. De stora årstidsvariationerna som förekommer framgår ej av figuren.



Figur 7 Beräknad trycknivå (potential) för grundvattenytan (m ö h), nuvarande förhållanden. De kommunala brunnarna visas med röda punkter. I figuren är också illustrerat gränserna för tre s k Natura 2000 områden (gröna linjer).

I Figur 8 nedan visas trycknivån (potentialen) vid stationärt tillstånd (medelvärdessituation) i lager D beräknad med hjälp av modellen. Detta lager ligger vid File Hajdar brottet vid en nivå på cirka - 20 meter och vid Västra brottet på cirka - 45 meter.



Figur 8 Beräknad trycknivå (potential) i lager D, nuvarande förhållanden.

Den beräknade trycknivån (potentialen) går inte att direkt jämföra med en uppmätt nivå i en brunn eftersom trycknivån i ett lager bara representerar en punkt i detta lager. En borrad brunn penetrerar normalt både den övre bergmassan med liten vattenförande förmåga och de djupare vattenförande lagren. Detta gör att en uppmätt nivå i en brunn utgör ett integrerat värde (ungefär som ett medelvärde).

4 Uppmätta grundvattennivåer

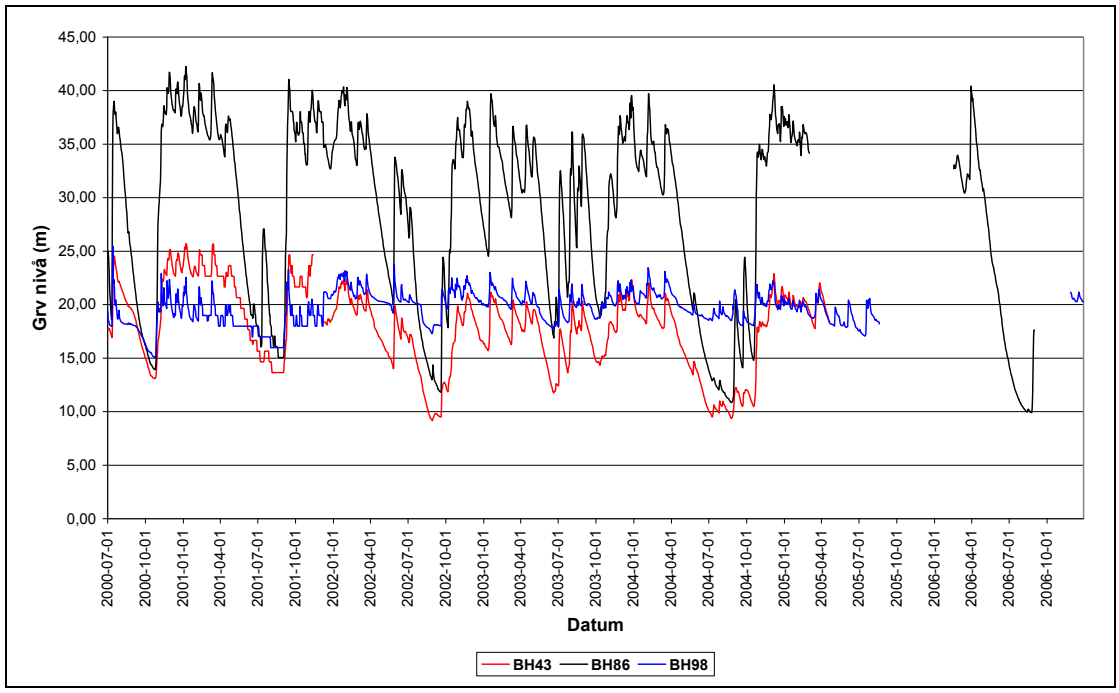
Inom ramen för ett kontrollprogram utför SGU på uppdrag av Cementa mätningar av grundvattennivåer i tre borrhål belägna nordost och sydväst om File Hajdar brottet. Läget för borrhålen framgår av Bilaga 2 och Figur 10. Uppgifter om djup m.m. sammanfattas i nedanstående Tabell 2.

Tabell 2 Borrhål för grundvattenkontroll.

Beteckning	Nivå r.ö.k.	Nivå botten	Djup från r.ö.k	Mätningar sedan
BH 43	+ 29,56	+ 3,36	26,2	1967
BH 86	+ 49,20	- 10,80	60,0	1978
BH 98	+ 31,85	- 8,15	40,0	1989

Borrhål 86 och 98 är utförda ner i de vattenförande horisontala lagren (akviferen) medan botten i borrhål 43 ligger ovanför dessa (akvitard).

I Figur 9 nedan visas de uppmätta grundvattennivåerna (som dygnsvärden) i nämnda borrhål mellan 2000 och 2006.



Figur 9 Uppmätta grundvattennivåer i tre borrhål (observationsrör) runt Filer Hajdar brottet mellan 2000 och 2006. Data erhållet av SGU.

Under perioden 1967 – 1989 har årsmedelvattenståndet i **borrhål 43** varierat mellan cirka + 16,5 och + 20 och ingen sjunkande trend kan ses under denna period. Under senare år (2000 – 2004[B]) har årsmedelvärdet varierat mellan + 15,5 och + 20 där nivån + 15,5 gäller år 2004. Det finns vissa tecken på att nivån i borrhål 43 har en något sjunkande trend. Dock har de lägsta vattennivåerna inte blivit lägre sedan 1967. Under perioden 1967 – 1989 var den lägsta uppmätta grundvattennivån cirka + 9. Samma lägsta nivå uppmättes både 2002 och 2004.

I **borrhål 86** har årsmedelvattenståndet varierat mellan cirka + 25 och + 33 under perioden 1978 – 1989. Under senare år (2000 – 2004) har årsmedelvärdet varit mellan + 25,5 och + 31,5. Den lägsta grundvattennivån mellan 1978 – 1989 uppmättes till cirka + 9 under 1978. Under 2000-talet är den lägsta uppmätta nivån (som dygnsvärde) cirka + 10 vilket inträffade 2006. Någon sjunkande trend kan ej ses.

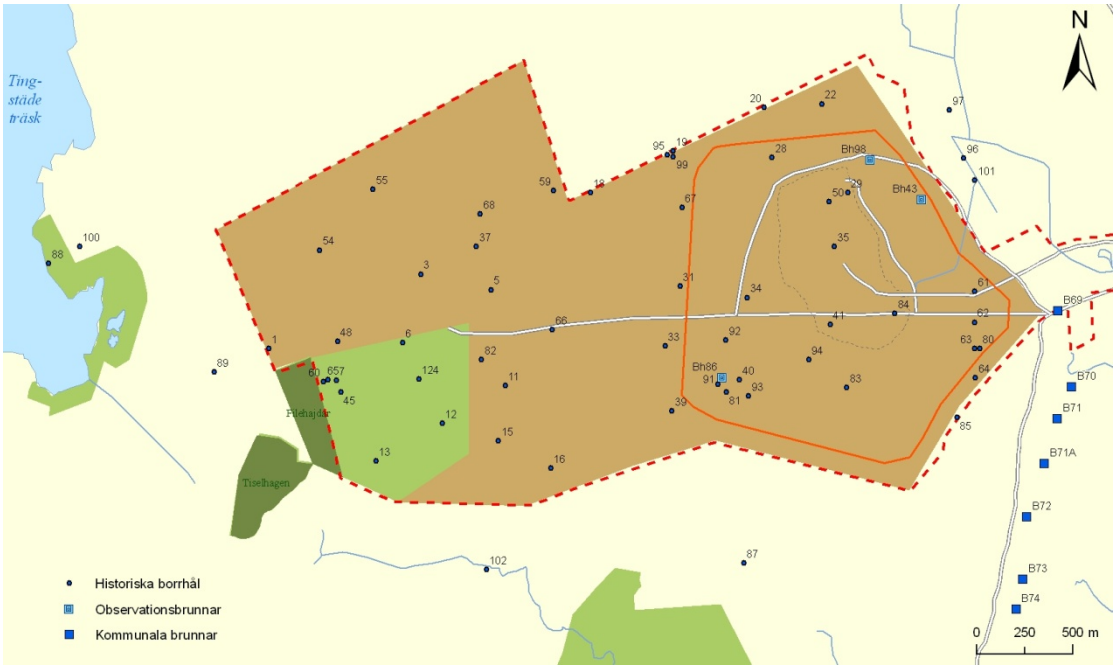
Grundvattennivåvariationerna är mindre i **borrhål 98** än i de två andra kontrollpunkterna. Årsmedelvärdet under 2000 – 2004 har varierat mellan + 18,6 och + 20,6. Den lägsta nivån under samma period har varit + 15,1 (som dygnsvärde) vilket inträffade 2000.

Grundvattennivåerna i borrhål med olika djup är inte helt jämförbara eftersom den uppmätta grundvattennivån i ett borrhål utgör ett integrerat värde av grundvattentrycket över hela borrhålslängden.

[B] På grund av databortfall under 2005 och 2006 saknas underlag för att redovisa årsmedelvärden.

5 Tidigare undersökningar av grundvattenförhållanden på File Hajdar

Från 1977 och framåt har SGU utfört mätningar av grundvattennivåer i över 20 borrhål inom File Hajdar. 1977 utfördes även provpumpningar i 3 borrhål samt i en av kommunens produktionsbrunnar. Vidare utfördes sk slugtest i 8 borrhål. I Figur 10 framgår läget för dessa undersökningspunkter. Då figuren kan vara svårläst finns samma figur i större format i Bilaga 8.



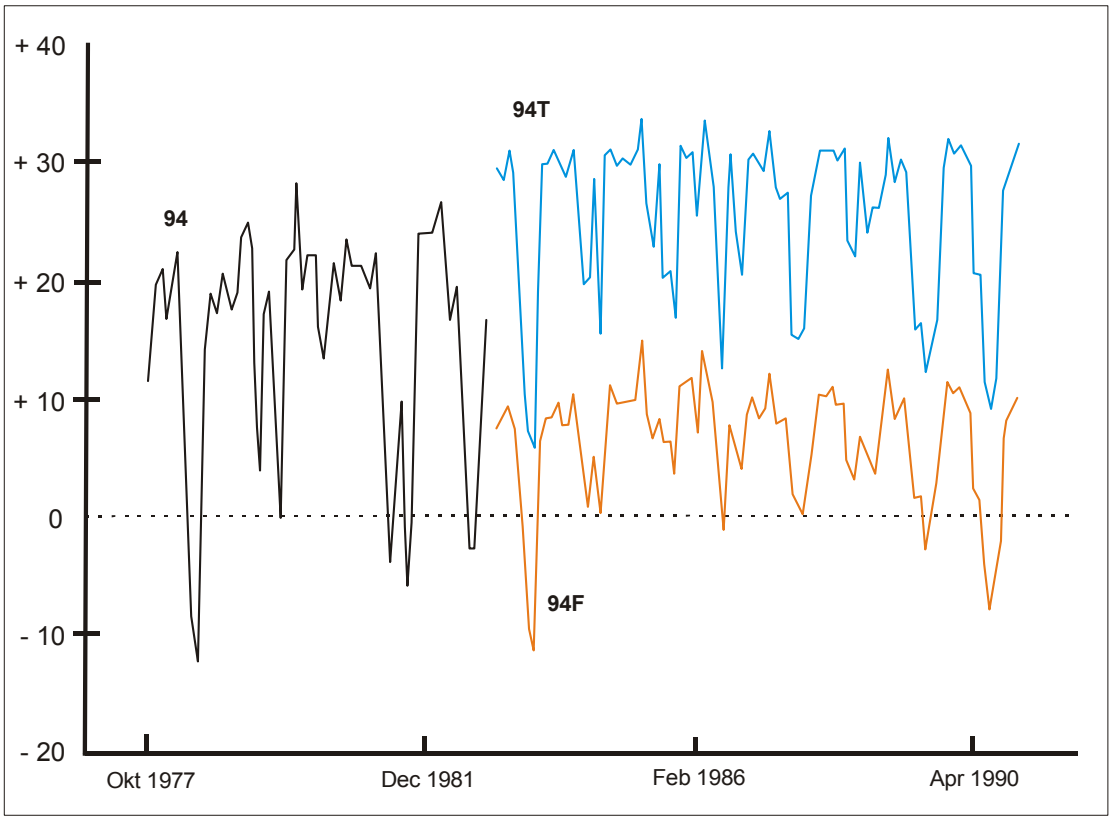
Figur 10 Läget för tidigare och nuvarande undersökningspunkter på File Hajdar.

Resultatet av de utförda mätningarna är bl.a. beskrivet i en rapport av Golder Geosystem AB (1991). Grundvattennivåns generella variationsmönster inom området karakteriseras av snabba och stora förändringar. Höjning av grundvattennivån på 20-30 meter under mindre än ett dygn kan förekomma i samband med nederbörd. De snabba och stora variationerna av grundvattennivån är sannolikt en effekt av en mycket låg effektiv porositet hos bergmassan. Detta medför att grundvattenmagasinet är helt fyllt under perioder med hög nederbörd såsom vinter och höst, medan grundvattenytan når ett bottenläge under sommaren.

Uppmätta grundvattennivåer indikerar att de största och snabbaste variationerna ske i de ytliga rören, medan variationerna i djupare rör är mer dämpad. Det föreligger ett starkt samband mellan uppmätt grundvattennivå och borrhålsdjup. Generellt ligger grundvattenytan såväl vid högvatten som vid lågvatten på en lägre nivå i djupare borrhål.

Ovanstående kan exemplifieras med ett diagram från Golder Geosystems rapport från 1991. Diagrammet visar uppmätta nivåer i borrhål 94 som ligger strax sydväst om nuvarande brytfront, se Figur 10. I detta borrhål finns mätdata från och med 1977. Cirka 1982 gjordes en

igengjutning av borrhålet på nivån +8,11, varefter en uppborrning gjordes i en mindre dimension. Borrhålet har därefter två rör; ett yttre med botten på +8,11 (94T) och ett inre med botten på -16,15 (94F). I Figur 11 nedan visas de uppmätta nivåerna i borrhål 94 före och efter installation av det inre röret. Det som kan ses i figuren är därmed den integrerade grundvattennivån för hela borrhålet fram till cirka 1982 och därefter grundvattennivån under och över nivån +8,11. Av figuren framgår tydligt att grundvattennivån i den övre delen av berget ligger högre än i den undre delen. Den undre nivån uppvisar också en något mindre variation jämfört med den övre.



Figur 11 Grundvattennivå i borrhål 94. Från cirka 1982 mätning på två nivåer; bottennivå +8.11 (94T) samt bottennivå -16,15 (94F).

Vid tidigare grundvattennivåmätningar i djupa borrhål på File Hajdar såsom 94F ovan och i kommunens produktionsbrunnar (B 69 och B 74) belägna i krosszonen har konstaterats att grundvattennivån samvarierar, dvs. nivån ligger nästan på samma nivå i de djupa borrhålen på File Hajdar som i krosszonen. Under perioden 1988 – 1990 varierade grundvattennivån i produktionsbrunn B69 (längst norrut) mellan + 16 och – 7 och i B 74 (längst söderut) mellan + 16 och – 10. I Figur 12 nedan visas månadsvis uppmätta nivåer i brunn B 69 och B 74 under denna period. I avsnitt 6.1 redovisas aktuella uppgifter om grundvattennivåer i produktionsbrunnarna.

Figur 12 Uppmätta grundvattennivåer i brunn B 69 och B 74.

I SGU:s arbete från 1977 ingick även korttidsprovpumpning i tre borrhål på File Hajdar (86, 95 och 96) samt i en av kommunens produktionsbrunnar (B 71A). Läget för borrhålen framgår av Figur 10 och Bilaga 8. Borrhål 95 ligger strax nordväst om ramområdet, borrhål 96 strax nordost om ramområdet och borrhål 86 i sydvästra delen av ramområdet. Som ett resultat av provpumpningarna framkom följande:

- Vid provpumpning i B 71A vid den kommunala vattentäkten framkom att brunnarna vid vattentäkten ligger i en gemensam kanalformad akvifer sannolikt betingad av en större krosszon.

- En god hydraulisk förbindelse förekommer mellan vattentäktsområdet och borrhål 96 norr därom, samt borrhål 63 (östra delen av ramområdet) uppe på File Hajdar. Det är dock ej troligt att borrhål 63 är beläget i kanalen.

- Data från korttidsprovpumpningen av borrhål 96 visar att detta sannolikt ej ligger i kanalen, men står i god hydraulisk kontakt med brunnarna i den kommunala vattentäkten.

- Vid avsänkning och återhämtning i borrhål 96 reagerade endast djupa borrhål uppe på File Hajdar (63, 86, 94 och 101).

- Vid provpumpning av borrhål 86 framkom att borrhål 91 och 94 står i direkt hydraulisk kontakt med borrhål 86, medan borrhålen 81, 92 och 93 endast reagerade under avsänkningsförloppet och därför kan tolkas stå i ett läckagesamband med borrhål 86.

- Vid provpumpning av borrhål 95 reagerade endast närbelägna borrhål (19 och 99).

I Tabell 3 nedan visas beräknade transmissiviteter från korttidsprovpumpningarna (SGU, 1977). I Tabellen anges också vilka av de djupa vattenförande horisontala lagren som bedöms vara penetrerade av borrhålen.

Tabell 3 Uppgifter om borrhålsdjup och beräknade transmissiviteter.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m ö h)	T (m^2/s)	Penetrerade lager
B 69	40,1	-17,27	$1*10^{-2}$	A, B, C, ev. D
B 70	39,4	-20,86	$2,2*10^{-3}$	A, B, C, D
B 71	39,1	-21,21	$1,2*10^{-2}$	A, B, C, D
B 71A	56,4	-37,59	$1*10^{-2}$	A, B, C, D
B 72	54,0	-33,10	$1,3*10^{-2}$	A, B, C, D
B 73	56,6	-36,19	$1,5*10^{-2}$	A, B, C, D
B 74	52,8	-32,65	-	A, B, C, D
96	50,0	-29,83	$4*10^{-3}$	A, B, C, D
63	44,4	-9,76	$3,2*10^{-4}$	A, B, C
101	60,0	-38,67	$3,8*10^{-4}$	A, B, C, D
94	60,0	-16,15	$3*10^{-4}$	A, B, C, ev. D
86	60,0	-10,80	$1,2*10^{-5}$	A, B, C
40	40,4	+8,41	$1,6*10^{-5}$	Ev. A
91	42,0	+7,01	$1,8*10^{-5}$	Ev. A
83	41,7	+4,10	$6*10^{-5}$	A
19	37,8	+18,69	$1,1*10^{-6}$	-
95	50,0	+6,40	$9,4*10^{-7}$	Ev. A

Som nämndes inledningsvis utförde SGU även s k slugtest i 8 borrhål. Slugtest är en enkel metod för att bestämma hydrauliska egenskaper berg eller jordlager. Testen utförs genom att hastigt höja eller sänka vattennivån, i detta fall i ett borrhål, varefter återhämtningen registreras. Utifrån denna information kan bergets genomsläpplighet bestämmas.

Slugtester omfattande borrhålen 6, 12, 19, 33, 43, 80, 81 och 84. Beräknande transmissiviteter visas i Tabell 4 nedan tillsammans med en bedömning av vilka djupa vattenförande lager som är penetrerade av borrhålen.

Tabell 4 Uppgifter om borrhålsdjup och beräknade transmissiviteter från slugtest.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m ö h)	T (m^2/s)	Penetrerade lager
6	48,5	+15,12	$2,9*10^{-6}$	A
12	39,5	+19,48	$2,2*10^{-5}$	-
19	37,8	+18,69	$1,0*10^{-6}$	-
33	24,0	+26,79	$2,2*10^{-6}$	-
43	26,3	+3,36	$1,5*10^{-5}$	A
80	41,6	-7,01	$7,7*10^{-5}$	A, B
81	41,8	+6,07	$8,8*10^{-7}$	A
84	42,2	-1,17	$4,2*10^{-6}$	A, B

6 Annan vattenanvändning i området

6.1 Kommunens vattentäkt

Kommunens grundvattentäkt är belägen vid Dyhagen mellan Västra brottet och File Hajdar brottet. Vattentäkten består av 7 bergborrade produktionsbrunnar placerade i en nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 – 500 meter. Brunnarnas lägen framgår av Figur 10 och Bilaga 2.

Brunnarna ligger inom en äldre strandzon med hög transmissivitet (stor vattenförande förmåga) och som på ytan består av strandgrus. Zonen sträcker sig från SSV mot NNO längs foten av höjdområdet på File Hajdar i väster. Zonen bredd har tidigare uppskattats till 550 meter och dess utsträckning i längdled har genom tidigare provpumpningar visats vara minst 2 km (Viak AB, 1981). Det finns även uppgifter på att den kan uppgå till 6 km (Golder Geosystem, 1991).

Brunnarna är mellan 39 och 57 meter djupa. Uppgifter om borrdjup m.m. visas i nedanstående Tabell 5.

Tabell 5 Data för produktionsbrunnarna B 69 – 74. B 69 ligger längst norrut och B 74 längst söderut. Höjduppgifter i m.ö.h.

Brunnsbeteckning	Nivå r.ö.k.	Nivå botten	Djup från r.ö.k. (m)
B 69	+ 22,83	- 17,27	40,10
B 70	+ 18,54	- 20,86	39,40
B 71	+ 17,89	- 21,21	39,10
B 71A	+ 18,81	- 37,59	56,40
B 72	+ 20,90	- 33,10	54,00
B 73	+ 20,41	- 36,19	56,60
B 74	+ 20,15	- 32,65	52,80

B 69 ligger på fastigheten Othem Ytings 1:27. B 70, 71 och 71A ligger på Othem Klints 1:51. B 72 och 73 ligger på Boge Laxare 1:38. B 74 ligger troligen på Boge Laxare 1:19 alternativt 1:26. I Figur 13 nedan visas en av pumpbyggnaderna.

Figur 13

Pumphus för brunn B 71A.

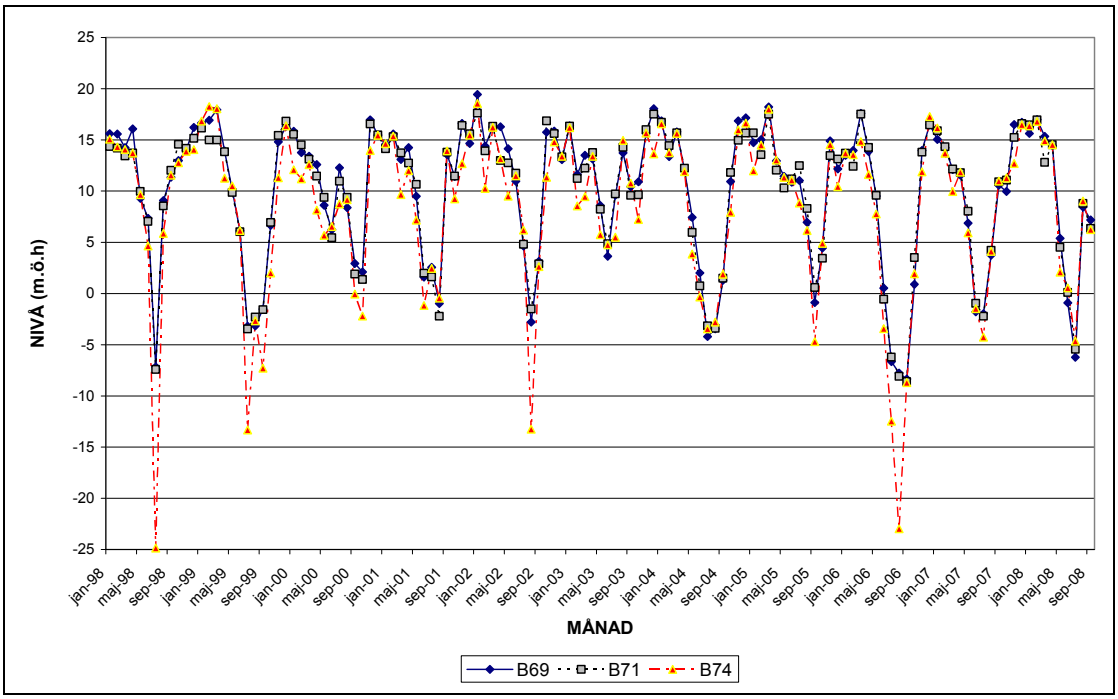
För vattenuttaget finns en vattendom som meder ett uttag på 220 000 m^3 per år vilket motsvarar cirka 7 L/s. Temporärt (enskilt dygn) får uttaget uppgå till 10,4 L/s (900 m^3/d). De områden som har anslutning till kommunalt dricksvattennät visas i Bilaga 12. Utöver Slite tätort är bl.a. Othemars, Spillings, Österby, Närs och Mojner anslutna.

Kommunen mäter grundvattennivån i produktionsbrunnarna 1 gång per månad. Nivåerna i brunnarna har under perioden 1998 – 2008 i medeltal legat mellan + 9 och + 11 med undantag för B 74 där nivån är något lägre, se Tabell 6.

Tabell 6 Grundvattennivåer i produktionsbrunnarna under perioden jan 1998 – sep 2008.

Brunnsbeteckning	Medel	Max	Min
B 69	+ 10,0	+ 19,45	- 8,35
B 70	+ 10,7	+ 18,54	- 8,46
B 71	+ 9,9	+ 17,62	- 8,61
B 71A	+ 10,0	+ 18,54	- 8,67
B 72	+ 10,0	+ 18,53	- 8,80
B 73	+ 9,2	+ 18,44	- 11,36
B 74	+ 8,5	+ 18,56	- 24,85

Mätningarna visar på stora fluktuationer i nivå mellan våta och torra perioder samt en tydlig samvariation i nivå mellan brunnarna. De största fluktuationerna förekommer i B 74 där skillnaden mellan högsta och lägsta nivå kan uppgå till 40 meter. De lägsta nivåerna uppträder utan undantag under torra sommarperioder. I nedanstående Figur 14 visas uppmätta nivåer i tre av brunnarna (data erhållet av Gotlands kommun).



Figur 14 Uppmätta grundvattennivåer i tre av produktionsbrunnarna mellan 1998 och 2008.

6.2 Enskilda brunnar

I området finns ett flertal brunnar som försörjer enstaka hushåll med vatten eller som används för bevattningsändamål. En inventering av de brunnar som kan påverkas av vattenverksamheten har gjorts genom att sända en enkät om vattenanvändningen till fastighetsägare vars fastigheter ligger inom ett förväntat framtida influensområde för grundvattenavsänkning. Influensområdet har tagits fram genom att beräkna det område – eller den areal – där trycknivån (potentialen) i det djupt liggande lager D kan sjunka med 0,5 meter eller mer vid stationära förhållanden. Denna beräkning är gjord för både situationen 2021 och 2031. Influensområdet för dessa situationer visas i Bilaga 9 tillsammans med en förteckning över de fastigheter som berörs. Förändringen av trycknivån i lager D kan sägas utgöra det ”värsta fallet” då influensområdet för lagren ovanför (lager A-C) blir mindre.

Enkäten om vattenanvändning skickades under sensommaren 2008 till de fastighetsägare som kan påverkas vid situationen 2031. Uppgifter om brunnar har även inhämtats via SGUs brunnsarkiv och via telefonkontakter. Totalt har 45 brunnar för hushålls-, djurhållnings eller bevattningsändamål identifierats. 4 har uppgivit att aktuell brunn inte används och 3 har uppgivit att brunnen är grävd i jord. 9 av de 45 brunnsägarna är även anslutna till kommunalt dricksvattennät. Inga energibrunnar har identifierats eller rapporterats. Merparten av de brunnar som kan beröras ligger i File, Laxare, Klints, Othemars och Ytings. Av de 45 brunnarna återfinns endast 19 i SGUs brunnsarkiv. I Bilaga 10 återfinns en sammanställning av de fastigheter med egen brunn som identifierats. I sammanställningen är också markerat de som kan förutses vara sakägare vid situationen 2021 och 2031. Antalet sakägare är färre 2021 beroende på att influensområdet är mindre. Urvalet av sakägare har gjorts genom följande kriterier.

- De inom influensområdet som har borrad brunn som används till hushålls, djur eller bevattningsändamål har tagits upp som sakägare oavsett brunnsdjup.
- De inom influensområdet som har brunn som inte används eller som är tagen ur drift har inte tagits upp som sakägare.
- De som har grävd brunn har inte tagits upp som sakägare på grund av att brunnarna ligger utanför influensområdet för grundvattenytan – alltså det område där det ytliga grundvattnet i jord och berg kan påverkas. Detta influensområde har en mindre utbredning jämfört med influensområdet för det djupare liggande grundvattnet i de vattenförande lagren. Influensområdet för grundvattenytan finns redovisat i miljökonsekvensbeskrivningen, Bilaga C.

6.3 Annan användning

Slite golfklubb som driver en golfbana belägen på fastigheterna Othem Klints 1:51 och 1:48 använder vatten från dammar i Aneråns vattensystem för bevattningsändamål. Vatten tas ur två olika dammar varav den ena (golfdammen) är belägen på Cementas fastighet Österby 1:229. Uttaget uppgår totalt till cirka 50 000 m^3/år.

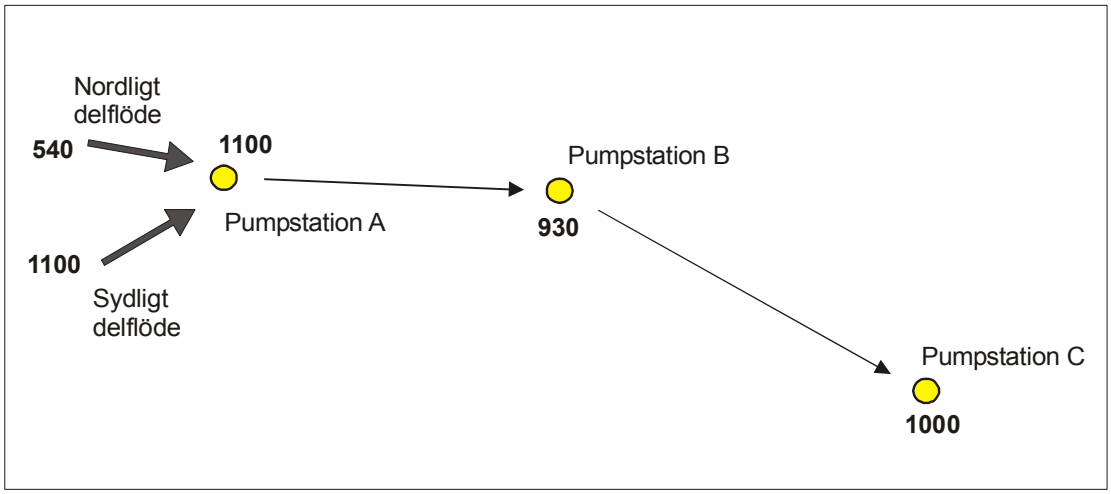
7 Salt grundvatten

Halten av klorid är ett tydligt mått på förekomsten av salt vatten. Ett opåverkat grundvatten innehåller normalt kloridhalter på i storleksordningen 1 – 100 mg/L. Kloridhalten i Östersjön vid Gotland uppgår till cirka 4000 mg/L. Relikt saltvatten (gammalt instängt havsvatten) kan innehålla ännu högre kloridhalter än så. Vid kloridhalter över 100 mg/L anger Livsmedelsverket att ett drickvatten är tjänligt med anmärkning. Vid halter över 300 mg/L brukar gemene man kunna uppleva en salt smak.

7.1 Brotten

Det vatten som läcker in i och avleds från File Hajdar brottet uppvisar inga tecken på inträngning av saltvatten. Kloridhalten i detta vatten har under perioden 1997 – 2007 varit cirka 25 mg/L i medeltal.

Det vatten som läcker in i och avleds från Västra brottet via Östra brottet till Östersjön består delvis av saltvatten (relikt och/eller inträngande havsvatten). Typiska kloridhalter i vattnet uppgår till cirka 1000 mg/L. I Figur 15 är analyserade kloridhalter i september 2008 vid provtagning i Västra och Östra brottet illustrerade. Pumpstation A och B är belägna i Västra brottet och pumpstation C i Östra. Från pumpstation C leds vattnet ut i havet. Till pumpstation C leds även vatten från deponin (ej markerat i figuren).



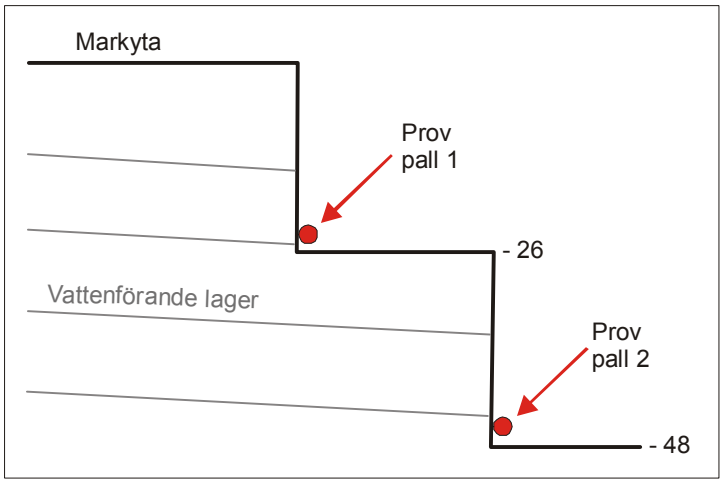
Figur 15 Kloridhalter i Västra och Östra brottet i september 2008. Angivna siffror avser kloridhalt i mg/L.

I samband med riklig nederbörd sjunker kloridhalterna till betydligt lägre nivåer.

Under hösten 2008 har provtagning och analys på inläckande grundvatten till Västra brottet utförts. Prover har både tagits på vatten som läcker in från pall 1 och pall 2 d v s på vatten från olika djup, se principskiss i Figur 16.

Figur 16

Principskiss över provtagnings-platser för inläckande grundvatten i Västra brottet.



I Tabell 7 nedan visas analyserade kloridhalter på uttagna prov.

Tabell 7 Kloridhalter i inläckande grundvatten till Västra brottet.

Provplats	Nivå (m)	Cl^- (mg/L) 080918	Cl^- (mg/L) 081024	Cl^- (mg/L) 081205
Pall 1: nordvästra väggen	Ca -24	21	15	27
Pall 1: norra väggen	Ca -24	24	16	25
Pall 2: nordvästra väggen	Ca -45	780	370	280
Pall 2: norra väggen	Ca -45	380	430	160
Pall 2: nordöstra väggen	Ca -45	2500	2300	680

Av kloridhalterna på de olika provtagningsplatserna framgår att det inläckande grundvattnet på pall 1 innehåller, för ett grundvatten, normala halter och någon saltpåverkan syns ej. Inläckande grundvatten på pall 2 innehåller däremot tydligt förhöja kloridhalter som betyder att vattnet till viss del är av salt ursprung. En annan observation som kan göras är att kloridhalten är högst vid nordöstra väggen vilket betyder en ökning av klorid i östlig riktning mot havet. Vid provtagningen den 5:e december rådde en högvattensituation på grund av stora nederbördsmängder. Detta visar sig i analyserna genom en minskad kloridhalt i grundvattnet på pall 2.

I början på 2009 togs även prov på vatten som tränger upp från botten på pall 2. Detta prov visade en kloridhalt på 1800 mg/L.

Då fortsatt brytning i Västra brottet kommer inte att ske djupare än till cirka – 26 meter och vattenfyllning av pall 2 är planerad till cirka 2011, bedöms inläckaget av salt vatten minska och andelen sötvatten i Västra brottet öka i framtiden. Frågan är då vilken kloridhalt det kan bli fråga om i vattnet när pall 2 fyllts. Genom ett antal antaganden om hur stora de olika tillflödena till pall 2 är och de analyserade kloridhalterna kan detta uppskattas. Räknat på att 16% av vattnet utgör nederbörd, 2% av vattnet tränger upp från botten på brottet, 41% läcker

in från sidan på pall 1 och 41% från sidan på pall 2, kan kloridhalten i vattnet uppskattas till cirka 250 mg/L. Detta bör ses som en storleksordning på vilken kloridhalt det kan bli i en vattenfylld pall 2. Med tiden bör dock kloridhalten att sjunka i takt med att mer sötvatten tillförs brottet.

7.2 Kommunens grundvattentäkt

Kloridhalten i kommunens vattentäkt uppvisar små variationer och ligger i genomsnitt på cirka 10 – 13 mg/L. Under perioden 1995 till 2006 har halten varierat mellan cirka 8 och 24 mg/L. De lägsta halterna förekommer vid högvattensutuationer och de högsta vid torrperioder då vattennivån i brunnarna är låg. Någon trend i kloridhalt har inte kunnat identifieras. Det finns heller inga indikationer på att kloridhalten skulle bli problematisk ens vid de låga vattennivåer som råder under torrperioder.

Den avsänkning av vattennivåerna i kommunens uttagsbrunnar som framtida vattenavledning från File Hajdar brottet orsakar bedöms inte leda till förhöjda kloridhalter i brunnarna.

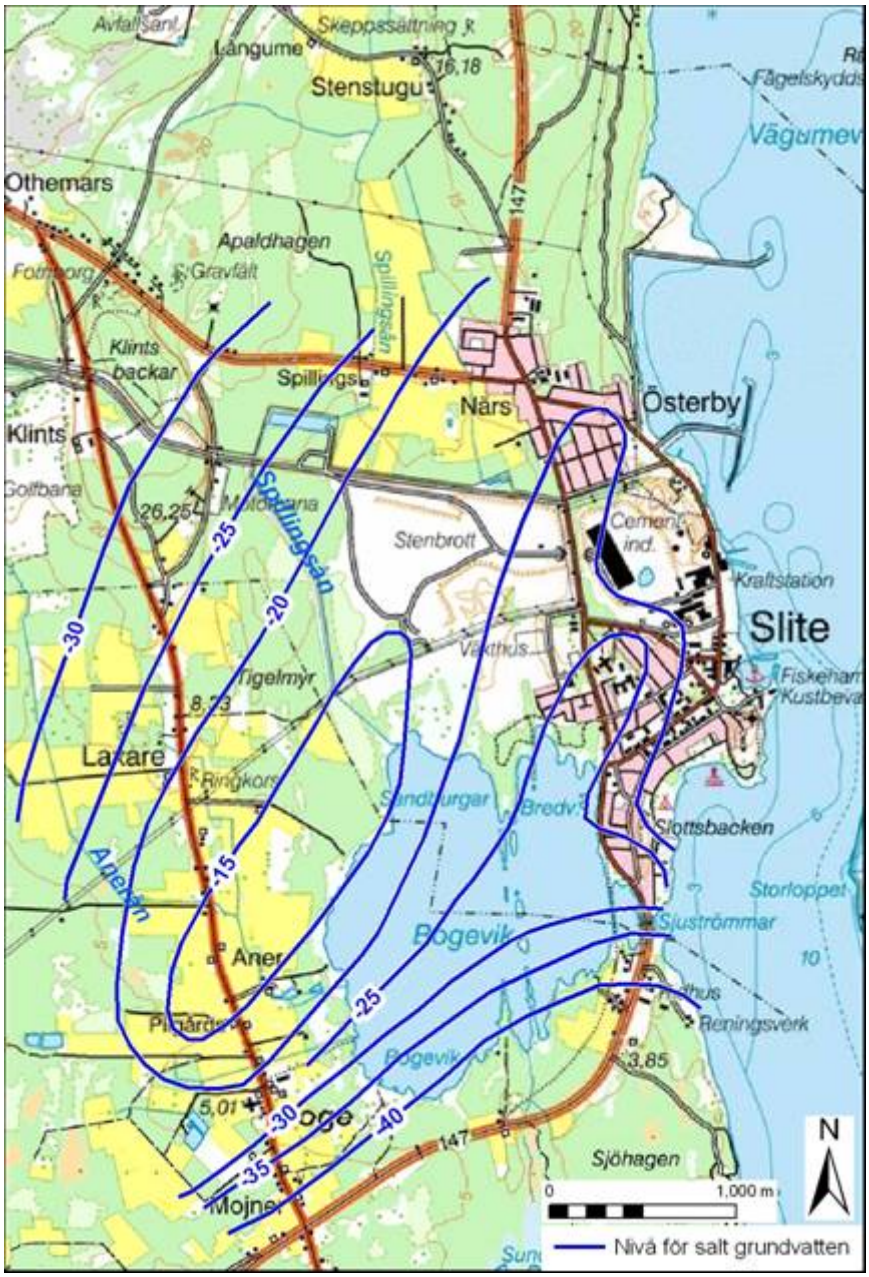
7.3 Enskilda brunnar

I brunnsarkivet hos Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) finns information om förekomst av saltpåverkat grundvatten i brunnar på vissa platser i Slite. Det stora flertalet av dessa brunnar är belägna i sydöstra delen av Slite tätort nära havet. Det finns även ett område (Pilgårds) som ligger strax sydost om Bogeviken cirka 1 km norr om korsningen mellan väg 146 och 147 där salt vatten i brunnar konstaterats. Salt vatten i brunnar har också konstaterats på några platser längs Othemsvägen cirka 600 meter norr om Västra brottets norra brytfront. Även längre norrut vid Sudervange cirka 3,5 km norr om Västra brottet finns uppgift om salt vatten i en brunn. Det är troligt att det förekommit eller förekommer saltvattenpåverkade brunnar även på andra platser.

På 50-talet gjorde Helge Tullström på SGU en hydrogeologisk utredning av förhållandena i Slite där även förekomsten av salt grundvatten beskrevs. Av denna utredning framgick att gränsen mellan sött och salt grundvatten låg högst väster om Bogeviken (på cirka -15 meter) och att nivån för denna gräns sjönk i nordvästlig riktning, se Figur 17. Detta verkar stämma med uppgifterna om saltpåverkat grundvatten vid brunnar i Pilgårds.

Figur 17

Illustration baserad på Tullströms utredning och som visar nivåkurvor för gränsen mellan salt och sött grundvatten på 50-talet.



Någon koppling mellan förekomsten av salt vatten i enskilda brunnar och Västra brottet kan inte konstateras. Förekomsten av salt vatten bedöms främst bero på borrdjup och närheten till havet. Analyser på inläckande grundvatten från pall 2 i Västra brottet visar att det djupa grundvattnet är påverkat av salt. Detta borde då innebära att djupt borrade brunnar i Västra brottets närhet riskerar att vara saltpåverkade.

8 Referenser

- Samrådsunderlag inför ansökan om tillstånd för fortsatt täktverksamhet samt vattenbortledning m.m. enligt 11 kap Miljöbalken, Cementa AB (2008-10-08).
- Grundvattenmodellering av File Hajdar och Slite – resultat 2009-02-05 , Golder Associates AB (2008).
- Vattenplan för Gotlands kommun, Gotlands kommun (februari 2005).
- Kontrollprogram grundvatten – redovisning av mätresultat för år 2006, SGU (2007).
- Karta över verksamhetsområde Vatten i Slite, Gotlands kommun (2008).
- Ekonomiska kartblad, Lantmäteriet.
- Förslag till omläggning av och vattenbortledning från Spillingsån, Orrje & Co (1976).
- Dom i mål nr. M27311-05, Stockholms tingsrätt avd. 9 Miljödomstolen (2006-04-25).
- Hydrologi (kompendium), Lars Gottschalk (1980).
- File Hajdar – täktverksamhetens inverkan på grundvattenförhållandena, Golder Geosystem (1991).
- PM angående ökat vattenuttag från grundvattentäkterna vid File Hajdar och Klints i Slite, Viak AB (1974).
- Redogörelse för undersökningar vid grundvattentäkten Klints i Slite samt förslag till åtgärder, Viak AB (1981).
- Avrinningsområden i Sverige – del 3 vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund, SMHI (1994).
- Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File Hajdar Gotland, SGU (1977).
- Utvidgning av stentäkt på File Hajdar – geohydrologisk bedömning, Scandiaconsult Miljöteknik AB (1990).
- Kalkstensbrytning och grundvattenpåverkan, SGU (2000).
- Dimensioneringsunderlag för Laxarveån (Anerån), SMHI (2008).

- Grundvattennivådata erhållet av Gotlands kommun (2008).
- Vattenanalysdata erhållet av Gotlands kommun (2008).
- The groundwater composition in limestone and marlestone quarries in the Slite industrial area, Frida Pettersson (2009).
- Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland, Helge Tullström (1955).

Göteborg, som ovan

GOLDER ASSOCIATES AB

Peter Vikström Annika-Lindblad-Påsse

Handläggare *Uppdragsledare*

BOTTENFÖRHÅLLANDEN I TINGSTÄDE TRÄSK, GOTLAND

Tingstäde träsk ligger på norra Gotland och är öns näst största insjö. Sjön ligger inom ett område som omfattas av den numeriska grundvattenmodell som upprättats med anledning av tillståndsprövningen av Cementas täkter vid File Hajdar och Västra brottet vid Slite. Då frågor har väkts rörande om ett grundvattenuttag vid File Hajdar skulle kunna påverka vattenballansen i sjön har föreliggande desktop studie gjorts för att undersöka vilka kartläggningar som gjorts av sjöns bottensediment. I modelleringar i samband med tidigare tillståndsansökningar (2009) har ett antagande gjorts om relativt täta bottensediment med en ansatt hydraulisk konduktivitet på $1x10^{-9}$ m/s. Denna studies huvudsyfte är alltså att verifiera eller korrigera bottensedimentens hydrauliska konduktivitet.

Geografi och kulturhistoria

Under början av 1100-talet byggdes en stor träanläggning mitt i sjön med namnet Bulverket. Det uppskattas att över 20 000 stockar transporterades ut i sjön och sammansattes för att konstruera en borgliknande anläggning. Bulverket förstördes av okända anledningar men arkeologer tror att grundpålarna sjönk ner i kalkleran vilket medförde anläggningens kollaps. Bulverkets stockar ligger dock fortfarande bevarade på sjöns botten.
Under tiden mellan första och andra världskrigen användes sjön som flygplats med turer till Stockholm och Tyskland. I dagsläget används sjön som bad och fiske men främst som Gotlands största ytvattentäkt.
Sjön har en rik flora och fauna fastän sitt låga vattenstånd. På sjöbottnen växer en hel del plankton och blå-gröna alger. Fiskebeståndet består av ca 8 dominerande arter bl a abborre och gädda.

Figur 1. Tingstäde träsk. © Lantmäteriet/Metria.

Geologi

Jordlagren runt Tingstädeträsk utgörs till största del av lermorän, vilket även bedöms underlagra stora delar av sjön. Jordlagren redovisas i bifogad jordartskarta. I sydost går den kristalliniska kalkstensberggrunden i dagen. Längst sjöns nordvästra kant löper en isälvsavlagring. Längst stora delar av isälvsavlagringen omges kärnan av en svallkappa av svallsand.

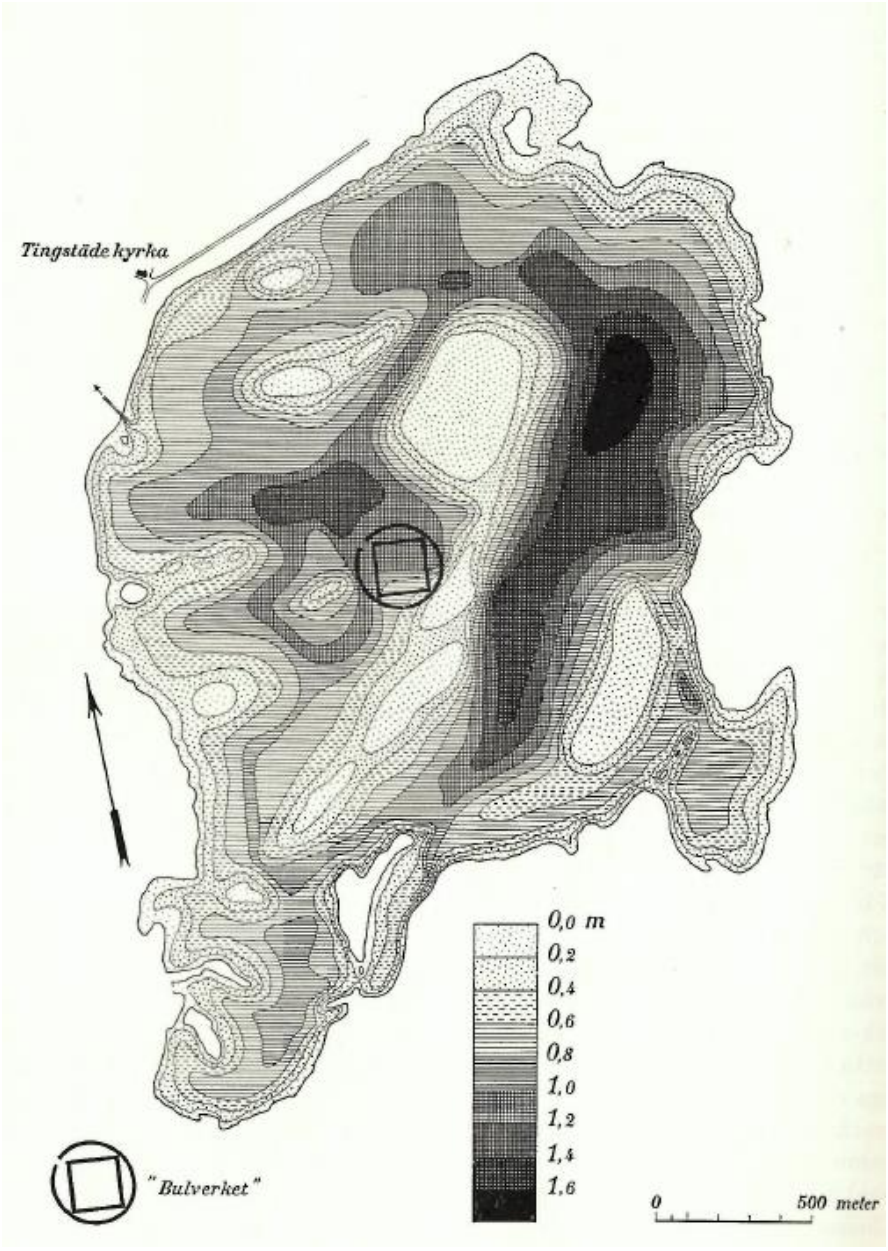
Sedimentundersökningar

Det genomsnittliga vattendjupet i Tingstäde träsk varierar mellan 0,5-2m men medeldjupet är ca 0,7m (Lundqvist 1940 & Länsstyrelsen).
Sedimentutfällning har genom århundraden gjort sjön grundare. Sedimentbankarna som täcker sjöbotten blottläggs då vattenståndet är lågt under exempelvis torra somrar Sedimentlagrets mäktighet varierar mellan 1-5m varefter berggrunden återfinns. I Figur 2 redovisas en profil över sedimentmäktigheten i en profil över sjön (ur Lundqvist 1940). Profilens exakta läge finns ej redovisad i underlaget men den bedöms gå över den smalare delen från udden längst sjöns östra sida. Profilen visar på tunna sedimentlager de ca 200 metrarna närmast östra kanten och några tiotal meter längst nordvästra kanten. Däremellan är sedimentmäktigheten generellt 3-5 meter.

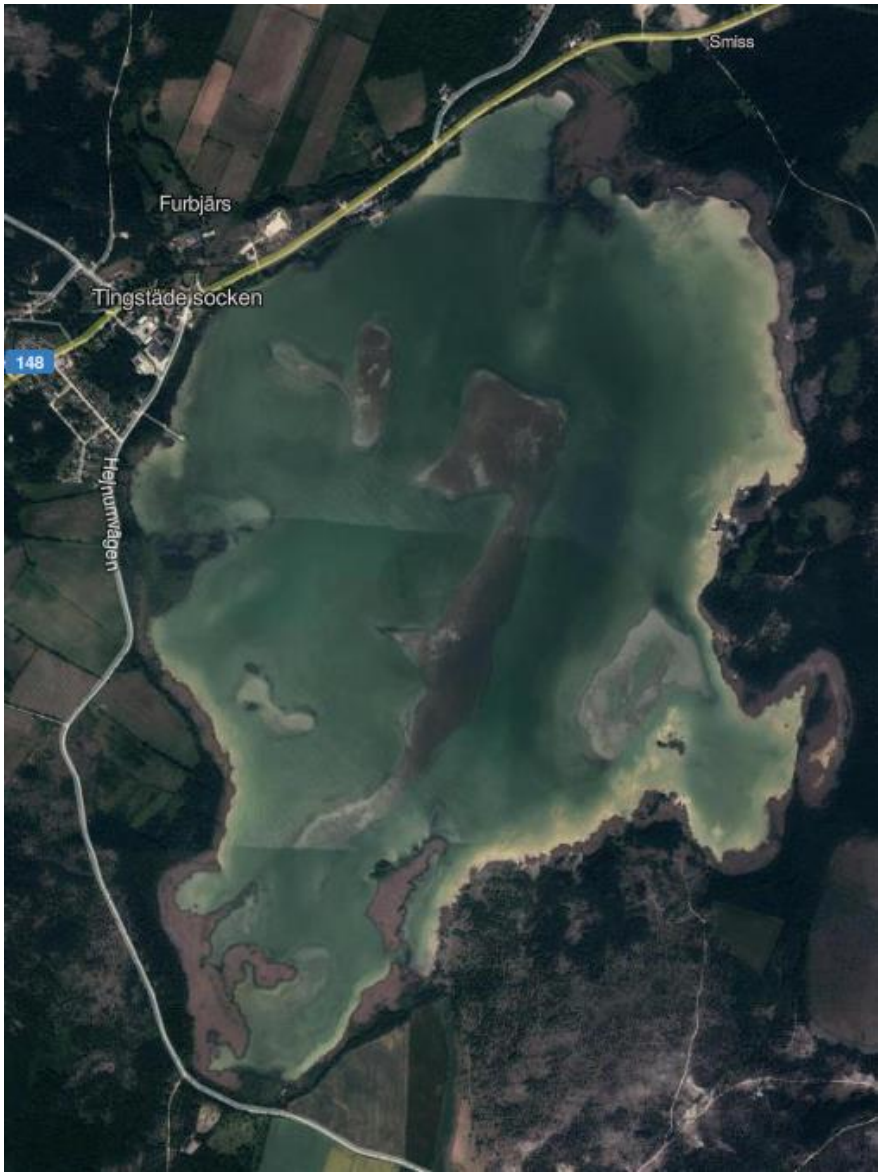
Figur 2. Sedimentmäktighet i Tingstäde träsk. Sektion från NV till SÖ (Lundqvist 1940).

Beståndsdelarna i sjöns bottensediment utgörs av kalkrik findetritusgyttja och bleke. Kornstorleken på sedimentet består huvudsakligen av grovmjäla (6-20 µm) med små inslag av grovmo (60-200 µm) och finmo (20-60 µm). Mineralkornen består av kvarts men mineraljordshalten är alltid låg (generellt <1-2% utom för prover nära fastmarks stränderna där 4% respektive 10% uppmättes).

En jämförelse mellan bottenprofilen(Figur 2), vattendjupskarta (Figur 3) och flygfoto (Figur 4) styrker att det sannolikt bara är en liten yta längst nordvästra stranden grovkornigare sediment ej överlagras av finkorniga organiska sediment.



Figur 3. Vattendjup i Tingstäde träsk (Lundqvist 1940).



Figur 4. Flygbild över Tingstäde träsk där man tydligt kan se sedimentbankarna (hitta.se).

Kommentar

Kornfraktionen grovmjäla eller som det benämns med dagens benämningssystem mellansilt har generellt tabellvärden för hydrauliskkonduktivitet på ca 10^{-8} m/s. Ett lerinnehåll på ca 10% eller fint organiskt material kan dock ytterligare sänka konduktiviteten ytterligare. Lermoränen har tabellvärden för hydrauliskkonduktivitet i spannet 10^{-8} – 10^{-10} m/s.

Förekomsten av sedimentbankar även nära nordvästra strandkanten och vattenvegetation längst i stort sett hela övriga sjökanten tyder på att det endast är lokalt längst nordvästra sjökanten grovkornigare jordarter står i direkt hydraulisk kontakt med sjön.

Göteborg 2016-11-29

Shoaib Shakil
Civilingenjör geoteknik

Göteborg 2016-12-30

Jakob Eng
Ansvarig hydrogeolog

Källor:

-G. Lundqvist (1940), *Sjösediment från Gotland*, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

-J. Rönnby (1995), *Bålverket- Om samhällsförändring och motstånd med utgångspunkt från det tidigmedeltida Bulverket i Tingstäde träsk på Gotland*, Riksantikvarieämbetet

-SGU, Jordartskarta 1:50 000

http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html

-Tingstädeträsk, Vatteninformationssystem Sverige (VISS), Länsstyrelsen
http://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterEUID=SE640431-166731

2017-07-01

RAPPORT

RESULTATRAPPORT

Hydrogeologiska fältundersökningar på File hajdar

Framställd för:
Cementa AB

Uppdragsnummer: 1650142

Golder Associates

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND OCH SYFTE 1

2.0 OMRÅDESBESKRIVNING 1

2.1 Geologiska förhållanden 2

2.2 Hydrogeologiska förhållanden 4

2.2.1 Numerisk hydrogeologisk modell 7

3.0 FRÅGESTÄLLNINGAR 8

4.0 METODIK 9

4.1 Undersökningspunkter 9

4.2 Enhålspumptest 10

4.3 Manschettester 11

4.4 Provpumpning 13

4.5 Grundvattennivåer 14

4.6 Optisk borrhålsfilmning 15

4.7 Akustisk borrhålsfilmning och temperaturloggning 15

4.8 Fältrekognosering av infiltrationsförhållande i täktens avvattningsdike 16

4.9 Vattenprovtagning 16

4.10 Observationer vid borrning 16

5.0 RESULTAT 17

5.1 Enhålspumptest 17

5.2 Manschettester 17

5.3 Provpumpning 19

5.4 Grundvattennivåer 24

5.5 Optisk borrhålsfilmning 29

5.6 Akustisk borrhålsfilmning och temperaturloggning 30

5.7 Fältrekognosering av infiltrationsförhållande i täktens avvattningsdike 30

5.8 Vattenprovtagning 33

5.9 Observationer vid borrning 34

6.0 DISKUSSION OCH KONCEPTUALISERING 35

6.1 Ytterligare undersökningar 39

6.2 Fortsatt arbete 39

7.0 REFERENSER 40

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1: Borrhål i och runt File hajdar-täkten, Sweref 99 1845, RH2000 10

Tabell 2: Sammanställning resultat för lager FHX.....18

Tabell 3: Sammanställning av årsmedelvärde för de tre borrhål runt File hajdar-täkten där det finns historiskt referensmaterial. Mätvärdena är beräknat från orginaldata med 1-timmes upplösning. 25

Tabell 4: Identifierade strukturer vid borrhålsfilmning i BH85 och BH1104 (meter under markytan).....29

Tabell 5: Resultat från analys av grundvatten från BH1603 i juni 2016. Vid värden över jämförelsevärdena är cellen färgmarkerad.....33

Tabell 6: Observationer i samband med borrning av BH1701 och BH1702.....34

Tabell 7: Sammanställning noterbart vattenförande lager i djupa borrhål.....38

FIGURFÖRTECKNING

Figur 2-1: Översiktskarta med den kommunala vattentäkten samt Cementas nivåkontrollbrunnar markerade. Kvadrat – kommunal pumpbrunn, Stjärna – brunn med kontinuerlig nivåmätning inom ramen för befintligt kontrollprogram 2

Figur 2-2: Principskiss geologi File hajdar och Västra brottet 3

Figur 2-3: Utklipp ur SGU:s jordartskarta för området runt File hajdar-täkten, blått=sedimentärt berg, orange=postglacial sand/svallsediment, grå=moränlera, röda prickar = strandvall 4

Figur 2-4: Profil ur konceptuell grundvattenmodell (Skalor i meter) 5

Figur 2-5: Schematiskt strömningsmönster i kalkberggrunden. (figur ur SFGeoLogic, 2007 modifierad från Golder geosystem, 1991) 6

Figur 2-6: Utbredning av befintlig numerisk modell. 8

Figur 4-1: Borrhål använda för fältundersökningarna 2016-2017.....9

Figur 4-2: Manschettutrustning som använts. Undre sektionsöverkant är antagen till 0,5 meter under gummits överkant. 13

Figur 5-1: Pumpning och återhämtning vid provpumpning i BH1602. Nivåerna är justerade till nivå före pumpning i BH1602. Räta linjer representerar beräknad naturlig nivåsänkning till följd av torrt väder. 20

Figur 5-2: Utvärderingskurvor för provpumpning i BH1602.....21

Figur 5-3: Uppmätta nivåer under och efter provpumpning i BH1603. (för BH1601 överskrids tryckgivarens mätområde 16/6, sannolikt pga inflöde av ytvatten i borrhålet) 22

Figur 5-4: Pumpning och första dygnets återhämtning vid provpumpning i BH1603. Nivåerna är justerade till nivå före pumpning i BH1603. Räta linjer representerar beräknad naturlig nivåsänkning till följd av torrt väder. 23

Figur 5-5: Utvärderingskurvor för provpumpning i BH1603 passade mot BH1603, BH1602 och BH1103. 24

Figur 5-6: Uppmätta grundvattennivåer 2014-2016 26

Figur 5-7: Grundvattennivå (RH2000) i File hajdar-området (2016-06-20). 27

Figur 5-8: Uppmätt grundvattennivå (25-26 januari 2017) i BH1604 uppvisar det karaktäristiska nivåmönstret från pumpningarna i Dyhagentäkten. 28

Figur 5-9: Uppmätta grundvattennivåer 2014-2016 29

Figur 5-10: Sammanställning av fotodokumentation från fältrekognoscering av infiltrationsförhållanden i utloppsdike från täkten. Krosszonens tolkade utbredning (enligt figur 8.3.3.4 i SGU, 1977) är markerad som rosa fält. 32

Figur 6-1: Revstruktur i södra ändan av File hajdar-täkten, 2017-01-26 36

BILAGOR

BILAGA A
Sammanställning av hydrogeologiska testresultat

BILAGA B
Testplottar hydrogeologiska tester

BILAGA C
Exempelfoton från borrhålsfilmning

BILAGA D
Resultatplottar geofysisk borrhålsloggning

BILAGA E
Karta undersökningspunkter File hajdar

1.0 BAKGRUND OCH SYFTE

Cementa AB bedriver täktverksamhet och avser att ansöka om tillstånd enligt miljöbalken för fortsatt täktverksamhet i, och bortledning av grund- och ytvatten från, bolagets två kalkstenstäkter, ”Västra brottet” respektive ”File hajdar-täkten”, belägna inom fastigheten Österby 1:229 i Slite. Inför tillståndsprövningen för förnyat tillstånd för Cementas kalkstenstäkt vid File hajdar i Slite krävs ytterligare kunskap om de hydrogeologiska förhållandena för att bättre kunna bedöma påverkan av en utökad och fördjupad täkt. Därför har Golder Associates AB under 2016-2017 genomfört hydrogeologiska undersökningar i och omkring täkten.

Undersökningarna som redovisas i föreliggande rapport är utformade med huvudsakligt syfte att inhämta kunskap som kan ligga till grund för att kunna prognostisera effekten av en utökad täkt. Störst fokus har lagts på att undersöka de hydrogeologiska förhållandena under befintlig täktbotten för att därmed kunna avgöra effekten av ett ökat brytningsdjup.

Ett stort antal undersökningar har gjorts i eller omkring området under de senaste fyra decennierna och 2009 upprättades en omfattande numerisk grundvattenmodell. Föreliggande undersökningar adderas till befintlig kunskap för att leva upp till de med åren höjda kravställningarna i samband med miljöprövningar. Resultaten från de föreslagna hydrogeologiska undersökningarna planeras även användas för att förfina och omkalibrera den upprättade grundvattenmodellen med syfte att utföra förnyad modellering av hydrogeologisk påverkan. Fokus i modelleringen avses ligga på vissa skyddsobjekt såsom kommunens grundvattentäkt vid Dyhagen samt skyddade naturområden söder om täkten. Undersökningsresultaten kan även utgöra underlag för en eventuell projektering av förändrad vattenhantering.

2.0 OMRÅDESBESKRIVNING

Cementa bedriver täktverksamhet i två täkter i närheten av Slite, Västra brottet och File hajdar täkten. Västra brottet är beläget vid Slite samhälles västra kant ca 700 m från havet och brutet till ett lägsta brytdjup på ca -48 m. File hajdar-täkten är beläget ca 3 km väster om Västra brottet med en bottennivå på ca +20. Omgivande markyta sluttar svagt mot öster med en marknivå öster om täkten på ca +35 och väster om täkten ca +50.

Mellan de bägge täkterna ligger den kommunala vattentäkten Dyhagen vilken försörjer Slite med vatten. Vattentäkten består av sju bergborrade produktionsbrunnar placerade i ungefärlig nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 och 500 m. Pumpbrunnarna är placerade i en äldre strandzon vilken sammanfaller med en krosszon med stor vattenförande förmåga.

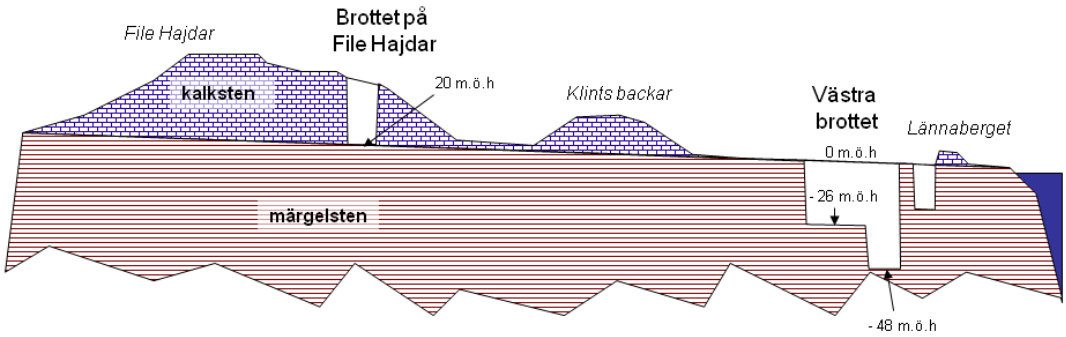
Figur 2-1: Översiktskarta med Cementas nivåkontrollbrunnar markerade. Område med kommunal vattentäkt är schematiskt markerad.

2.1 Geologiska förhållanden

Berggrunden på Gotland består av sedimentära bergarter. Sedimenten som har omvandlats till bergarter avsattes i ett subtropiskt till tropiskt hav. De ytnära bergarterna är av silurisk ålder (415–440 miljoner år gamla). En betydande andel av dessa bergarter utgörs av kalksten med hög kalciumkarbonathalt. Förutom kalksten finns även märgelsten (lerblandad kalksten) och på vissa ställen sandsten. Bergarterna på Gotland uppträder i lager. Lagrens strykning är i allmänhet nordost–sydvästlig och de stupar svagt (mellan 0,15° och 0,3°) mot sydost.

Av särskilt intresse för den industriella användningen av kalksten är Slitelagren. Slitelagren består i huvudsak av kalksten och märgelsten. Märgelsten består av karbonat- och silikatbergarter. Det finns övergångsformer mellan kalksten och märgelsten. De kallas vanligen leriga kalksten. Vid File hajdar-täkten, i de obrutna delarna, överlagras märgelstenen av kalksten med en mäktighet på mer än 20 m se principskiss i Figur 2-2. File hajdar-täktens södra kant utgörs av revkalksten. Revstrukturen är främst belägen i kalkstenen men sträcker sig även ner i märgelstenen. En utförlig dokumentation av de geologiska förhållandena inom täktområdet på File hajdar gjordes av SGU i slutet av 70-talet (SGU, 1977 och Svantesson, 1980).

Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av cirka 0,3 grader åt sydost. Varken i Västra brottet eller i täkten på File hajdar har några förkastningar observerats.



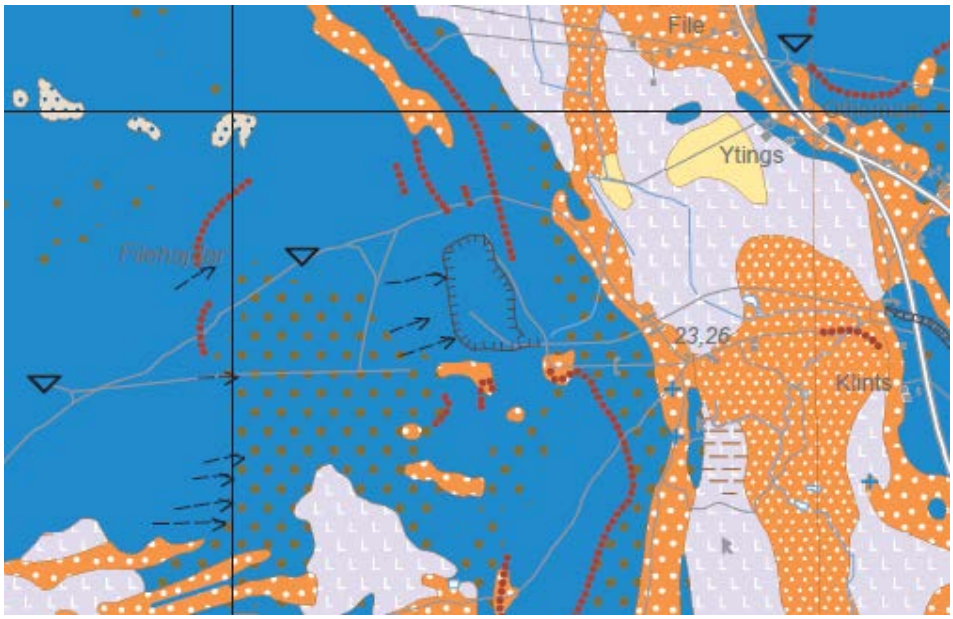
Figur 2-2: Principskiss geologi File hajdar och Västra brottet

De kvartära avlagringarna på File hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen.

På de lågt liggande området mellan täkten och Ytings i öster finns relativt mäktiga jordlager av moränlera. Enligt SGU:s jorddjupskarta uppgår jorddjupet i huvudsak till 5-10 m men partier med 10-20 m kan förekomma. Sand- och grusavlagringar påträffas i området mellan File hajdar och Klints Backar,där de överlagrar moränleran.

Mellan moränleran och de tunna jordlagren på File hajdar löper en avlagring av svallsediment (grus) som ett bälte. Avlagringen följer en tidigare strandlinje. Ytterligare västerut löper en klappervall längst en ytterligare äldre strandlinje. Klappervallen är dock otydlig just vid täktområdet.

De lösa avlagringarna i anslutning till File hajdar utgörs således i huvudsak av täta jordarter med ringa mäktighet. Detta medför att jordlagren till viss del begränsar infiltrationen till underliggande berggrund på File hajdar, vilket ses som rikligt med tillfälliga vattensamlingar på markytan vid vått väder och ger en relativt stor ytavrinning som följd. Även berget har låg vertikal genomsläpplighet i sig.



Figur 2-3: Utklipp ur SGU:s jordartskarta för området runt File hajdar-täkten, blått=sedimentärt berg, orange=postglacial sand/svallsediment, grå=moränlera, röda prickar = strandvall

2.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattenflödet i berggrunden är till större delen koncentrerat till (nära) horisontella lager, som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. De horisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor.

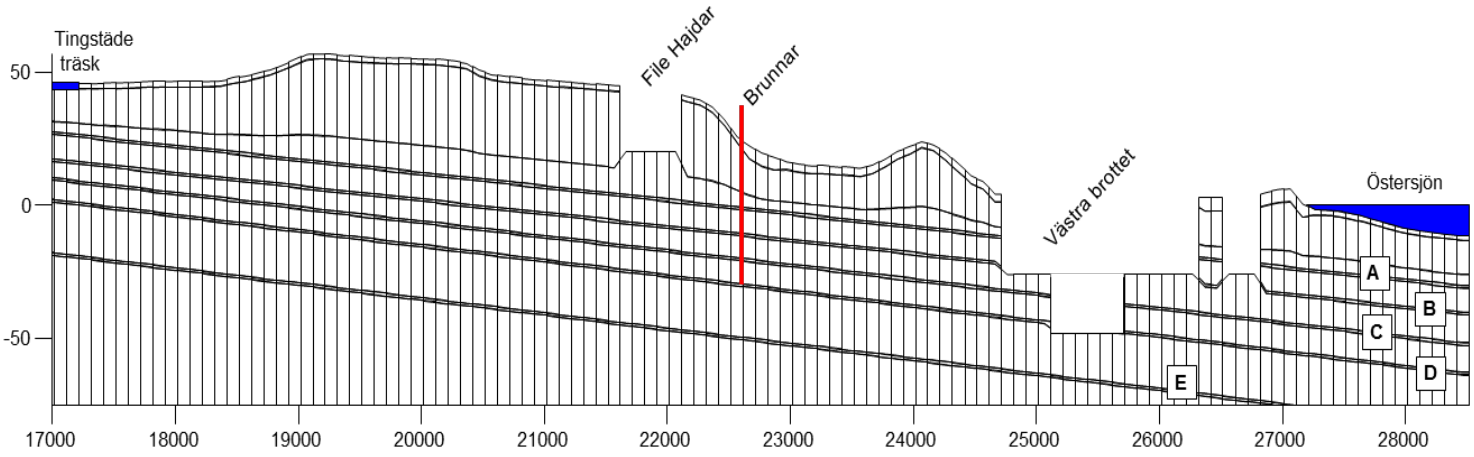
I Västra brottet kan de vattenförande horisontella lagren följas över en sträcka av 1 kilometer i märgelstenen. Med stöd av borrhålsundersökningar i området har dessa lager i den hydrogeologiska modellen Västra brottet extrapolerats parallellt med bergartsgränsen (de 2-3 kilometrarna) in under File hajdar. Västra brottet

Totalt har 5 stycken vattenförande horisontella lager kunnat identifieras i Västra brottet vilka benämns A, B, C, D och E i den konceptuella modellen, se Figur 2-4.

Mellan File hajdar-täkten och Västra brottet vid Dyhagen är kommunens grundvattentäkt belägen. Vattentäkten består av sju bergborrade produktionsbrunnar placerade i en nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 och 500 m. Brunnarnas exakta läge har nyttjats i analysen men redovisas i rapportform endast schematiskt enligt Figur 2-1. Brunnarna ligger inom en äldre strandzon (krosszon) med stor vattenförande förmåga. Zonen sträcker sig från SSV mot NNO längs foten av höjdområdet på File hajdar i väster. Zonens bredd har från tidigare provpumpningar beräknats till 550 m och dess utsträckning i längdled har bedömts vara minst 2 km (SGU, 1977).

Nybildningen av grundvatten till de djupa vattenförande lagren vid File hajdar har vid tidigare undersökningar (SGU 1977 respektive Golder Geosystem 1991)

beräknats vara så låg som 10 mm/år. Detta skulle då innebära att endast cirka 2 % av årsnederbörden bildar grundvatten i dessa lager. Lokalt på andra platser, t.ex. vid den krosszon där de kommunala uttagsbrunnarna är belägna, är nybildningen av grundvatten större på grund av en betydligt större vertikal genomsläpplighet. Viak AB, 1974, har tidigare redovisat en uppskattad



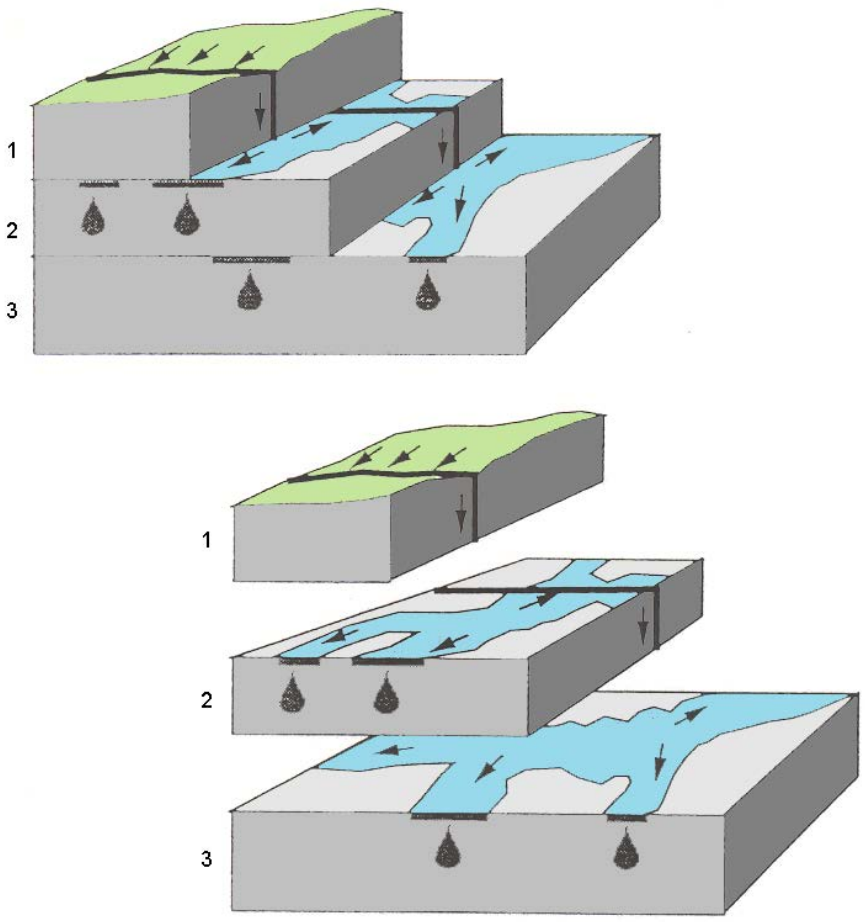
Figur 2-4: Profil ur konceptuell grundvattenmodell (Skalor i meter)

grundvattenbildning i detta område på 250 mm/år i medeltal och 100 mm/år under torrår.

Grundvattensystemet i området med horisontella vattenförande lager och stora öppna dagbrott fungerar enligt följande:

Den vertikala genomsläppligheten är liten och endast små mängder vatten kan infiltrera och bilda grundvatten. Infiltrationen och den vertikala strömningen sker främst i enstaka vertikala sprickor. Strömningen i horisontalled sker främst i nära horisontella lager vilka varierar i sin genomsläpplighet. Strömningsmönstret visas i en schematisk bild i Figur 2-5. Vid sidan om de illustrerade flödeskanalerna är kalkstenen praktiskt taget tät.

Under nederbördsrika perioder är markytan mer eller mindre vattenmättad. Då sker grundvattenbildningen och grundvattnets trycknivåyta befinner sig nära markytan. Den höga trycknivån beror på att magasinsförmågan (det tillgängliga porutrymmet) är mycket liten vilket leder till att även en liten infiltration av vatten leder till stor höjning av trycknivåytan. Västra brottet Under torra perioder då grundvattenbildningen är liten, sjunker trycknivån i de marknära lagren.



Figur 2-5: Schematiskt strömningsmönster i kalkberggrunden. (figur ur SFGeoLogic, 2007 modifierad från Golder geosystem, 1991)

Framförallt runt Västra brottet är grundvattnets trycknivå i de djupt liggande vattenförande lagren låga även under nederbördsrika perioder eftersom de står i kontakt med Västra brottet vilket medför att grundvatten dräneras ut. Även runt File hajdar är grundvattnets trycknivåyta generellt lägre i de djupt liggande lagren än i de mer marknära, sannolikt främst till följd av kommunens vattenuttag men även på grund av en generell östlig strömning mot Västra brottet. Runt File hajdar-täkten följder dock trycknivån samma mönster i de djupare lagren som i de mer marknära med kraftiga höjningar vid kraftig nederbörd.

De generellt mycket tunna och dåligt sammanhängande jordlagren runt File hajdar-täkten gör att grundvattenströmningen i jordlagren är mycket lokal. På större avstånd från täkten åt öster och söder förekommer mäktigare jordlager främst i topografiska lågpunkter och gamla strandvallar.

Grundvatten i jord i strandvallen söder om File hajdar-täkten ner mot Hejnum kallgate är det kanske tydligaste exemplet på lokal grundvattenströmning i jord i området där ytvatten infiltrerar på strandvallens ovansida och kommer ut som utströmmande grundvatten på vallens nedansida. Detta strömningsmönster av

lokal natur och koppling mot ytvattenflöde kommer att beskrivas ytterligare i separat PM rörande förhållanden i anslutning till Natura 2000 områden.

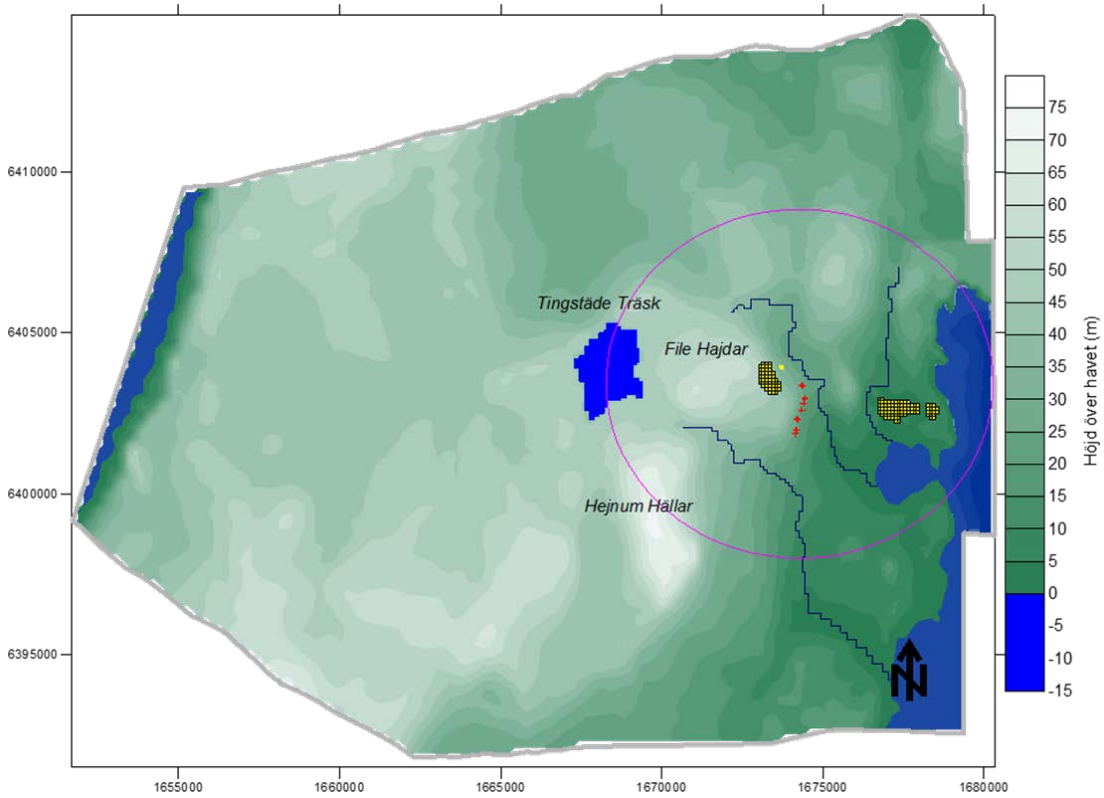
Grundvattenförhållandena i strandvallarna och övriga jordlager påverkas främst av nederbörd och ytvattenflöden men även av trycknivåer i underliggande berg. En utökad täkt kommer ej att sträcka sig till några områden med mäktigare jordlager. En eventuell påverkan på grundvatten i jord är därmed endast en indirekt påverkan till följd av förändrade förhållanden för ytvatten eller grundvatten i berg. De genomförda hydrogeologiska undersökningarna har därför helt fokuserats på grundvatten i berg.

2.2.1 Numerisk hydrogeologisk modell

Baserat på den konceptuella modellen upprättades inför förra tillståndsansökan en tredimensionell flödesmodell i programvaran GEOAN (Golder Associates AB, 2009 b). Modellen kan hantera både grundvatten- och ytvattensystemet samt samspelet mellan dessa. Den upprättade modellen sträcker sig tvärs över norra Gotland. Utsträckningen i öst-västlig riktning är cirka 29 km och i nord-sydlig riktning cirka 24 km. Centralt i modellen ligger Tingstäde träsk och de studerade täkterna ligger i modellens östra del, se Figur 2-6.

Modellen baseras på strukturgeologisk kartering, hydrogeologiska tester i borrhål, borrhållsloggning samt borrprotokoll. Modellen finns beskriven i en tidigare rapport som utgjorde bilaga till den tidigare tillståndsansökan (Golder Associates AB, 2009 b)

Som tidigare nämnts syftar undersökningar genomförda 2016-2017 till att så långt det går verifiera gjorda antaganden och förfina modellen med avseende på så väl geometri som genomsläpplighetsparametrar.



Figur 2-6: Utbredning av befintlig numerisk modell.

3.0 FRÅGESTÄLLNINGAR

De frågeställningar som på förhand identifierats och som avsågs att besvaras med de i föreliggande rapport beskrivna undersökningarna var följande:

- Vilka lager med högre horisontell hydraulisk konduktivitet påträffas under dagbrottets nuvarade botten i File hajdar, samt på vilka djup förändras konduktiviteten? Detta inkluderar noggrannare bestämning av transmissiviteten för respektive lager inom File hajdar.
- Vilken blir påverkan av ett vattenuttag i borrhål i File hajdar-täkten? Kan influenser observeras i den kommunala vattentäkten eller andra observationsbrunnar?
- Sker idag en betydande grundvattenbildning från täktens avvattningsdike till sprickzonen där det kommunala vattenuttaget sker?
- Är tidigare gjorda antaganden och upprättad konceptuella modell giltiga med nyvunna kunskaper även i File hajdar-täktens omedelbara närhet?

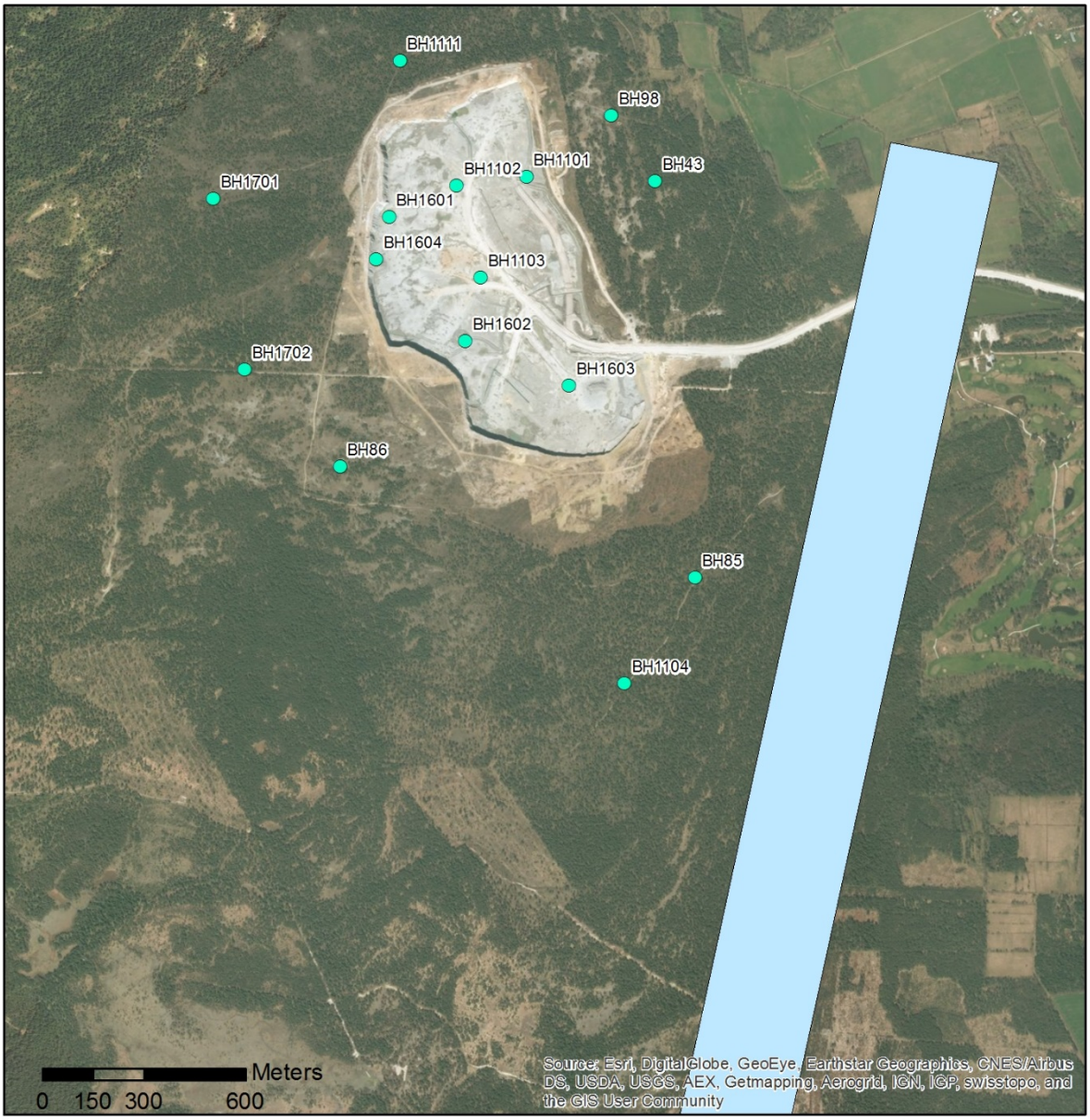
Utöver ovanstående frågeställningar vilka besvaras i denna fältrapport utgör resultaten grunden för en numerisk grundvattenmodell. Med hjälp av modellen besvaras de övergripande frågeställningarna om vilken effekt en utökad täkt får på grundvattnet i området och kringliggande potentiella skadeobjekt. Dessa frågeställningar besvaras i separat modellrapport.

4.0 METODIK

Undersökningarna har utförts i steg där metoderna har beslutats med utgångspunkt från tidigare testresultat och fungerande tillvägagångssätt med avseende på de naturliga förutsättningarna.

4.1 Undersökningspunkter

Undersökningarna har gjorts i borrhål i och runt File hajdar-täkten. De borrhål som testats redovisas i Figur 4-1. Vissa hål har funnits i åtskilliga decennier, tre



Figur 4-1: Borrhål använda för fältundersökningarna 2016-2017

borrhål (BH1601-1603) borrades i maj 2017 efter genomförandet av ett första steg av tester BH1604 borrades i samband med SGUs undersökningar i

området oktober 2016 och BH1701 samt BH1702 borrades utifrån föreslaget utökningsområde januari 2017.

För att råda bot på osäkerheten i att olika brunnar mätts in i olika omgångar i olika höjd- och koordinatsystem mättes samtliga brunnar in på nytt under september 2016. Mätningarna är gjorda av Östra Gotlands Schakt AB (OSAB) i Sweref 99 1845 med höjdsystem RH2000. En kompletterande inmätning av de tre tillkommande brunnarna BH1604, BH1701 och BH1702 gjordes under februari 2017. Både markyta (MY) och rörets överkant (RÖK) mättes in och har därmed en noggrannhet i cm nivå.

De kommunala pumpbrunnarna P1 och P3a har något sämre noggrannhet i lägesbestämningen än övriga brunnar då dessa är belägna inne i pumphus och OSAB saknade tillträde till själva pumphuset. Utanförliggande markyta har mätts in och nivån har skattats utifrån rörets uppstick från golvet. Noggrannheten bedöms därför till dm-nivå. De kommunala pumpbrunnarna redovisas ej i föreliggande rapport. Övriga borrhåls läge redovisas i tabellform i Tabell 1 samt på karta i Figur 4-1 och BILAGA E.

Tabell 1: Borrhål i och runt File hajdar-täkten, Sweref 99 1845, RH2000

Punkt	Y	X	Z (MY)	Z (RÖK)
BH1101	6400837,5	147907,4	20,15	20,75
BH1102	6400811,6	147701,2	20,25	20,85
BH1103	6400538,1	147772,1	20,95	21,50
BH1104	6399338,1	148198,0	43,47	44,04
BH1111	6401179,2	147533,8	51,90	52,54
BH1601	6400718,7	147501,2	22,43	22,43
BH1602	6400351,7	147727,3	20,11	20,11
BH1603	6400219,1	148033,3	21,79	21,79
BH1604	6400592,2	147464,2	23,10	23,37
BH1701	6400772,5	146982,1	59,17	59,48
BH1702	6400267,5	147075,4	52,14	52,20
BH43	6400824,9	148288,5	29,41	29,76
BH80	6400031,1	148550,5	34,03	34,80
BH85	6399652,6	148405,5	41,45	42,07
BH86	6399979,8	147356,6	48,84	49,34
BH98	6401018,7	148158,5	31,83	32,02
P1			22,99	23,19
P3a			18,51	18,71
P7			17,45	18,25

4.2 Enhålspumptest

För att undersöka transmissiviteten i respektive borrhål har 9 kortare pumptest genomförts i sammanlagt 8 öppna borrhål (BH1101-04,BH1601-03 samt BH85). Grundvattennivån har mätts dels manuellt, dels med en installerad tryckgivare

av modellen Diver programmerad att registrera nivån varje sekund. Pumpflödet mättes manuellt med mätkärl och klocka samt i fyra fall även med mekanisk flödesmätare. Vid fem av testerna användes en batteridriven 12 V pump. I fyra tester användes en enfas dränkbar pump där flödet ströps med kulventil till önskat flöde.

Ingen barometerkompensation har gjorts av testdata från tester med en varaktighet i storleksordningen sekunder – fåtal timmar då lufttrycksförändringar anses som en försumbar felkälla i dessa sammanhang. Pumpningarna har varierat i omfattning mellan ca 15 minuter och ca 2,5 timmar. Återhämtningsfaserna har studerats minst lika länge. Samtliga tester har dessutom genomförts under stabila väderförhållanden.

Tre tester genomförda i ett första steg (BH1101, BH1102 och BH1103) utvärderades i Hydrobench 3.7 som är en numerisk analysmjukvara utvecklad av Golder Associates. Programmet simulerar avsänkningsförlopp med numeriska radiella brunnsmodeller. Den numeriska brunnsmodellen utgörs av geometrisk data så som brunnsdimensioner, grundläggande antaganden om den geologiska formationen samt ett antal hydrogeologiska parametrar varav transmissivitet, magasinskoefficient, skin och flödesdimension är de viktigaste. De hydrauliska parametrarna i modellen kalibreras itereativt i syfte att så väl som möjligt anpassa uppmätta nivådata till en teoretisk modell.

Övriga tester har utvärderats i programvaran AQTESOLV 4.50 Professional. Passningar av typkurvor har gjorts enligt metoden Theis (1935) för tester med konstant flöde respektive Papadopulos-Cooper (1967) för tester med varierande flöden. Som en första kontroll och rimlighetsbedömning har testerna även utvärderats genom en beräkning av specifik kapacitet (Q/dh).

Vid pumptestet i BH1102 observerades påverkan i BH1101. Denna påverkan utvärderades manuellt utan programvara enligt Cooper-Jacobs (1946) metod.

4.3 Manschettester

För att bestämma hur den hydrauliska konduktiviteten eller transmissiviteten i olika zoner varierar med djupet vid File hajdar-täkten har manschettester genomförts. Metodiken innebär att hålet sektioneras av med en uppblåsbar manschett Figur 4-2. Testerna har genomförts med ett enkelmanschettsystem med dimensionen 85 mm. Samtliga testade hål har en dimension på bergborrhålet på ca 110 - 115 mm. Borrhålens längd framgår av resultatsammanställningen BILAGA A. Grundvattennivån har mätts dels manuellt, dels med tryckgivare av modellen Diver. För att kunna följa testförloppen och upptäcka eventuella läckage runt manschett har tryckgivarna även avlästs med direktavläsningskabel i realtid. Data från tryckgivare monterade på den sida manschetten där testet ej genomfördes har ej plottats i föreliggande rapport utan endast studerats för att säkerställa att inga läckage förekom. Ett stort antal tester har återupprepats med ökat manschettryck och/eller något justerad testsektion då läckage iakttogs under eller efter genomfört test.

Tester i den avsektionerade delen av borrhålet har genomförts med tre olika metoder beroende på förutsättningarna för den aktuella testsektionen.

- Slugtest genom tillförsel av vatten
- Slugtest genom nivåsänkning med tryckluft och momentan sänkning av trycket
- Infiltrationstest med konstant pumpflöde

Tester utfördes främst under manschett men 8 slugtester utfördes med tillförsel av vatten ovan manschett. Totalt utfördes 28 utvärderingsbara slugtester och 14 infiltrationstester fördelat på 11 borrhål.

Testsektionerna valdes för att särskilja olika identifierade potentiellt mer vattenförande horisontella lager, främst baserat den akustiska borrhåls-filmningen av borrhålet, se avsnitt 4.7. Testsektionerna är definierade som borrhålsbotten till underkant manschettgummi respektive befintlig vattenyta i borrhålet till överkant manschettgummi (Figur 4-2). Då manschettens längd förändras vid uppblåsning är noggrannheten på sektionslängd ungefär 1 dm.

Testerna i borrhål BH1702 utfördes i samband med borrning, vilket innebar att borrningen avbröts vid indikationer på vattenförande strukturer och manschettester utfördes mot för tillfället varandes borrhålsbotten.

Ingen barometerkompensation har gjorts av testdata från tester med en varaktighet i storleksordningen sekunder – fåtal timmar då lufttrycksförändringar anses som en försumbar felkälla i dessa sammanhang. Långsamma tester som pågått över natt har barometerkompenserats med lufttrycksdata för testperioden. Uppmätta data har utvärderats i programvaran AQTESOLV. Slugtester med ett traditionellt stigande förlopp har utvärderats enligt Hvorslev (1951), slugtester med ett oscillerande återhämtningsförlopp har utvärderats enligt Butler (1998). Infiltrationstest har utvärderats enligt Papadopulos-Cooper (1967) och/eller Theis (1935).

Figur 4-2: Manschettutrustning som använts. Undre sektionsöverkant är antagen till 0,5 meter under gummits överkant.

4.4 Provpumpning

För att studera påverkan på grundvattennivåer runt dagbrottet till följd av ett vattenuttag, inklusive eventuell påverkan av och på kommunens vattentäkt, samt för att skaffa säkrare data för transmissivitet och magasinkoefficient mellan borrhålen har två längre provpumpningar genomförts. BH1602 och BH1603 har använts som pumpbrunnar. Vattennivåer har registrerats med temporärt installerade tryckgivare i 11 brunnar (Diver) samt med 4 permanent installerade Mitec tryckgivare. Nivåerna har loggats under pumpfas och återhämtningsfas i pumpbrunn, (11) observationsbrunnar samt i tre av kommunens vattenförsörjningsbrunnar.

Pumpning har gjorts med en enfas pump SQ5-70 med fast strömförsörjning. Flödet har strypts till önskvärt flöde med en kulventil. Pumpvattnet inom täkten innehåller mycket suspenderat finmaterial delvis som en effekt av dålig rensning av brunnarna men sannolikt även mer permanent som en effekt av sprängningar och/eller frekventa tunga transporter. Finmaterialet skapade problem då det fastnade i ventiler och påverkade flödet samt fastnade i flödesmätare och därmed påverkade dess mätnoggrannhet. Flödet har därför regelbundet mätts med mätkärl och klocka. En 10 l hink samt en 100 l tunna har använts för flödesmätningarna. Pumpflödena sjönk under båda provpumpningarna till följd av finmaterial som fastnade i ventiler och flödesmätare. I BH1602 sjönk flödet från 0,44 l/s till 0,37 l/s. I BH1603 sjönk

flödet från 0,6 l/s – 0,37 l/s. Uppmätta förändringar har även kunnat observeras i nivådata i pumpbrunnen.

Barometerkompensation har gjorts för mätdata. Huvudsakligen med data från barometer på plats med 1h mätintervall. Under en period i inledningen av provpumpningen i BH1602 saknades lokal luftrycksdata. Under denna period har istället lufttryck från SMHIs mätstation på Visby flygplats använts. Barometerkompenserad tryckdata har omräknats till vattennivå utifrån inmätta nivåer på borrhålen och manuella mätningar av nivå.

Grundvattennivåerna i de olika observationsbrunnarna i och runt om täkten skiljer sig åt med åtskilliga meter och fluktuerar inte enligt ett enhetligt mönster. Därmed finns ett behov av databearbetning för att kunna identifiera nivåpåverkan från provpumpningen i en kvalitativ utvärdering. För att kunna påvisa eventuell nivåpåverkan i cm-skala har plottar gjorts där alla nivåer normaliserats till pumpbrunnens nivå före pumpstart och den relativa förändringen har studerats. Andra plottar har gjorts där en naturligt sjunkande grundvattennivå under testperioden, till följd av avsaknaden av nederbörd, har approximerats till en rät linje per borrhål vilken har subtraherats från uppmätt nivådata. Vidare har varje enskild nivåkurva studerats med stor nivåupplösning med fokus på de tidpunkter en synlig nivåpåverkan skulle kunna förväntas (pumpstart/pumpstopp).

En kvantitativ utvärdering av bergets hydrauliska parametrar har gjorts för de brunnar där påverkan observerats baserad på relativ nivåpåverkan.

Utvärderingarna av provpumpningarna har gjorts i programvaran AQTESOLV 4.50 Professional. Passningar av typkurvor har gjorts enligt metoden Dougherty-Babu (1984) vilken tar hänsyn till icke konstanta flöden under testperioden och inströmningsförluster (skin) i pumpbrunnen.

4.5 Grundvattennivåer

Grundvattennivåerna har mätts i 16 brunnar i täkten eller dess omgivningar manuellt och med tryckgivare. Utöver mätningar i öppna hål har även tryckskillnader mellan olika delar av borrhålen iakttagits i samband med manschettesterna.

Inom Cementas egenkontrollprogram övervakas i dagsläget grundvattennivåerna runt täkterna kontinuerligt i 4 borrhål vid File hajdar-täkten och i 2 borrhål väster om Västra brottet. Övervakningen sker med tryckgivare kopplade till GSM-loggar där överföring av mätdata sker automatiskt via GSM till en mätserver. Detta system installerades i början på 2014. Utöver den kontinuerliga nivåregistreringen sker manuell lodning av grundvattennivåer i ett antal ytterligare borrhål och grundvattenrör.

Historiskt sett, i samband med att brytningen på File hajdar påbörjades, genomfördes grundvattennivåmätningar i väsentligt fler borrhål inom ramen för den tidens kontrollprogram. Antalet kontrollpunkter har dock successivt reducerats under 1990- och 2000-talet i takt med att erfarenheter om den

hydrogeologiska påverkan vunnits. Kontinuerliga mätningar av grundvattennivåer har fokuserats till BH43, BH86, BH98 samt sedan 2014 BH1104. Ingen påverkan på grundvattennivåerna på längre avstånd från File hajdar-täkten har kunnat konstateras. (Golder Associates AB, 2009 a)

4.6 Optisk borrhålsfilmning

Försök gjordes att filma borrhålen BH1101-BH1104 samt BH85 med en optisk borrhålskamera för identifiering och djupbestämning av vattenförande lager. I de tre hålen BH1101-BH1103 belägna inom täkten var dock sikten obefintlig på grund av för mycket finmaterial i vattnet. Försök gjordes både i helt ostörda förhållanden och efter 1-2 h renspumpning. Trots detta erhölls inga bilder av användbar kvalité i dessa tre borrhål. I BH1104 och BH85 utanför täkten fungerade tekniken. Kameran har ingen automatisk loggning av djup, därför har djupbestämningen gjorts utifrån noteringar av måttangivelser på ett måttband monterat på kabeln, tidpunkt på filmen samt observationer i fält. För markanta strukturer vilka observerades i fält är djupnoggrannheten på decimeternivå. För mindre tydliga strukturer vilka har upptäckts vid en vidare granskning av materialet kan felet i djup vara upp till 0,5 m beroende på hur de låg i förhållande till gjorda djupnoteringar.

4.7 Akustisk borrhålsfilmning och temperaturloggning

Då borrhålsfilmning inte fungerade inom täkten anlitades istället Geovista AB för att utföra geofysiska mätningar i borrhålen med metoderna acoustic televiewer, temperatur samt vid en andra mätomgång (januari 2017) även elektrisk konduktivitet. Mätningarna har utförts med utrustning från ALT/Mount Sopris. Data har samlats in med ett BBOX datainsamlingssystem. En motordriven vinsch av typ ”mini-winch 4200-230” med skärmad enkelledarkabel (200 m lång) har använts för att sänka ned sonderna i mäthålen.

Följande sonder har använts:

- QL40-ABI, Acoustic Televiewer
- QL40-FTC, Temperature and Fluid Conductivity

Sonden för Acoustic televiewer centrerades i borrhålen med centreringsfjädrar. De loggade hålen har testats med en dummysond före mätning.

Vid tidpunkten för första mätomgången (april 2016) hade antalet borrhål i täkten utökats till 6 hål (BH1101-BH1103 och BH1601-BH1603) vilka loggades tillsammans med de utanför liggande BH85 och BH1111. Inför en kompletterande mätomgång (januari 2017) hade ytterligare ett hål borrats i täkten (BH1604) samt två hål utanför (BH1701 och BH1702).

Mätning av temperatur och elektrisk konduktivitet utfördes med start vid markytan och i riktning nedåt; detta för att inte röra om vattnet mer än nödvändigt. Därefter sänktes sonden för acoustic televiewer ner till botten av hålet och mätning utfördes i riktning uppåt. Genom att mäta i uppåtriktning hålls

mätkabeln sträckt vilket gör att sonden kan köras med jämn hastighet och det ger bättre datakvalitet.

Temperaturen mättes med punktavstånd 0,02 m. Sondens mätnoggrannhet är 0,004 ˚C. Acoustic televiewer mättes med 0,002 m punktavstånd och runt borrhålsväggen (0 - 360˚) med en täthet av en mätning varje 2,5˚. Loggningshastigheten var ca 1 – 2 m/min.

Alla mätdata som presenteras är refererad till markytan som nollnivå.

4.8 Fältrekognosering av infiltrationsförhållande i täktens avvattningsdike

Om infiltrationsförhållandena är goda skulle en framtida förändring av pumpflöden, pumpmönster eller vattenavledningen i stort kunna innebära förändrad grundvattenbildning nedströms täkten. Som ett underlag för att bedöma om det i dagsläget sker en betydande grundvattenbildning från täktens avvattningsdike (till Anerån) till sprickzonen där det kommunala vattenuttaget görs gjordes 2016-04-14 en fältrekognosering av infiltrationsförhållandena.

Bottenförhållandena fotodokumenterades och platser markerades på orienteringskarta skala 1:10 000.

4.9 Vattenprovtagning

I samband med att provpumpningen avslutades i borrhål 1603 nere i File hajdar-täkten uttogs grundvattenprov i detta borrhål för fysikalisk-kemisk analys av ett antal parametrar och ämnen. Provet filtrerades ej i fält. Borrhålets botten ligger på en nivå om cirka + 3 m. Provet har analyserats av ALS Scandinavia och omfattat analysprogram DV-5 och DV-6 vilka vanligen används för att kvalitetskontrollera dricksvatten för enskild vattenförsörjning.

Prover uttogs även vid de inledande pumpningarna, i mitten av april, i BH1101, BH1102 och BH1103, men dessa resultat anses inte representativa då brunnarna ej hade omsatts tillräckligt och därför innehöll mycket borrkax. Resultaten har därför ej redovisats.

4.10 Observationer vid borrning

För att skapa en ökad förståelse för bergets hydrogeologi samt för att kunna utföra manschettester med ett enkelmanschettsystem mot olika nivåer för borrhålsbotten var en hydrogeolog närvarande vid borrningen av de två sista borrhålen, BH1701 och BH1702. Borrningen gjordes därför stegvis. Utifrån variationer på borrkronans sjunkhastighet eller dammandet i kaxcontainern avbröts borrandet, hålet fick stå några minuter och försök gjordes att blåsa upp eventuellt inströmmande vatten. Baserat på dessa observationer gjordes manschettester på ett antal nivåer per borrhål.

5.0 RESULTAT

Samtliga utvärderingar av tester av bergets hydrauliska egenskaper finns sammanställda i en matris i BILAGA A. Testplottarna från de olika testerna vilka utgör underlaget till denna sammanställning finns redovisade i BILAGA B.

Resultaten framförallt för helhålstester påverkades av när under testperioden de utfördes. Under testperioden (mitten av april – mitten av juni 2016) sjönk grundvattennivåerna i de olika borrhålen med mellan ca 4-15 m, till följd av den torra väderleken, vilket därmed torrlade sprickor och minskade testsektionen. Samtidigt har upprepade pumpningar sannolikt inneburit att finmaterial som tryckts in i sprickor vid borrning pumpats bort så att genomsläppligheten lokalt runt borrhålet har ökat.

5.1 Enhålspumptest

Resultaten från de 8 borrhål där enhålspumpningar utfördes visar ett relativt tydligt mönster. Borrhålen ner till ca +3 inom täkten har en uppmätt transmissivitet som ligger inom spannet $1,8\text{-}8\cdot10^{-5}$ m^2/s i norra delen av täkten (BH1101-BH1103) för att öka till $2,2\text{-}4,4\cdot10^{-5}$ m^2/s i den södra delen (BH1602 och BH1603). Undantaget är BH1601 som har en betydligt lägre transmissivitet vilket gjorde att detta test fick utvärderas som ett slugtest och en hydraulisk konduktivitet på $3,1\cdot10^{-7}$ m/s erhölls. Omräknat till helhålstransmissivitet motsvarar detta $3,8\cdot10^{-6}$ m^2/s. Borrhålen söder om täkten (BH85 och BH1104) vilka når drygt 20 meter djupare än hålen i täkten har en storleksordning högre transmissivitet, $1,7\text{-}3,3\cdot10^{-3}$ m^2/s. Detta indikerar att de når ett djupare liggande vattenförande lager.

5.2 Manschettester

Resultaten från manschettesterna uppvisar transmissiviteter i ett spann som spänner från $1,8\cdot10^{-3}$ – $1,3\cdot10^{-10}$ m^2/s. Olika testmetoder innebär att olika stora vattenvolymer tillförs eller tas ut vilket därmed innebär att olika stora bergvolymer undersöks. Skalproblematiken innebär att resultat från olika typer av tester inte är fullständigt jämförbara. Samtliga använda utvärderingsmetoder bygger på antaganden om radiell strömning runt testbrunnen, en förenkling av verkligheten som i huvudsak bedöms vara giltig i denna nära horisontellt lagrade sedimentära berggrund utan större förkastningar eller deformationszoner. I enstaka tester kan dock strömningsmönstret avvika något från detta idealiserade mönster och därmed skapa en mätosäkerhet. Sammantaget utifrån manschettester och de olika typerna av borrhålsfilmning visar dock resultaten tydligt bilden av att den huvudsakliga delen av grundvattenströmningen sker i ett fåtal distinkta lager/sprickor.

Inom täkten ner till +3, den nivå som i huvudsak påverkas av ett ökat brytdjup, kan man notera att den mest transmissiva nivån återfinns relativt enhetligt runt ca +9 med en svagt sjunkande trend mot SO. Detta är ett mönster som överensstämmer med den konceptuella bilden av områdets geologi med ett antal distinkta vattenförande lager. Uppmätta transmissiviteter för detta lager,

vilket i föreliggande rapport benämns FHX, ligger i 5 av 7 hål inom täkten inom spannet $5 \cdot 10^{-5}$ – $6{,}5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s, se Tabell 2, generellt med de högre värdena mot söder. Undantagen är BH1601 och BH1604 i västra delen av täkten. I BH1601 har ingen transmissivitet över $2 \cdot 10^{-6}$ m^2/s uppmätts i någon testsektion. I BH1604 försvinner transmissiviteten för borrhålsdelen mellan +13,4 och +3,4 i utvärderingsmetoden på grund av djupare liggande betydligt mer vattenförande strukturer. Däremot syns lagret tydligt i data från akustisk borrhålsfilmning. Detta tolkas som att transmissiviteten för FHX är i samma storleksordning som i BH1601. I BH1702 syns FHX-lagret på nivån ca +10,8 och har en transmissivitet i samma storleksordning som BH1601 och BH1604 dvs. ca 1-3×10^{-6} m^2/s. I BH1701 är det oklart om FHX syns i akustisk borrhålsfilmning och manschettesterna visar på en samlad transmissivitet för testsektionen på 9,5 m runt detta djup som är $<10^{-7}$ m^2/s. Även i BH85 söder om täkten återfinns ett lager med en transmissivitet i storleksordningen $2\text{-}5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s på en nivå (ca +6,7) som överensstämmer med lutningen på lagret. I detta hål är dock bilden lite mer komplex då det förekommer flera lager med transmissiviteter i samma storleksordning. I BH1111 norr om täkten uppmättes transmissiviteter i samma låga storleksordning som BH1601 dvs. lager med $T < 3 \cdot 10^{-6}$ m^2/s. Resultaten visar att det finns en betydande variation i transmissivitet inom lagret men resultaten kan även tolkas som att FHX har en begränsad transmissivitet och utbredning mot norr och väster. En fortsatt diskussion om FHXs utbredning redovisas under 6.0

I BH1604 som är borrat ca 20 m djupare än övriga hål (till ca -17) inom täkten visar de två understa 10 m-sektionerna transmissiviteter på vardera ca $5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s.

Tabell 2: Sammanställning resultat för lager FHX

Hål	Z (MY)	Lager FHX (m u my)	Nivå lager FHX (RH2000)	T (m^2/s)	Kommentar/ytterligare vattenförande sprickor (djup i borrhål=nivå RH2000)
BH1101	20.15	12.3	7.9	$5 \cdot 10^{-5}$	Dålig samstämmighet i nivå, ev ej samma lager
BH1102	20.25	10.8	9.4	$6 \cdot 10^{5}$	
BH1103	20.95	11.6	9.3	$1 \cdot 10^{-4}$	
BH1111	51.90				Lager ej identifierat
BH1601	22.43	12.7	9.7	$1 \cdot 10^{-7}$	
BH1602	20.11	11	9.1	$6 \cdot 10^{-4}$	T $8 \cdot 10^{-5}$ m^2/s vid 6.2=13.9
BH1603	21.79	13.7	8.1	$3 \cdot 10^{-4}$	
BH1604	23.10	12.8	10.3		Ej mätbar pga sektionsfördelning, men indikation på vatten i teleview (lite för hög nivå)
BH1701	59.17	48.7	10.5		Ej mätbar ($<10^{-7}$ m^2/s)
BH1702	52.14	41.3	10.8	$1\text{-}3 \cdot 10^{-6}$	Går ej att säkert avgöra om uppmätt T representerar flera sprickor
BH85	41.45	34.7	6.7	$5 \cdot 10^{-4}$	Flera lager konduktiva lager 30.8=+10.6 T =$1 \cdot 10^{-3}$ m^2/s T $2\text{-}5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s på 32.6=+8.8, 40.6=0.8, 45.9=-4.5, 55,4=-14

I BH1701 uppmättes en transmissivitet för hela den vattenmättade delen av hålet till 5,3 $5 \cdot 10^{-5}$ m^2/s (uppmättes under +30, slugtest ovan manschett avbröts då återhämtningen var mycket långsam). Utifrån de olika manschettesterna och observationer vid borrning utgörs i stort sett hela denna transmissivitet av en struktur nära borrhålets botten på ca – 0,5.

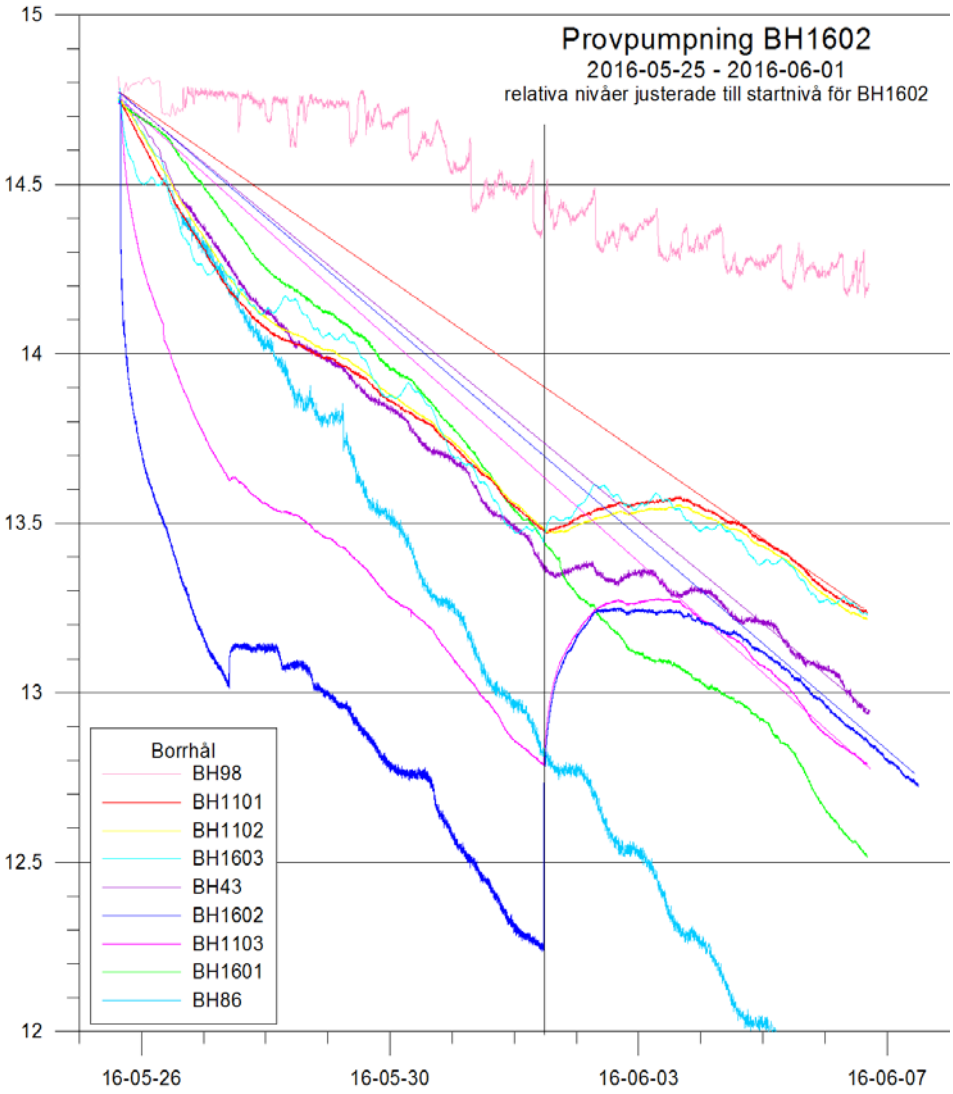
Även i BH1702 uppmättes den högsta transmissiviteten i bottensektionen (+1,1--7,7) vilken uppgick till 7 $\cdot 10^{-5}$ m^2/s.

5.3 Provpumpning

Två längre provpumpningar genomfördes med BH1602 respektive BH1603 som pumpbrunnar. Båda testerna uppvisar likartade resultat. Interferenser kan observeras i de bägge pumpbrunnarna samt i BH1101, BH1102, BH1103 och BH43. I övriga 8 brunnar med installerade tryckgivare kan ingen påverkan påvisas.

För bägge testerna blir avsänkningen i pumpbrunnen mindre än vad observerad påverkan i omgivande brunnar indikerar för en enhetlig transmissivitet. Det är en generell observation i sprickigt berg att man ofta har ett negativt skin. Det kan alltså mycket väl vara de naturliga sprickorna som har högre transmissivitet lokalt än spricknätverket i lite större skala, men det kan även vara en effekt av att pumpbrunnarna är borrade med en produktionsrigg vilken slår sönder berget och därmed skapar en ökad förekomst av sprickor i hålets absoluta närhet. Testerna har därför utvärderats med Dougherty-Babu (1984) en utvärderingsmetod som kan hantera skineffekter. Ett negativt skin har därför antagits vid bägge testerna, storleken på skinnet har beräknats som en del i kurvpassningen. Skin är en parameter som ej kan studeras vid enhålstester vilket bör hållas i åtanke vid jämförelse med övriga resultat.

Då grundvattenflödet främst sker i subhorisontella strukturer i berget har en anisotropi mellan flöde i horisontalled och vertikalled med en faktor 10 antagits för samtliga utvärderingar.



Figur 5-1: Pumpning och återhämtning vid provpumpning i BH1602. Nivåerna är justerade till nivå före pumpning i BH1602. Räta linjer representerar beräknad naturlig nivåsänkning till följd av torrt väder.

Provpumpningarna genomfördes under en period med mycket torrt väder, vilket innebar naturligt sjunkande nivåer. För utvärderingarna approximerades den naturliga avsänkningen med en rät linje. Linjen passades med en lutning för varje observationspunkt mellan nivån före provpumpningens start till uppmätt förlopp efter återhämtningsförloppets slut, se Figur 5-1.

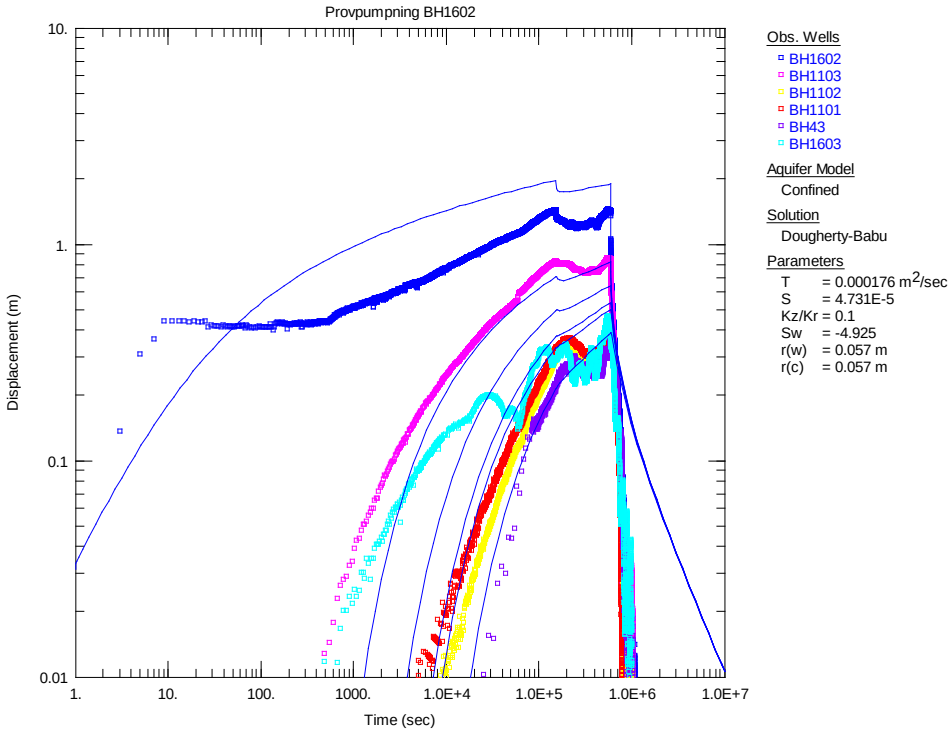
Vid utvärdering av provpumpning i BH1602 är passningen dålig mellan typkurva och mätdata under de första ca 2 minuterna av pumpning. Denna del av kurvan har ignorerats vid passningen då pumpflödet sannolikt inte är helt tillförlitligt, t.ex. p.g.a. att slangarna var luftfyllda då pumpningen inleddes.

Dyhagens vattentäkt pumpas simultant i alla 7 driftsatta brunnarna med en cyklicitet med ca 5 pumpningar och återhämtningar per dygn. Nivån i BH1603 är påverkad av pumpningarna i den kommunala vattentäkten och avviker från ett idealt avsänkningsförlopp. Övriga brunnar följer ett relativt enhetligt mönster

vilket ger en utvärderad transmissivitet på ca $2 \cdot 10^{-4}$ m^2/s och en magasinskoefficient på $5 \cdot 10^{-5}$.

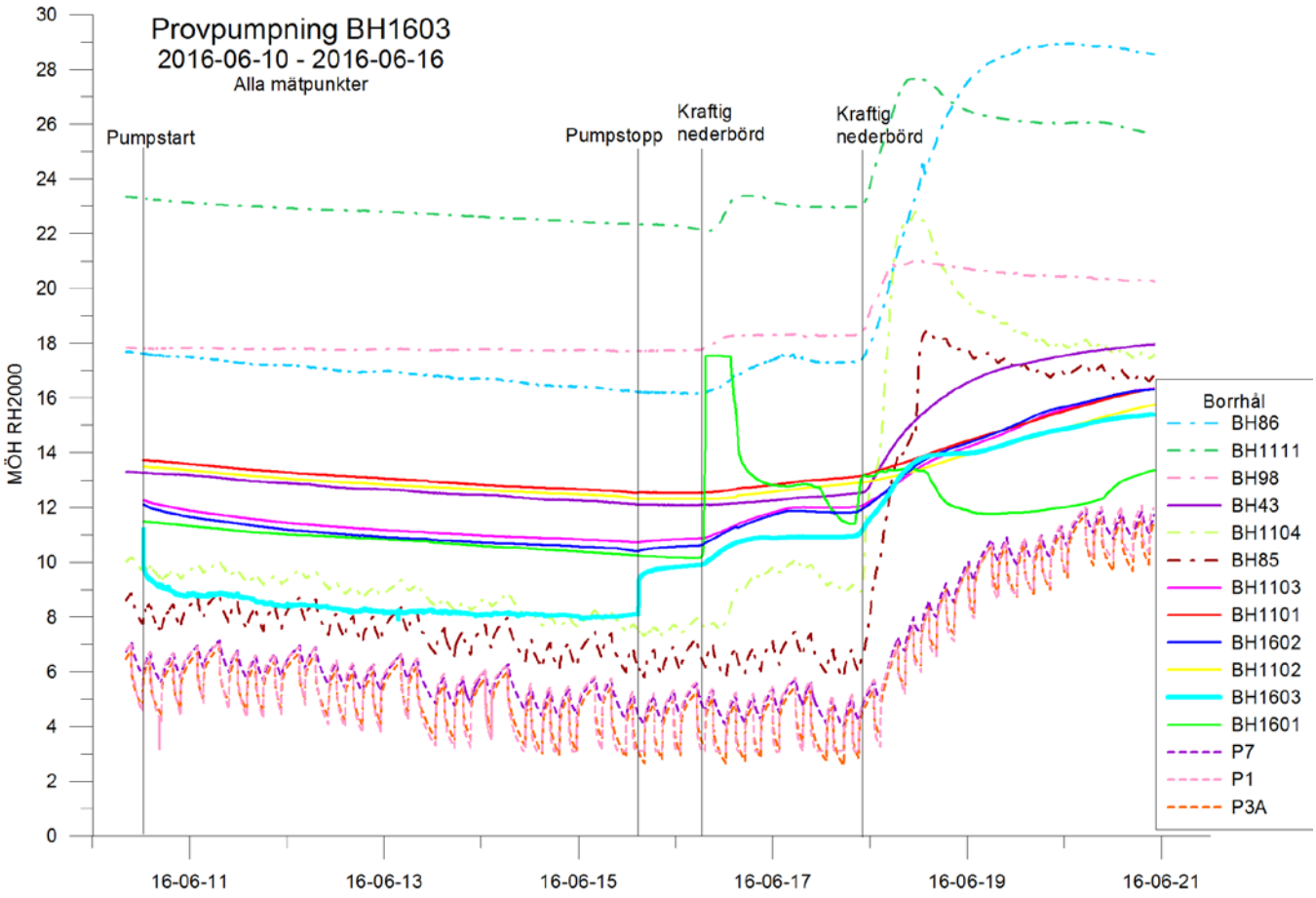
Med anledning av att påverkan från den kommunala vattentäkten vid provpumpning kunde observeras i BH1603 genomfördes en andra provpumpning med denna brunn som pumpbrunn, med huvudsakligt syfte att studera om ett uttag i täkten kunde påverka nivån i vattentäkten.

Avståndet från BH1603 till den nordligaste pumpbrunnen P1 är ca 880 m, att jämföra t.ex. med den mest avlägsna observationsbrunnenbrunnen i täkten,



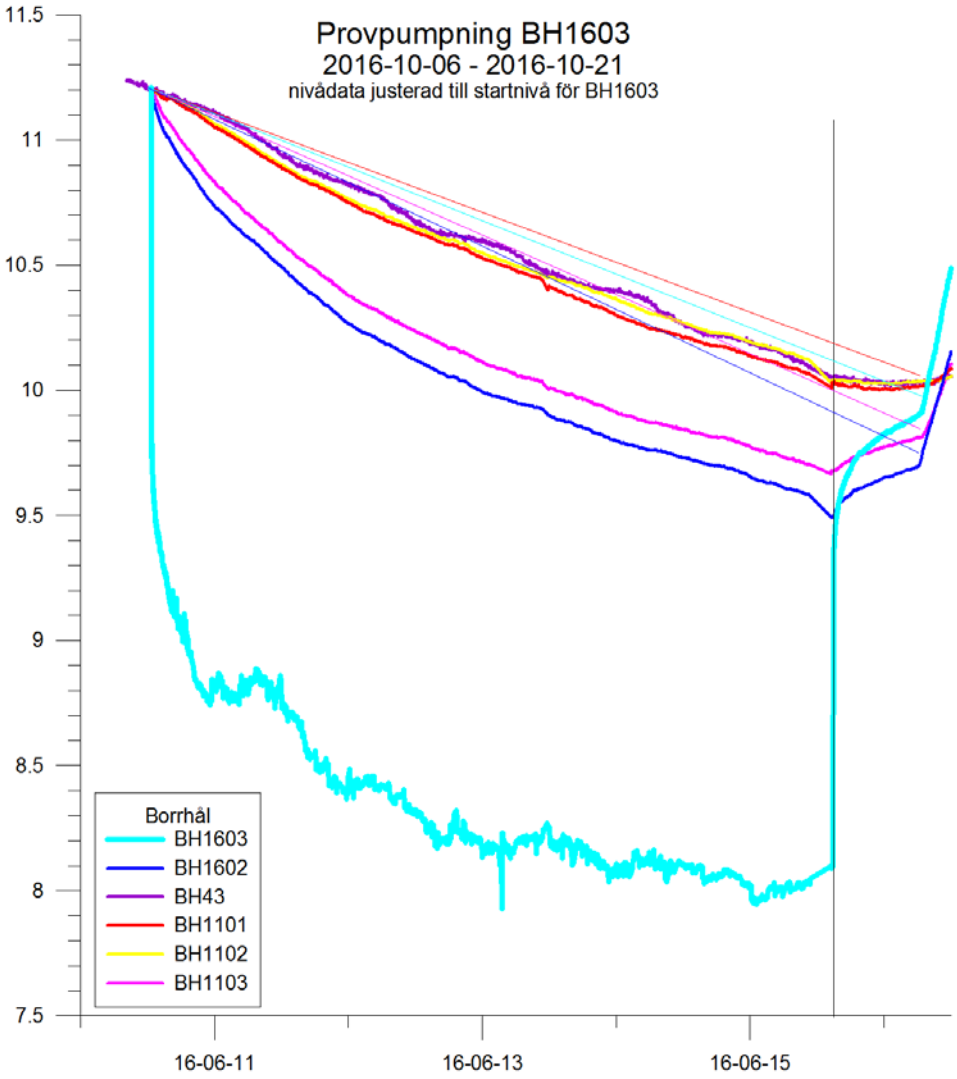
Figur 5-2: Utvärderingskurvor för provpumpning i BH1602

BH1102, till vilken det är ca 680 m. Ingen påverkan har kunnat observeras i någon av de kommunala brunnarna. Nivåpåverkan i pumpbrunnarna är visserligen svårbedömd till följd av de stora nivåamplituderna som blir effekten av pumpningen i brunnarna. En påverkan motsvarande den i BH1102 (ca 2 dm) eller något mindre skulle dock ha upptäckts.



Figur 5-3: Uppmätta nivåer under och efter provpumpning i BH1603. (för BH1601 överskrids tryckgivarens mätområde 16/6, sannolikt pga inflöde av ytvatten i borrhålet)

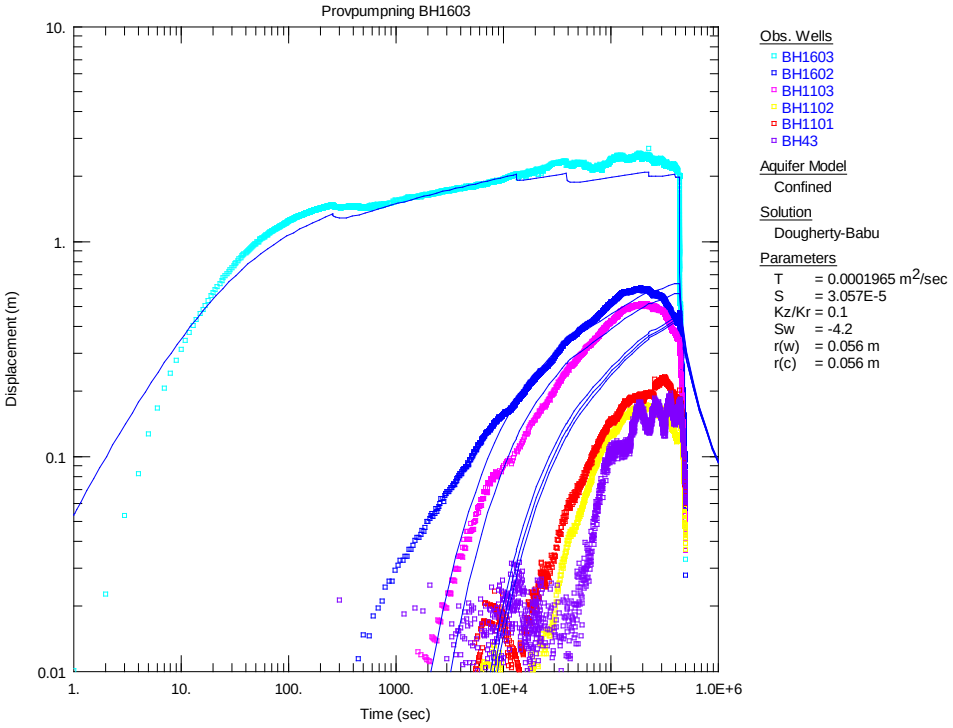
Natten efter att pumpningen avslutats 15-16/6 börjar det regna kraftigt vilket får grundvattennivåerna att stiga kraftigt och därmed överskugga återhämtningsförloppet. Utvärderingsbar återhämtningsdata blev därför begränsad till de första ca 14 timmarna. Regnandet fortsatte de följande tre dygnen med en andra topp 17-18/6. Baserat på SMHI:s två mätstationer vid Visby och Fårösund föll uppemot 70 mm under perioden 15-19 juni.



Figur 5-4: Pumpning och första dygnets återhämtning vid provpumpning i BH1603. Nivåerna är justerade till nivå före pumpning i BH1603. Räta linjer representerar beräknad naturlig nivåsänkning till följd av torrt väder.

Även vid pumpningen i BH1603 krävs antagande om ett negativt skin för en passning av typkurva mot både pumpbrunn och närliggande observationsbrunnar. BH1602 och BH1103 samvarierade tydligt vid föregående pumpning och passar vid denna pumpning tillsammans med pumpbrunnen mot en transmissivitet på ca $2 \cdot 10^{-4}$ m^2/s och en magasinskoefficient på $3 \cdot 10^{-5}$.

BH1102, BH1101 och BH43 uppvisar enhetliga kurvor, dock med en relativt aningen lägre avsänkning än ovan nämnda brunnar. Passar man mot dessa brunnar uppgår transmissiviteten till ca $4 \cdot 10^{-4}$ m^2/s och magasinskoefficienten till $8 \cdot 10^{-5}$ med ett använt något mindre negativt skin. Skillnaderna för bästa passning mellan de olika analyserade hålen får anses som relativt små och därmed anses representera geologiska lager med ganska homogena egenskaper.



Figur 5-5: Utvärderingskurvor för provpumpning i BH1603 passade mot BH1603, BH1602 och BH1103.

5.4 Grundvattennivåer

Grundvattennivåerna i området som helhet visar på en strömning mot Västra brottet i öster. De kontinuerliga mätningarna i kontrollbrunnarna i anslutning till Västra brottet (se BH1105 och BH1106 i Figur 5-9) visar på stabila nivåer på ca -2 - -10. Långtidsmätningarna av grundvattennivåer runt File hajdar visar på betydligt högre nivåer (övriga borrhål i Figur 5-9) och varierar i huvudsak inom spannet +10 - +33.

För borrhålen BH43, BH86 samt BH98 finns ett gammalt referensmaterial av mätdata, delvis från före File hajdar-täktens anläggande, Golder Associates, 2009, a.

För BH43 varierade årsmedelvattenståndet under perioden 1967 – 1989 mellan cirka +16,5 och +20. Den lägsta uppmätta grundvattennivån var cirka +9.
För BH86 varierade årsmedelvattenståndet under perioden 1978 – 1989 mellan cirka +25 och +33. Den lägsta uppmätta grundvattennivån uppmättes till ca +9 under 1978.Grundvattennivåvariationerna är mindre i borrhål 98 än i de två andra kontrollpunkterna. Årsmedelvärdet under 2000 – 2004 varierade mellan +18,6 och +20,6. Den lägsta nivån under samma period var +15,1 (som dygnsvärde) vilket inträffade år 2000.

Mot dessa referensmätningar kan mätningarna gjorda 2014-2016 jämföras (Tabell 3). För BH43 och BH86 ligger årsmedelvärdet i underkant av det

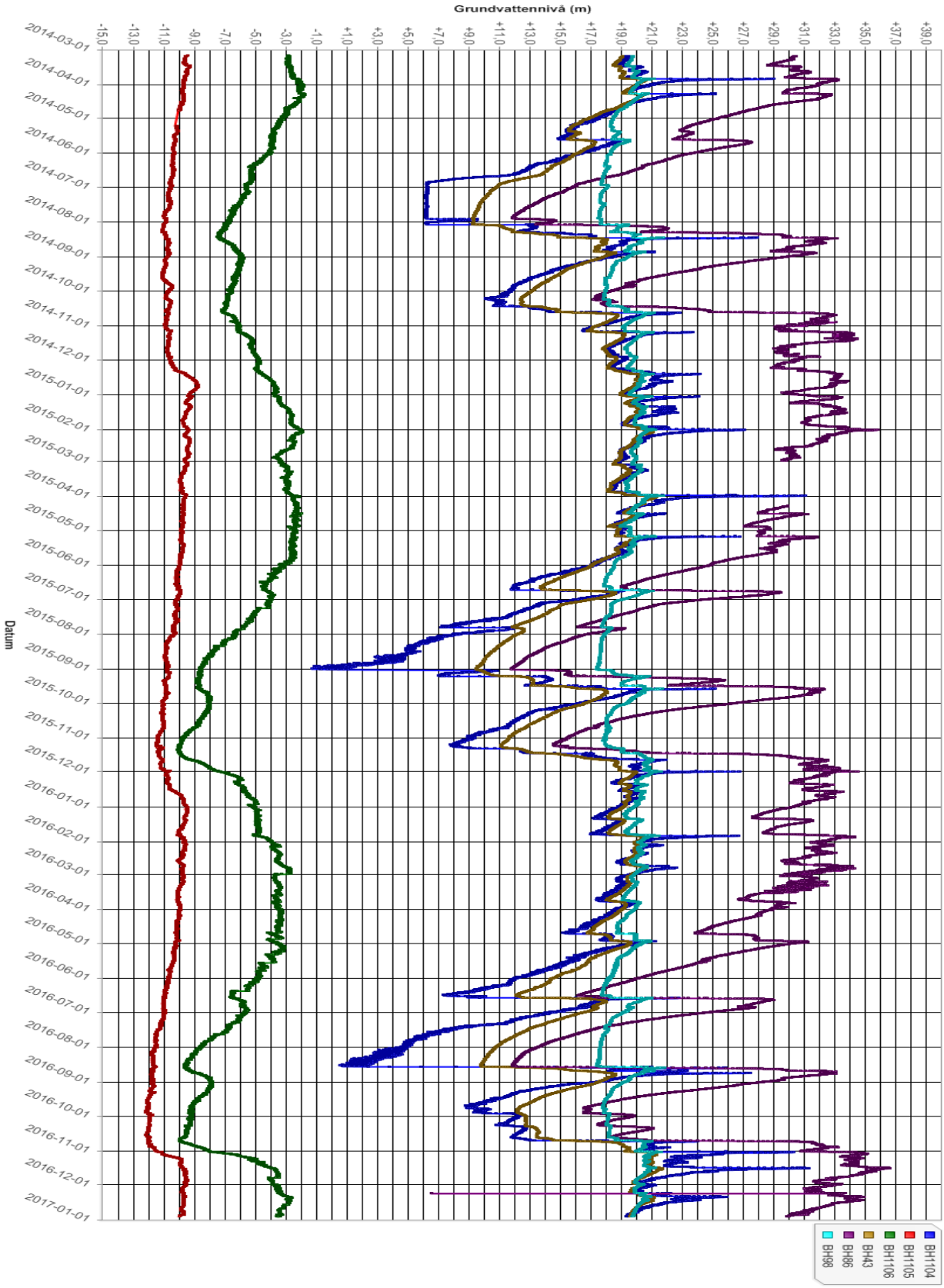
historiska spannet (1967/1978-1989) vilket indikerar att nivåerna har sjunkit något. Det går dock inte att fastslå från detta underlag om lägre nivåer är orsakade av File hajdar-täkten. För BH98 är nivåerna i paritet med vad som uppmättes 2000-2004. Inga nya lägstanivåer har uppmätts.

Tabell 3: Sammanställning av årsmedelvärde för de tre borrhål runt File hajdar-täkten där det finns historiskt referensmaterial. Mätvärdena är beräknat från orginaldata med 1-timmes upplösning.

Borrhål	Årsmedelvärde 2014	Årsmedelvärde 2015	Årsmedelvärde 2016	Lägsta dygnsvärde 2014-2016
BH43	16,04	16,61	16,92	9,30
BH86	25,36	25,04	25,96	11,81
BH98	18,99	19,30	19,26	17,36

Långtidsmätningarna visar också på ett tydligt mönster med låga nivåer under sommarmånaderna och höga nivåer under vintern. Mätningarna visar också att grundvattennivån höjs kraftigt och hastigt i samband med nederbörd för att sedan sjunka under torrperioder. Detta är ett mönster som orsakas av vertikal strömning koncentrerad till enstaka sprickor i kombination med en mycket liten magasinsförmåga, vilket beskrivits under kapitel 2.2.

Lokalt runt File hajdar-täkten är strömningen riktad mot krosszonen med den kommunala vattentäkten Dyhagen, Figur 5-7. Nivåerna i de kommunala pumpbrunnarna är avsevärt lägre än i brunnar i och nära täkten. Pumpbrunnarna har dock generellt högre nivåer än brunnarna vid Västra brottet.



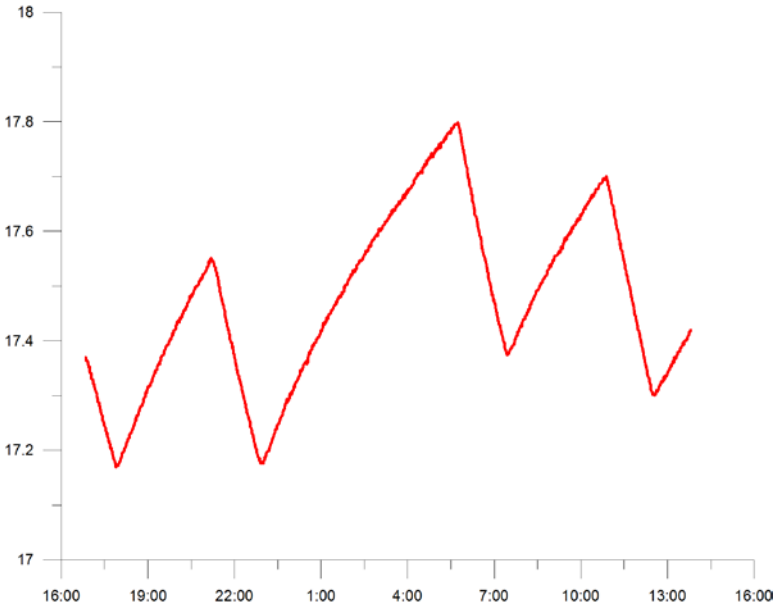
Figur 5-6: Uppmätta grundvattennivåer 2014-2016

Figur 5-7: Grundvattennivå (RH2000) i File hajdar-området (2016-06-20).

De stora grundvattennivåvariationerna med höjningar i mätbrunnarna med upp till ca 20 m vid kraftiga nederbördstillfällen är karaktäristiskt för området. Från mätningar i samband med provpumpningen av BH1603, då i stort sett alla borrhål i området hade installerade tryckgivare, kan konstateras ett geografiskt samband (se Figur 5-3). De brunnar som har den tydligaste responsen på kraftig nederbörd med snabba nivåhöjningar på ca 11-15 m var BH1104, BH85 och BH86 vilka samtliga är belägna söder om täkten (höjningen i BH1601 2016-06-20 exkluderas då den tros bero på inströmmande ytvatten i borrhålet). Detta visar att det måste finnas vertikala sprickor eller karstbildning i detta område i vilka nederbörden kan bilda grundvatten. Möjligen är dessa sprickor geologiskt kopplade till revstrukturen som finns i samma område.

Pumpningarna i vattentäkten syns tydligt i brunnarna söder om bergtäkten, BH85 och BH1104. Men även i BH86 sydväst om täkten, BH1603 i södra delen av täkten samt i BH43 närmast uttagsbrunnarna öster om bergtäkten kan cykliciteten från de kommunala pumpningarna skönjas.

Även i BH1604 som är ca 20 m djupare än övriga brunnar inom täkten är samvariationen med vattentäkten Dyhagen tydlig, se Figur 5-8. Detta visar att det är från de djupare liggande lagren vilket detta borrhål skär som vattentäkten försörjs med vatten.



Figur 5-8: Uppmätt grundvattennivå (25-26 januari 2017) i BH1604 uppvisar det karaktäristiska nivåmönstret från pumpningarna i Dyhagentäkten.

I samband med manschettesterna har skillnader mellan trycknivå över och under manschett noterats vilket visar på strömning i borrhålet och olika tryckpotential i olika vattenförande lager. Tydligast skillnader har setts i de djupa borrhålen utanför täkten som skär flera vattenförande lager. Tryckskillnaderna visar att det sker en strömning av vatten mellan lagren i borrhålen.

I BH1111 uppmättes en tryckskillnad mellan djupare och ytligare lager på ca 8 m. Vid tester gjorda i de djupa sektionerna på nivåer under ca +5 sjönk trycket ca 6 m under manschett och steg samtidigt ca 2 m över. Även vid ytligare tester på nivån ca +22,6 sjönk nivån under manschett med ca 1,5 m vilket visar på inflöde nära vattenytan eller rent av över den nivå som vid testtillfället utgjorde grundvattenyta i borrhålet.

Den nivå som uppmäts som en vattenyta i ett öppet borrhål är nämligen att betrakta som ett slags utifrån transmissiviteten viktat medelvärde av tryckpotentialen i samtliga de lager som penetreras. Därför kan det finnas vattenförande lager på högre belägna nivåer än vad som uppmäts som grundvattenyta i observationsborrhålet.

Detta fenomen var tydligt i BH85 under undersökningsperioden maj-juni 2016 då hålet ställvis var mycket svårt att mäta manuellt till följd av inströmmande vatten ovanför en stabil vattenyta. Med manschett på ca +10 blev det en tryckskillnad på ca 4 m på ömse sidor om manschett (upp 2 m ovan och ner 2

m under). Värt att notera är att båda sidor samvarierade med kommunens brunnar.

I BH1702, vilket borrades i steg med manschettester emellan, uppmättes en stabil vattennivå i borrhålet på ca +42 då hålet var borrat till ca +10. När hålet borrades vidare till +1 sjönk nivån i hålet till ca +31. Det bör även nämnas att nivåerna uppmättes under pågående snösmältning vilket innebar att jordlagren var helt vattenmättade och mycket ytavrinning förekom på ytan (ca +52), vilket visar på begränsad grundvattenbildning till djupare liggande strukturer.

Här redovisade nivådata utgör endast stickprov av nivåmätningar vid ett enstaka tillfälle men i tidigare undersökningar (SGU, 1977) studerades ett stort antal brunnar inom hela File hajdar-området där en tydlig korrelation mellan lägre brunnsbottennivå och lägre grundvattennivå påvisades. Liknande mätningar gjordes och redovisades även i Golder Geosystem AB (1991). Det bör påpekas att både Västra brottet och Dyhagens vattentäkt fanns när dessa studier gjordes. Det går därför inte att slå fast vilka trycknivåer som rådde i djupliggande lager innan dessa dränerades av vattenuttag. File hajdar-täkten var dock ej anlagd 1977 vilket visar att strömningsmönstret och nivåkaraktäristiken i stort ej förändrats av denna täkt.

5.5 Optisk borrhålsfilmning

Kaviteter eller markanta strukturer har identifierats från borrhålsfilmen, i BH85 10 st och i BH1104 7 st. Bilder på dessa redovisas i BILAGA C. BH85 har undersökts med flera metoder och samstämmigheten är god mellan metoderna. BH1104 har endast filmats.

Kaviteter eller markanta strukturer har identifierats på följande djup:

Tabell 4: Identifierade strukturer vid borrhålsfilmning i BH85 och BH1104 (meter under markytan)

BH85 Grundvattenyta (m u RÖK)	**BH85** Grundvattenyta (RH2000)	**BH1104** Grundvattenyta (m u RÖK)	**BH1104** Grundvattenyta (RH2000)
26,5	15,57	27,3	16,74
Struktur (m u RÖK)	**Struktur** (RH2000)	**Struktur** (m u RÖK)	**Struktur** (RH2000)
28,7	13,37	8,5 (Kavitet uk foderrör)	35,54 (Kavitet uk foderrör)
29,1	12,97	28,3	15,74
30,8	11,27	29,8	14,24
32,5	9,57	38,5	5,54

34,6	7,47	47,5	– 3,46
40,7	1,37	50,4	– 6,36
46,0	– 3,93	52,3	– 8,26
50,7	– 8,63		
55,3	– 13,23		
62,2	– 20,13		

5.6 Akustisk borrhålsfilmning och temperaturloggning

Ett flertal sprickor och indikationer på vattenföring har tolkats i erhållen data.

Resultaten från den akustiska borrhålsfilmningen, temperaturloggningen och på de sist mätta hålen även elektrisk konduktivitet redovisas i sin helhet i BILAGA D. Resultaten visar en tydlig samstämmighet med resultaten från manschettesterna. I samtliga identifierade sektioner med hög transmissivitet finns en identifierad spricka/lager i den akustiska borrhålsfilmningen. Framförallt är det sektioner med både en ökad borrhålsradie och en temperaturanomali som visar god överenstämmelse. Däremot finns även vissa identifierade sprickor som inte har någon markant högre transmissivitet. Data från den akustiska borrhålsfilmningen har på detta sätt använts för att förfina nivåangivelsen på de transmissiva lager som identifierats med manschettester.

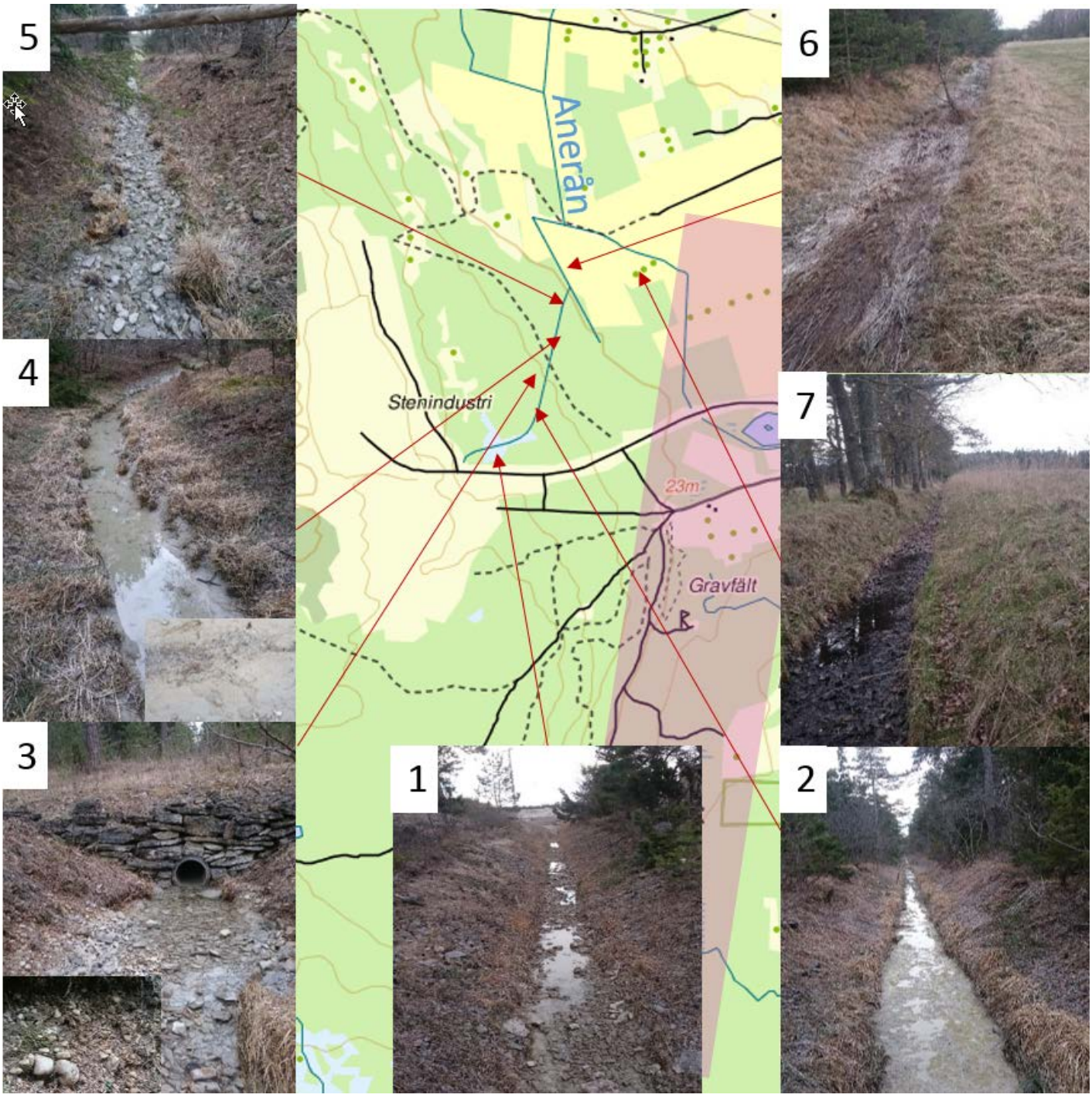
5.7 Fältrekognosering av infiltrationsförhållande i täktens avvattningsdike

I Figur 5-10 nedan sammanställs fotodokumentationen av utloppsdiket från täkten. Siffror i texten refererar till dito i figuren. Resultaten bör jämföras med jordartskartan för området (Figur 2-3). I de första ca 400 meterna av diket från täkten (1 och 2) bedöms infiltrationsförhållandena vara dåliga då diket är grävt till berg och de tunna jordlagren utgörs av leriga/organiska jordar. Vid passagen av den lilla skogsvägen (3) är omgivande jordar grusiga-steniga vilket kan innebära att vatten kan infiltrera i omgivande jordlager. Lite stående vatten i diket indikerar dock att den vertikala infiltrationen är liten. Utifrån beskrivning av nuvarande pumpmetodik med korta pumpsekvenser med högt flöde bedöms det dock som troligt att nivån snabbt sjunker undan i diket som på denna del har ett relativt tydligt fall. Infiltrerande vattenvolymer till jordlagren bedöms därför trots allt bli ganska små. Efter vägpassagen följer en ca 100 m lång flack sträcka (4) där bottensedimenten utgörs av lera vilket tillsammans med en stående vattenyta visar att grundvattenbildningen är mycket begränsad. De sista ca 50 metrarna innan åkerkanten utgörs av ytterligare ett grusigt stenigt parti (5). Men precis som vid (3) så är lutningen större här så även om infiltrationsförhållandena är relativt goda bedöms tiden då diket här är vattenfyllt

vara begränsat. Diket ute på åkern (6) bedöms vara grävt i moränleran vilket begränsar infiltrationsförhållandena. I ett litet grävt, relativt Anerån högt beläget, anslutande dike (7) finns en stående vattenyta vilket visar att grundvattenbildningen är liten.

I en bedömning av möjlig påverkan på grundvattenbildningen till följd av eventuellt förändrade pumpningsmönster från täkten till diket bör det även påpekas att krosszonens tolkade fortsatta sträckning skär Anerån och inte det grävda diket. I Anerån finns det vatten vilket potentiellt kan infiltrera under i stort sett hela året även om flödet varierar (http://vattenweb.smhi.se, delavrinningsområde 3074). Påverkan på infiltrationen från eventuellt förändrat tillskott av pumpvatten till ån bedöms därför som försumbar.

Sammanfattningsvis kan sägas att längs två ca 50 m långa delsträckor bedöms grundvatten kunna infiltrera till omgivande jordlager om vattennivån i ytvattendraget är högre än grundvattennivån i jord. Infiltrerande volym är mycket svår att kvantifiera med några mätningar då det i praktiken skulle vara mycket svårt att mäta flöde med hög noggrannhet utan att påverka de bestämmande nivåerna i vattendraget. Men med tanke på att bottenlutningen är större på dessa delar är tiden då vatten kan infiltrera sannolikt begränsad och infiltrerande volym sannolikt relativt liten. Det bör även påpekas att grundvatten från sandavlagringarna kan strömma tillbaka till vattendraget då ytvattennivån sjunker.



Figur 5-10: Sammanställning av fotodokumentation från fältrekognoscering av infiltrationsförhållanden i utloppsdike från täkten. Krosszonens tolkade utbredning (enligt figur 8.3.3.4 i SGU, 1977) är markerad som rosa fält.

5.8 Vattenprovtagning

Vattenprovet från borrhål BH1603 har analyserats av ALS Scandinavia och omfattat analysprogram DV-5 och DV-6 vilka vanligen används för att kvalitetskontrollera dricksvatten för enskild vattenförsörjning. Resultatet är sammanställt i nedanstående Tabell 5 där koncentrationerna av analyserade ämnen jämförs med kriterier i Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (SLVFS 2001:30). I tabellen anges gränsvärden för otjänligt dricksvatten (OT) respektive tjänligt med anmärkning (Ta). För uran saknas svenska gräns- och riktvärden varför jämförelse görs mot WHO´s riktvärde för dricksvatten (Guidelines for Drinking water quality, 2011).

Analysen av de aktuella parametrarna och ämnena visar att vattnet skulle ges bedömningen tjänligt med anmärkning i det fall vattnet skulle användas för allmän dricksvattenförsörjning. Gränsvärdena överskrids ej.

Tabell 5: Resultat från analys av grundvatten från BH1603 i juni 2016. Vid värden över jämförelsevärdena är cellen färgmarkerad.

Parameter/Ämne	BH1103	OT	Ta
Totalhårdhet (°dH)	19,5	-	-
Turbiditet (FNU)	34	-	1,5
Färg (mg Pt/L)	<5	-	30
Konduktivitet (mS/m)	77	-	250
pH	7,9	10,5	<7,5 och >9
Alkalinitet (mg HCO3/L)	220	-	-
COD_{Mn} (mg/L)	1,14	-	-
Ammonium (mg/L)	0,214	-	0,5
Nitrit (mg/L)	<0,01	0,5	0,1
Nitrat (mg/L)	<0,5	50	20
Fosfat (mg/L)	<0,04	-	-
Fluorid (mg/L)	0,5	1,5	-
Klorid (mg/L)	8,32	-	100
Sulfat (mg/L)	253	-	100
Kalcium (mg/L)	80,9	-	100
Magnesium (mg/L)	35,6	-	30
Natrium (mg/L)	45,4	-	100
Kalium (mg/L)	6,13	-	-
Järn (mg/L)	0,335	-	0,2
Mangan (µg/L)	11,4	-	50
Koppar (µg/L)	0,603	2000	200
Bly (µg/L)	0,835	10	-
Uran (µg/L)	0,333	-	30^{WHO}
Aluminium (µg/L)	210	-	100
Arsenik (µg/L)	0,23	10	-
Kadmium (µg/L)	0,032	5	-
Krom (µg/L)	1,04	50	-
Kvicksilver (µg/L)	<0,002	1	
Nickel (µg/L)	1,19	20	-
Antimon (µg/L)	0,024	5	-
Selen (µg/L)	<0,5	10	-

5.9 Observationer vid borrning

En hydrogeolog fanns på plats för att observera och utföra tester vid de borrningar som utfördes under 2017. Fältobservationer från borrningen av borrhålen BH1701 och BH1702 redovisas med måttangivelser som är ungefärliga på ca 1 m när. Vid borrning av BH1701 gjordes pauser på mellan några minuter till upp till en timme efter varje dokumenterad indikation på spricka (Tabell 6) från 29 meters djup för att undersöka om det gick att blåsa upp något spolvatten eller damning skulle upphöra. Till och med blåsning på 57 meters djup fanns inga indikationer på vatten, därmed gjordes inte manschettesterna stegvis i detta borrhål.

Tabell 6: Observationer i samband med borrning av BH1701 och BH1702

BH 1701

2017-01-25

m u my	Kommentar
10	Småsprickor/sämre berg
26	Kanske någonting
28-29	Trolig spricka
37,5 - 38	Trolig spricka
46	Större spricka?
55 - 56	Trolig spricka
59	Vattenförande spricka
60	Borrning avslutas

BH 1702

2017-01-23 - 2017-01-24

m u my	Kommentar
36-38	Vattenförande lager
42	Stopp för manschettester i två nivåer
45,5 - 46	Vattenförande lager
51	Stopp för manschettester
54-55	Vattenförande lager
59,5 - 60	Vattenförande lager
60	Borrning avslutas

6.0 DISKUSSION OCH KONCEPTUALISERING

Genomförda undersökningar bekräftar den tidigare bilden av att bergets transmissivitet (vattenförande förmåga) är knutet till ett antal subhorisontella (nästan horisontella) lager vilka särskiljs av relativt tätt berg. Lagren förefaller som regel ha ett större lerinnehåll än omgivande kalksten och en mäktighet på någon dm. I vertikalled är strömningen koncentrerad till enstaka vertikala sprickor (se schematisk bild Figur 2-5). Den horisontella transmissiviteten blir därmed mycket högre än den vertikala. Magasinsförmågan är väldigt låg vilket innebär att en liten volym vatten i en vertikal spricka kan innebära en stor höjning av grundvattennivån. Som en följd av detta fluktuerar grundvattennivåerna kraftigt över året och efter kraftiga nederbördstillfällen.

Ingen påverkan på grundvattennivåerna på större avstånd än några hundratal meter kan konstateras till följd av File hajdar-täktens befintliga utformning. Kontrollhålen BH43 och BH86 belägna ca 300-400 m från täktkanten visar för 2014-2016 visserligen ett lägre medelvärde än medelvärdet för historisk data (1967/1978-1989) men utifrån de stora naturliga variationerna, övriga grundvattenpåverkande verksamheter (Dyhagens vattentäkt samt Västra brottet), samt en generell problematik av överutnyttjande av grundvatten på ön går det inte säkert att säga att denna sänkning är en effekt av File hajdar-täktens befintliga utformning. Man kan oavsett konstatera att File hajdar-täktens grundvattenpåverkan är mycket begränsad.

Grundvattennivåerna i området i stort är påverkade av Västra brottet i öster, men framförallt under sommarmånaderna med lågvattenförhållanden är det den kommunala vattentäkten Dyhagen som styr file hajdar-områdets grundvattennivåer. Vattentäkten tar vatten från en krosszon som främst tar vatten från djupt liggande lager (ca 0 - -40). Detta återspeglar sig dels genom att manschettesterna i djupa borrhål visar på en tydligt nedåtriktad gradient mellan olika lager. Men även genom att nivåvariationerna till följd av det kommunala vattenuttaget syns tydligt i brunnar som skär djupare liggande lager (under +3) även på ca 1,5 km avstånd.

Testerna indikerar högre transmissivitet och fler vattenförande strukturer åt söder/sydöst än mot norr/nordväst. BH85 sydost om täkten har t.ex. flera lager med hög transmissivitet som står i kontakt med krosszonen i vilka de kommunala brunnarna är placerade i. Eventuellt kan denna bild ha sin förklaring i den revstruktur som framträder i täktens södra kant (Figur 6-1) snarare än att återspegla ett mer regionalt mönster.

Figur 6-1: Revstruktur i södra ändan av File hajdar-täkten, 2017-01-26

Inom täktområdet har kombinationen televiewer- och manschettundersökningar identifierat ett vattenförande, sammanhängande lager (benämnt FHX) inom den bergvolym som kommer att ansökas att få brytas för märgelstensuttag. Lagret vilket stupar svagt åt öster (ca 2 ‰) är beläget på ca +8 i sydöstra delen av täkten och ca +10 i nordväst. Utifrån denna lutning beräknas FHX skära de kommunala brunnarna på nivån ca +6 om lagret är uthålligt. Beräknad transmissivitet för FHX i de olika borrhålen redovisas i Tabell 2, sid 18. Tabellen ger, som ovan beskrivet, en bild av högre transmissivitet i södra delen av täkten än norra, i BH1702 i väster syns den på televiewer men har en låg transmissivitet (10^{-6} m^2/s), i BH1701 i nordväst kan den eventuellt tolkas in som en identifierad struktur från televiewer men ingen transmissivitet har uppmätts (10^{-7} m^2/s eller lägre), i BH1111 norr om täkten syns FHX inte alls. Även resultaten från provpumpningarna ger samma bild där påverkan syns tydligt i borrhålen inom täkten (undantaget BH1601) samt även i borrhål BH43 öster om täkten. Från dessa data görs tolkningen att FHX-lagret ej utgör något av de större regionalt tolkade vattenförande lagren (benämnda A-E) utan är av mer lokal karaktär sannolikt strukturgeologiskt och hydrogeologiskt kopplat till revstrukturen i söder. Lagret har därmed sannolikt en begränsad påverkan på de hydrogeologiska förhållandena utanför föreslaget brytområde mot norr och väster. Lagret bedöms dock stå i hydraulisk kontakt med krosszonen i öster.

Övriga vattenförande lager är svårare att korrelera mellan undersökningspunkterna. Detta beror både på att det finns färre undersökningspunkter på nivåerna +3 och djupare samt på att det generellt verkar vara en större frekvens identifierbara lager på större djup. Utan att avgöra vilken eller vilka sprickor som har högre transmissivitet så har från televiewer och borrobservationer 6 sprickor/lager identifierats i BH1701 mellan nivåerna +6,2 - -0,8 och i BH1702 8 sprickor/lager mellan +11- -8. Transmissiviteten är dock relativt låg i bägge hålen. I BH1604 har 13 sprickor identifierats mellan nivåerna +17 - -17, relativt jämnt fördelat. Några nivåer sticker dock ut som vattenförande baserat på temperatur och konduktivitetsmätningarna.

Även i BH85 är sprickfördelningen relativt jämnt fördelad över den vattenmättade delen av hålet +10,5- -18,5. Här är dock transmissiviteten betydligt högre med 7 identifierade strukturer $T > 2 \cdot 10^{-4}$ m^2/s.

Baserat på vad som är synligt i täktväggarna bedöms identifierade strukturer som regel vara kopplade till lager med ett större lerinnehåll och/eller annan mineralsammansättning. Däremot finns det betydligt fler strukturer än vad som sticker ut som tydligt transmissivt i ett enskilt borrhål.

De tydligaste vattenförande nivåerna i de djupare borrhålen sammanställs därför i Tabell 7 nedan.

Tabell 7: Sammanställning noterbart vattenförande lager i djupa borrhål

Hål	Z (MY)	Vattenförande lager (m u my)	Nivå vattenförande lager (RH2000)	T (m^2/s)	Kommentar
BH1111	51.90	31.9 50.9	20 1.0	$2 \cdot 10^{-6}$ $3 \cdot 10^{-6}$	Ungefärligt T
BH1604	23.10	21.9	1.2	$4 \cdot 10^{-4}$	
BH1701	59.17	59	0.2	$5 \cdot 10^{-6}$	
BH1702	52.14	55.9	-3.8	$2\text{-}7 \cdot 10^{-5}$	Fyra identifierade sprickor mellan +0.7 - -6.9 gör att det ej säkert går avgöra om uppmätt T representerar flera sprickor
BH85	41.45	30.8 32.6 34.7 40.6 45.9 55.4	10.6 8.8 6.7 0.8 -4.5 -14	$1 \cdot 10^{-3}$ * * * * *	* Flera lager med T = $2\text{-}5 \cdot 10^{-4}$ m^2/s

Den samlade bilden av resultaten visar även på att det är en betydande variation för uppmätta transmissiviteter för enskilda lager. Vid betraktande av resultaten bör man dock hålla i åtanke att i ett delvis heterogent berg uppkommer lätt en skalfaktor då olika testmetoder påverkar olika stora bergvolymer och innebär därmed olika testskala. Ett slugtest i ett manschetterat borrhål ger en mycket liten volymförändring som påverkar de närmaste metrarna runt testsektionen, medan ett infiltrationstest under manschett påverkar sprickorna i testsektionen på ett större avstånd. En långvarig provpumpning påverkar alla spricksystem som står i direkt eller indirekt kontakt med pumpbrunnen på stort avstånd (för i föreliggande rapport beskrivna provpumpningar med varaktighet på ca en vecka är influensavståndet flera hundratals meter). Pumptestet kan därmed beskrivas som att det ger ett medelvärde av en större volym, men därmed är det mer sannolikt att en provpumpning berör en högtransmissiv struktur vilket därmed ger ett högre resultat.

Av bortpumpat vatten från File hajdar-täkten bedöms det i dagsläget vara en relativt liten andel som infiltrerar i botten på utloppsdiket. Utloppsdiket fram till Anerån har i huvudsak dåliga infiltrationsförhållanden med kalt berg, sedimenterad lera eller moränlera. Undantaget är de två passager av gamla strandavlagringar. På dessa sektioner är dock dikets gradient högre vilket innebär att vattnet bedöms rinna bort relativt fort efter avslutad pumpning vilket begränsar tiden då infiltration kan ske.

6.1 Ytterligare undersökningar

Under 2015 har SGU utfört geofysiska mätningar med helikopterburen elektromagnetisk utrustning (SkyTEM) inom ett område som bl.a. omfattar File hajdarFile hajdar. Syftet med mätningarna har varit att erhålla information om berggrundens uppbyggnad med bäring på identifiering och avgränsning av grundvattenmagasin och salt grundvatten. Arbetet planeras slutredovisas av SGU under 2017, men Golder har fått ta del av preliminära modelleringsresultat under februari 2017, vilket har inkorporerats i den numeriska grundvattenmodellen.

För att kalibrera SkyTEM-modellen har även geofysiska loggningar gjorts i ett stort antal brunnar fördelade över Gotland. Mätningarna har gjorts och utvärderats av Per-Gunnar Alm, Teknisk geologi Lunds Universitet. I samband med detta har ett borrhål borrats ca 600 m NV om täkten och benämns Othem File i Per-Gunnar Alms och SGUs material. Resultaten från detta borrhål samt loggningar i BH85 och BH86, även de belägna i täktens närhet, har inkluderats i modelleringsarbetet (Alm, 2016).

Golder Associates har gjort en desktop-studie av bottenförhållandena i Tingstäde träsk (Golder Associates AB, 2016). Syftet har varit att verifiera eller förfina antaganden för den numeriska modelleringen om grundvattenbildningen i sjön genom att nyttja tidigare utförda undersökningar.

6.2 Fortsatt arbete

Resultaten från här rapporterade undersökningar, resultaten från undersökningar redovisade under 6.1,tterligare undersökningar, samt tidigare numerisk modell (Golder Associates, 2009) kommer att ligga till grund för upprättande av en uppdaterad numerisk grundvattenmodell.

Modelleringen ska användas för att svara på frågeställningarna:

- Vilket inflöde blir det till en utökad täkt?
- Vilket influensområde blir det från ovanstående vattenuttag?
- Vilken påverkan beräknas uppkomma på den kommunala vattentäkten, både med avseende på kvantitet och kvalitét?
- Hur påverkas tillskottet av grundvatten till ytvattendragen i omgivningarna?
- Vilka privata brunnar kan komma att påverkas?
- Påverkas vattenbalansen i Tingstäde träsk?
- På vilken nivå ställer vattenytan in sig när brytningen upphör och pumpningen avslutas?

Modellen kommer att beskrivas och frågeställningarna besvaras i en separat modellrapport.

7.0 REFERENSER

Alm Per-Gunnar, LTH/Lunds Universitet, januari 2017, Loggingrapport Diverse borrhål på Gotland 2016, Diarienr 423-2454/2016

Golder Associates AB, 2009 a, Beskrivning av yt- och grundvattenförhållanden (Bilaga B) 2009-04-30

Golder Associates AB, 2009 b , Grundvattenmodellering av File hajdar och Slite (Bilaga 7) 2009-04-02

Golder Associates AB, 2016, Bottenförhållanden i Tingstäde träsk, Gotland

Golder Geosystem AB, 1991, Täktverksamhetens inverkan på grundvattenförhållandena, File hajdar. 907-1502, juni 1991.

SF GeoLogic, 2007, Rapport 07-069-01Hydrogeologisk beskrivning av Bunge Ducker 1:64 med omgivningar.

SGU, 1974, Påverkan på Grundvattenförhållandena genom planerad kalkstenstäkt vid File hajdar. Rapport nr 542038-5, 1974-12-19. SGU, Uppsala.

SGU,1977, Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File hajdar. SGU-rapport 1977-10-31. SGU, Uppsala

SGU, februari 2017, Preliminärt tolkning av resistivitetsmodeller från SkyTEM data

Svantesson S., 1980, Geologisk dokumentation av Cementa ABs täktområde på File hajdar, Gotland. SGU-rapport januari 1980. SGU, Uppsala.

VIAK AB, 1974, PM. Ang ökat vattenuttag från grundvattentäkter vid Filehajdar och Klints, Slite, Gotlands kommun

Digitala underlag:

SGU, 2016 Jordartskarta, Jorddjupskarta 1:50 000, http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html

http://vattenweb.smhi.se, delavrinningsområde 3074

GOLDER ASSOCIATES AB

Göteborg 2017-07-01

Jakob Eng
Ansvarig hydrogeolog

Stockholm 2017-07-01

Niclas Bockgård
Kvalitetsansvarig Hydrogeolog

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\8.rapporter\fältrapport grundvatten file hajdar 170701 - je2017-10-20.docx

BILAGA A

Sammanställning av hydrogeologiska testresultat

Sammanställning testutvärderingar Filehajdar

			Konduktivitet (K) m/s		Transmissivitet (T) m^2/s					Magasinskoefficient
Hål	Sektion (från MY) / test	Testdatum	K Slug (Hvorslev)	K Slug osilerande (Butler)	T slug (K x sektion)	Spec kap (Q/s)	Transient (olika lösningar*)	T (obsrör)	T best choise	S
BH1101	Hel hål (3,2-16,5)	15-apr				5.2E-05	8.0E-05			
	Hel hål (6,2-16,5)	09-jun					5.8E-05			
	PP1102	14-apr						1.7E-04		
	PP1602	25/5 - 1/6						2.0E-04	2.0E-04	6.0E-05
	PP1603	10 - 15/6						2.2E-04		8.0E-05
	4,0-8,0	20-maj	1.6E-06		6.2E-06				6.2E-06	
	8,5-EOH	20-maj					1.2E-05		1.20E-05	
	10,5-EOH	20-maj	8.2E-06		4.9E-05				4.9E-05	
	13-EOH	20-maj	7.2E-08		2.5E-07				2.5E-07	
BH1102	Hel hål (3,5-17)	14-apr				4.3E-05	3.0E-05			
	PP1602	25/5 - 1/6						2.0E-04	2.0E-04	6.0E-05
	PP1603	10 - 15/6						2.2E-04		8.0E-05
	7,2-11.5	08-jun	1.4E-05		6.0E-05				6.0E-05	
	12-EOH	08-jun	1.4E-07		6.8E-07				6.8E-07	
BH1103	Hel hål (4,3-17,5)	14-apr				1.5E-05	1.8E-05			
	PP1602	25/5 - 1/6						2.0E-04	2.0E-04	3.0E-05
	PP1603	10 - 15/6						2.0E-04		3.0E-05
	9,5-EOH	07-jun					1.0E-04		1.0E-04	
	11-EOH	08-jun				1.0E-04	1.0E-04		1.0E-04	
	14-EOH	7 - 8/6	3.7E-11		1.3E-10				1.3E-10	
BH1104	Hel hål (26,8-62,5)	13-apr				3.3E-03	1.7E-03		1.7E-03	
BH1111	29,3-EOH	20-maj	1.6E-07		5.1E-06				5.1E-06	
	46,6-EOH	20-maj	2.1E-07		3.3E-06				3.3E-06	
	50,9-EOH	20-maj	2.9E-07		3.3E-06				3.3E-06	
BH1601	Hel hål (7,1-19,2)	17-maj	3.1E-07		3.8E-06				3.8E-06	
	11-EOH	08-jun	2.2E-07		1.8E-06				1.8E-06	
	15.5-EOH	08-jun	4.7E-07		1.7E-06				1.7E-06	
	18,2-EOH	09-jun	4.7E-07		4.7E-07				4.7E-07	
BH1602	Hel hål (4-16)	17-maj				2.1E-04	2.5E-04		2.5E-04	
	PP1602	25/5 - 1/6					2.0E-04			
	PP1603	10 - 15/6						2.0E-04		3.0E-05
	3,7-8,9	19-maj	1.6E-05		8.3E-05				8.3E-05	
	9,9-EOH	19-maj				6.5E-04	1.3E-03		6.5E-04	
	13,4-EOH	19-maj	2.3E-06		6.1E-06				6.1E-06	
	14,7-EOH	19-maj	5.4E-08		7.0E-08				7.0E-08	
BH1603	Hel hål (7,5-17)	17-maj				3.9E-04	4.4E-04		4.4E-04	
	PP1602	25/5 - 1/6						6.0E-04		1.0E-05
	PP1603	10 - 15/6					2.0E-04			
	8-EOH	18-maj				4.4E-04	4.4E-04		4.4E-04	
	11-EOH	08-jun				3.8E-04	3.5E-04		3.5E-04	
	13,5-EOH	08-jun				2.8E-04	3.4E-04		3.4E-04	
	15-EOH	18-maj	2.3E-07		4.7E-07				4.7E-07	
BH1604	9,7-EOH (40)	25-jan					9.5E-04		9.5E-04	
	19,7-EOH	25-jan					1.0E-03		1.0E-03	
	29,7-EOH	25-jan					5.7E-04		5.7E-04	
BH1701	28,7-EOH (59,5)	26-jan					5.3E-06		5.3E-06	
	40,7-EOH	26-jan					5.0E-06		5.0E-06	
	50,2-EOH	26-jan					5.0E-06		5.0E-06	
BH1702	10.7-42	24-jan	6.1E-08		1.9E-06				1.9E-06	
	35-42	24-jan	4.2E-07		2.9E-06				2.9E-06	
	42-51	24-jan					1.2E-05		1.2E-05	
	51-EOH (59,8)	25-jan					7.1E-05		7.1E-05	
BH43	PP1602	25/5 - 1/6						2.0E-04	2.0E-04	6.0E-05
	PP1603	10 - 15/6						2.2E-04		8.0E-05
BH85	Hel hål (27-62,5)	15-apr				2.3E-03	3.2E-03		3.2E-03	
	26,5-31,2	17-maj	3.6E-04		1.7E-03				1.7E-03	
	26,5-33	17-maj	2.3E-04		1.5E-03				1.5E-03	
	26,5-36	17-maj	1.8E-04		1.7E-03				1.7E-03	
	26,5-42	17-maj	4.0E-05		6.1E-04				6.1E-04	
	31,7-EOH	17-maj		5.9E-05	1.8E-03				1.8E-03	
	33,5-EOH	17-maj		4.20E-05	1.2E-03				1.2E-03	
	36,5-EOH	17-maj	1.90E-05	2.80E-05	7.3E-04				7.3E-04	
	42,5-EOH	17-maj		3.20E-05	6.4E-04				6.4E-04	
	51,7-EOH	17-maj	1.60E-05	1.40E-05	1.5E-04				1.5E-04	

BILAGA B

Testplottar hydrogeologiska tester

Innehåll bilaga B

Graferna i denna bilaga är sorterade utifrån utvärderingsmetodik

Provpumpningar som enhålstester
(pumpning eller infiltration för öppet hål eller sektioner under enkelmanschett)

BH85
BH1101
BH1102
BH1103
BH1104
BH1602
BH1603
BH1604
BH1701
BH1702

Slugtest med oscillerande respons
(sektioner under enkelmanschett)

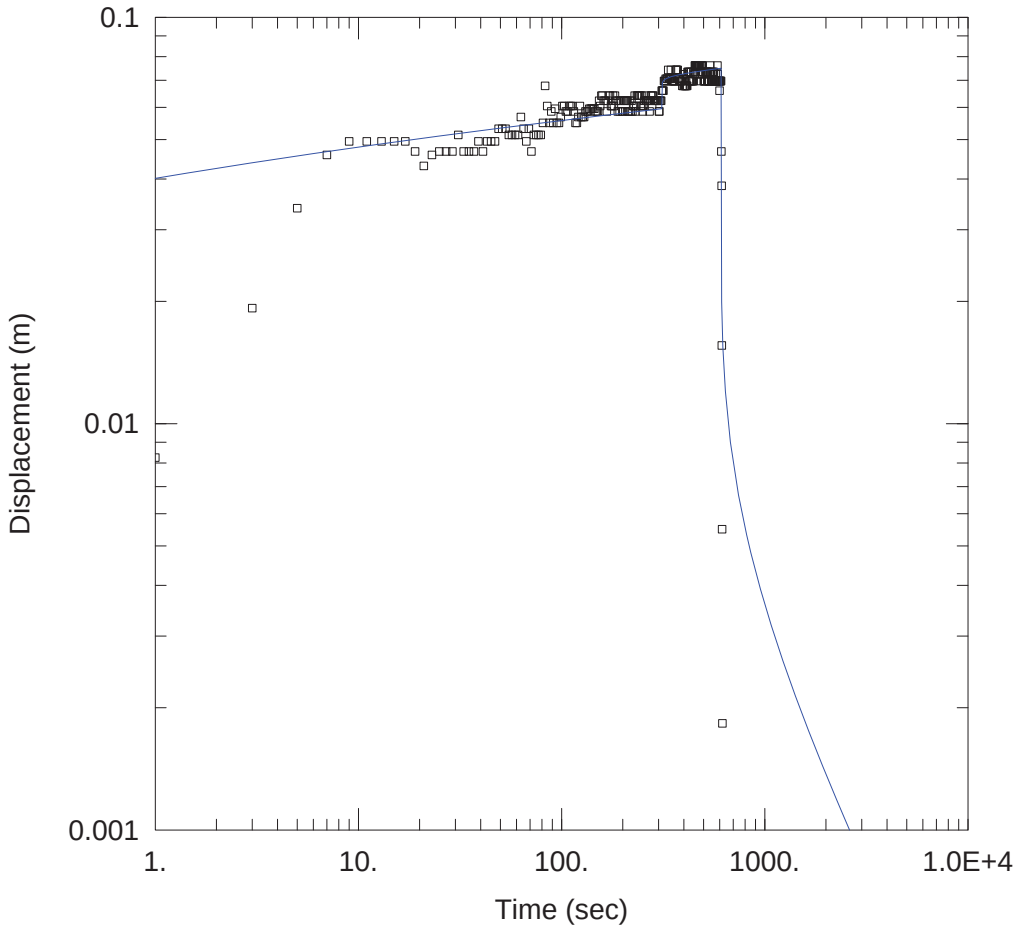
BH85

Slugtest
(sektioner under eller över enkelmanschett samt i öppet hål)

BH85
BH1101
BH1102
BH1103
BH1111
BH1601
BH1602
BH1603
BH1702

Provpumpningar med observationer i flera borrhål

BH1602
BH1603



PUMPNING HELHåL BH85

Data Set: I:\...\BH85_helhål.aqt
Date: 11/02/16 Time: 10:44:03

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-04-15

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH85	6399652.6	148405.5

Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH85	6399652.6	148405.5

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.003198 m^2/sec
S = 1.62E-5
Kz/Kr = 0.1
b = 35.5 m

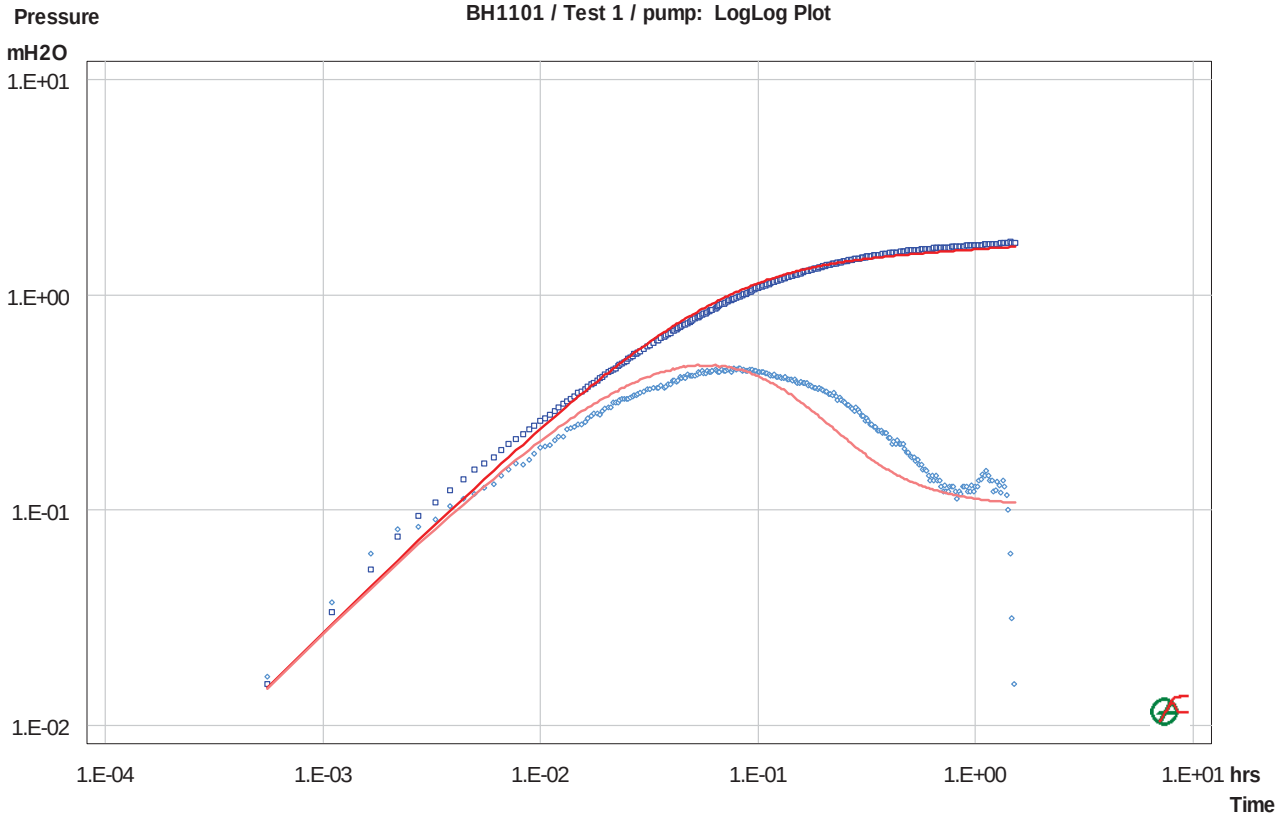
Borrhål: BH1101

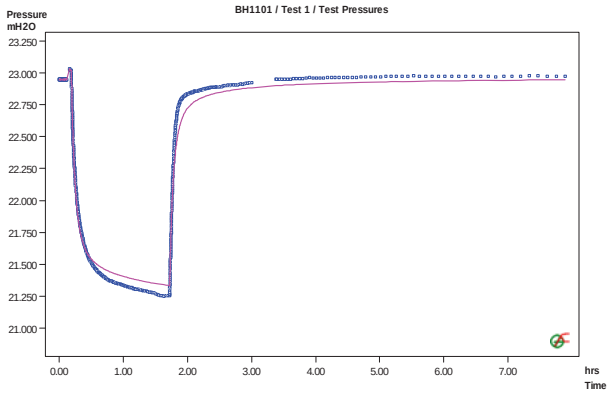
Testdatum 2016-04-15

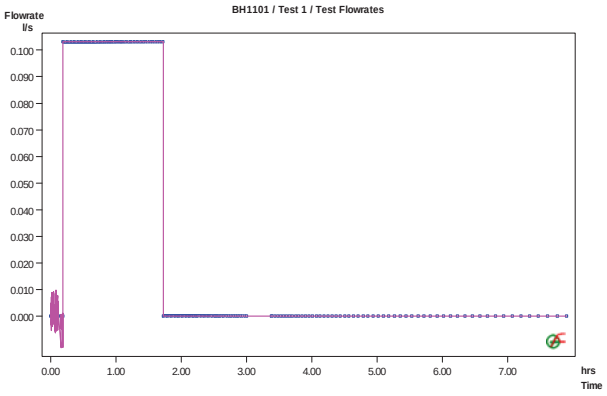
Q = 0,103 l/s

T= $8*10^{-5}$ m^2/s

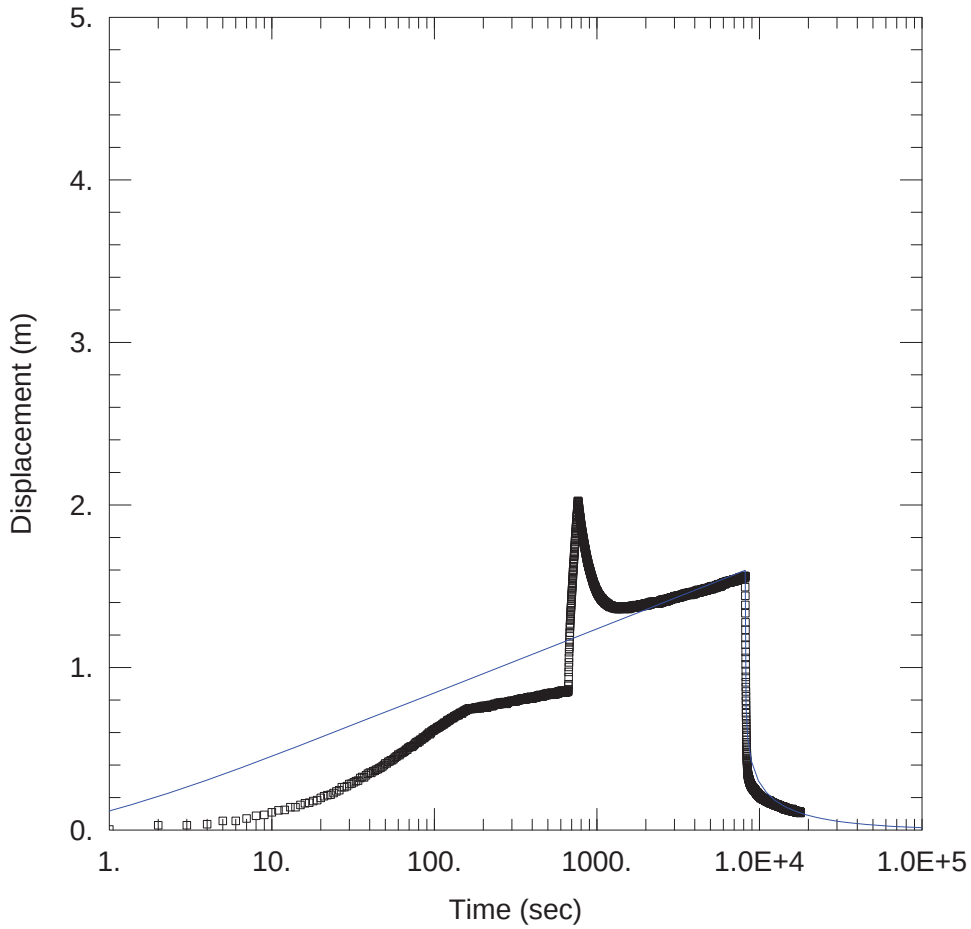
S= $2*10^{-5}$







i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\10. bilder\grafer\enhålspump\bh1101.docx



PUMPNING HELHåL BH1101

Data Set: I:\...\BH1101_helhål_Theis.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:04:29

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1101
Test Date: 2016-06-09

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1101	6400538.1	147772.1

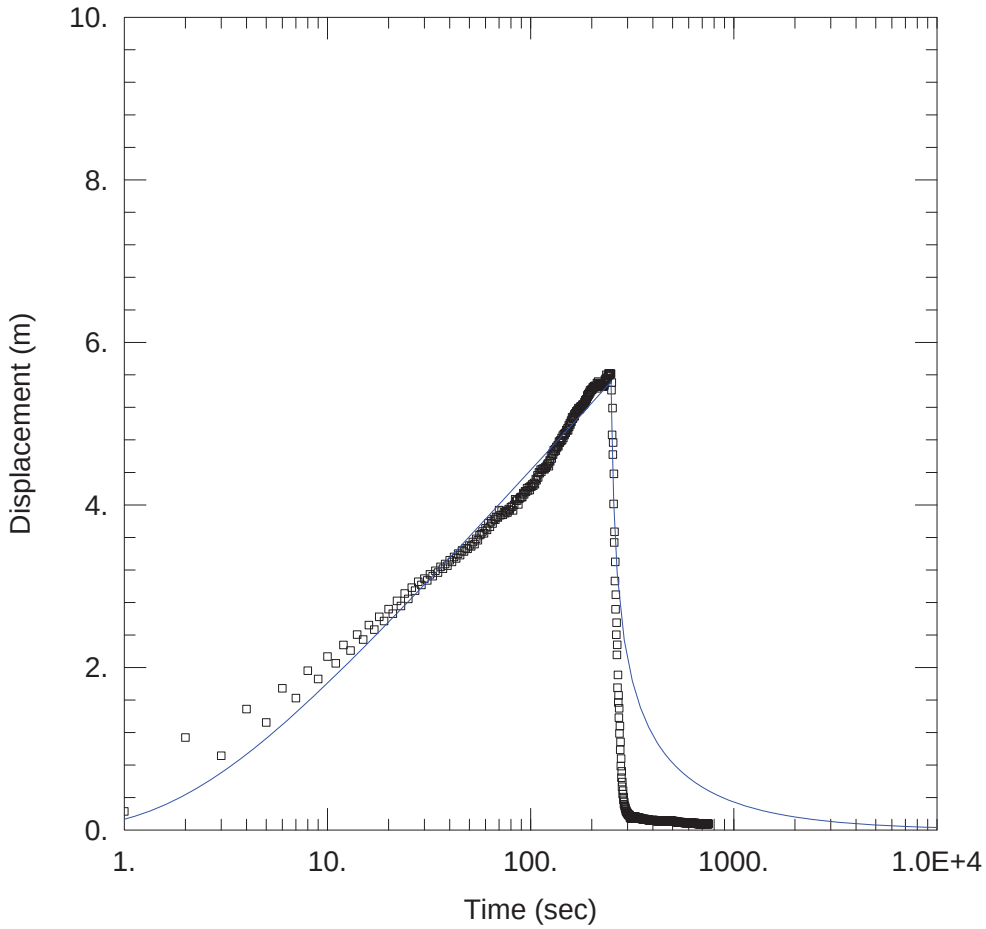
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1101	6400538.1	147772.1

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 5.802E-5 m^2/sec
S = 0.0305
Kz/Kr = 0.1023
b = 10.05 m



PUMPNING UNDER 8.5 BH1101

Data Set: I:\...\BH1101_under 8.5_Theis_passning tidig.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:05:56

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1101
Test Date: 2016-05-20

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1101	6400538.1	147772.1

Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1101	6400538.1	147772.1

SOLUTION

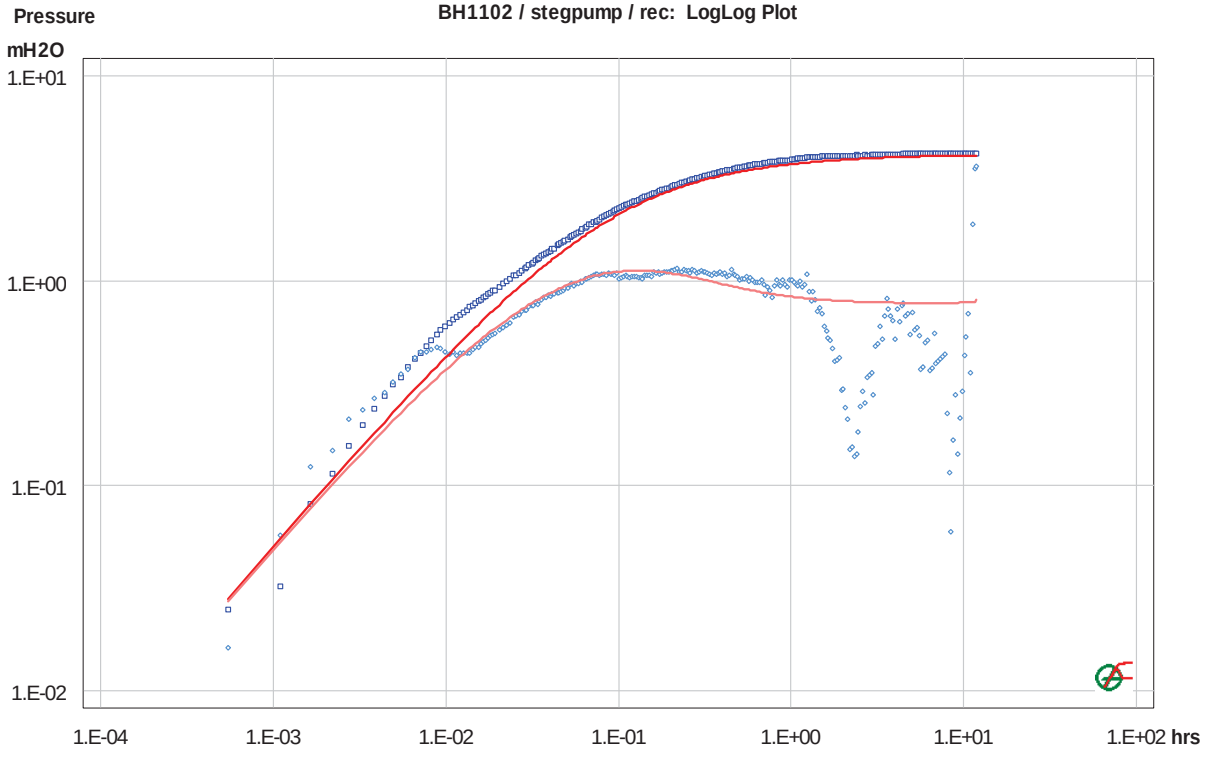
Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

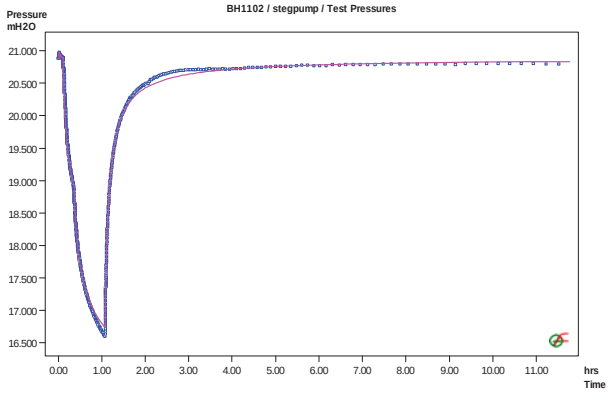
T = 1.177E-5 m^2/sec
S = 0.02158
Kz/Kr = 0.1
b = 8.5 m

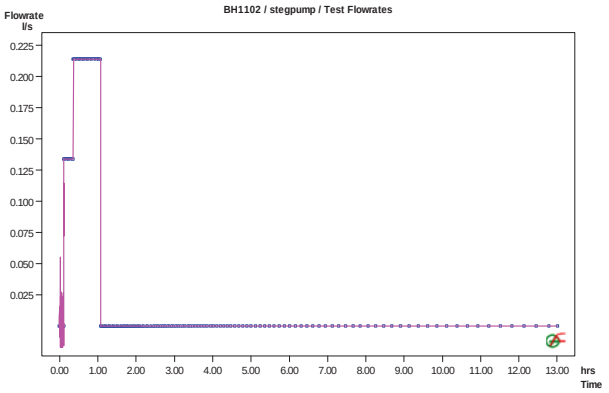
Borrhål: BH1102 Testdatum 2016-04-14

Q = steg1: 0,134 l/s steg 2: 0,214 l/s

T= 2,8*10^{-5} m^2/s S= 2*10^{-5}







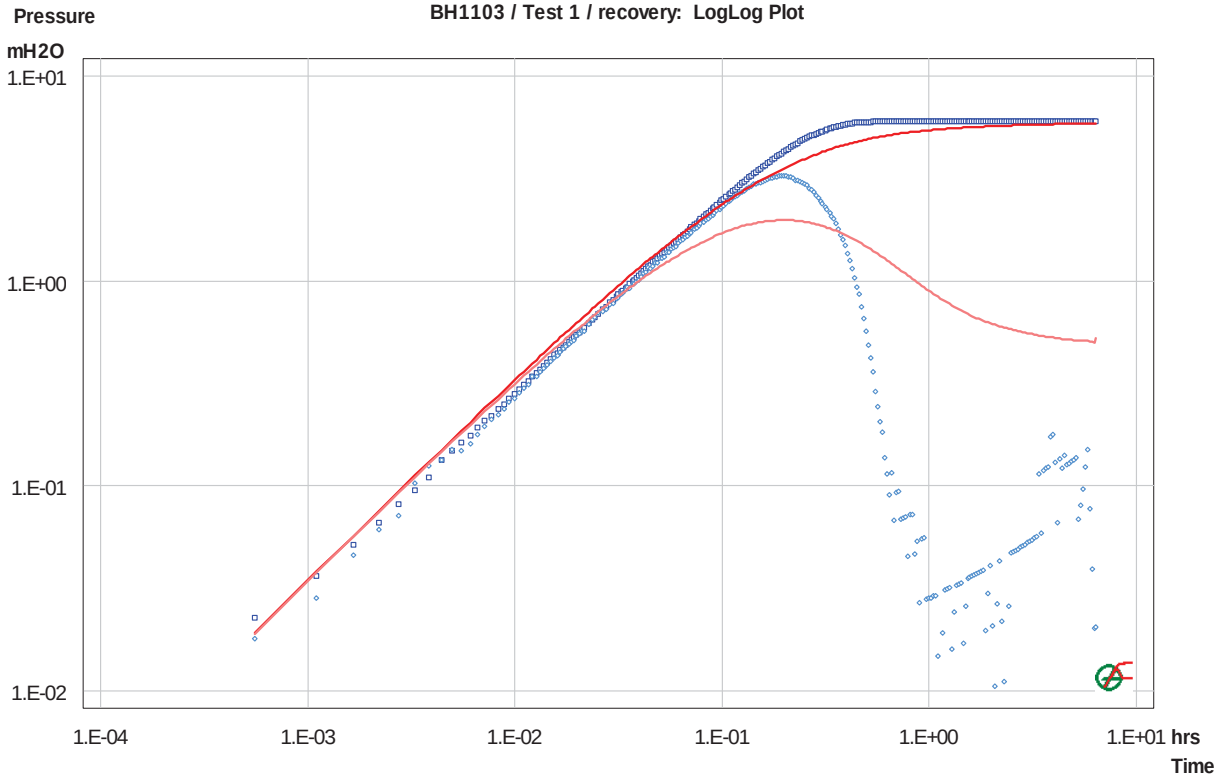
i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\10. bilder\grafer\enhålspump\bh1102.docx

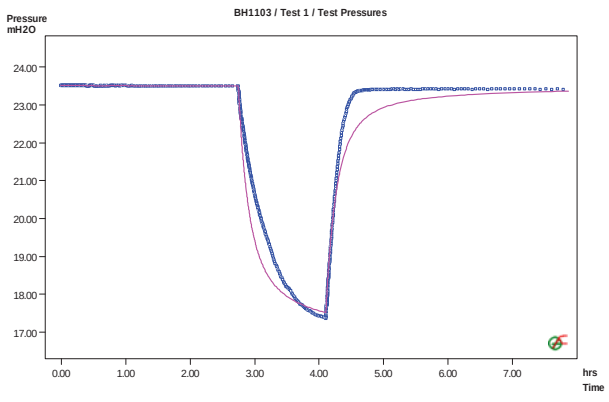
Borrhål: BH1103 Testdatum 2016-04-14

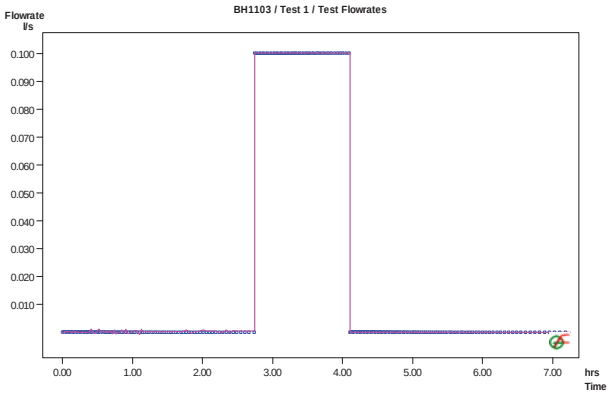
Q = steg1: 0,10 l/s

T= 1,8*10^{-5} m^2/s S= 2*10^{-5}

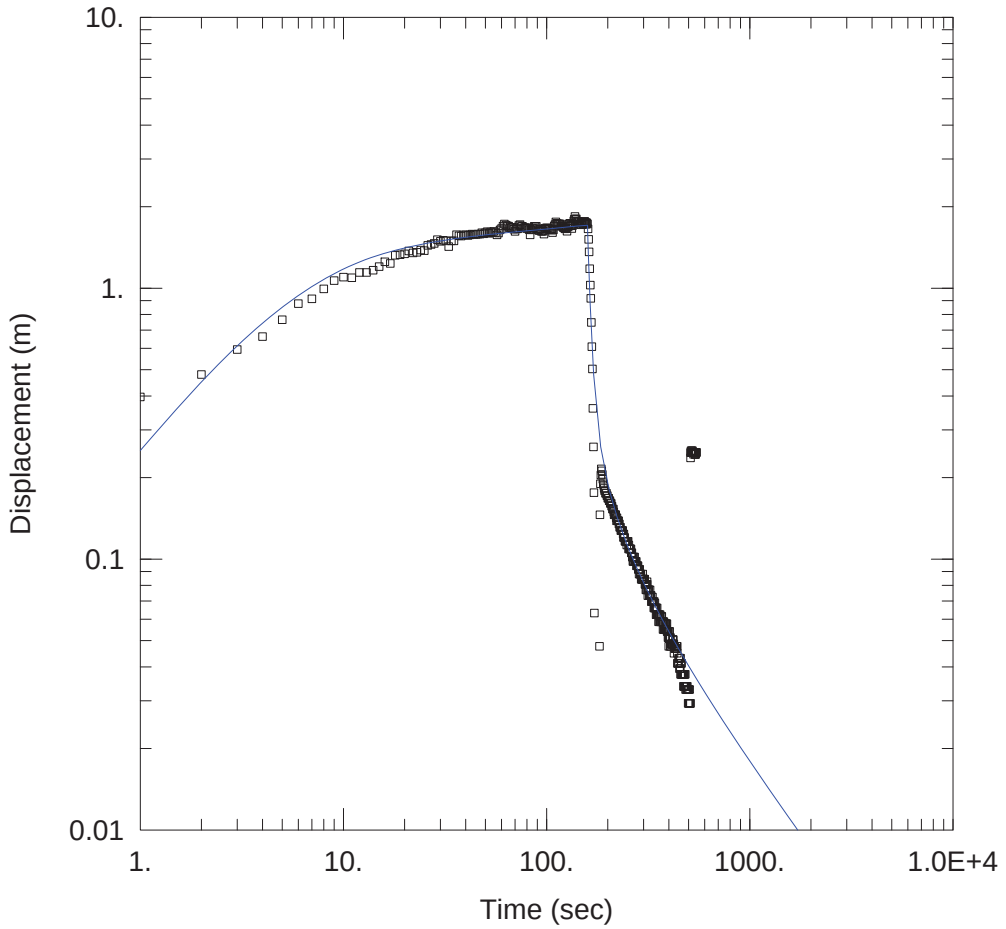
Kommentar: Ej helt radiellt flöde







i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\10. bilder\grafer\enhålspump\bh1103.docx



INFILTRATION BH1103 9,5-EOH

Data Set: I:\...\BH1103_9,5l.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:10:09

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-06-07

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 8.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1103	6400538.1	147772.1

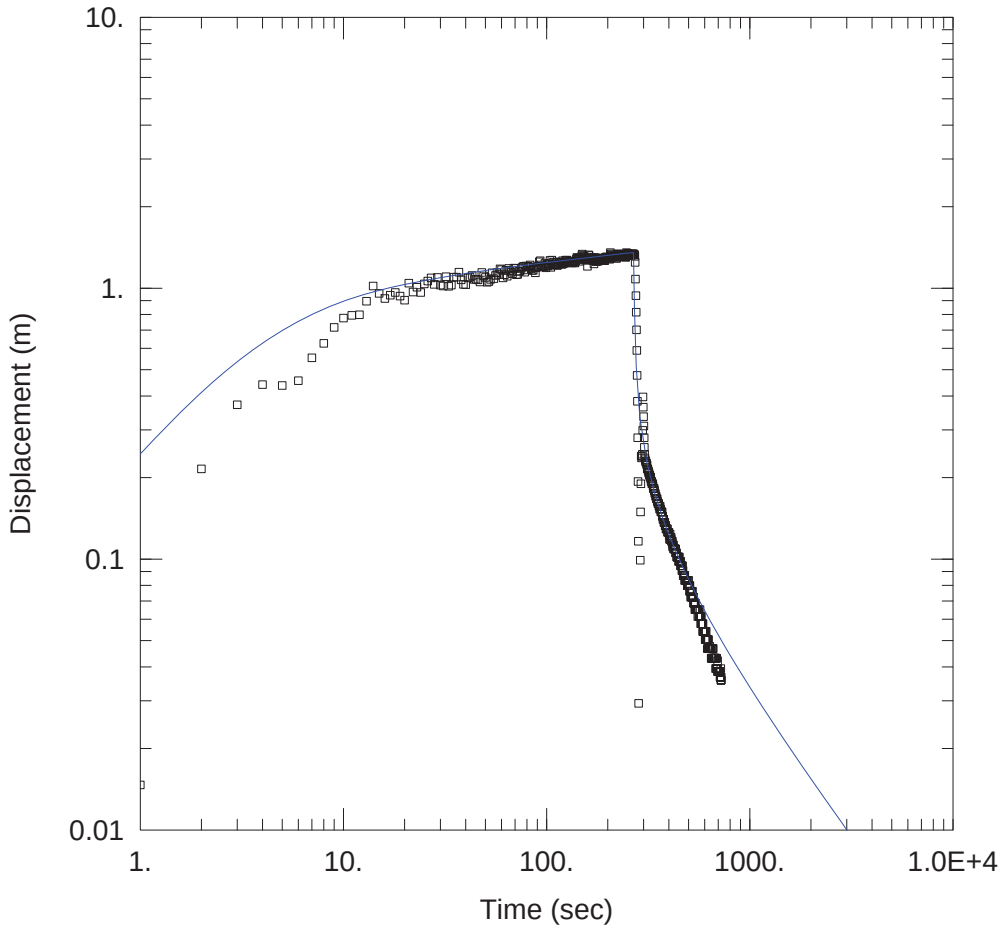
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1103	6400538.1	147772.1

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.000101 m^2/sec S = 6.055E-7
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.012 m



INFILTRATION BH1103 11-EOH

Data Set: I:\...\BH1103_11.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:14:36

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 7. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1103	6400538.1	147772.1

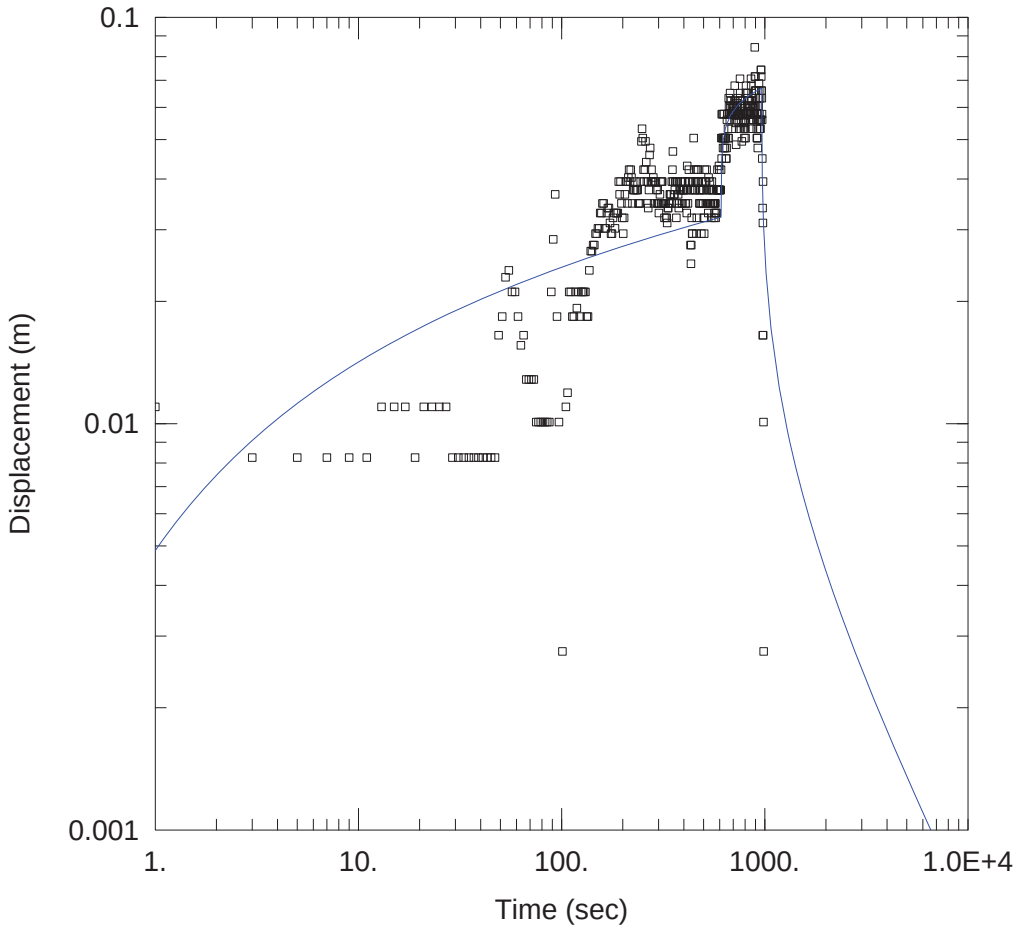
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1103	6400538.1	147772.1

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.0001043 m^2/sec S = 5.975E-5
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.012 m



PUMPNING HELHåL BH1104

Data Set: I:\...\BH1104_helhål.aqt
Date: 11/02/16 Time: 11:25:16

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1104
Test Date: 2016-04-13

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1104	6399338.1	148198.1

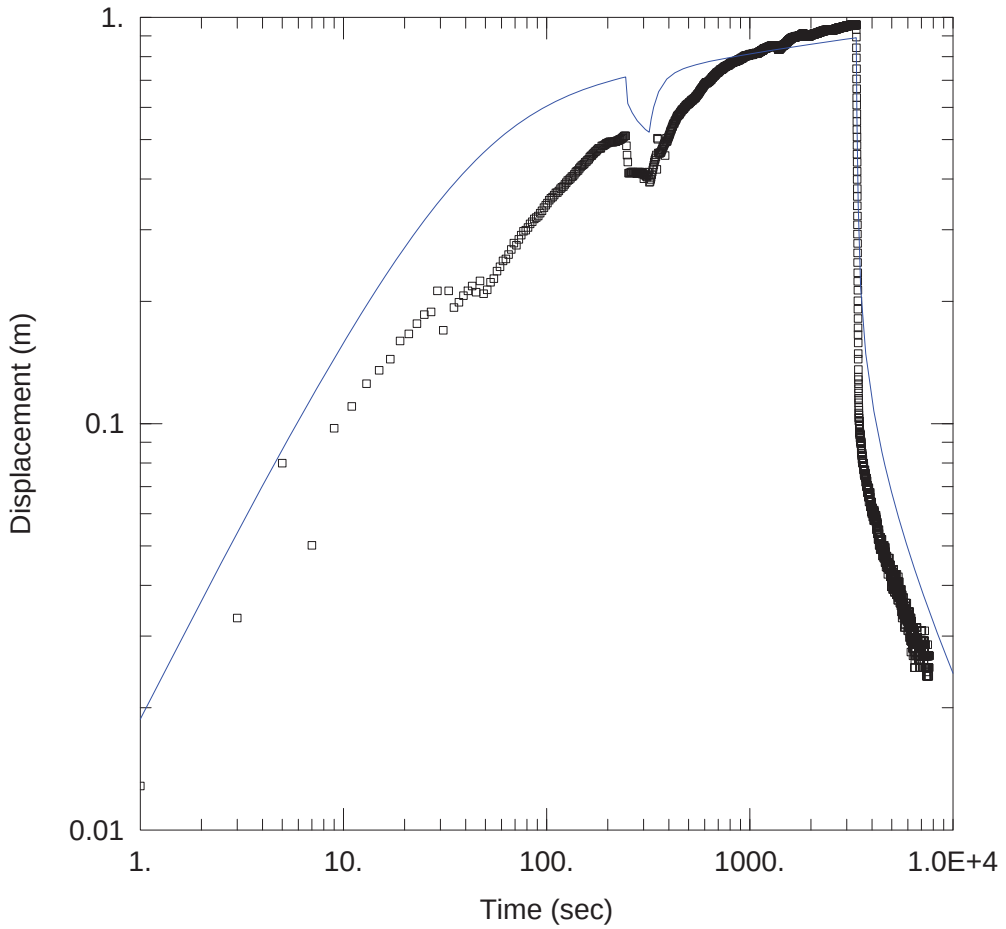
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1104	6399338.1	148198.1

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.001721 m^2/sec
S = 0.5092
Kz/Kr = 0.1
b = 35.7 m



PUMPNING HELHåL BH1602

Data Set: I:\...\BH1602_helhål.aqt
Date: 11/02/16 Time: 11:58:31

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1602
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 12. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1602	6400351.7	147727.3

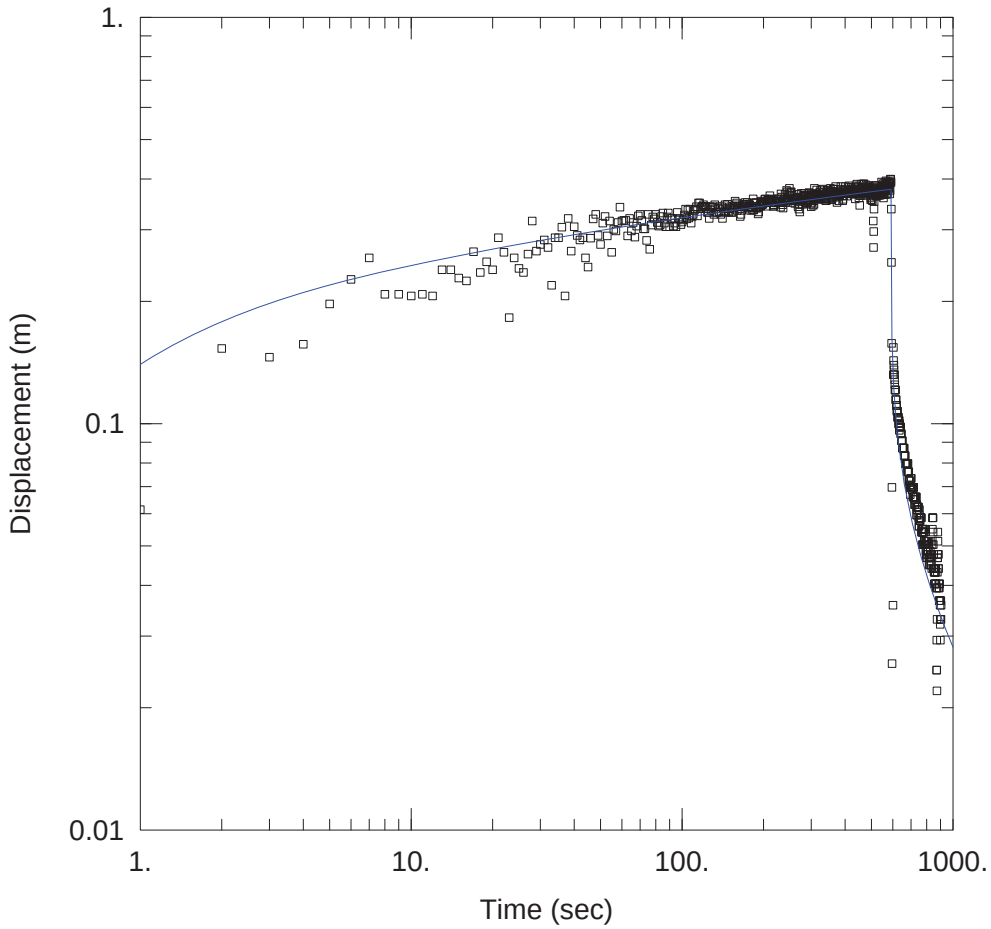
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1602	6400351.7	147727.3

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.000254 m^2/sec S = 0.0001862
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.056 m



INFILTRATION 8-EOH

Data Set: I:\...\BH1603_8.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:26:56

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-05-18

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 9. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	6400219.1	148033.3

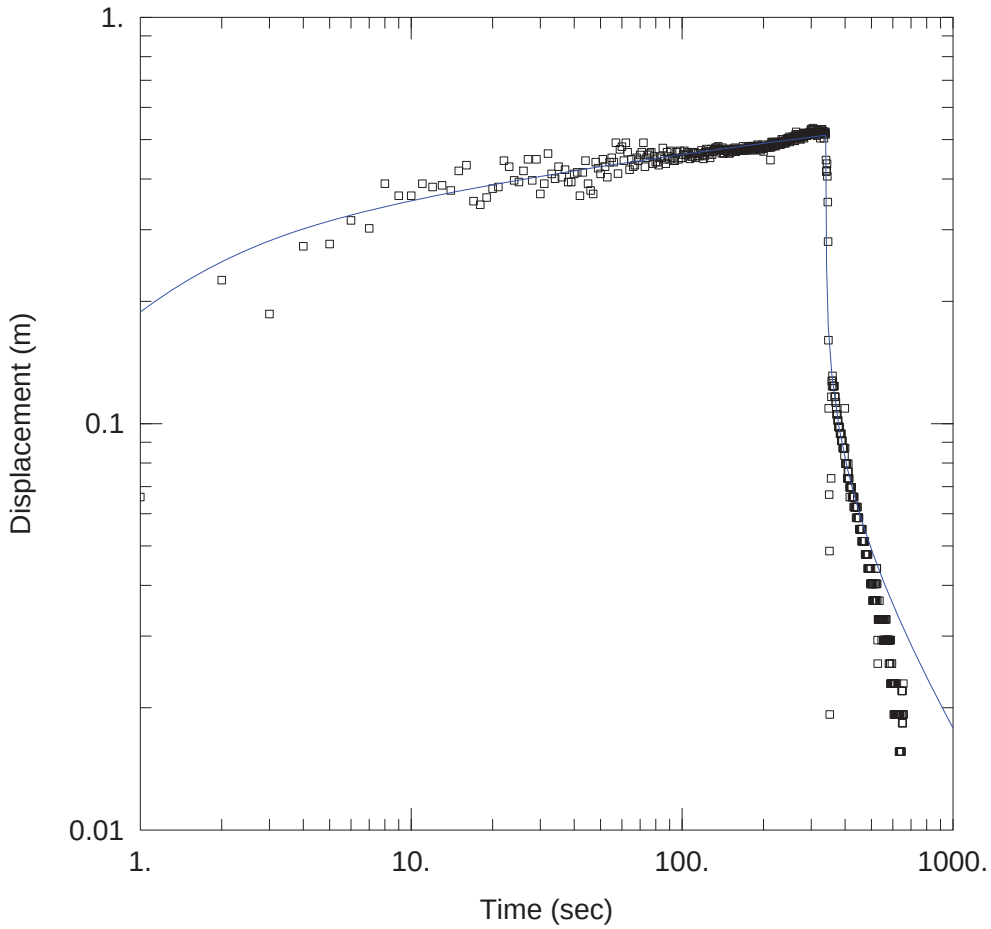
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1603	6400219.1	148033.3

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.0004365 m^2/sec S = 0.001119
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.012 m



INFILTRATION 11-EOH

Data Set: I:\...\BH1603_11.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:27:56

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 6. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	6400219.1	148033.3

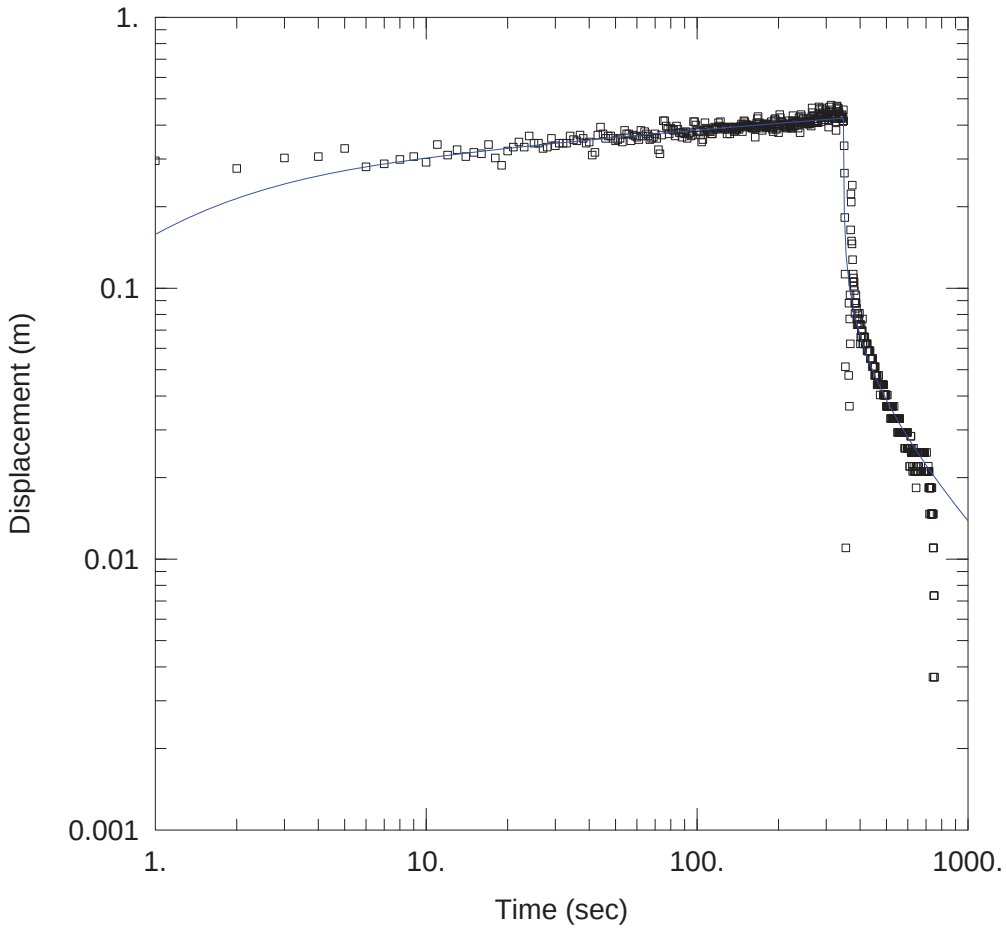
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	6400219.1	148033.3

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.0003482 m^2/sec S = 0.0005517
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.012 m



INFILTRATION 13,5-EOH

Data Set: I:\...\BH1603_13,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:40:02

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 3.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	6400219.1	148033.3

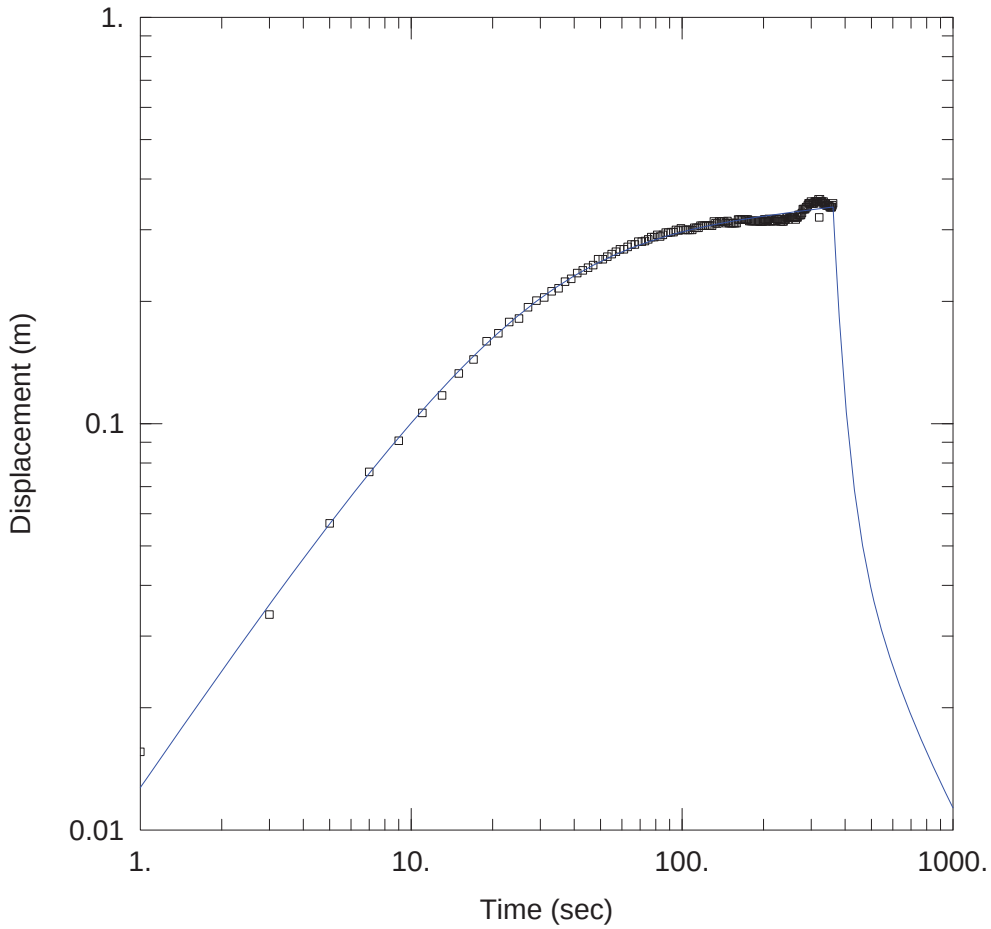
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1603	6400219.1	148033.3

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.0003441 m^2/sec S = 0.0001733
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.012 m



PUMPNING HELHåL

Data Set: I:\...\BH1603_helhål.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:41:44

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-05-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 9.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	6400219.1	148033.3

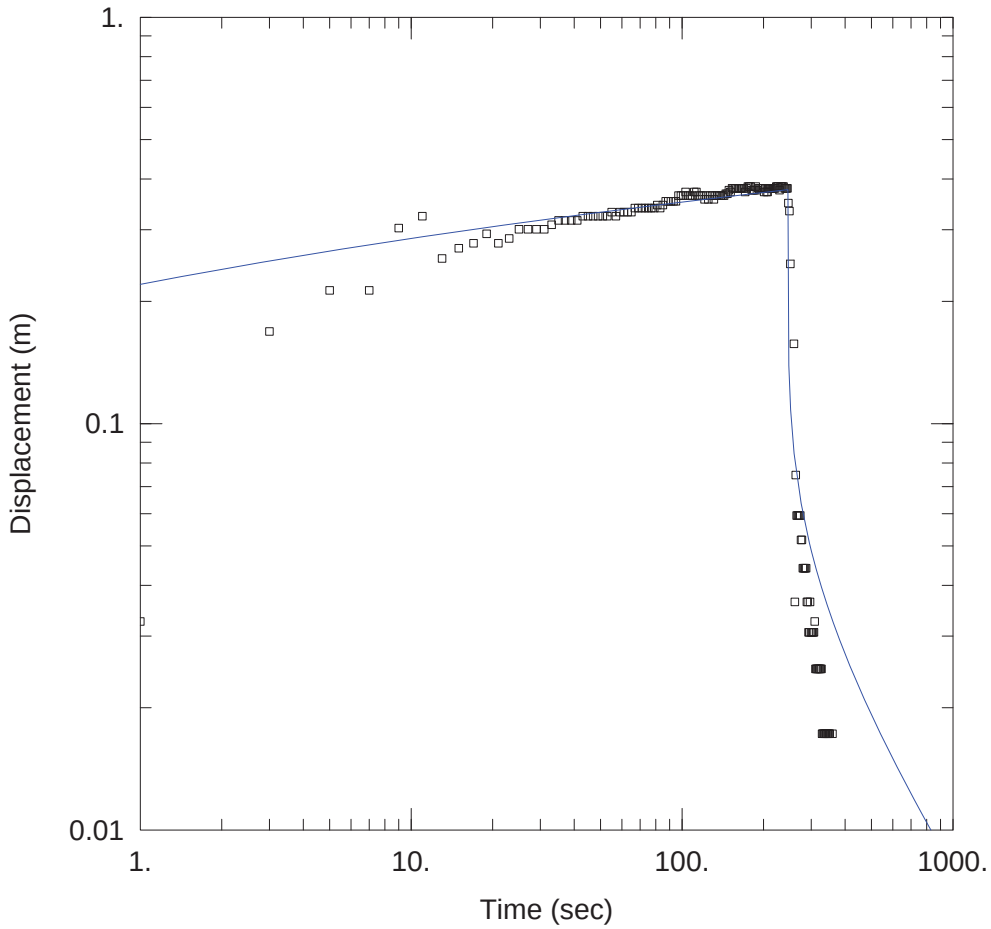
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1603	6400219.1	148033.3

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Papadopulos-Cooper

T = 0.0004376 m^2/sec S = 5.19E-5
r(w) = 0.056 m r(c) = 0.056 m



INFILTRATION BH1604_10-EOH

Data Set: \...\BH1604_10.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:32:24

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1604
Test Date: 2017-01-25

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1604	6400592.562	147464.09

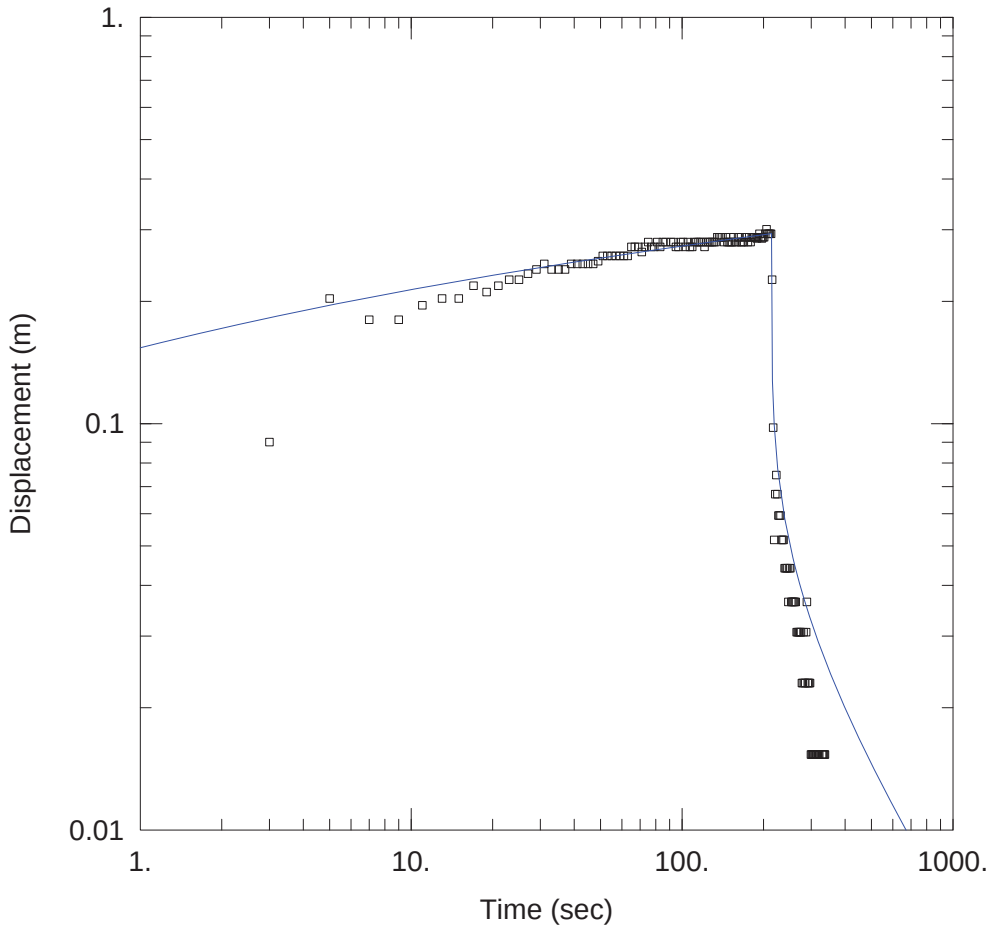
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1604	6400592.562	147464.09

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.0009522 m^2/sec
S = 0.0002942
Kz/Kr = 0.1
b = 30. m



INFILTRATION BH1604_20-EOH

Data Set: \...\BH1604_20.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:28:39

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1604
Test Date: 2017-01-25

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1604	6400592.56	147464.09

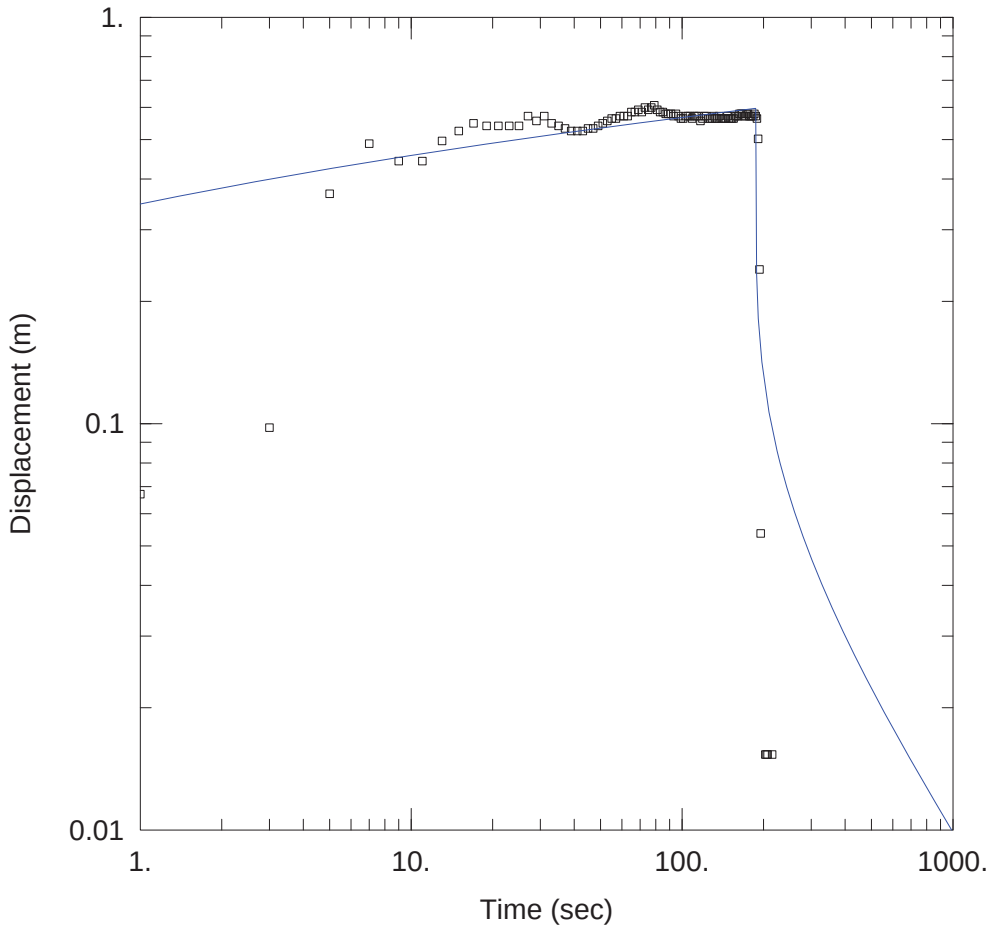
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1604	6400592.56	147464.09

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.001038 m^2/sec
S = 0.002052
Kz/Kr = 0.1
b = 20. m



INFILTRATION BH1604_30-EOH

Data Set: \...\BH1604_30.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:33:56

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1604
Test Date: 2017-01-25

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1604	6400592.562	147464.09

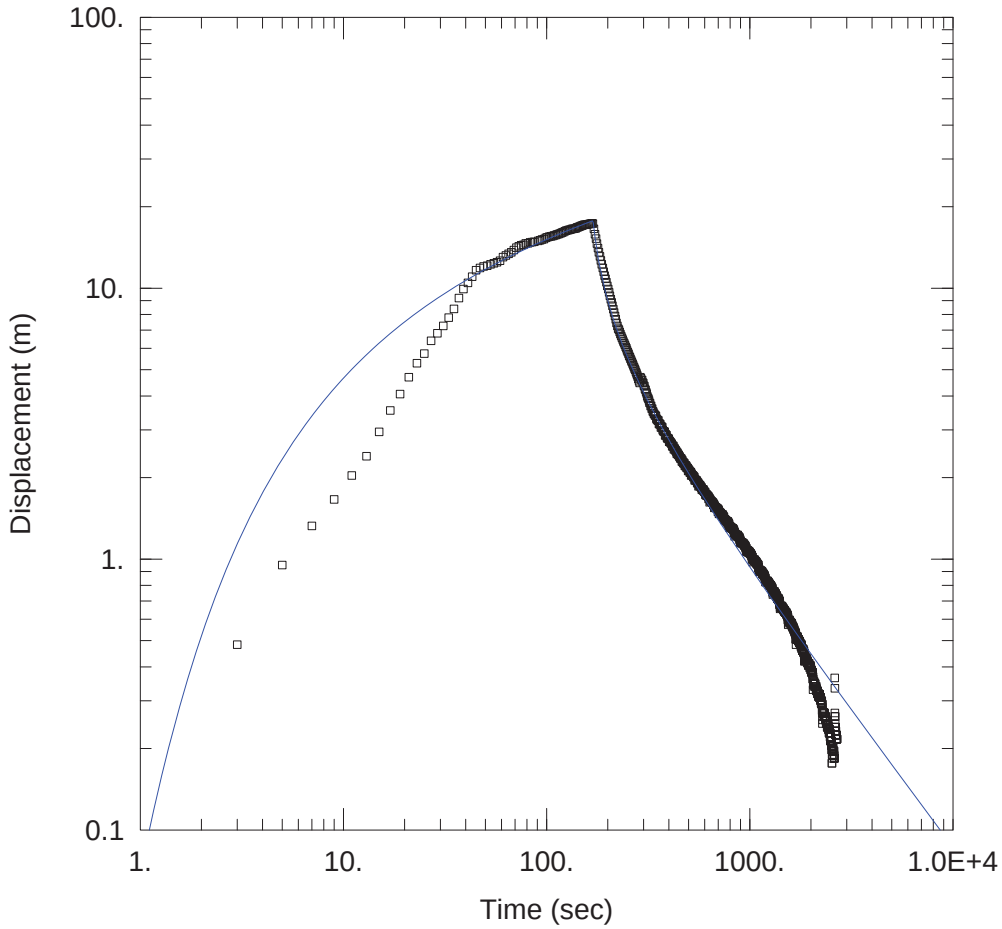
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1604	6400592.562	147464.09

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.0005671 m^2/sec
S = 0.0002806
Kz/Kr = 0.1
b = 10. m



INFILTRATION BH1701_29-EOH

Data Set: \...\BH1701_29.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:44:54

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1701
Test Date: 2017-01-26

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1701	6400772.844	146982.022

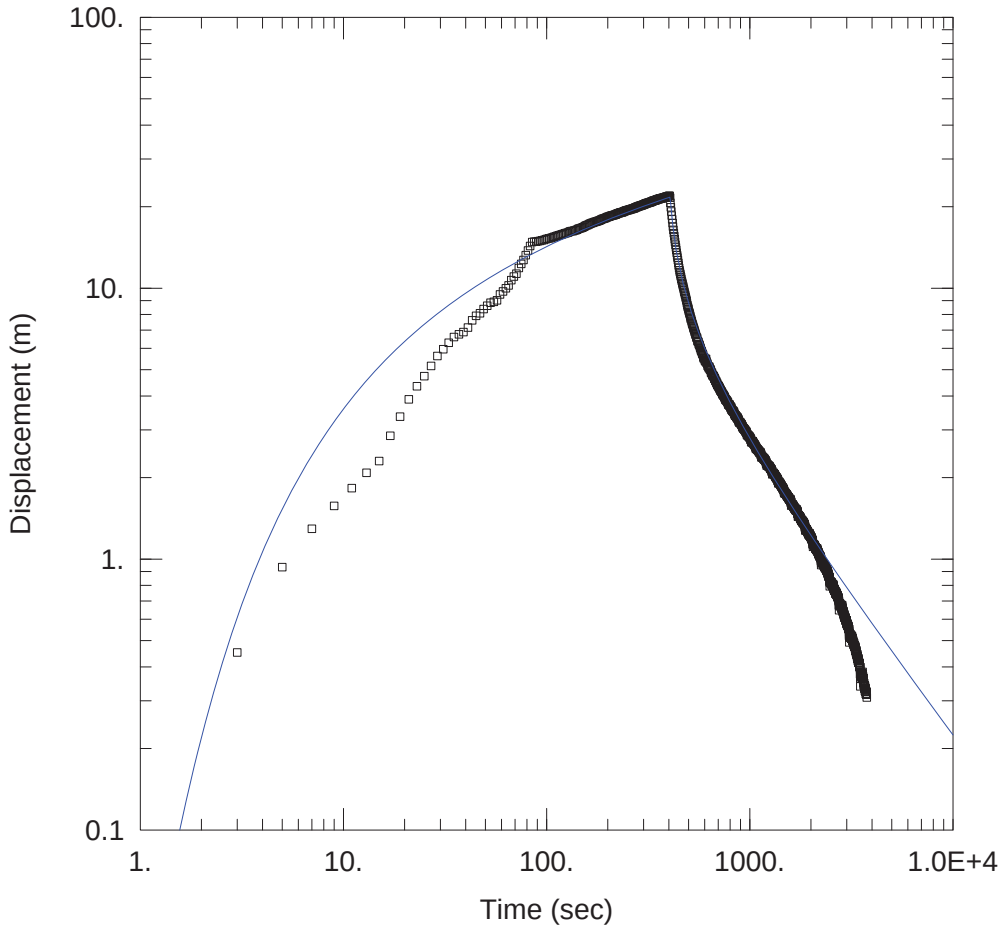
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1701	6400772.844	146982.022

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 5.304E-6 m^2/sec
S = 0.0201
Kz/Kr = 0.1
b = 31. m



INFILTRATION BH1701_41-EOH

Data Set: \...\BH1701_41.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:43:19

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1701
Test Date: 2017-01-26

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1701	6400772.844	146982.022

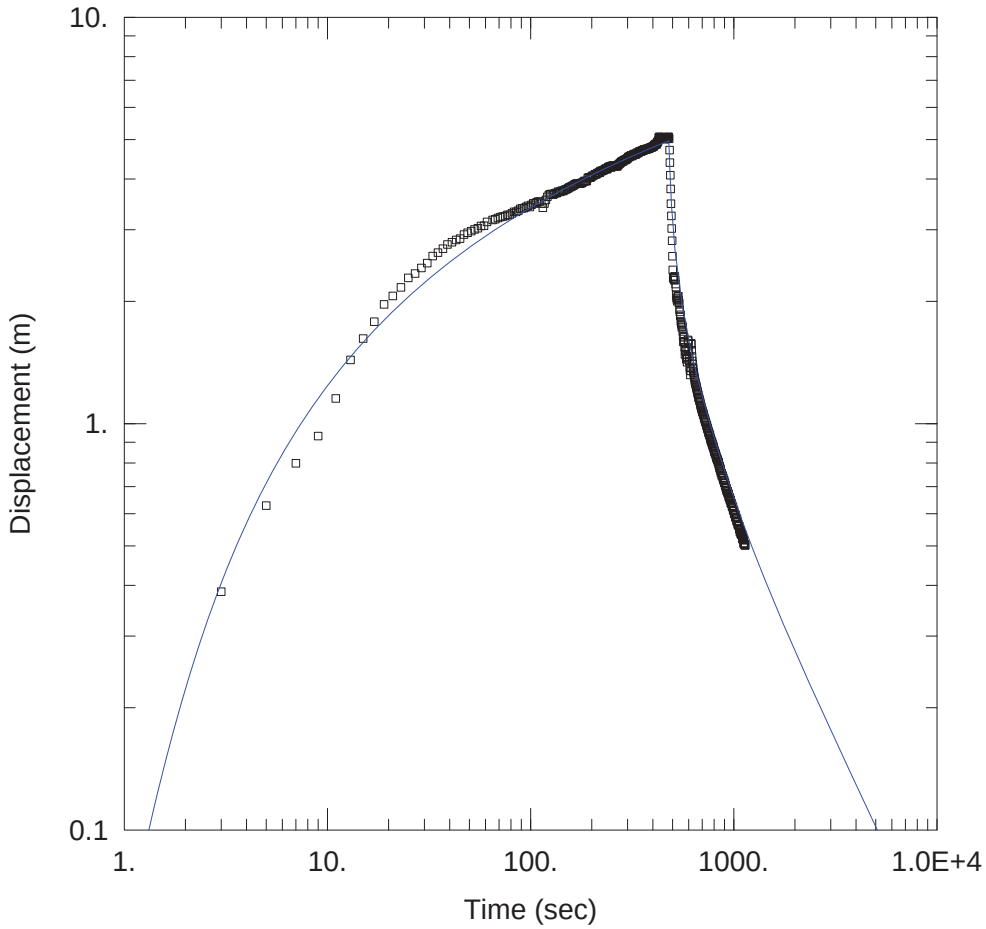
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1701	6400772.844	146982.022

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 4.971E-6 m^2/sec
S = 0.02711
Kz/Kr = 0.1
b = 19. m



INFILTRATION BH1702_42-51M

Data Set: \...\BH1702_42_51.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:37:12

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1702
Test Date: 2017-01-24

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1702	6400267.486	147075.414

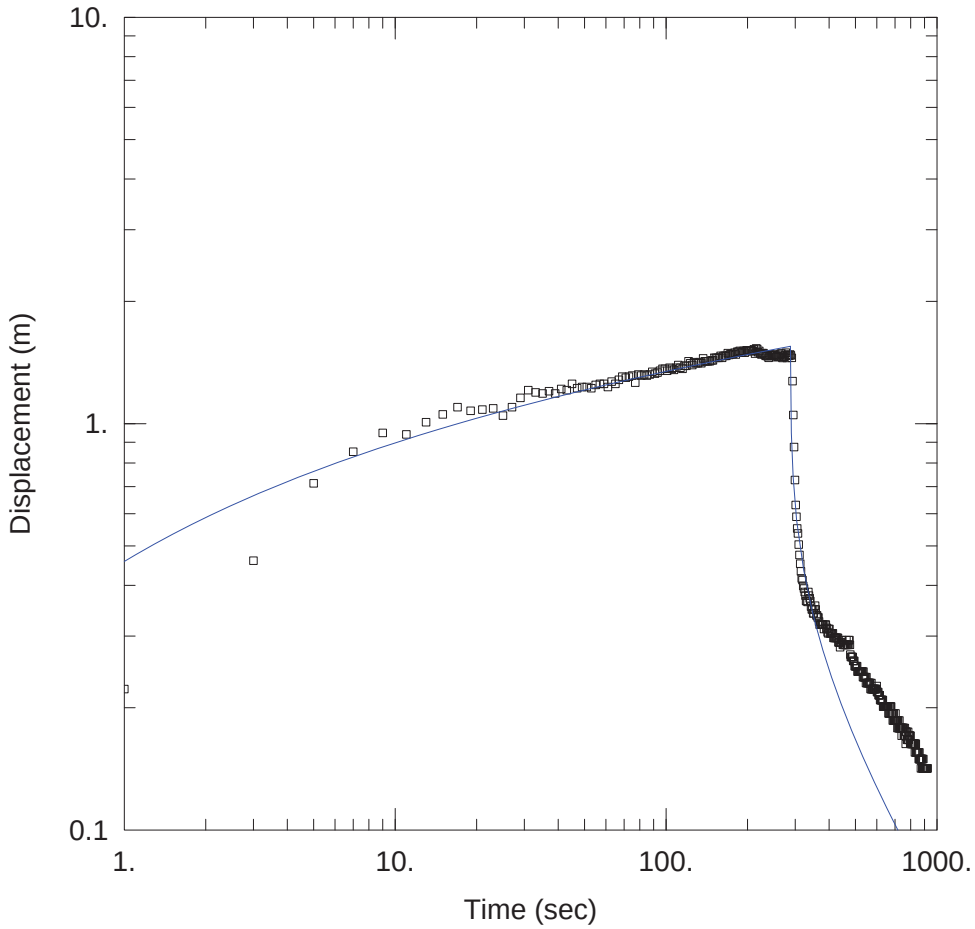
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1702	6400267.486	147075.414

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 1.243E-5 m^2/sec
S = 0.03158
Kz/Kr = 0.1
b = 9. m



INFILTRATION BH1702_51-EOH

Data Set: \...\BH1702_51.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:35:25

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1702
Test Date: 2017-01-25

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1702	6400267.486	147075.41

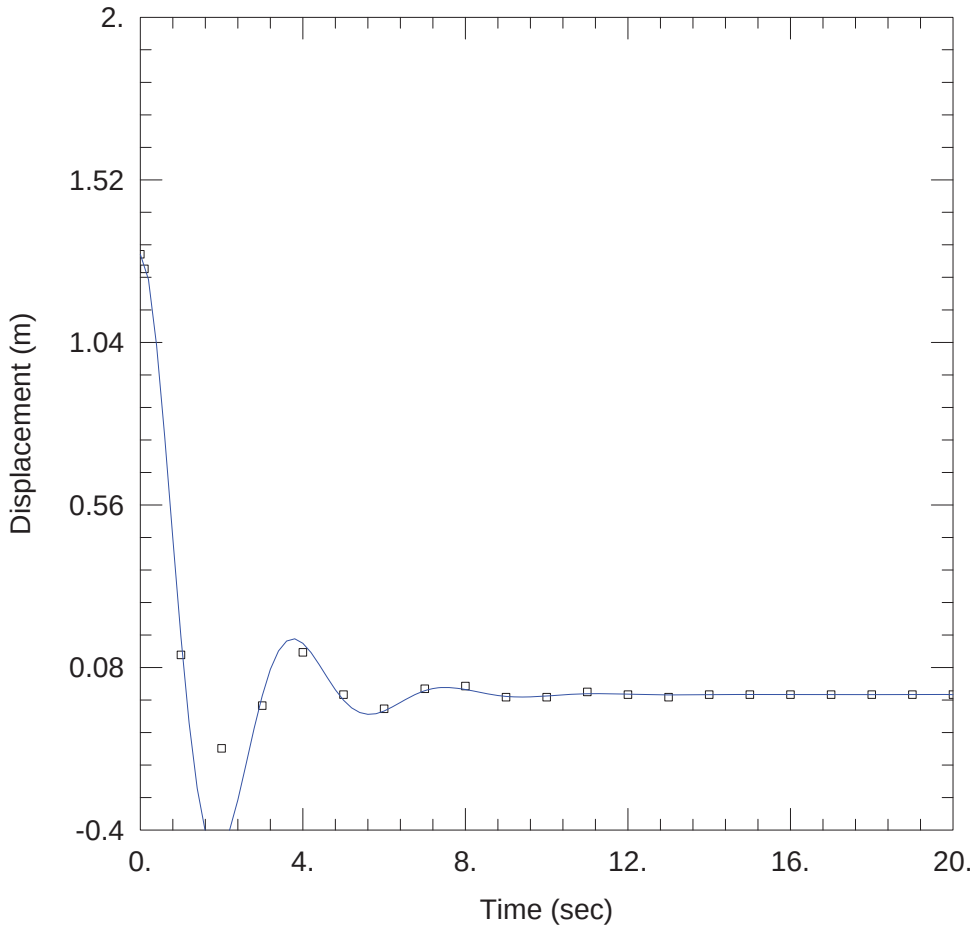
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH1702	6400267.486	147075.41

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 7.145E-5 m^2/sec
S = 0.005162
Kz/Kr = 0.1
b = 9. m



31,7-EOH

Data Set: I:\...\BH85_31,7.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:52:46

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

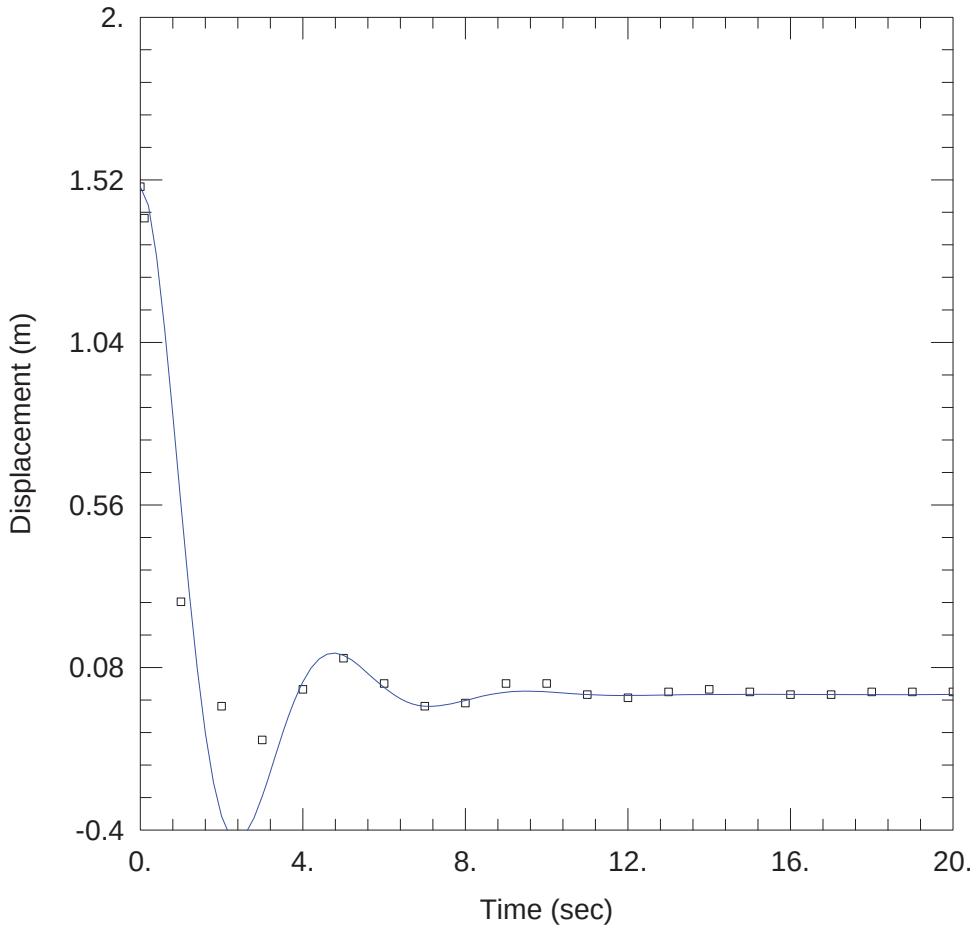
Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 1.3 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 30.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Butler
K = 5.898E-5 m/sec
Le = 3.166 m



33,5-EOH

Data Set: I:\...\BH85_33,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:54:14

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

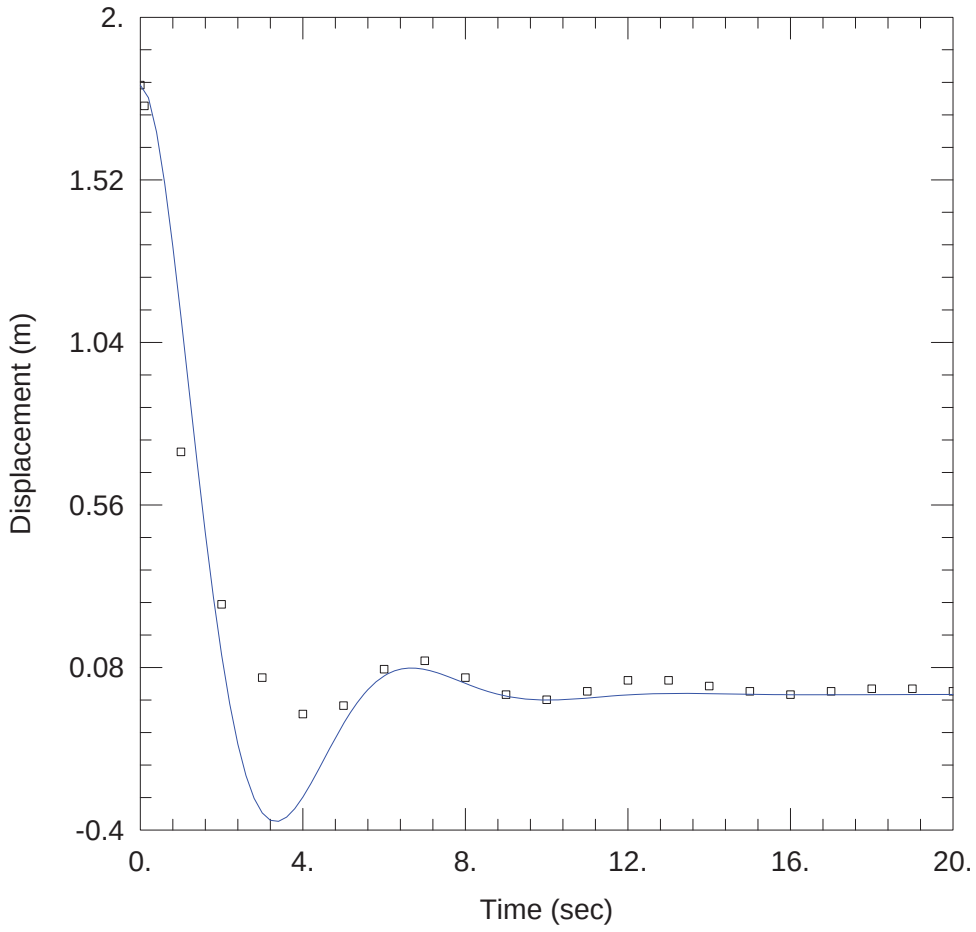
Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 1.5 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 28.7 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Butler
K = 4.229E-5 m/sec
Le = 4.848 m



36,5-EOH

Data Set: I:\...\BH85_36,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:54:49

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

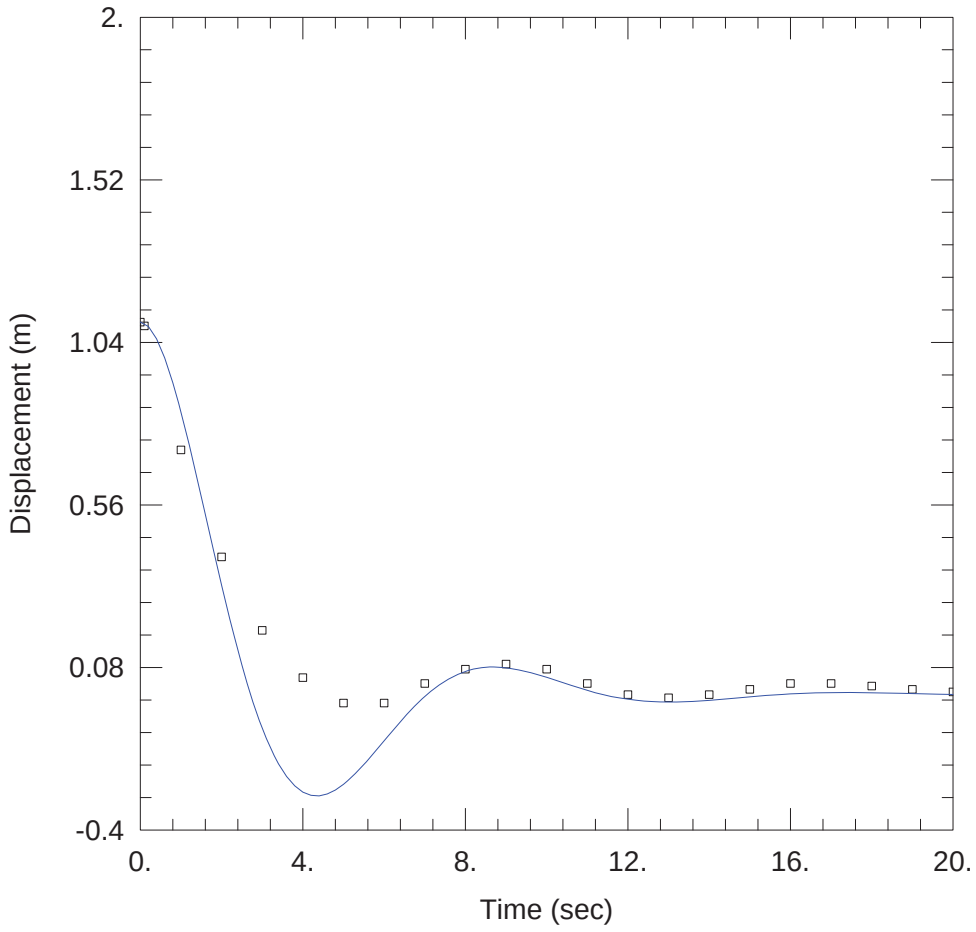
Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 1.8 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 25.7 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Butler
K = 2.839E-5 m/sec
Le = 8.852 m



42,5-EOH

Data Set: I:\...\BH85_42,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:55:33

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

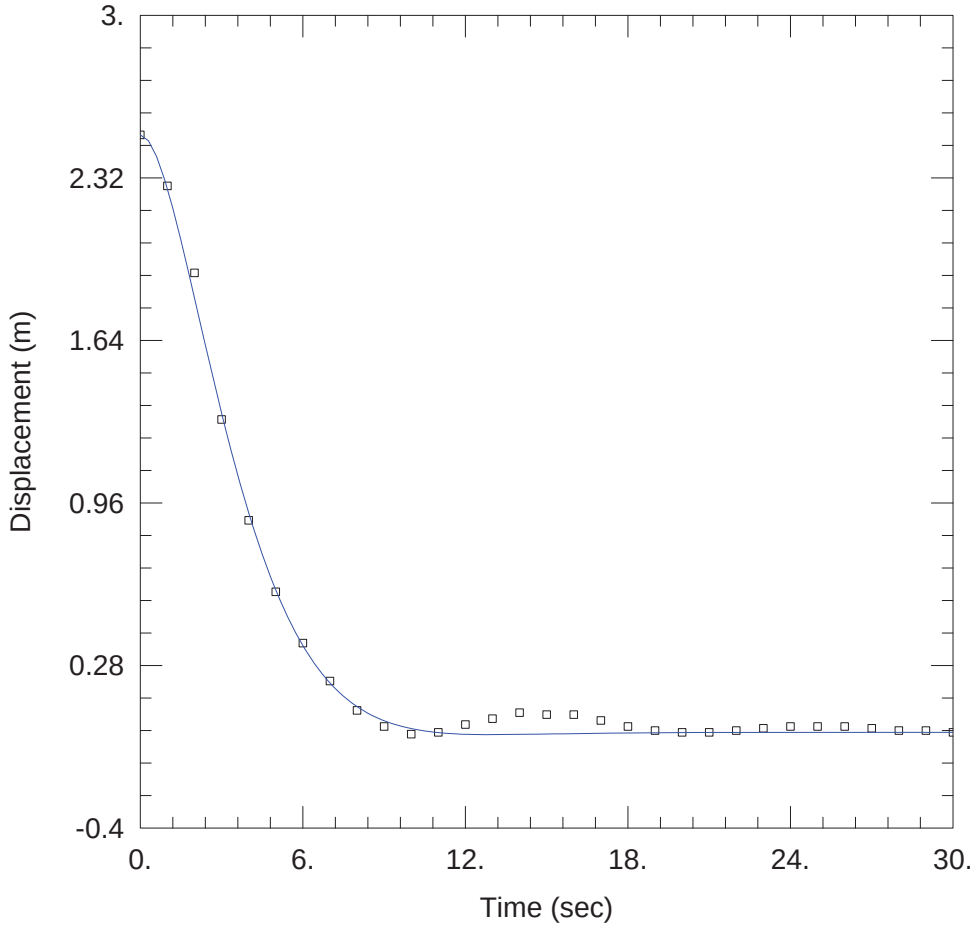
Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 1.1 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 19.7 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Butler
K = 3.219E-5 m/sec
Le = 16. m



51.7-EOH

Data Set: I:\...\BH85_51,7.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:58:53

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

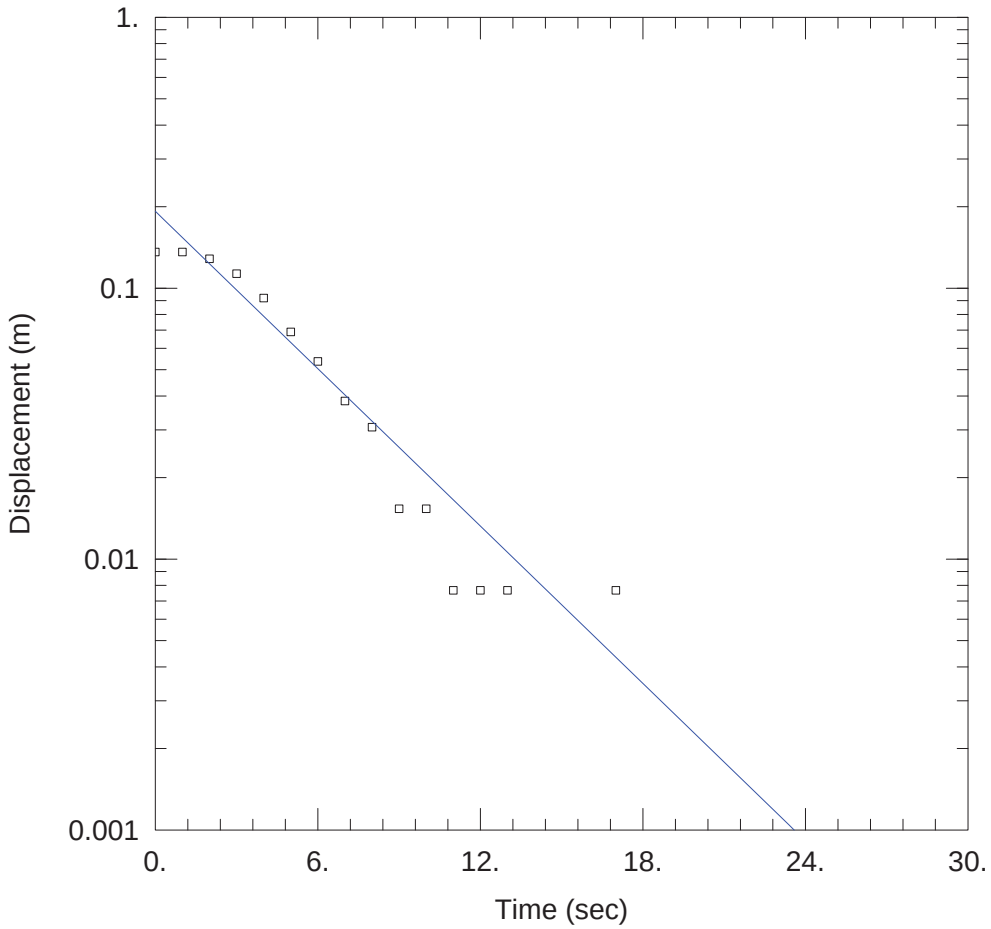
Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 2.5 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 10.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Butler
K = 1.432E-5 m/sec
Le = 40.82 m



BH85 OVER 26.5-31.2

Data Set: I:\...\BH85 slug over 26,5-31,2_radius rev.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:50:51

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

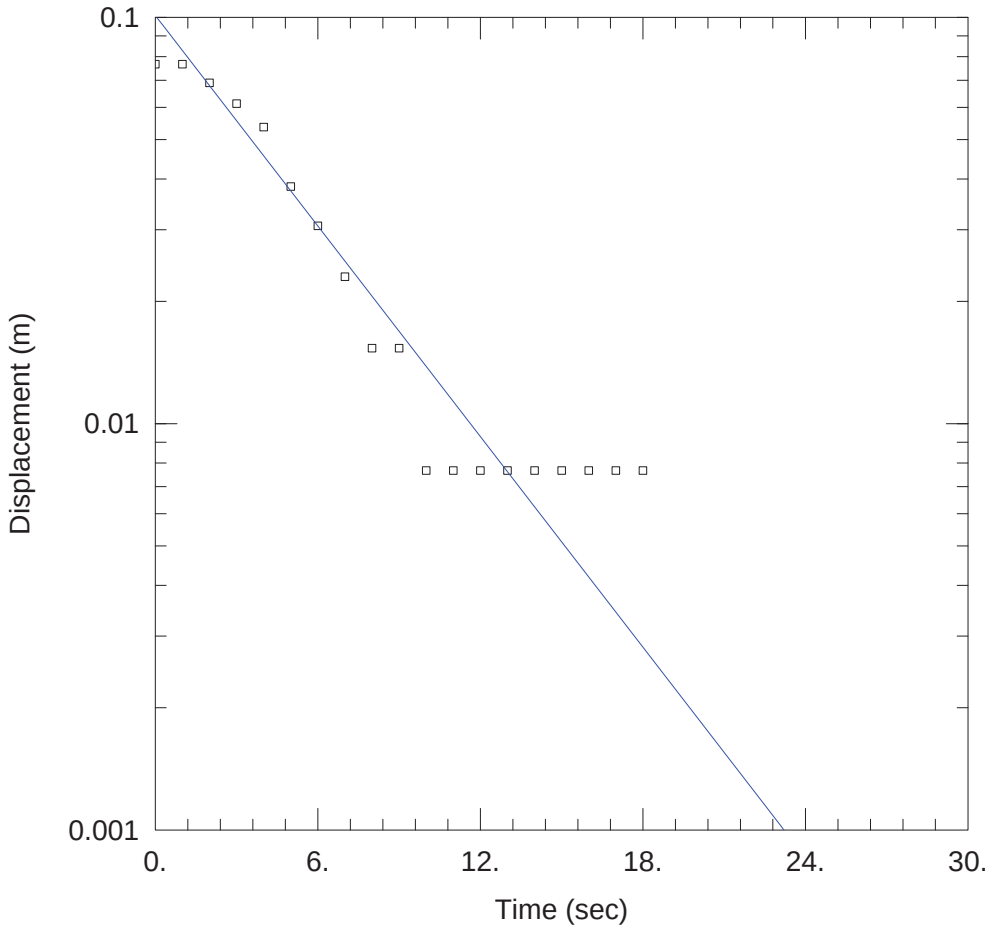
Saturated Thickness: 4.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85 over 26,5-31,2)

Initial Displacement: 0.1361 m
Total Well Penetration Depth: 4.7 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 4.7 m
Screen Length: 4.7 m
Well Radius: 0.012 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 0.0003619 m/sec
y0 = 0.1923 m



BH85 OVER 26.5-33

Data Set: I:\...\BH85 slug over 26,5-33.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:52:52

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

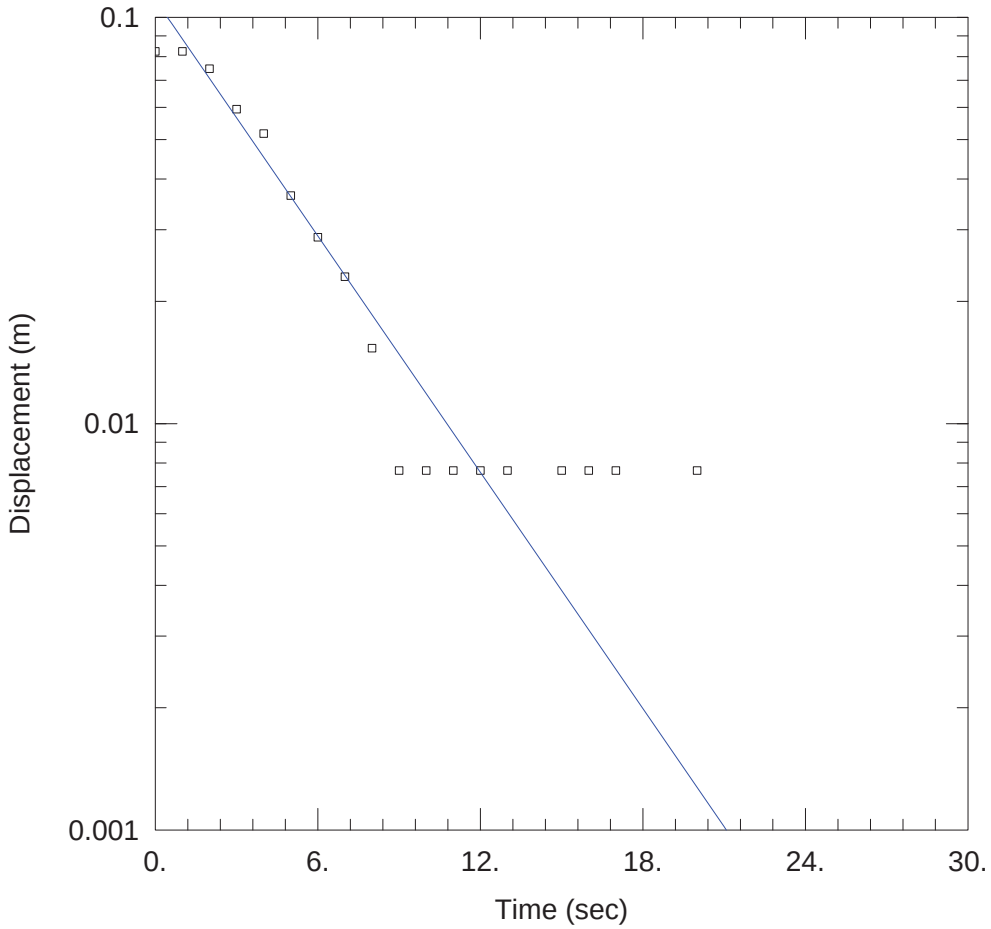
Saturated Thickness: 6.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh85 over 26.5-33)

Initial Displacement: 0.07667 m
Total Well Penetration Depth: 6.5 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 6.5 m
Screen Length: 6.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 0.0002334 m/sec
y0 = 0.1011 m



BH85 OVER 26.5-36

Data Set: I:\...\BH85 slug over 26,5-36.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:51:33

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

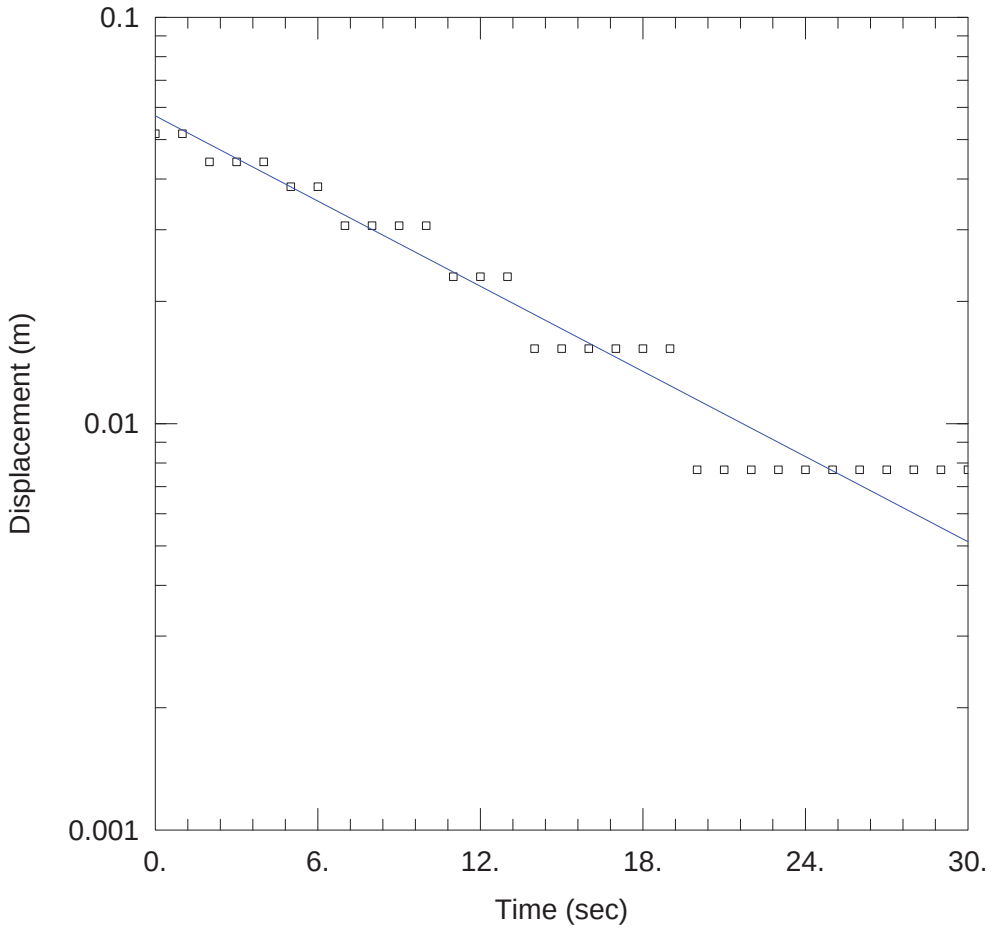
Saturated Thickness: 9.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh85 over 26.5-36)

Initial Displacement: 0.08242 m
Total Well Penetration Depth: 9.5 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 9.5 m
Screen Length: 9.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 0.0001793 m/sec
y0 = 0.1105 m



BH85 OVER 26.5-42

Data Set: I:\...\BH85 slug over 26,5-42.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:53:31

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

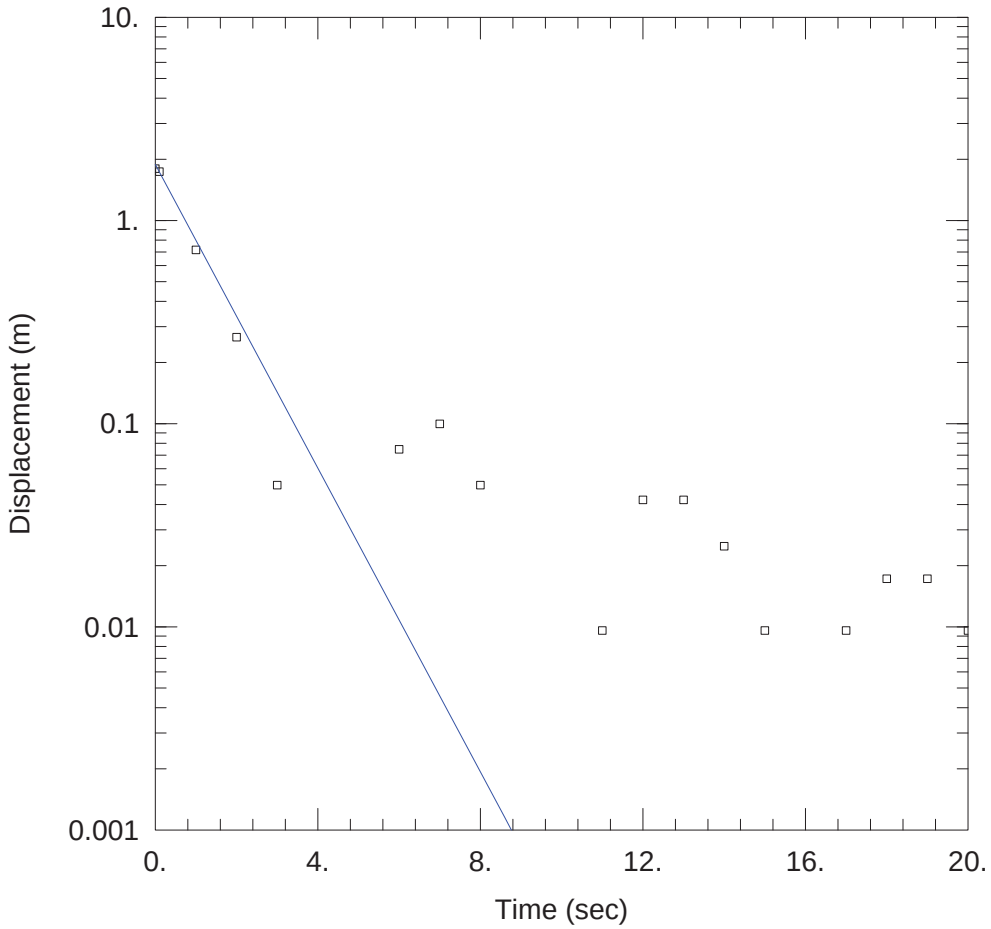
Saturated Thickness: 15.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh85 over 26.5-42)

Initial Displacement: 0.0517 m
Total Well Penetration Depth: 15.5 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 15.5 m
Screen Length: 15.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 3.96E-5 m/sec
y0 = 0.0572 m



36,5-EOH

Data Set: I:\...\BH85_36,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:01:58

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

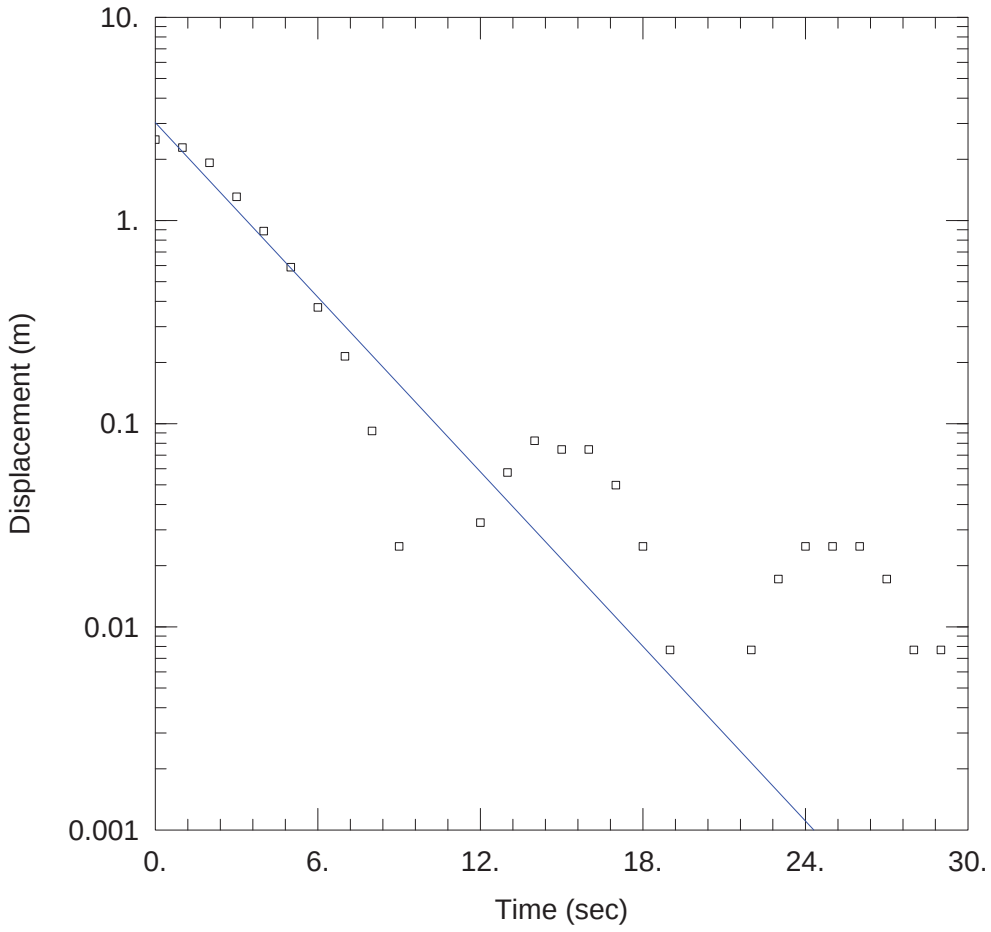
WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 1.8 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 25.7 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.922E-5 m/sec y0 = 1.888 m



51.7-EOH

Data Set: I:\...\BH85_51,7.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:56:36

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH85
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

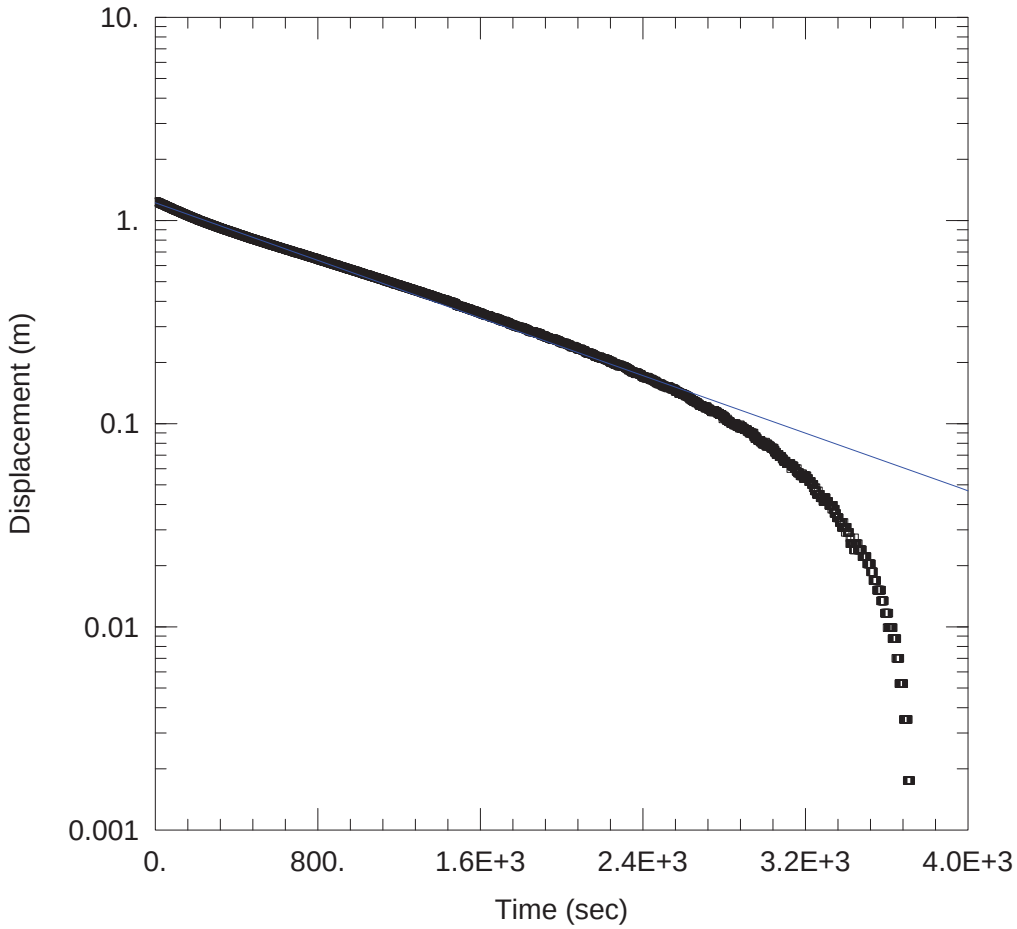
Saturated Thickness: 34.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH85)

Initial Displacement: 2.5 m
Total Well Penetration Depth: 34.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.7 m
Screen Length: 10.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 1.601E-5 m/sec
y0 = 3.033 m



BH1101 OVER 4.0-8.0

Data Set: I:\...\BH1101 slug over 4,0-8,0.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:55:43

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1101
Test Date: 2016-05-20

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 4. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

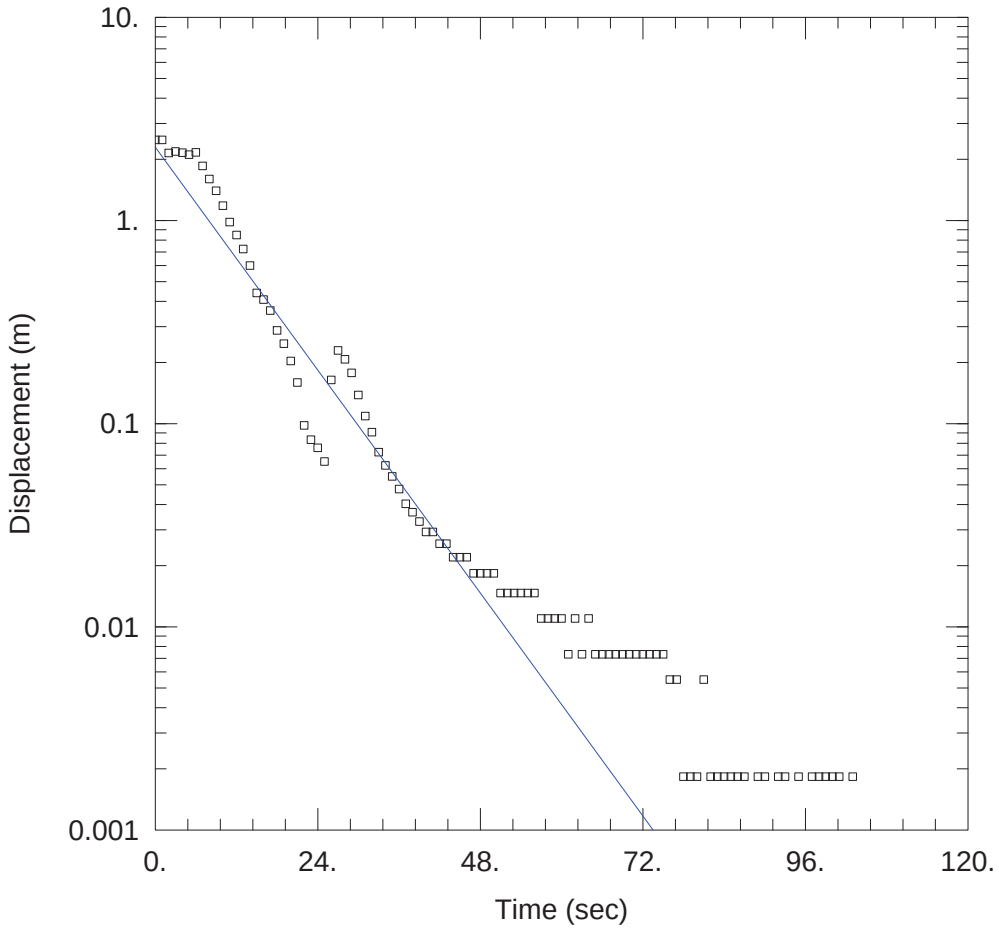
WELL DATA (Bh1101 over 4.0-8.0)

Initial Displacement: 1.236 m
Total Well Penetration Depth: 4. m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 4. m
Screen Length: 4. m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.556E-6 m/sec y0 = 1.222 m



BH1101 UNDER 10.5

Data Set: I:\...\BH1101 slug under 10,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:57:32

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1101
Test Date: 2016-05-20

AQUIFER DATA

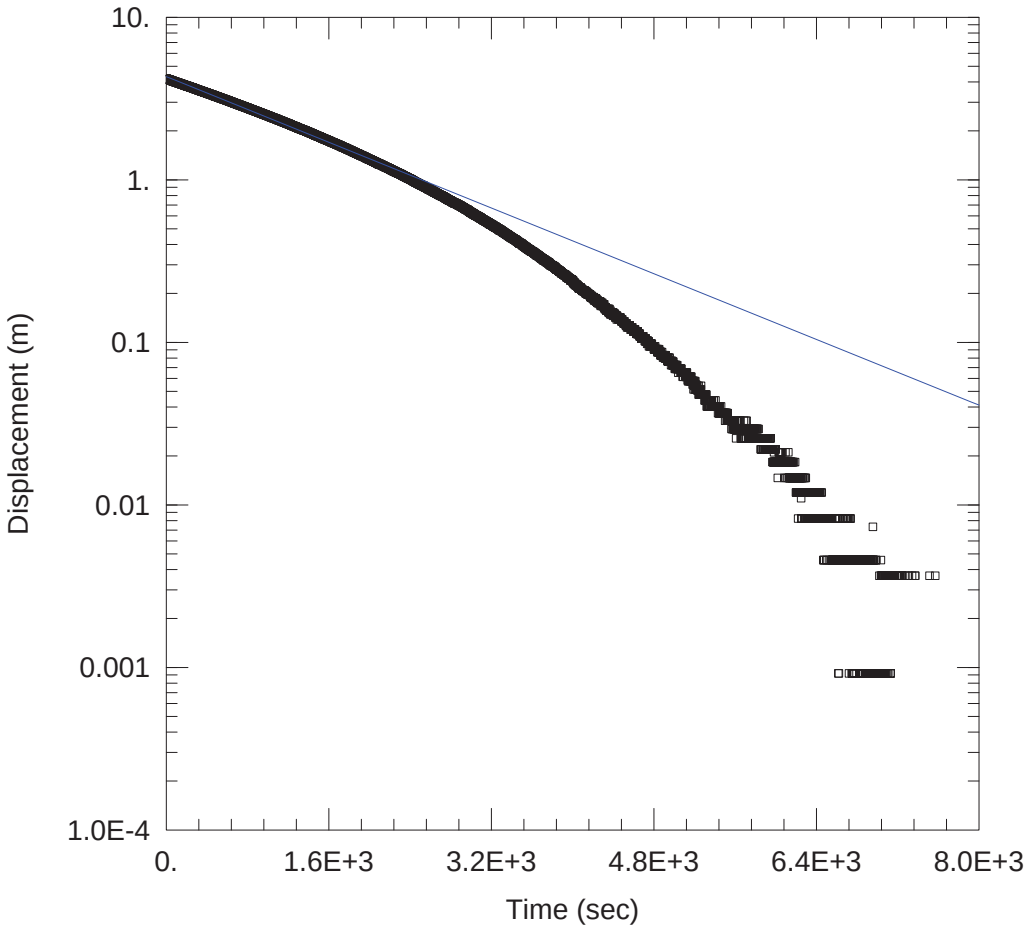
Saturated Thickness: 13. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1101 under 10.5)

Initial Displacement: 2.491 m
Total Well Penetration Depth: 13. m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 13. m
Screen Length: 6. m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 8.236E-6 m/sec
y0 = 2.295 m



BH1101 UNDER 13

Data Set: I:\...\BH1101 slug under 13.aqt
Date: 11/01/16 Time: 14:58:27

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1101
Test Date: 2016-05-20

AQUIFER DATA

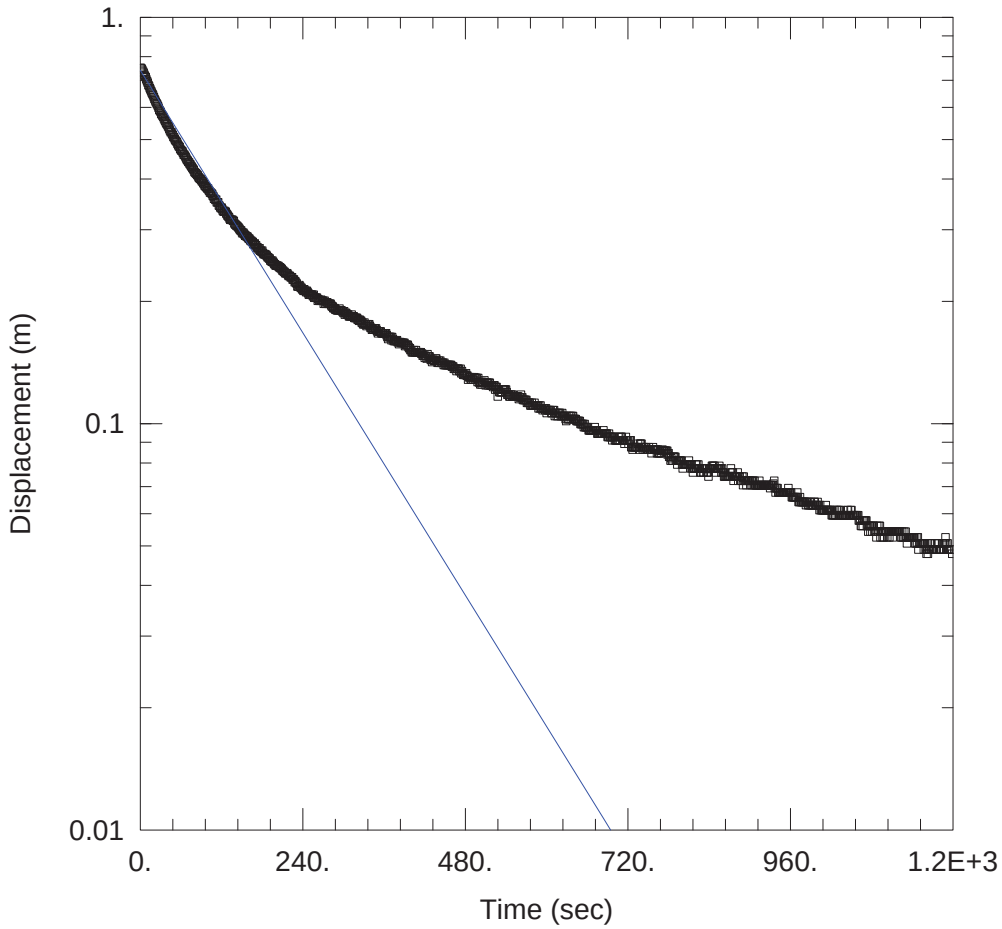
Saturated Thickness: 13. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1101 under 13)

Initial Displacement: 4.192 m
Total Well Penetration Depth: 13. m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 13. m
Screen Length: 3.5 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 7.156E-8 m/sec
y0 = 4.316 m



BH1102 OVER 7.2-11.5

Data Set: I:\...\BH1102 slug over 7,7-11,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:02:03

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1102
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 4.3 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

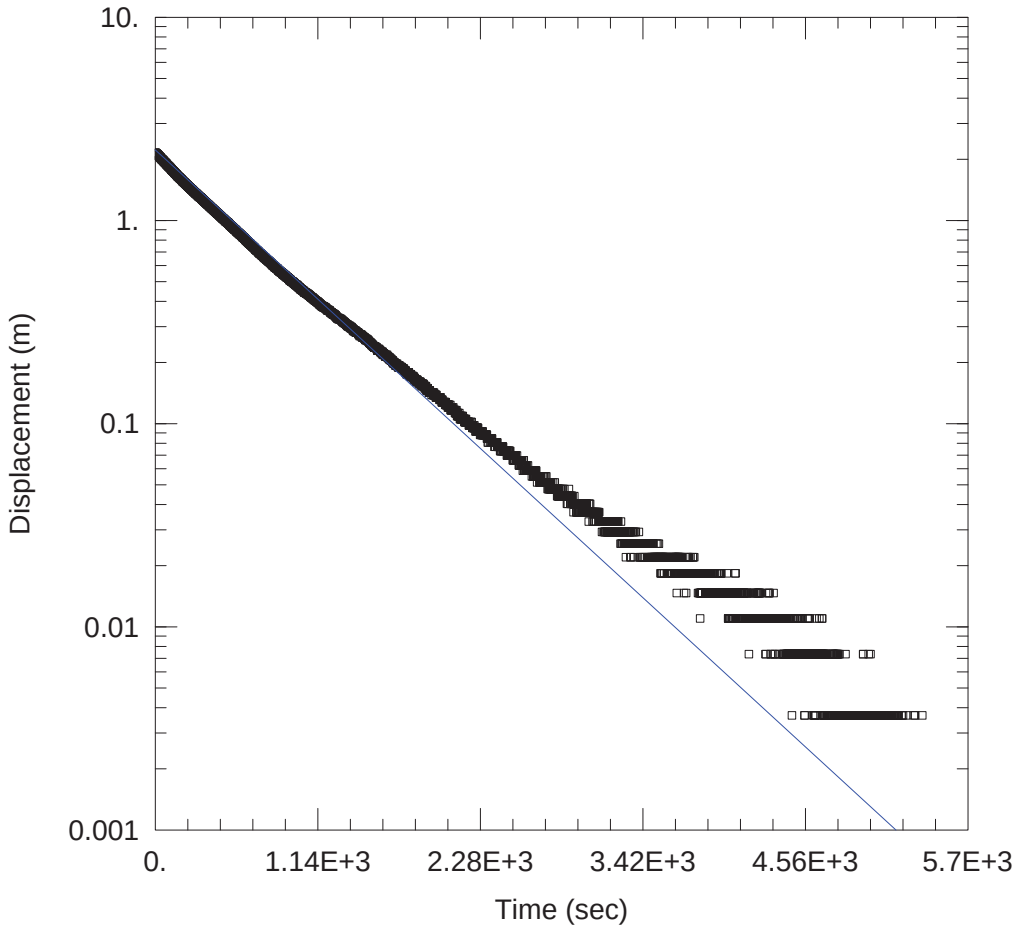
WELL DATA (Bh1102 over 7.7-11.5)

Initial Displacement: 0.7508 m
Total Well Penetration Depth: 3.8 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 3.8 m
Screen Length: 3.8 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.424E-5 m/sec y0 = 0.7406 m



BH1102 UNDER 12

Data Set: I:\...\BH1102 slug under 12.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:03:36

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1102
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

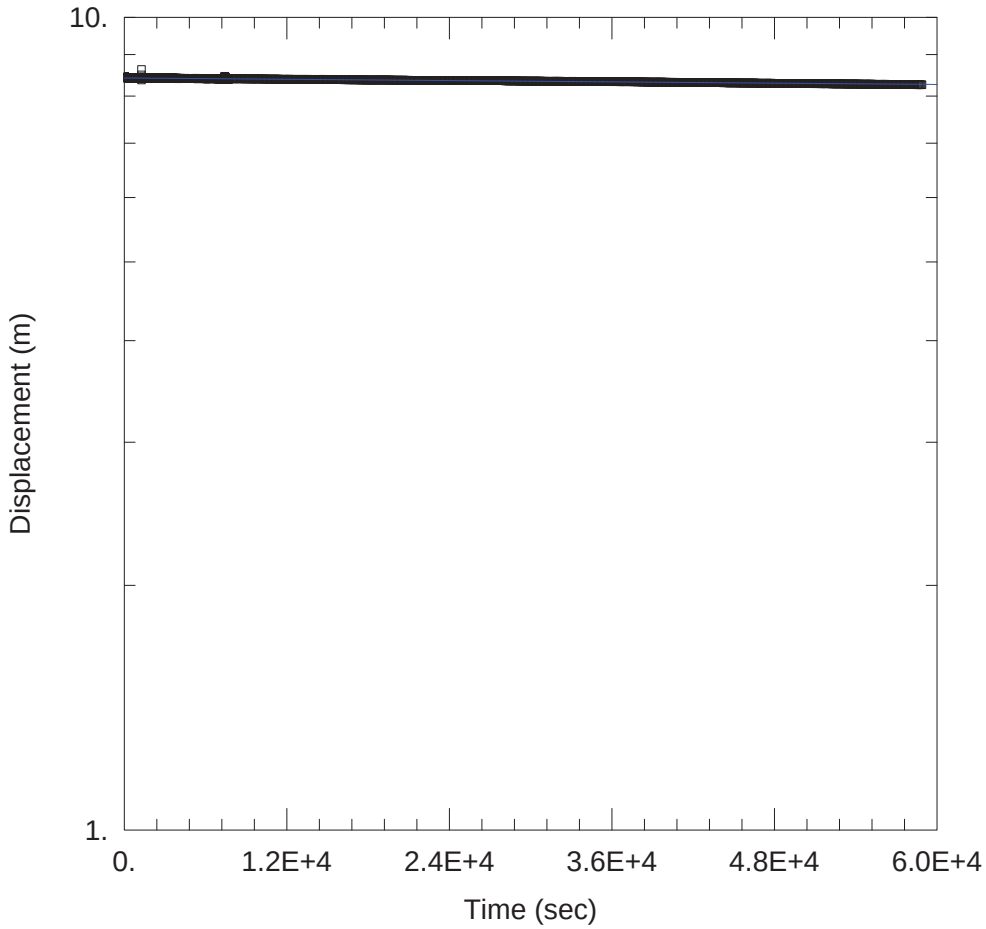
Saturated Thickness: 10.48 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1102 under 12)

Initial Displacement: 2.153 m
Total Well Penetration Depth: 10.48 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 10.48 m
Screen Length: 4.98 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 1.358E-7 m/sec
y0 = 2.224 m



BH1103 UNDER 14

Data Set: I:\...\BH1103 slug under 14.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:07:08

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1103
Test Date: 2016-06-07/08

AQUIFER DATA

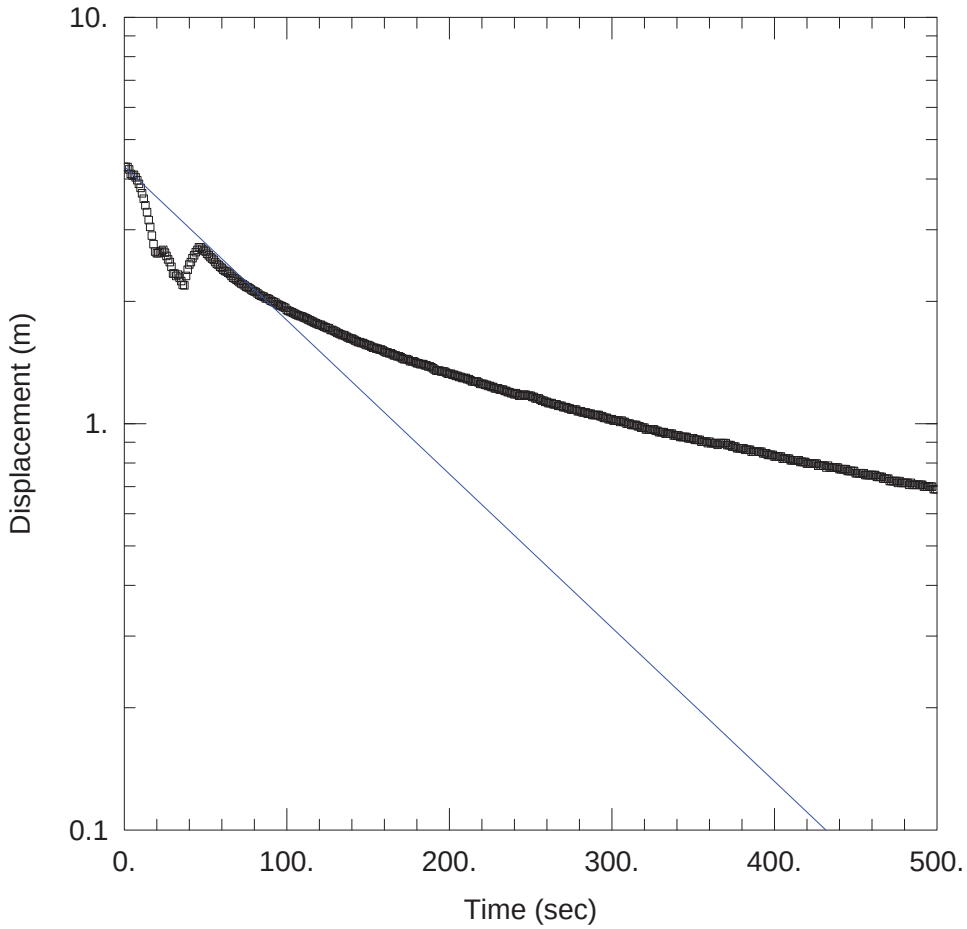
Saturated Thickness: 9.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1103 under 14)

Initial Displacement: 8.454 m
Total Well Penetration Depth: 9.5 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 9.5 m
Screen Length: 3.53 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 3.715E-11 m/sec
y0 = 8.42 m



BH1111 UNDER 29.3

Data Set: I:\...\BH1111 slug under 29,3.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:24:14

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1111
Test Date: 2016-05-20

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 34.3 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

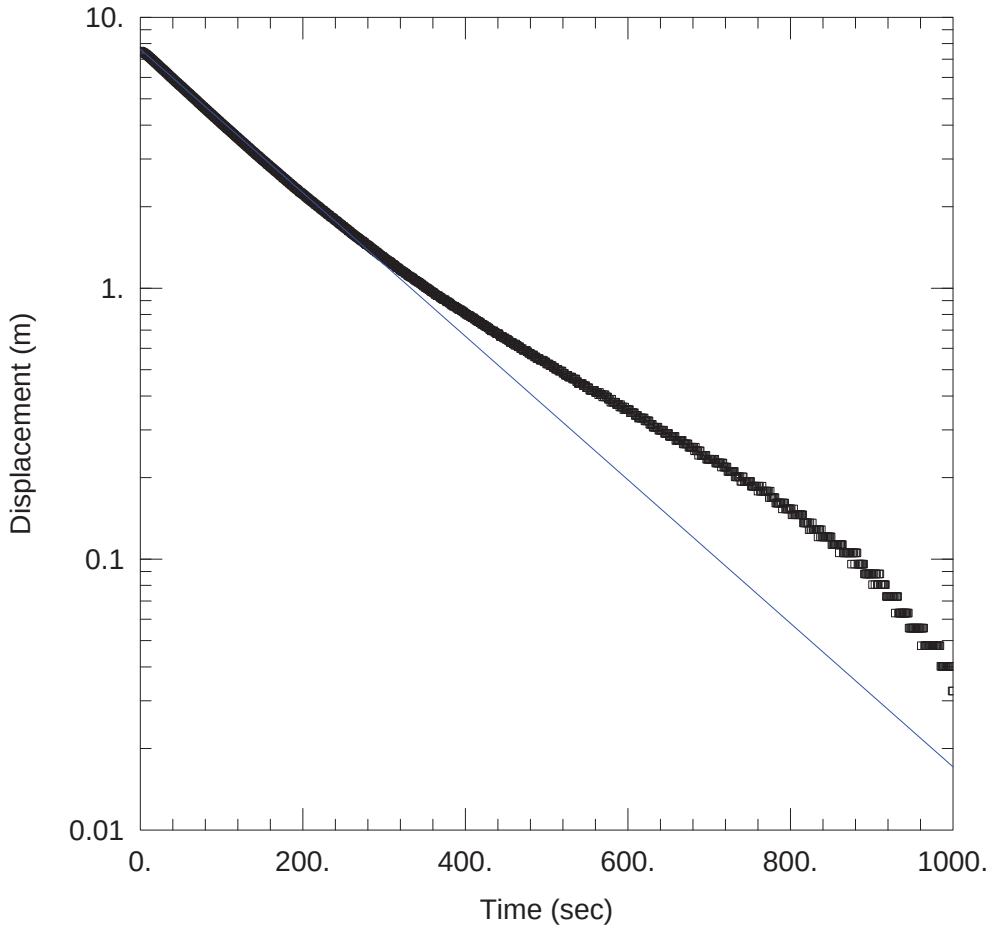
WELL DATA (Bh1111 under 29.3)

Initial Displacement: 4.282 m
Total Well Penetration Depth: 34.3 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 34.3 m
Screen Length: 33.2 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.555E-7 m/sec y0 = 4.294 m



BH1111 UNDER 46.6

Data Set: I:\...\BH1111 slug under 46,6.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:25:08

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1111
Test Date: 2016-05-20

AQUIFER DATA

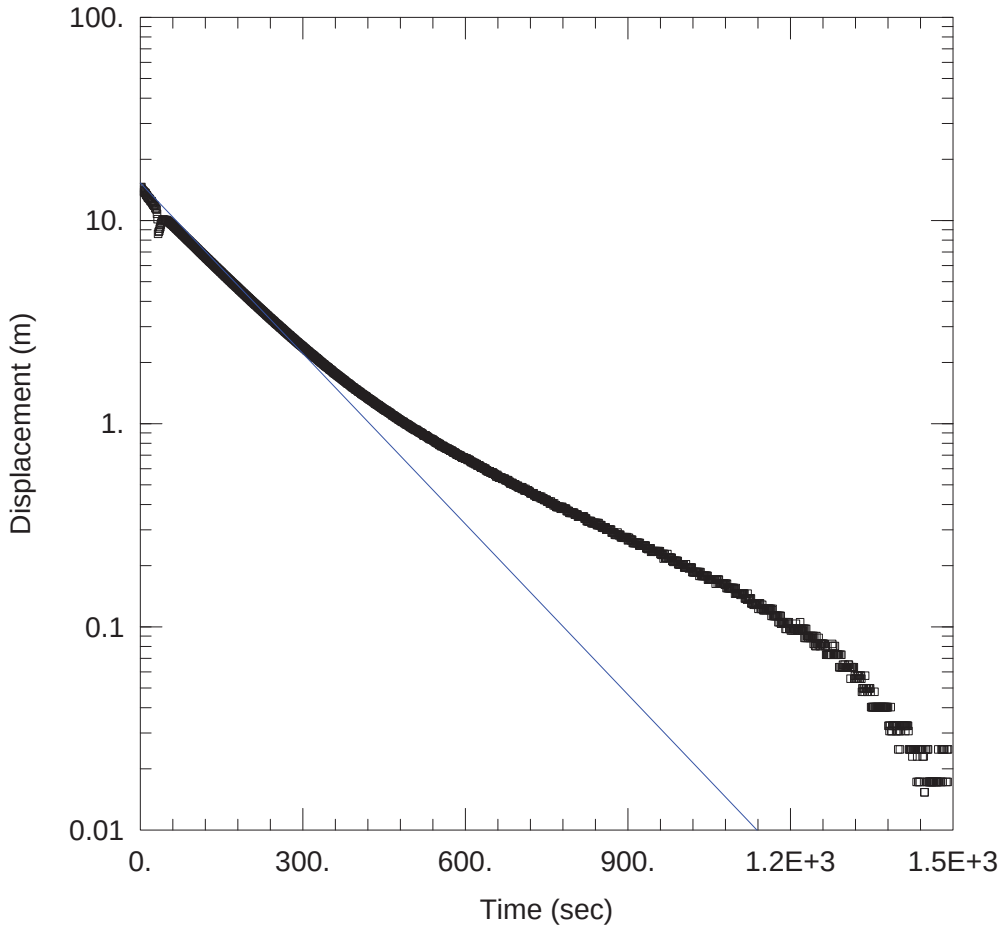
Saturated Thickness: 30.1 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1111 under 46.6)

Initial Displacement: 7.5 m
Total Well Penetration Depth: 30.1 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 30.1 m
Screen Length: 15.9 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 2.07E-7 m/sec
y0 = 7.622 m



BH1111 UNDER 50.9

Data Set: I:\...\BH1111 slug under 50,9.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:25:27

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1111
Test Date: 2016-05-20

AQUIFER DATA

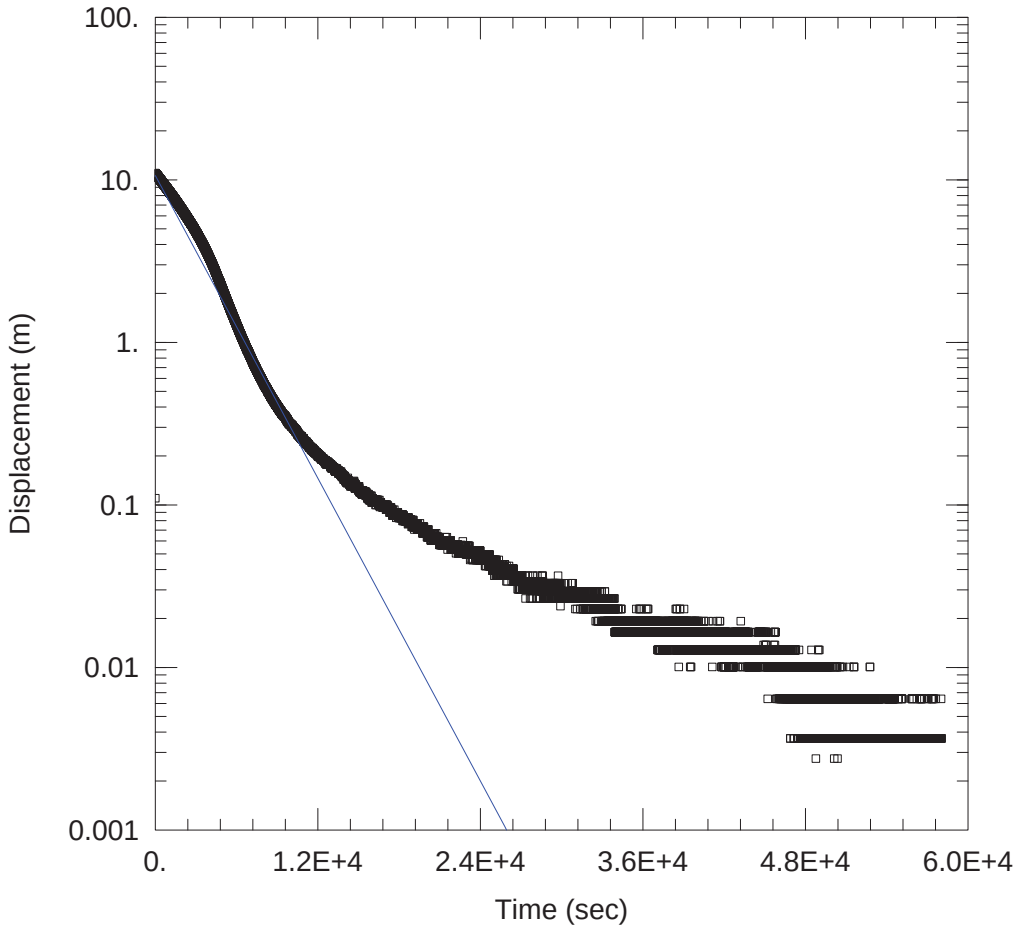
Saturated Thickness: 30.1 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1111 under 50.9)

Initial Displacement: 14.52 m
Total Well Penetration Depth: 30.1 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 30.1 m
Screen Length: 11.6 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 2.871E-7 m/sec
y0 = 15.31 m



BH1601 OVER HELHåL

Data Set: I:\...\BH1601 slug over helhål.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:27:30

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1601
Test Date: 2016-05-17

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 8.9 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

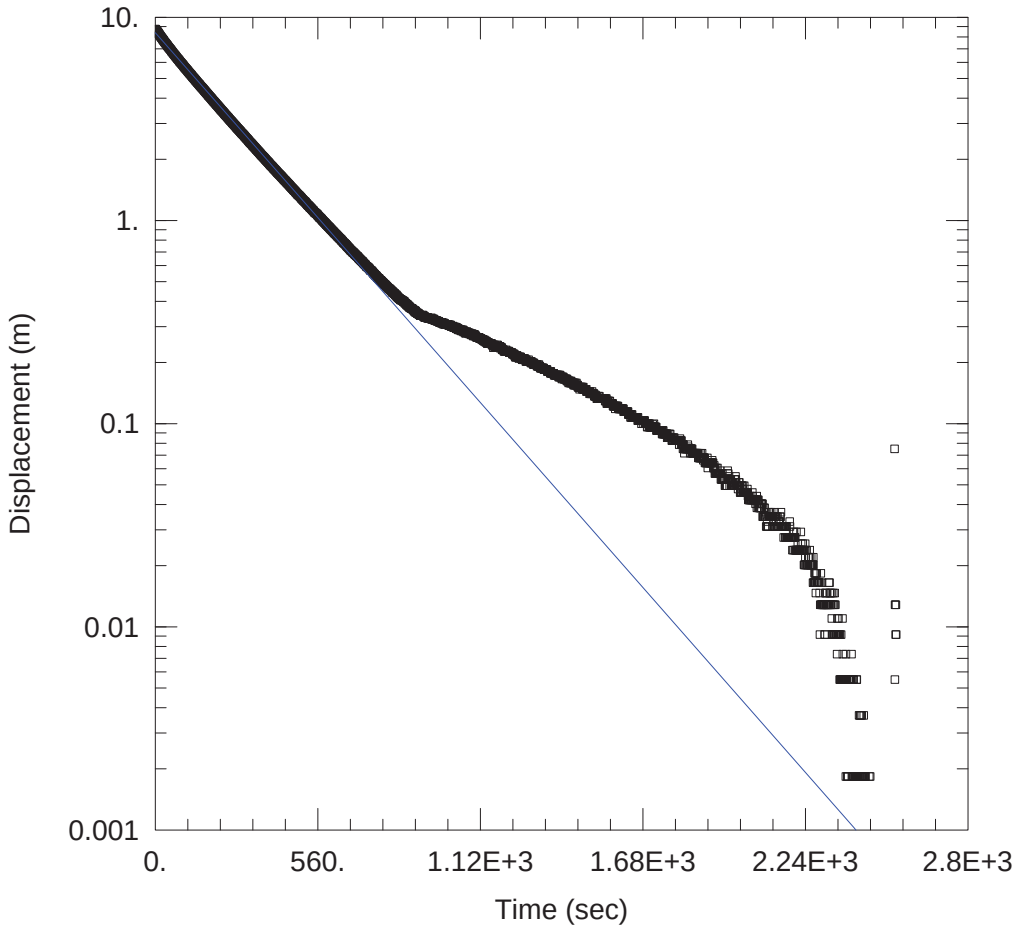
WELL DATA (Bh1601 helhål)

Initial Displacement: 0.11 m
Total Well Penetration Depth: 8.9 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 8.9 m
Screen Length: 8.9 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 3.064E-7 m/sec y0 = 10.63 m



BH1601 UNDER 11

Data Set: I:\...\BH1601 slug under 11.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:33:02

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1601
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 8.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

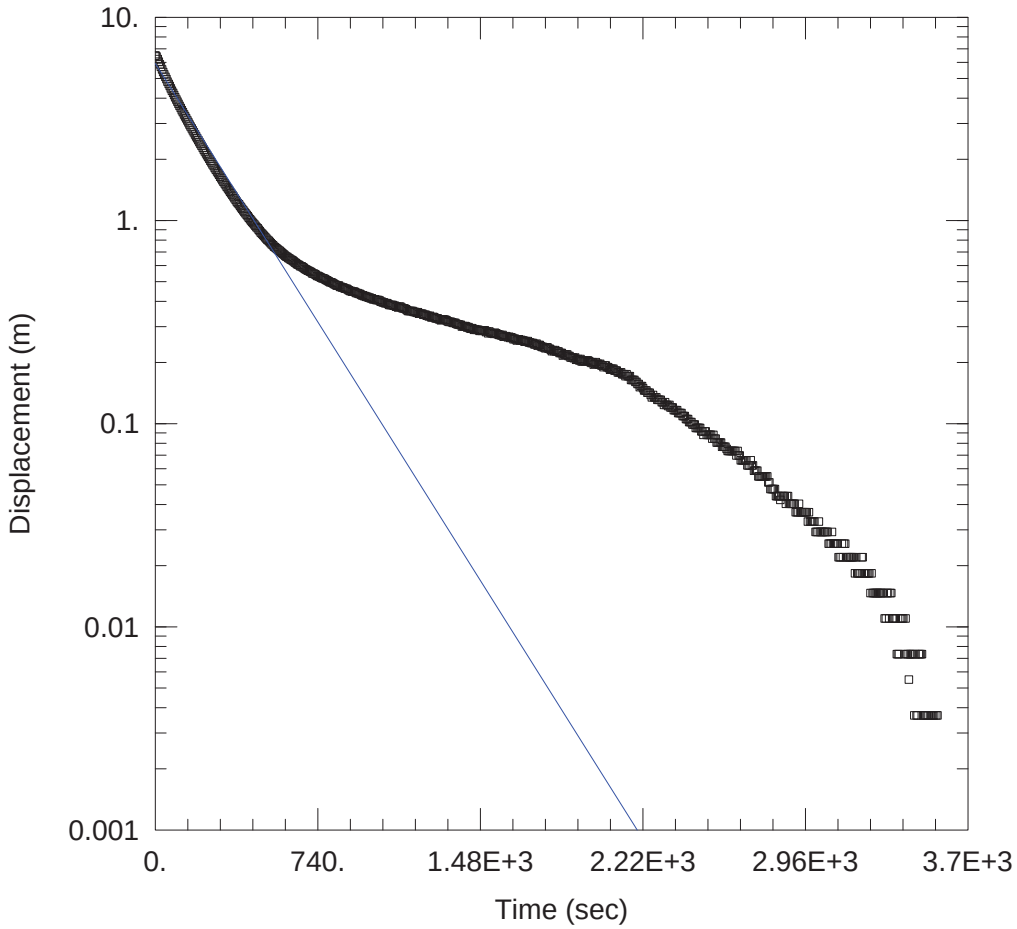
WELL DATA (Bh1601 under 11)

Initial Displacement: 8.751 m
Total Well Penetration Depth: 8.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 8.7 m
Screen Length: 8.2 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 2.245E-7 m/sec y0 = 8.402 m



BH1601 UNDER 15.5

Data Set: I:\...\BH1601 slug under 15,5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:33:53

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1601
Test Date: 2016-06-08

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 8.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

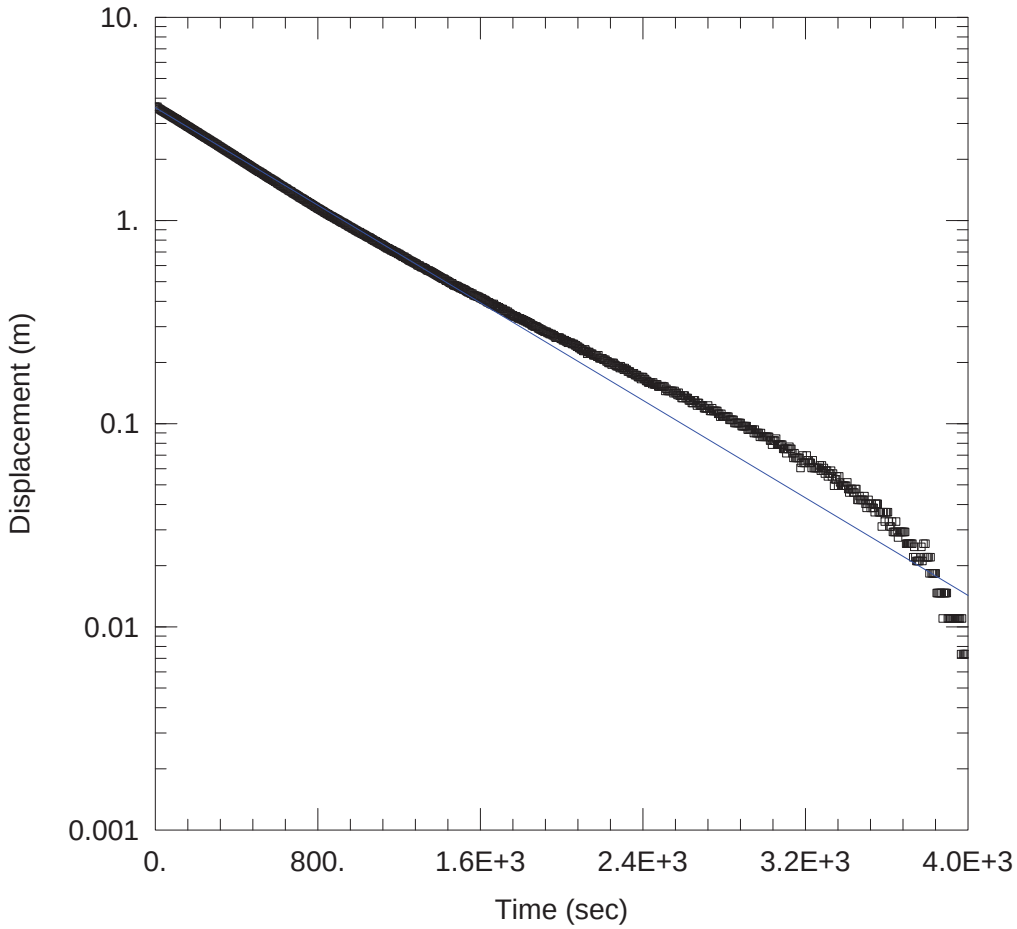
WELL DATA (Bh1601 under 15.5)

Initial Displacement: 6.484 m
Total Well Penetration Depth: 8.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 8.7 m
Screen Length: 3.7 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 4.65E-7 m/sec y0 = 5.923 m



BH1601 UNDER 18.2

Data Set: I:\...\BH1601 slug under 18,2.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:34:42

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1601
Test Date: 2016-06-09

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 8.7 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

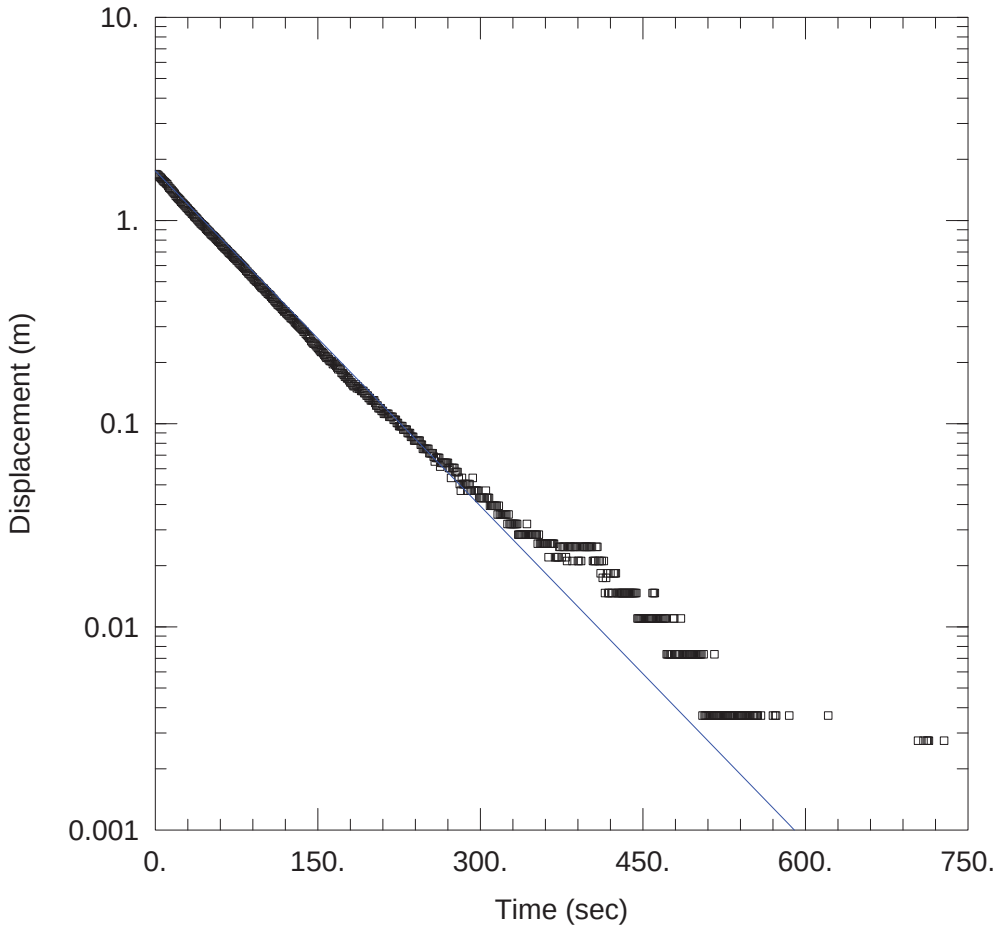
WELL DATA (Bh1601 under 18.2)

Initial Displacement: 3.627 m
Total Well Penetration Depth: 8.7 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 8.7 m
Screen Length: 1. m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 4.704E-7 m/sec y0 = 3.593 m



BH1602 OVER 3.7-8.9

Data Set: I:\...\BH1602 slug over 3,7-8,9.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:40:07

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1602
Test Date: 2016-05-19

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 5.2 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

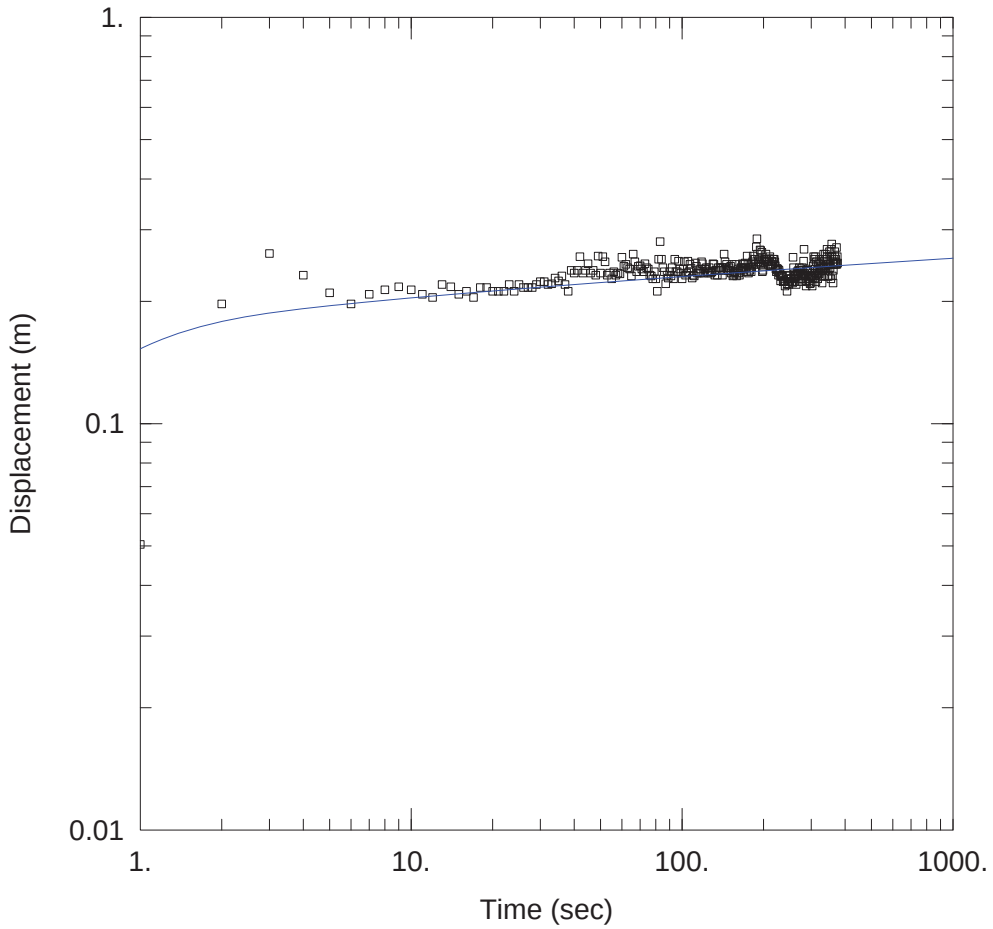
WELL DATA (Bh1602 over 3.7-9.9)

Initial Displacement: 1.688 m
Total Well Penetration Depth: 5.2 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 5.2 m
Screen Length: 5.2 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hvorslev

K = 1.858E-5 m/sec y0 = 1.755 m



BH1602 UNDER 9,9

Data Set: I:\...\BH1602 slug under 9.9.aqt
Date: 11/01/16 Time: 22:18:31

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1602
Test Date: 2016-05-19

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 12.3 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
Bh1602 under 9,9	0	0

Observation Wells

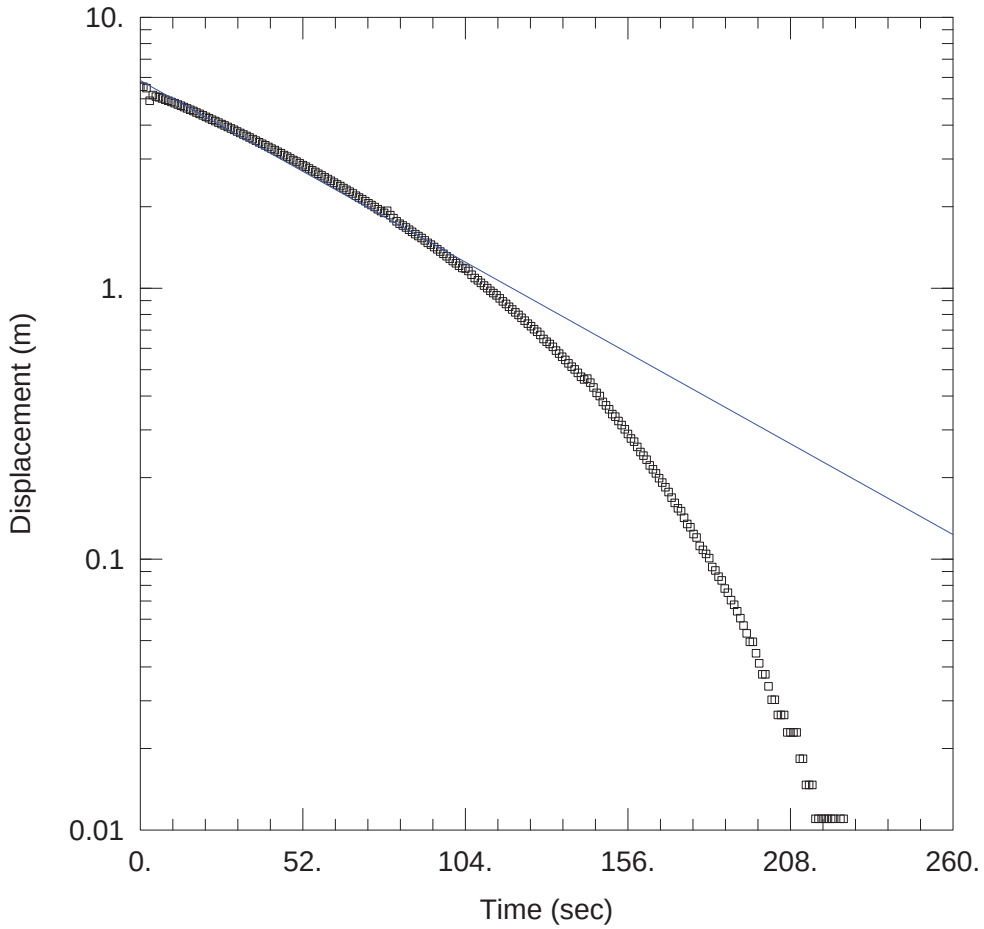
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ Bh1602 under 9,9	0	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.001313 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.056 m

S = 8.063E-7
Sw = -2.005
r(c) = 0.012 m



BH1602 UNDER 13.4

Data Set: I:\...\BH1602 slug under 13,4.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:42:14

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1602
Test Date: 2016-05-19

AQUIFER DATA

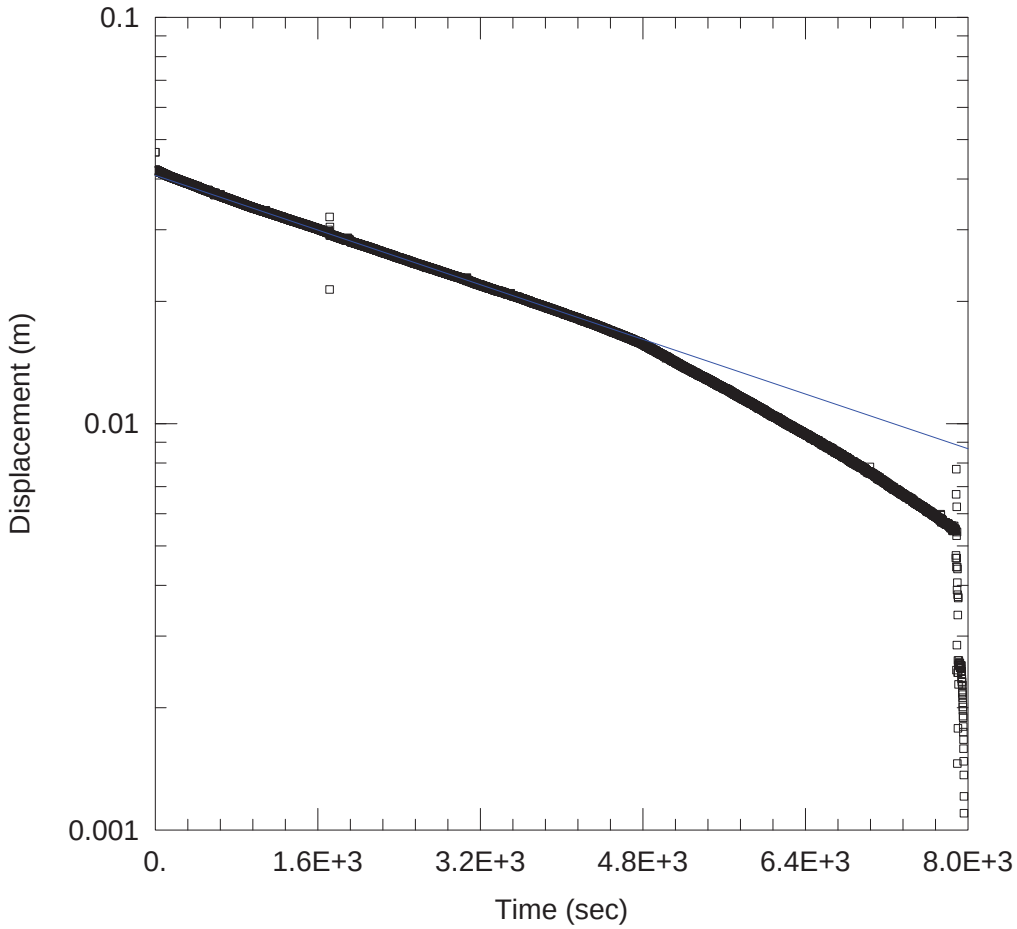
Saturated Thickness: 11.76 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1602 under 13.4)

Initial Displacement: 5.544 m
Total Well Penetration Depth: 11.76 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 11.76 m
Screen Length: 2.6 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 2.335E-6 m/sec
y0 = 5.844 m



BH1602 UNDER 14.7

Data Set: I:\...\BH1602 slug under 14,7.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:44:47

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1602
Test Date: 2016-05-19

AQUIFER DATA

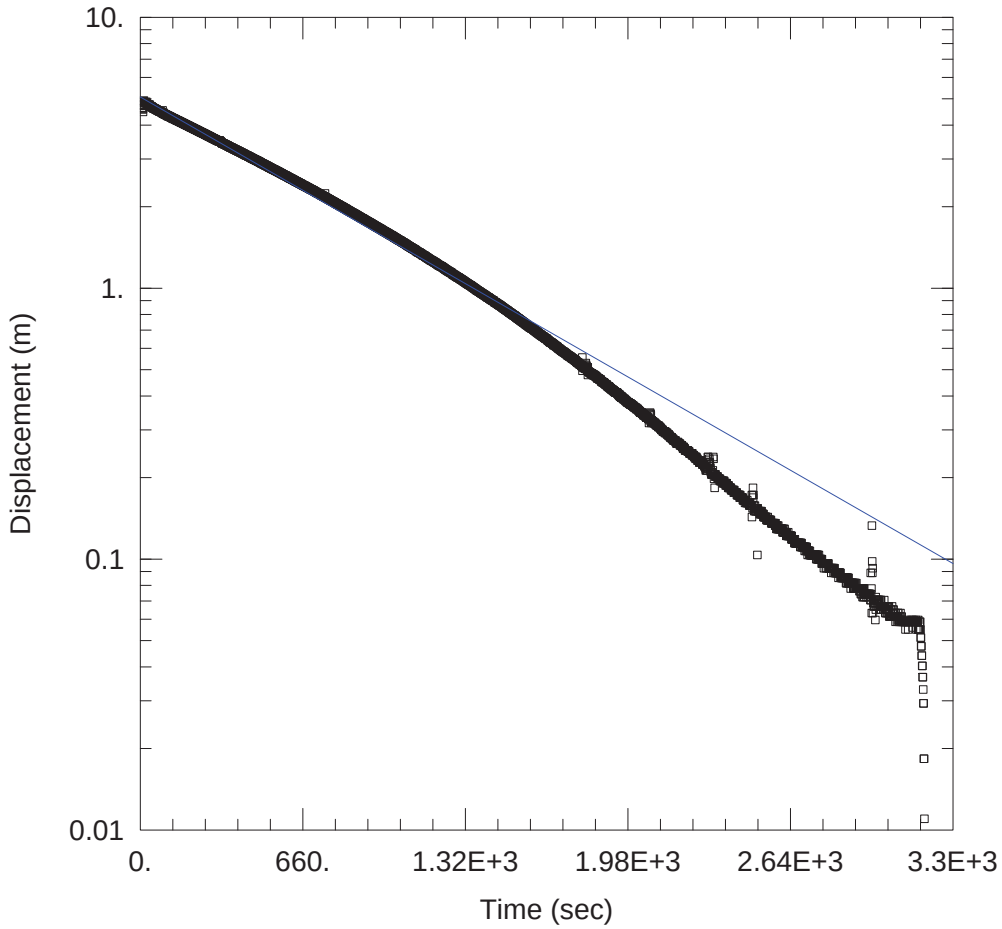
Saturated Thickness: 11.76 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1602 under 14.7)

Initial Displacement: 0.04656 m
Total Well Penetration Depth: 11.76 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 11.76 m
Screen Length: 1.3 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 5.35E-8 m/sec
y0 = 0.04083 m



BH1603 UNDER 15

Data Set: I:\...\BH1603 slug under 15.aqt
Date: 11/01/16 Time: 15:46:23

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 2016-05-18

AQUIFER DATA

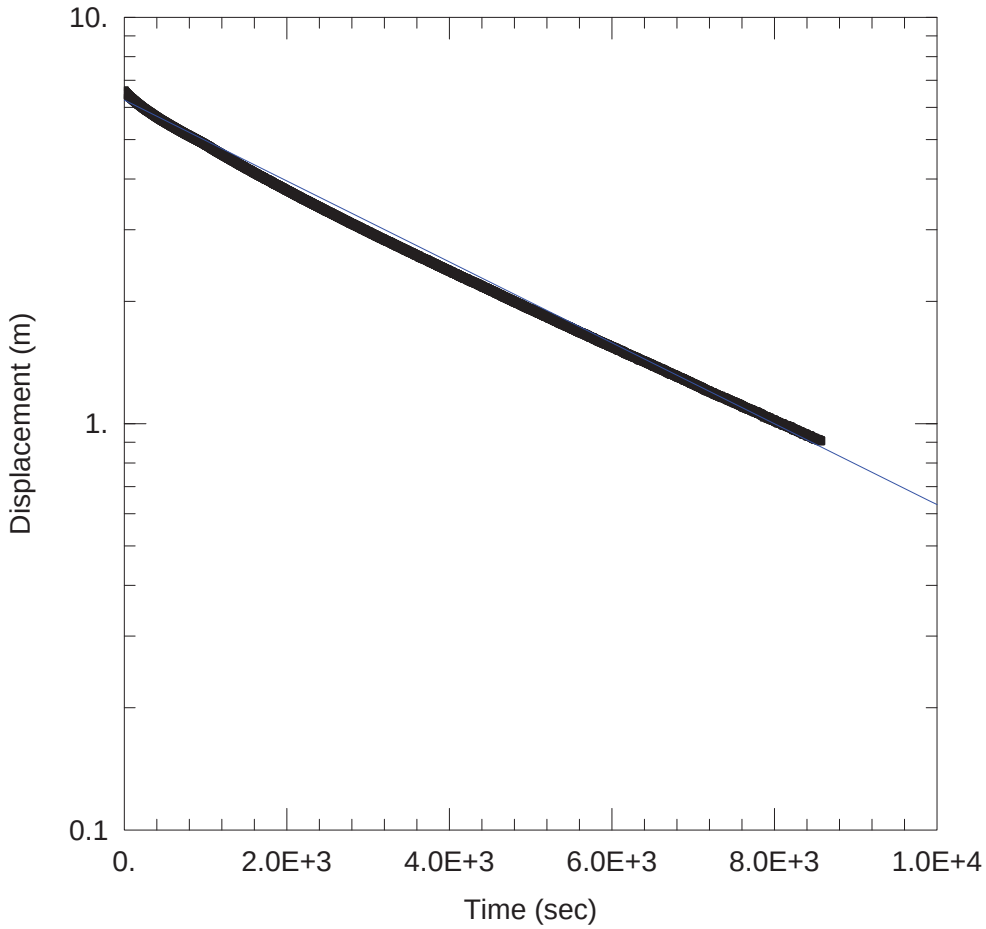
Saturated Thickness: 8.8 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (Bh1603 under 15)

Initial Displacement: 4.836 m
Total Well Penetration Depth: 8.8 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 8.8 m
Screen Length: 2. m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
K = 2.345E-7 m/sec
Solution Method: Hvorslev
y0 = 5.079 m



BH1702_öVER 42

Data Set: \...\BH1702 slug10-42.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:40:03

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1702
Test Date: 2017-01-24

AQUIFER DATA

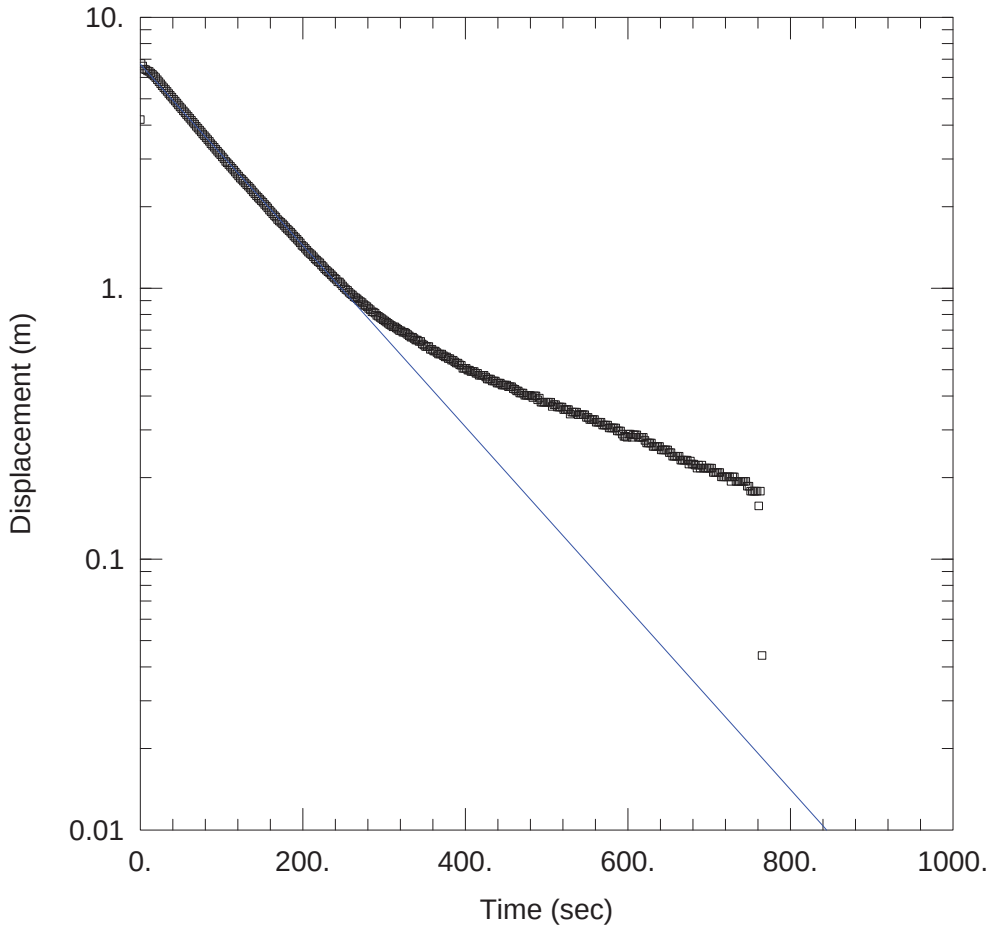
Saturated Thickness: 31.2 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH1702_10.7-42)

Initial Displacement: 6.6 m
Total Well Penetration Depth: 31.2 m
Casing Radius: 0.056 m
Static Water Column Height: 31.2 m
Screen Length: 31.2 m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 6.104E-8 m/sec
y0 = 6.256 m



BH1702_35-42

Data Set: \...\BH1702 slug35-42.aqt
Date: 02/05/17 Time: 17:38:41

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1702
Test Date: 2017-01-24

AQUIFER DATA

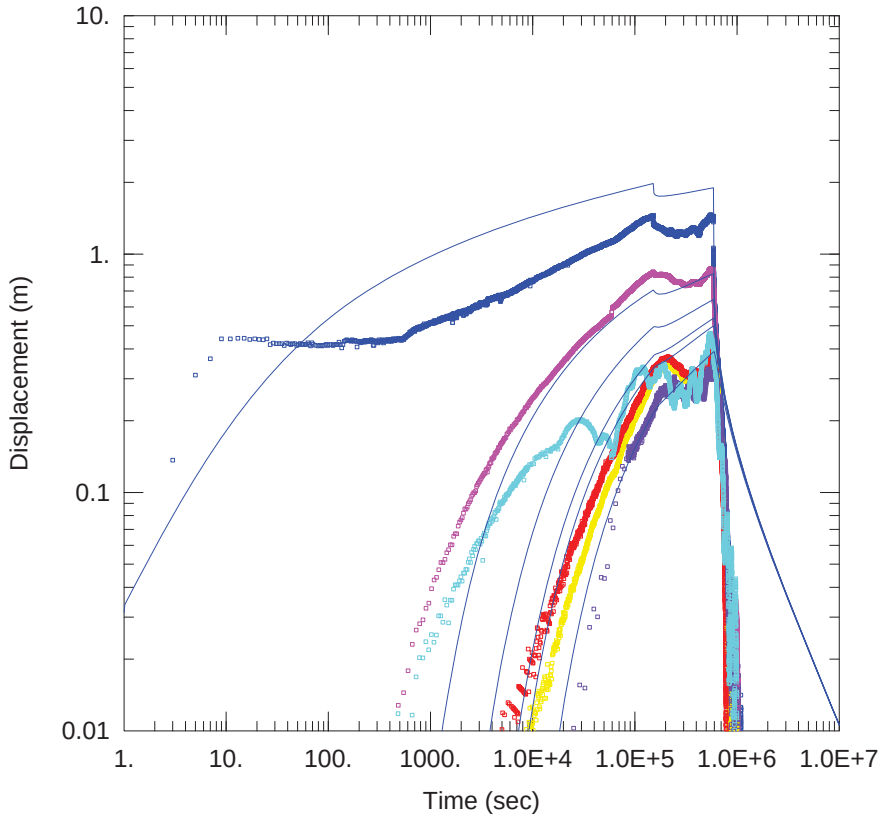
Saturated Thickness: 7. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA (BH1702_35-42)

Initial Displacement: 4.192 m
Total Well Penetration Depth: 32.5 m
Casing Radius: 0.012 m
Static Water Column Height: 13. m
Screen Length: 7. m
Well Radius: 0.056 m

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Hvorslev
K = 4.201E-7 m/sec
y0 = 6.719 m



PROVPUMPNING BH1602

Data Set: I:\...\PP1602_DB skin-5.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:50:56

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1602
Test Date: 2016-05-25 -2016-06-01

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 16. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1602	147727	6400351

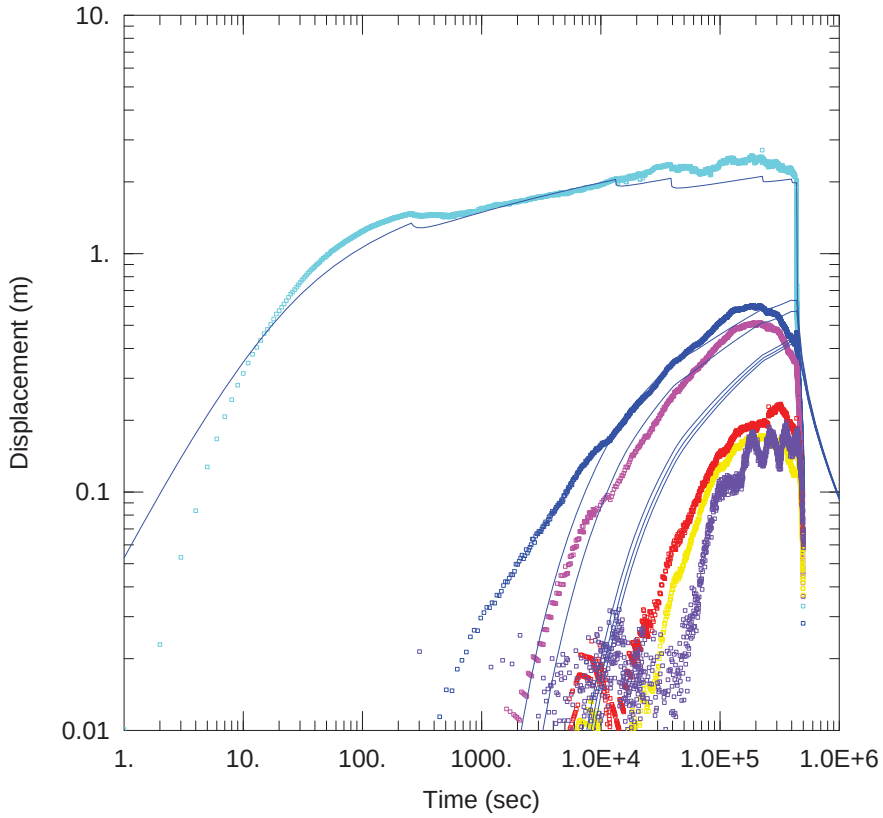
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1602	147727	6400351
BH1103	147772.071	6400538.126
BH1102	147701.228	6400811.559
BH1101	147907.387	6400837.528
BH43	148288.466	6400824.883
BH1603	148033.278	6400219.113

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.000176 m^2/sec S = 4.731E-5
Kz/Kr = 0.1 Sw = -4.925
r(w) = 0.057 m r(c) = 0.057 m



PROVPUMPNING BH1603

Data Set: I:\...\PP1603 DB skin-4.2.aqt
Date: 11/01/16 Time: 13:12:39

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa AB
Project: 1650142
Location: Filehajdar
Test Well: BH1603
Test Date: 20160610-20160616

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 9.5 m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 0.1

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	148033.278	6400219.113

Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH1603	148033.278	6400219.113
BH1602	147727	6400351
BH1103	147772.071	6400538.126
BH1102	147701.228	6400811.559
BH1101	147907.387	6400837.528
BH43	148288.466	6400824.883

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Dougherty-Babu

T = 0.0001965 m^2/sec
Kz/Kr = 0.1
r(w) = 0.056 m

S = 3.057E-5
Sw = -4.2
r(c) = 0.056 m

BILAGA C

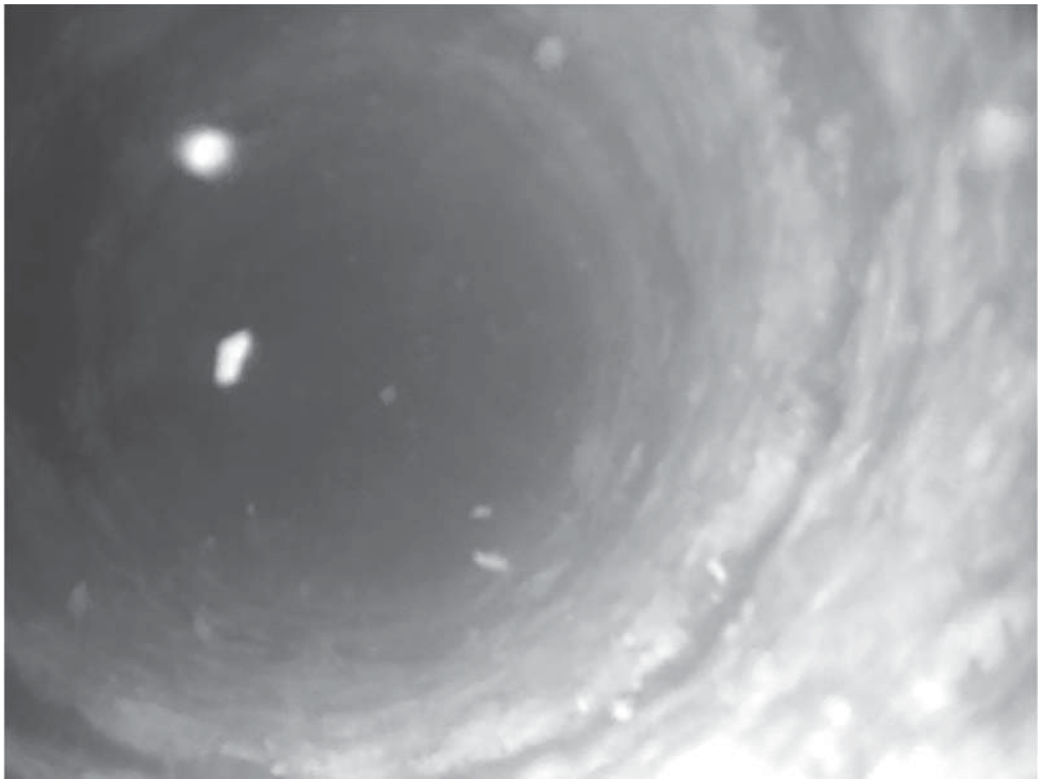
Exempelfoton från borrhålsfilmning

STILLBILDER UR BORRHÅLSFILMER

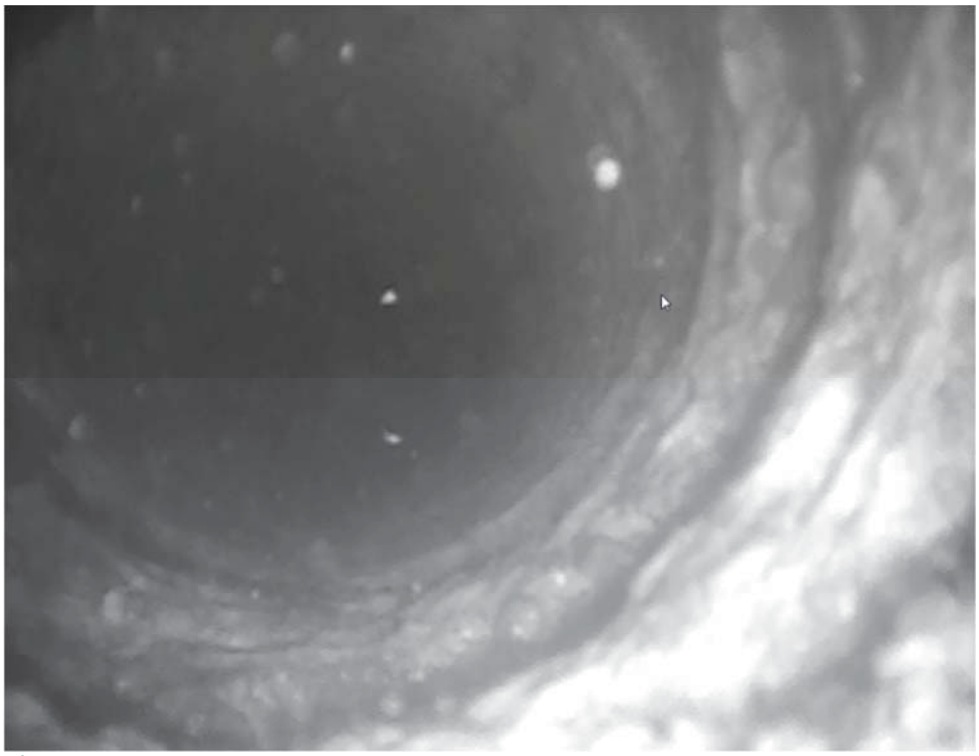
Alla djup refererar till markytan

BH85

Filmat: 2016-04-15

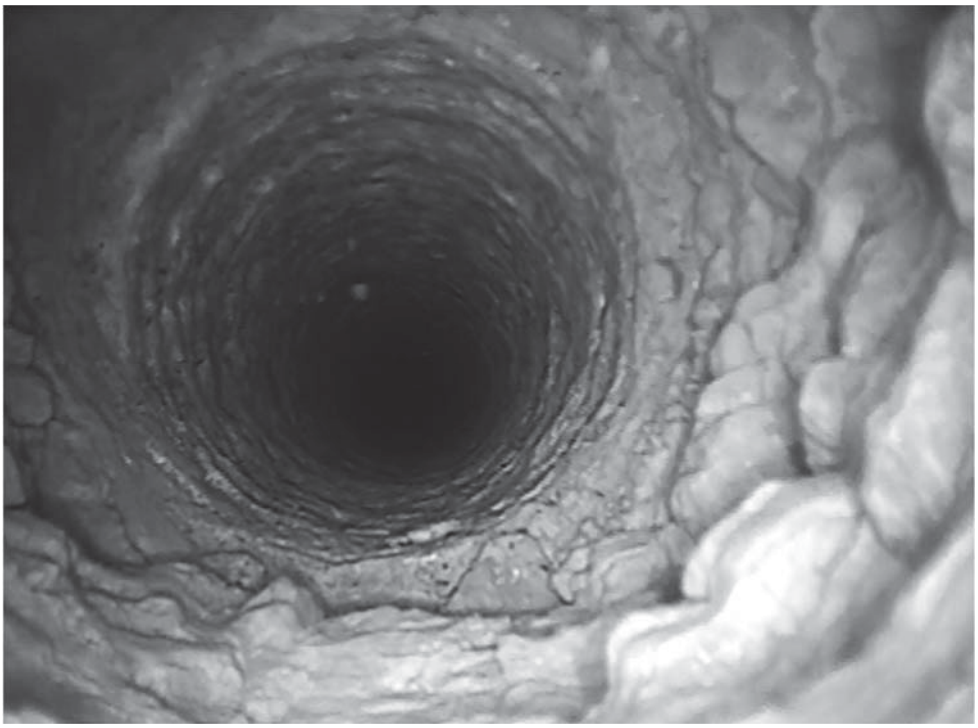


Figur 1: BH85 28,7 m

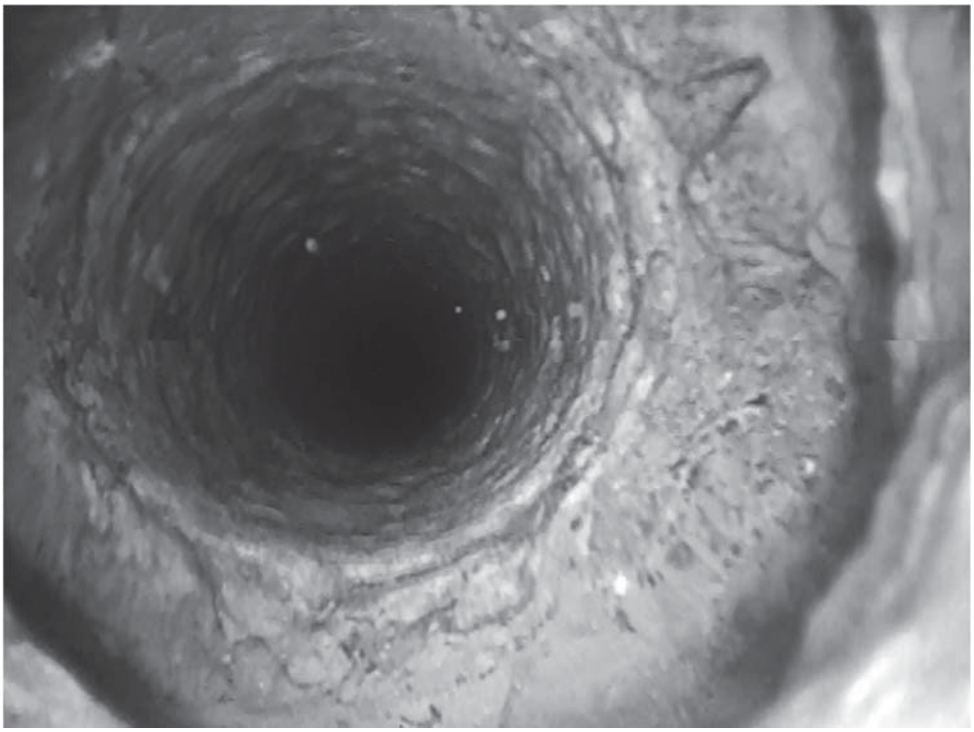


Figur 2: BH85 29,1m

Figur 3: BH85 30,8m

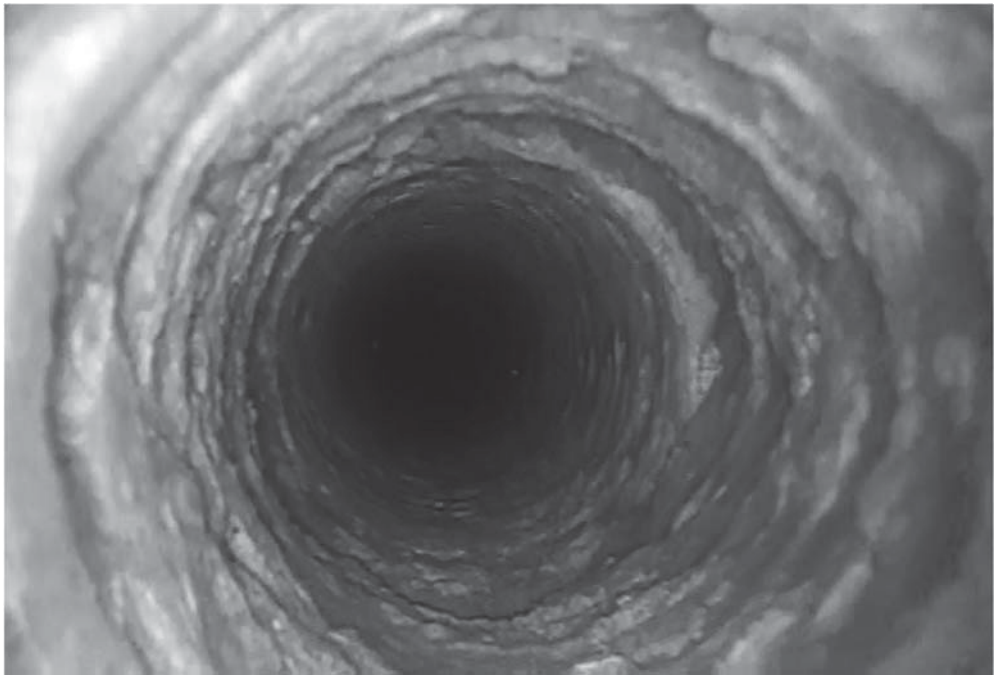


Figur 4: BH85 32,5m

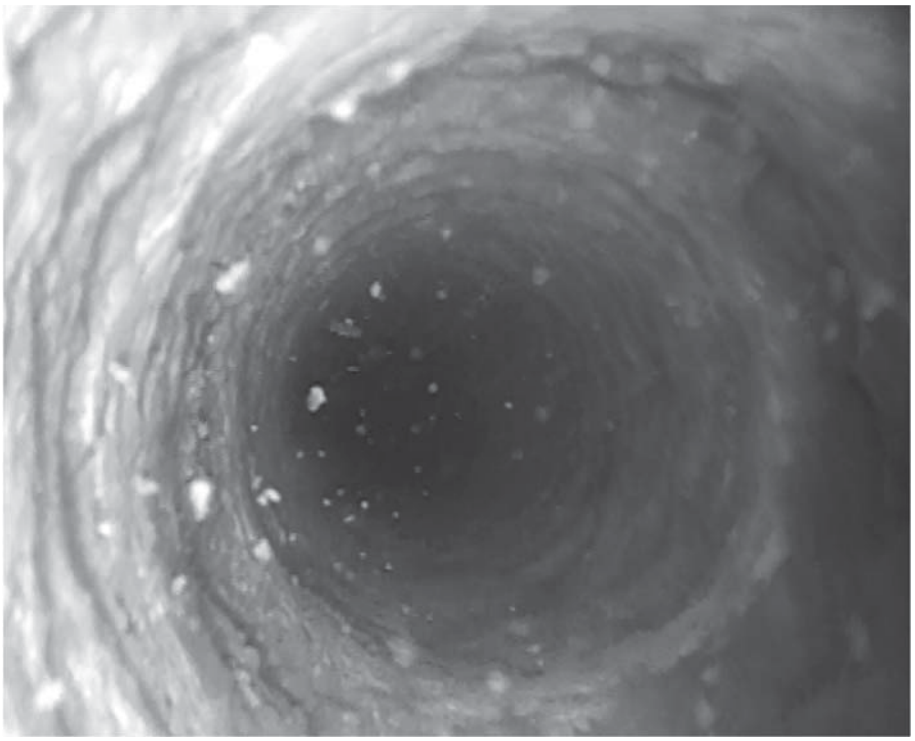


Figur 5: BH85 34,6m

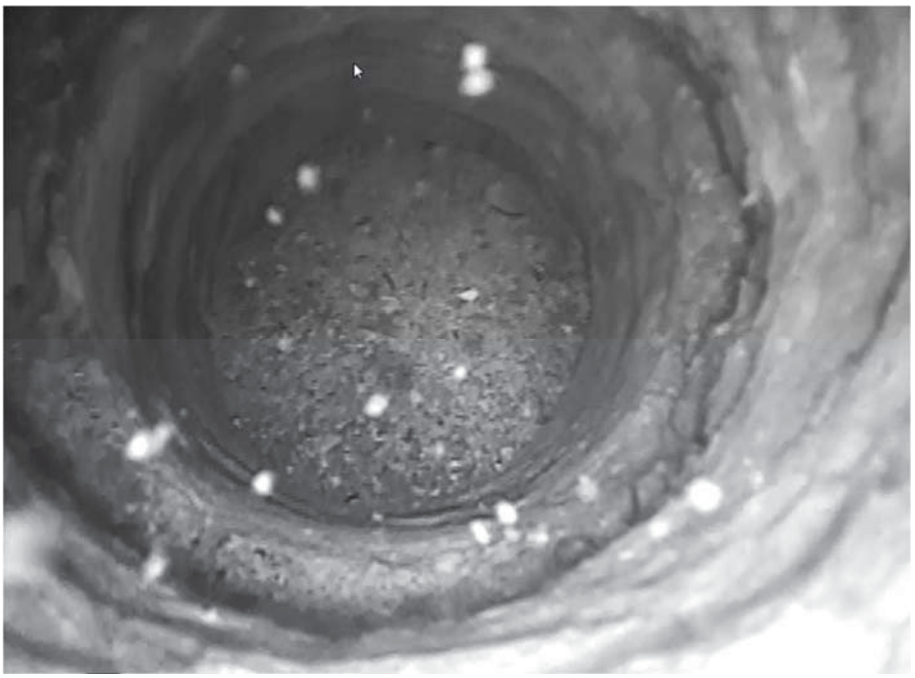
Figur 6: BH85 40,7m



Figur 7: BH85 50,7m



Figur 8: BH85 55,3m

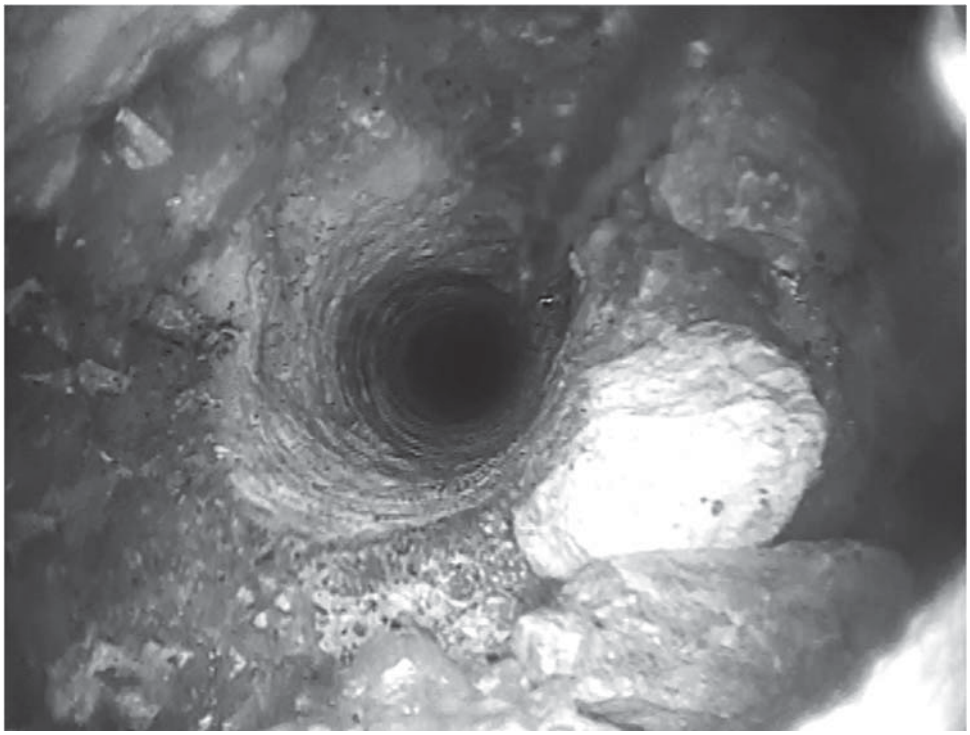


Figur 9: BH85 62,2m

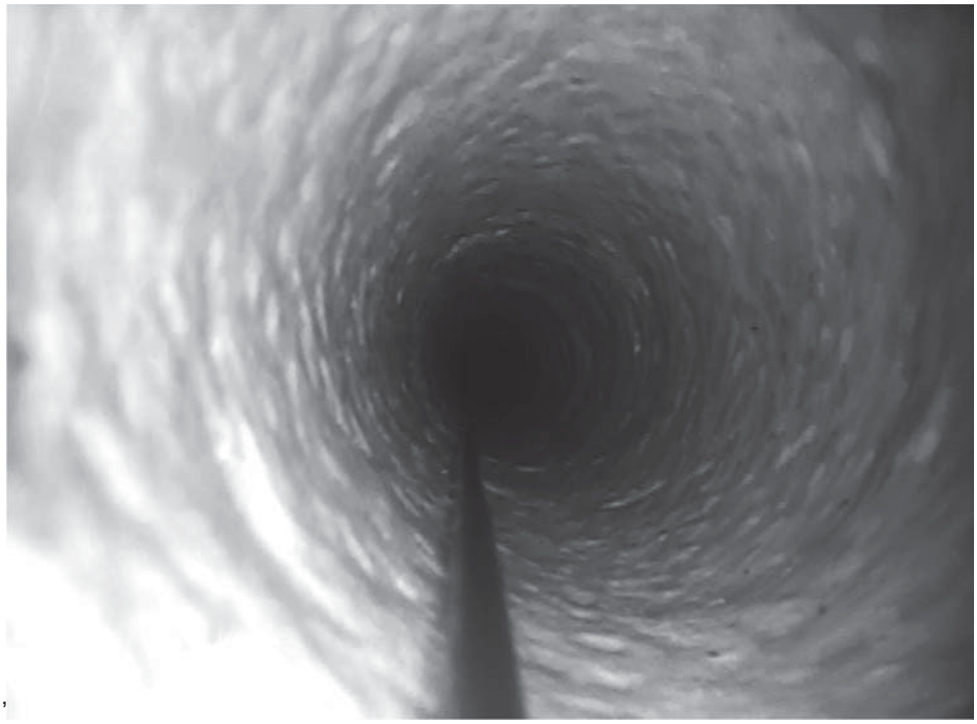
Figur 10: BH85 Berg utan sprickor eller kaviteter, ca 48m

BH1104

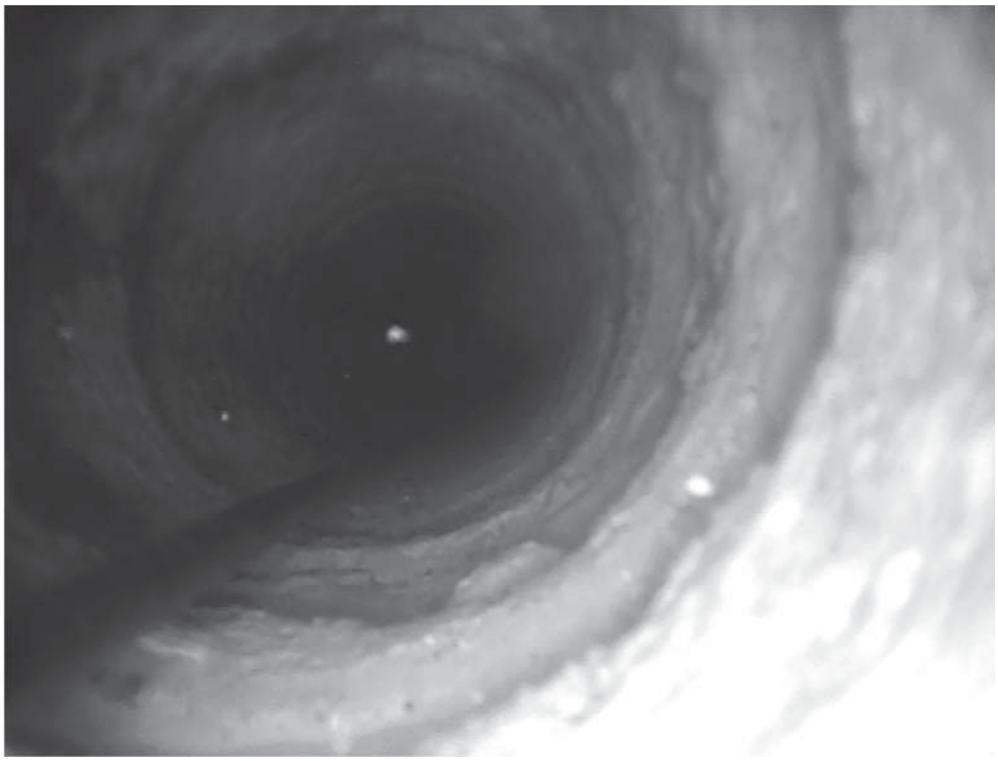
Filmat: 2016-04-13



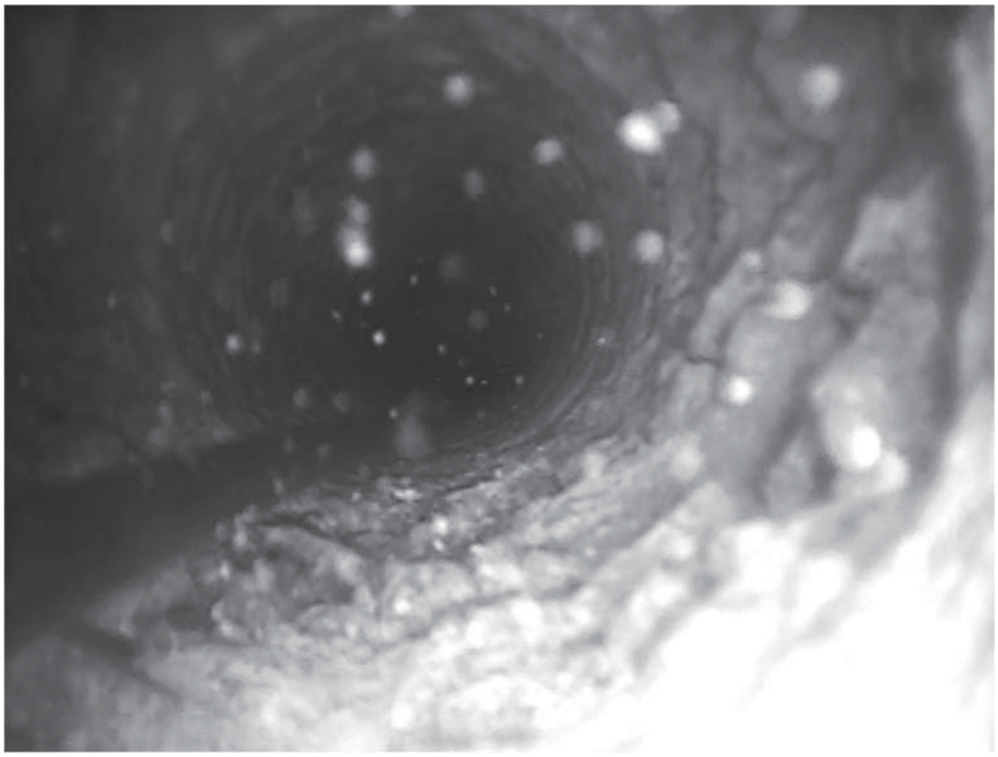
Figur 11: BH1104 stor kavitet under foderrör



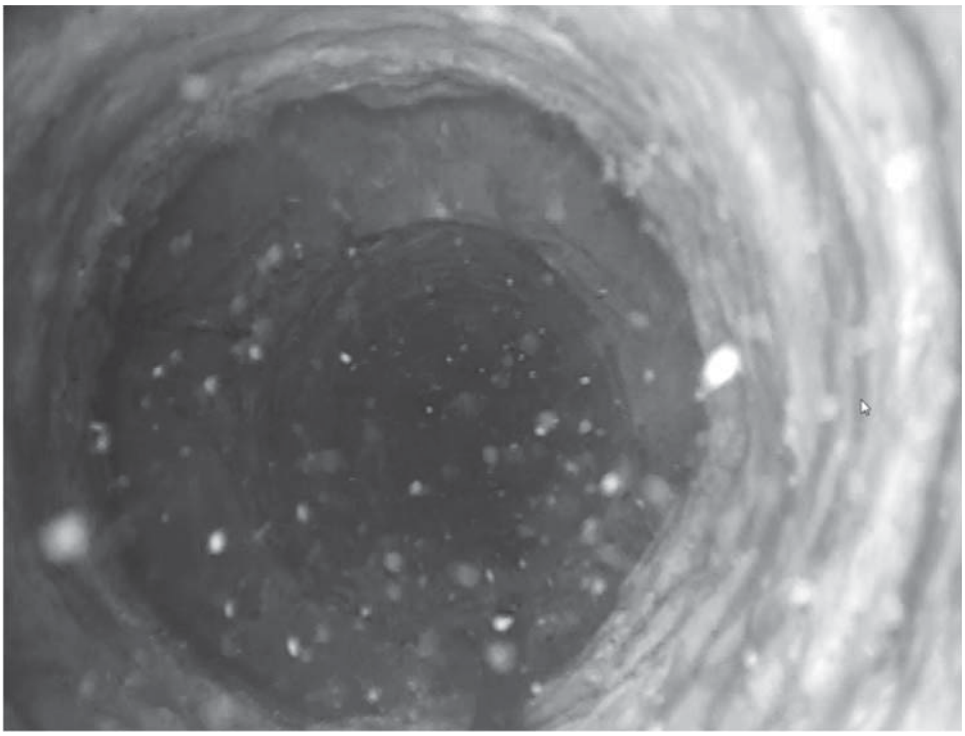
Figur 12: BH1104 "Bra berg" ca 16m



Figur 13: BH1104 28,3m

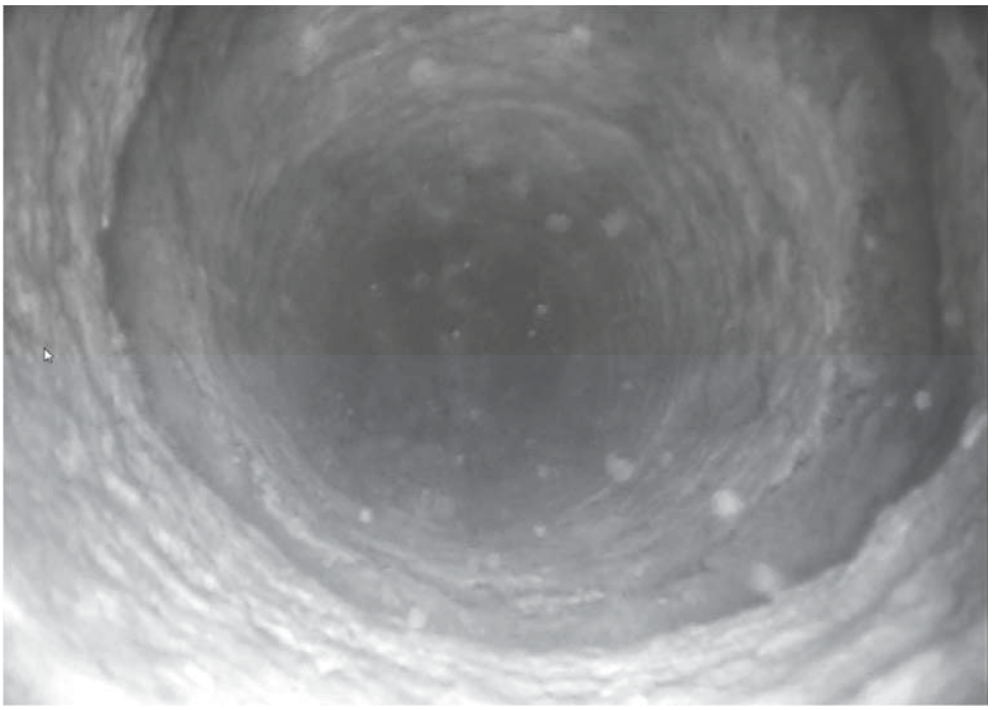


Figur 14: BH1104 29,8m

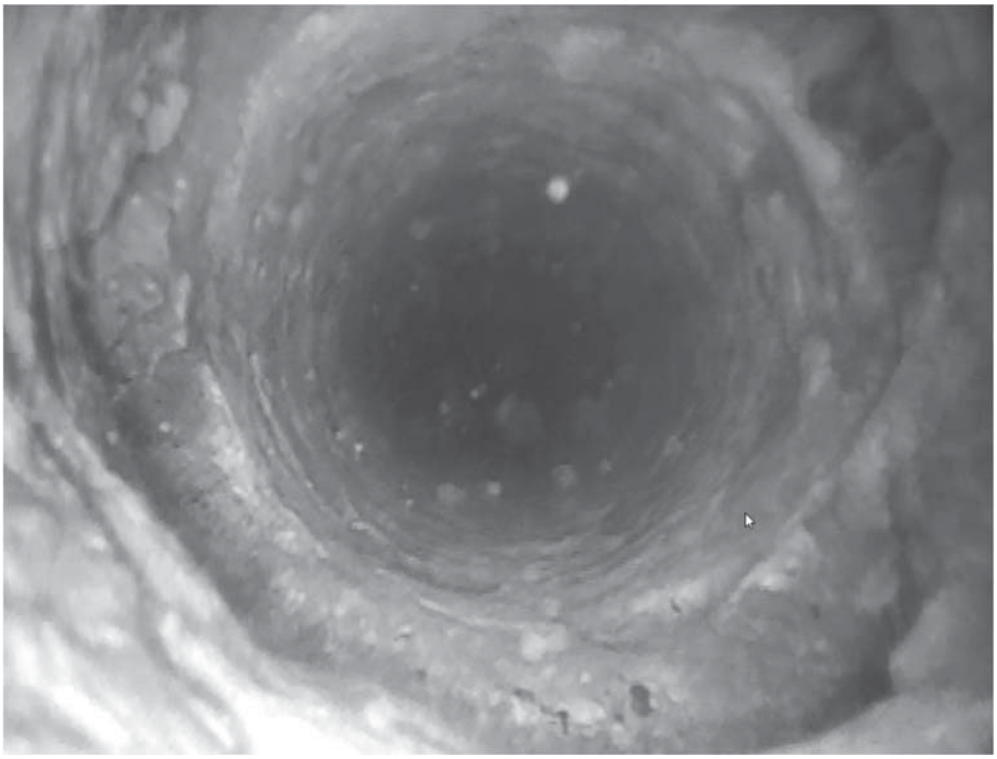


Figur 15: BH1104 38,5m

Figur 16: BH1104 47,5



Figur 17: BH1104 50,4m



Figur 18: BH1104 52,3m

BILAGA D

Resultatplottar geofysisk borrhålsloggning

Kund
Golder Associates
Projekt
Geofysisk loggning Slite
Författare
Håkan Mattsson

Datum
2016-05-18
GeoVista Nr
GVR16014
Kund Nr

Borrhålsloggning med Acoustic televiewer och temperatur vid Cementa ABs täkt på File hajdar, Gotland

GeoVista AB
P.O. BOX 276
SE-971 08 LULEÅ
+46(0)920 603 60
info@geovista.se
www.geovista.se

Sammanfattning

På uppdrag av Golder Associates AB har geofysisk loggning i borrhål genomförts med metoderna acoustic televiewer (ABI) och temperatur. Mätningarna utfördes 10-12 maj 2016 vid Cementa ABs täkt på File hajdar på Gotland.

Syftet med de valda metoderna var att från ABI-data identifiera misstänkta sprickor i borrhålsväggen och med temperaturmätningar undersöka om de indikerade sprickorna är vattenförande. Resultaten ska användas som stöd för hydrologiska undersökningar som utförs av Golder Associates.

Loggningen utfördes i borrhålen Bh85, Bh1101, Bh1102, Bh1103, Bh1111, Bh1601, Bh1602 och BH1603. Samtliga borrhål kunde mätas till fullt djup och datakvaliteten är i regel god.

Resultaten av mätningarna presenteras sist i rapporten på sidorna 8 – 15 tillsammans med en kortfattad tolkning/kommentar.

Innehållsförteckning

1 Inledning och bakgrund 4
1.1 Osäkerheter 4

2 Geofysisk loggning 5
2.1 Loggningsutrustning 5
2.2 Utförande 5

3 Databearbetning och kalibrering 6
3.1 Acoustic televiewer 6
3.2 Temperatur 6
3.3 Längdjustering 6

4 Presentationer 7
4.1 Resultat av acoustic televiewer och temperaturloggning 7

1 Inledning och bakgrund

Cementa AB bedriver cementtillverkning vid sin fabrik i Slite på Gotland. Råvaran kalksten bryts i två täkter nära cementfabriken (Figur 1). Golder Associates AB utför hydrogeologiska undersökningar i och omkring täkten. Som en del i det arbetet vill man ta reda på eventuell förekomst av sprickor i berget och om dessa sprickor är vattenförande. Golder har provat borrhålsfilmning men metoden fungerar inte eftersom vattnet är grumligt. GeoVista AB har därför på uppdrag av Golder Associates AB utfört geofysiska mätningar i borrhål (s.k. borrhålsloggning) med metoderna acoustic televiewer och temperatur.

Syftet med mätningarna var att med acoustic televiewer få en akustisk ”bild” av borrhålsväggen och samtidigt mäta borrhålets medeldiameter för att därigenom kunna lokalisera misstänkta sprickor. Genom att noggrant mäta temperaturen på vattnet i borrhålet är det möjligt att få en indikation på om en misstänkt spricka är vattenförande.

Figur 1. *Undersökningsområdet File hajdar, redigerad från © Eniro.*

1.1 Osäkerheter

I denna rapport presenteras bearbetade mätdata där korrektioner, kalibreringssamband och empiriska relationer har applicerats på ursprungliga mätdata. GeoVista tar inte ansvar för beslut som fattas utifrån de resultat som levererats och som presenteras i denna rapport. Det åligger därmed kunden att noga kontrollera och godkänna data och resultat som levererats och snarast meddela eventuella anmärkningar och synpunkter.

2 Geofysisk loggning

2.1 Loggningsutrustning

Mätningarna har utförts med utrustning från ALT/Mount Sopris. Data har samlats in med ett BBOX datainsamlingssystem. En motordriven vinsch av typ ”mini-winch 4200-230” med skärmad enkelledarkabel (200 m lång) har använts för att sänka ned sonderna i mäthålen.

Följande sonder har använts:

- QL40-ABI, Acoustic Televiewer
- QL40-FTC, Temperature and Fluid Conductivity

Sonden för Acoustic televiewer centrerades i borrhålen med centreringsfjädrar. De loggade hålen har testats med en dummysond före mätning.

2.2 Utförande

De borrhåls som loggades var Bh85, Bh1101, Bh1102, Bh1103, Bh1111, Bh1601, Bh1602 och BH1603. Hålen Bh85, Bh1101, Bh1102, Bh1103 och Bh1111 har foderrör (casing) de översta ca 4 – 5 m medan övriga tre borrhål saknar foderrör. Borrhålens nominella diameter är 110-115 mm.

Loggningsutrustningen transporterades till hålen med bil. Innan mätningarna utfördes testades hålens tillgänglighet med en s.k. dummy-sond. Alla åtta hålen var öppna och tillgängliga för mätning. Mätning av temperatur utfördes därefter med start vid markytan och i riktning nedåt; detta för att inte röra om vattnet mer än nödvändigt. Därefter sänktes sonden för acoustic televiewer ner till botten av hålet och mätning utfördes i riktning uppåt. Genom att mäta i uppåtriktning hålls mätkabeln sträckt vilket gör att sonden kan köras med jämn hastighet och det ger bättre datakvalitet.

Temperaturen mättes med punktavstånd 0,02 m. Sondens mätnoggrannhet är 0,004 ˚C. Acoustic televiewer mättes med 0,002 m punktavstånd och runt borrhåslväggen (0 - 360˚) med en täthet av en mätning varje 2,5˚. Loggningshastigheten var ca 1 – 2 m/min.

Alla mätdata som presenteras är refererade till markytan som nollnivå.

3 Databearbetning och kalibrering

3.1 Acoustic televiewer

Data från acoustic televiewer består av två delar, dels tiden det tar för den akustiska vågen att gå från sändaren, genom instrumentet, genom borrhålsvätskan, reflekteras i borrhålsväggen och gå tillbaka till mottagaren och dessutom amplituden på den reflekterade vågen. I varje borrhålsposition utför instrumentet 144 mätningar med 2,5˚ intervall.

Alla data har bearbetats genom att först interpolera missade traces (missade mätpunkter), därefter 3-punkters medelvärdesfiltrering och sedan en centreringsberäkning. Reflektionstiderna har därefter räknats om till sträcka (borrhålsradie) genom att kompensera för sondens diameter och ljudvågens hastighet i vatten (antaget 1480 m/s). En medeldiameter (benämns caliper mean) har också beräknats.

3.2 Temperatur

Temperaturdata uppvisar mycket små och långvågiga variationer. För att kunna identifiera små avvikelser kopplade till inflöde av vatten i sprickor har data därför medelvärdesfiltretas med ett 99 punkters (1,98 m) löpande medelvärdesfilter. Uppmätt temperatur har därefter subtraherats med den filtrerade loggen och differensen (residualen) kan användas för att identifiera då små högfrekventa variationer.

3.3 Längdjustering

Ingen typ av längdjustering, t.ex. mot en borrkärna eller annan information har gjorts, eftersom inga jämförande data har funnits tillgängliga. Med tanke på att borrhålen är korta så är längdfel pga. kabeltöjning obetydliga.

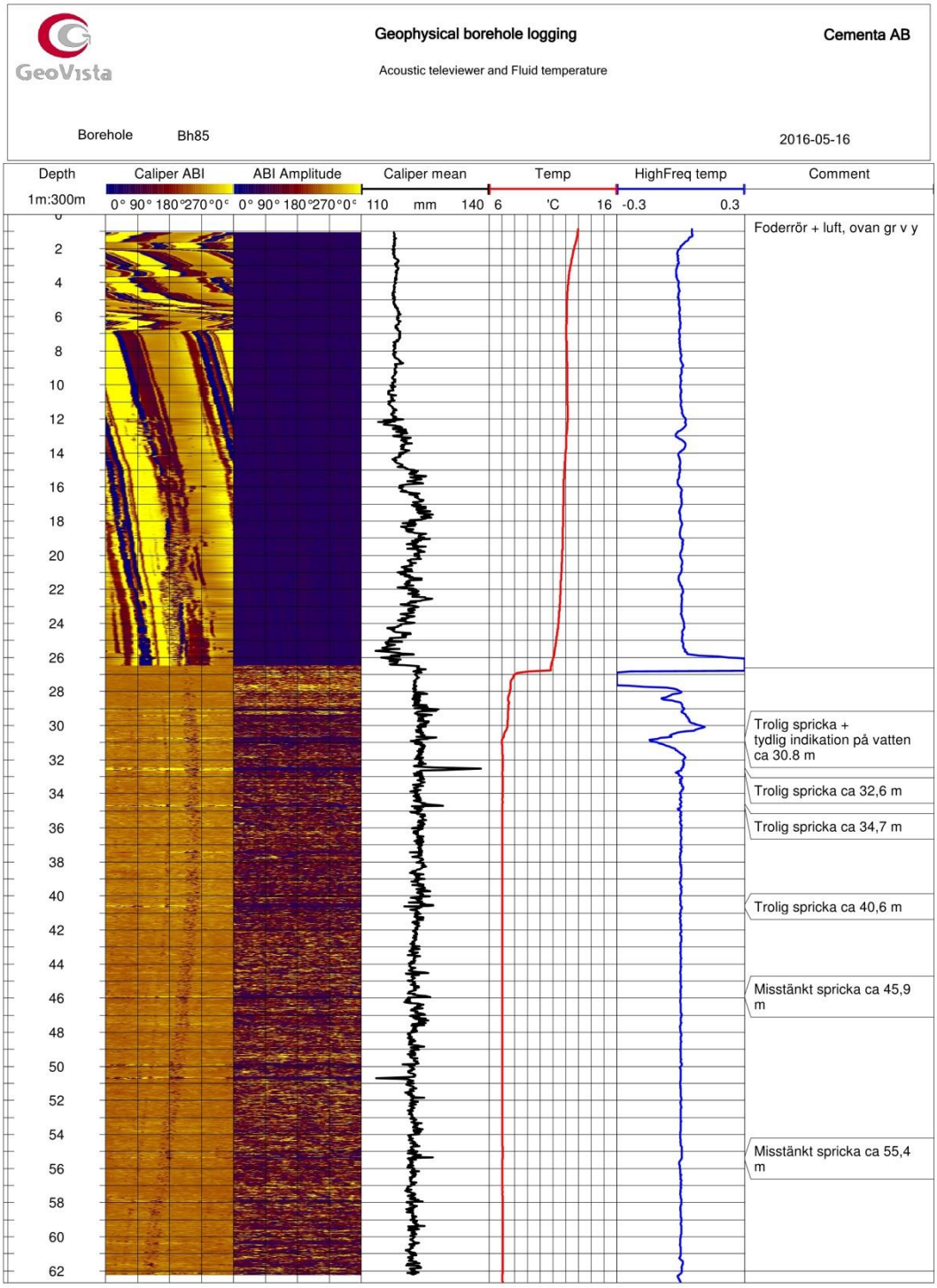
4 Presentationer

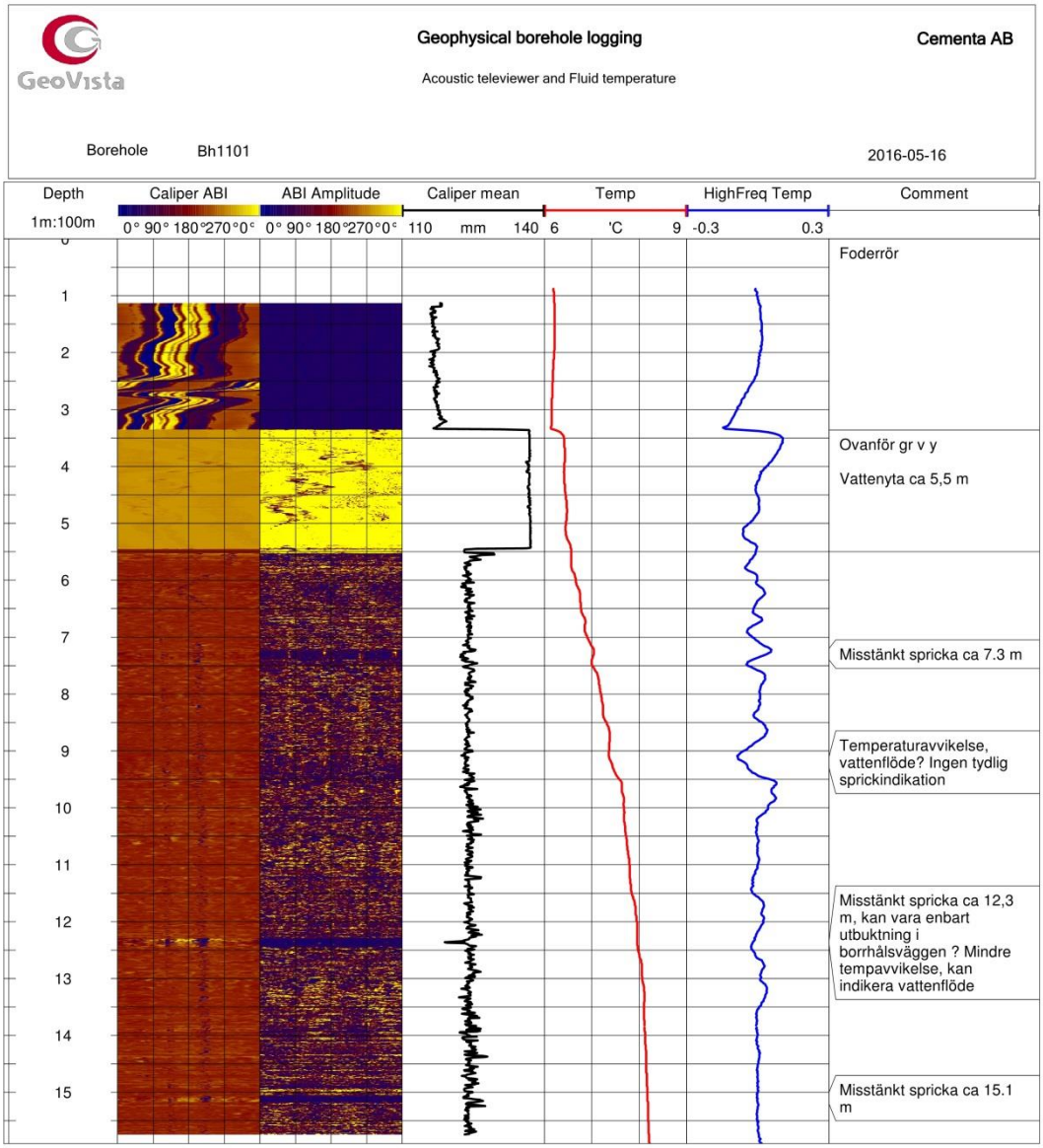
4.1 Resultat av acoustic televiewer och temperaturloggning

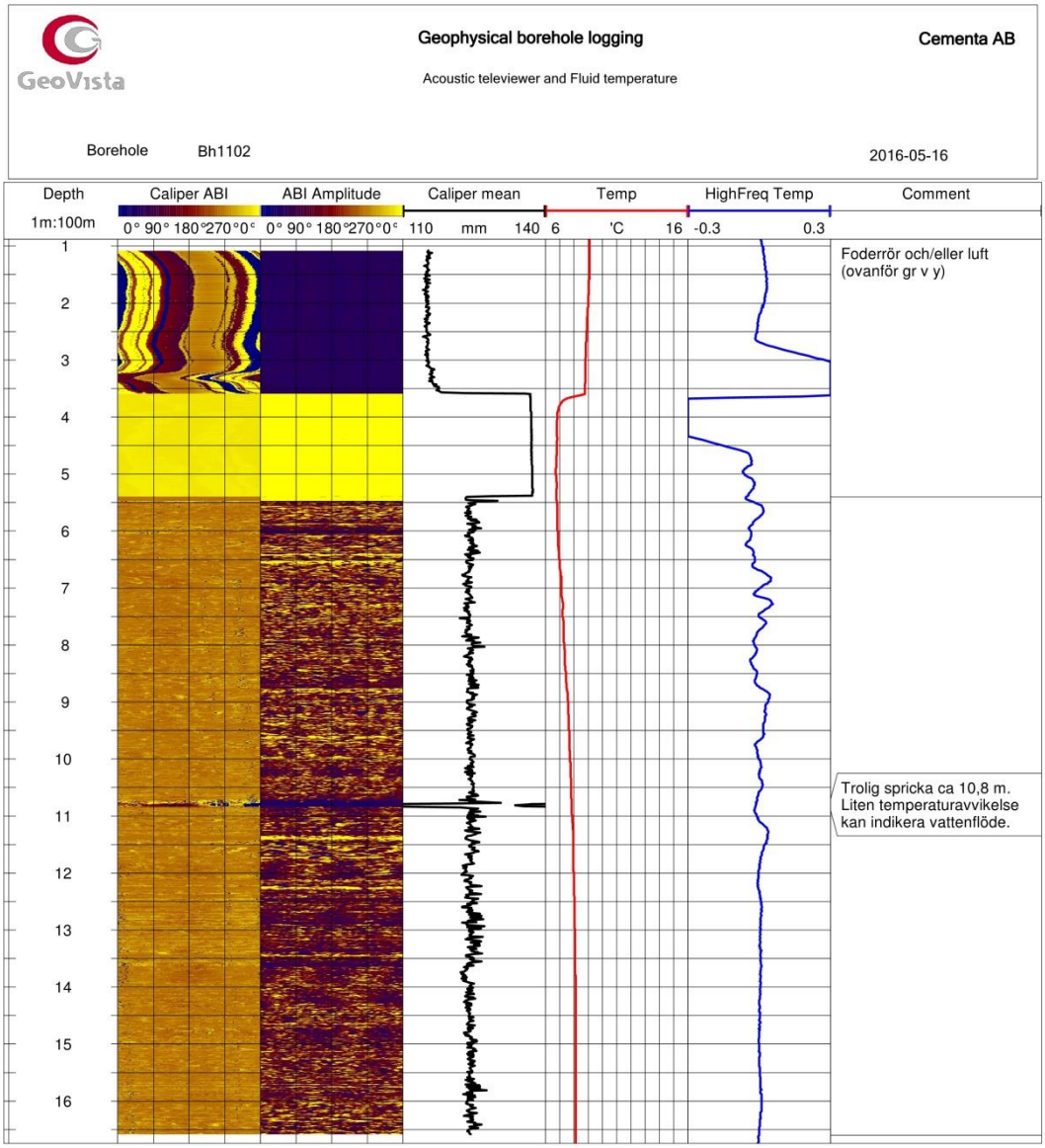
Presentationer för de åtta borrhålen visas nedan. Notera att loggarna är påverkade av foderrör och luft i de översta delarna av hålen. Användbara data erhålls bara i den vattenfyllda delen av hålen.

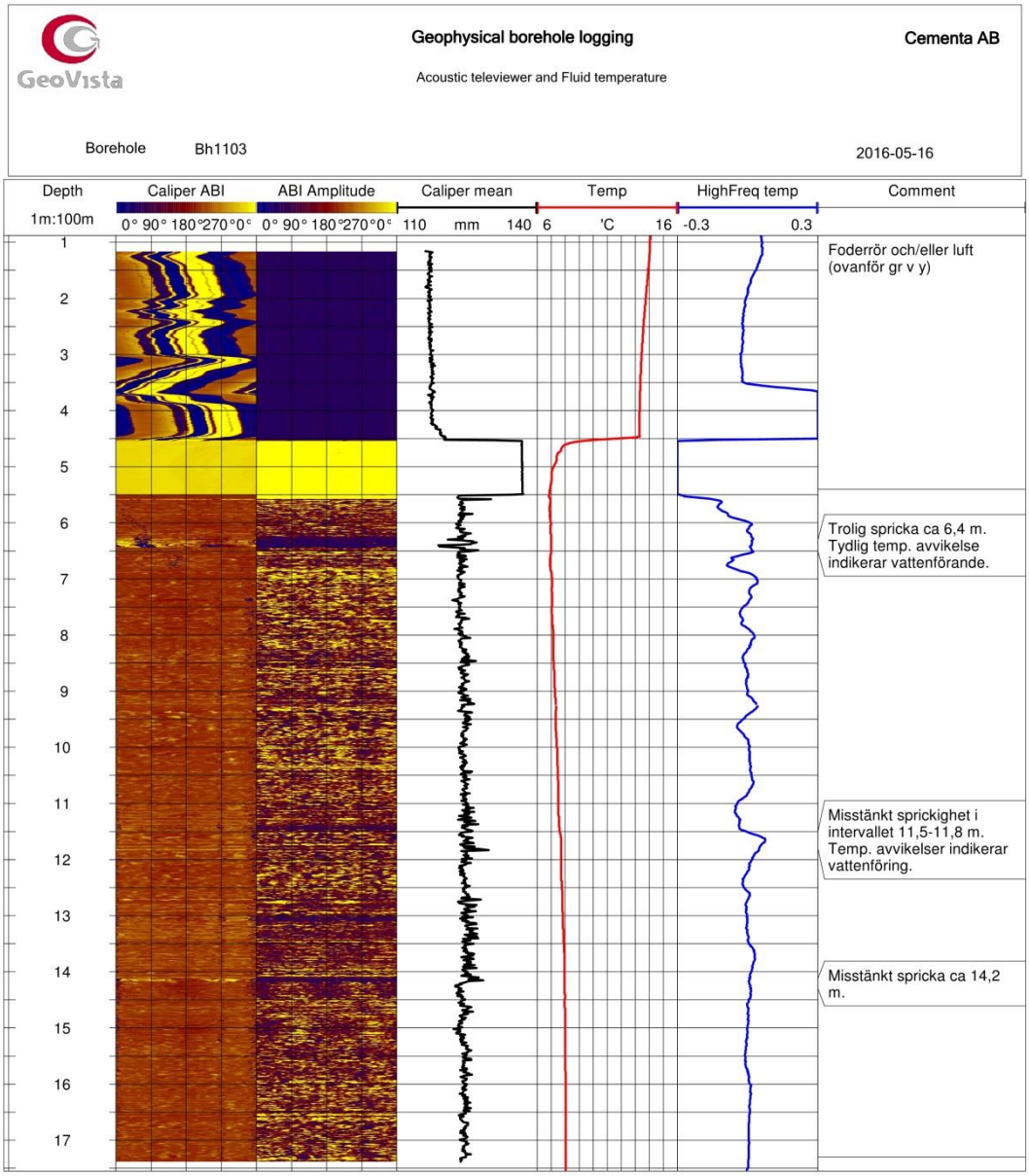
För varje borrhål visas, från vänster till höger:

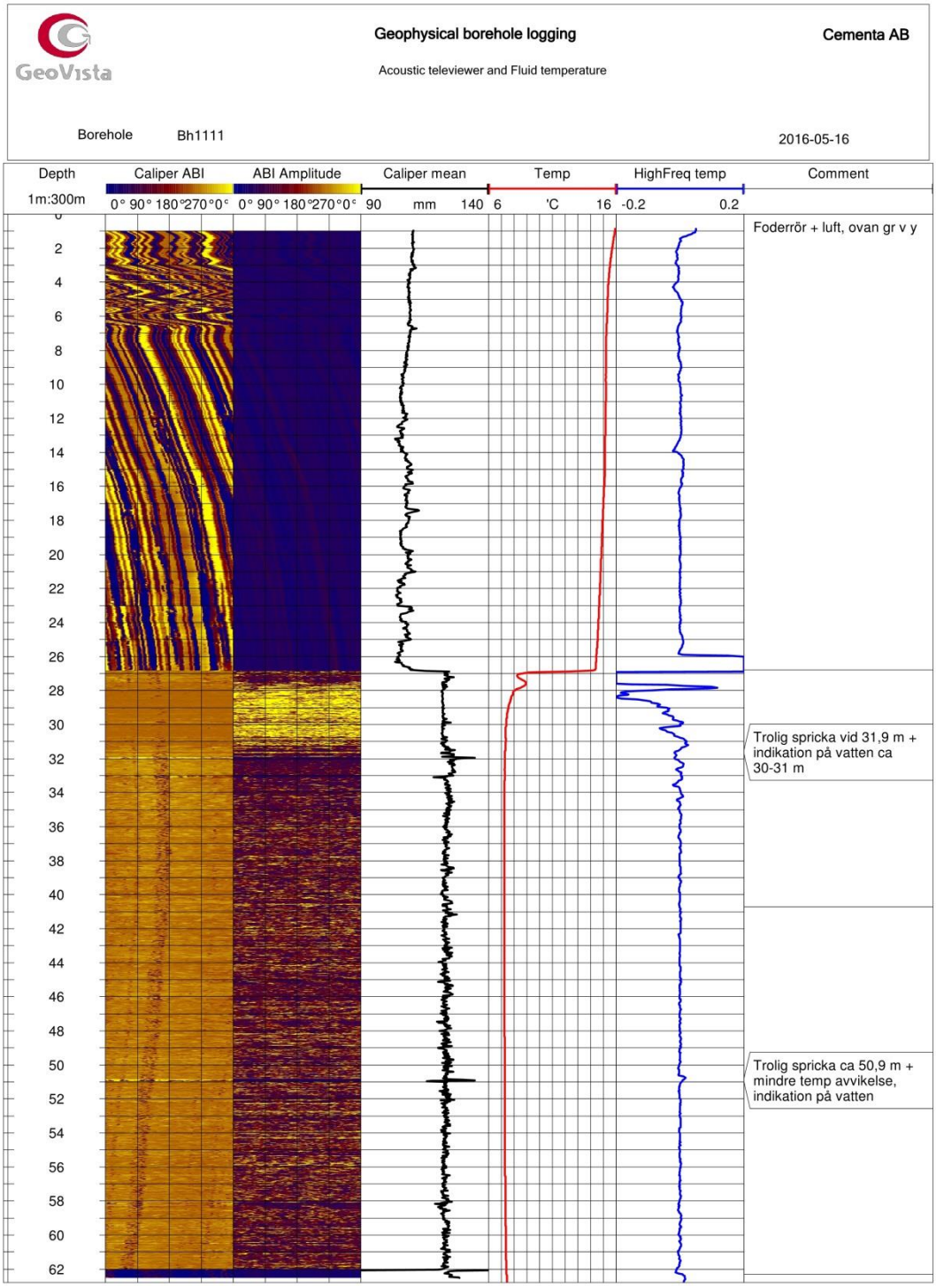
- Depth: djupskala i meter (nollnivå relaterad till markytan)
- Caliper ABI: akustisk ”bild” över borrhålets radie
- ABI Amplitude: bild över variationer av den reflekterade vågens amplitud
- Caliper mean: borrhålets medeldiameter
- Temp: temperaturen i borrhålsvattnet
- HighFreq temp: residual temperatur efter subtraktion av medelvärdesfiltrerad temperatur från uppmätt temperatur
- Comment: kommentarer, enkel tolkning av data m.a.p. förekomst av sprickor och vattenföring

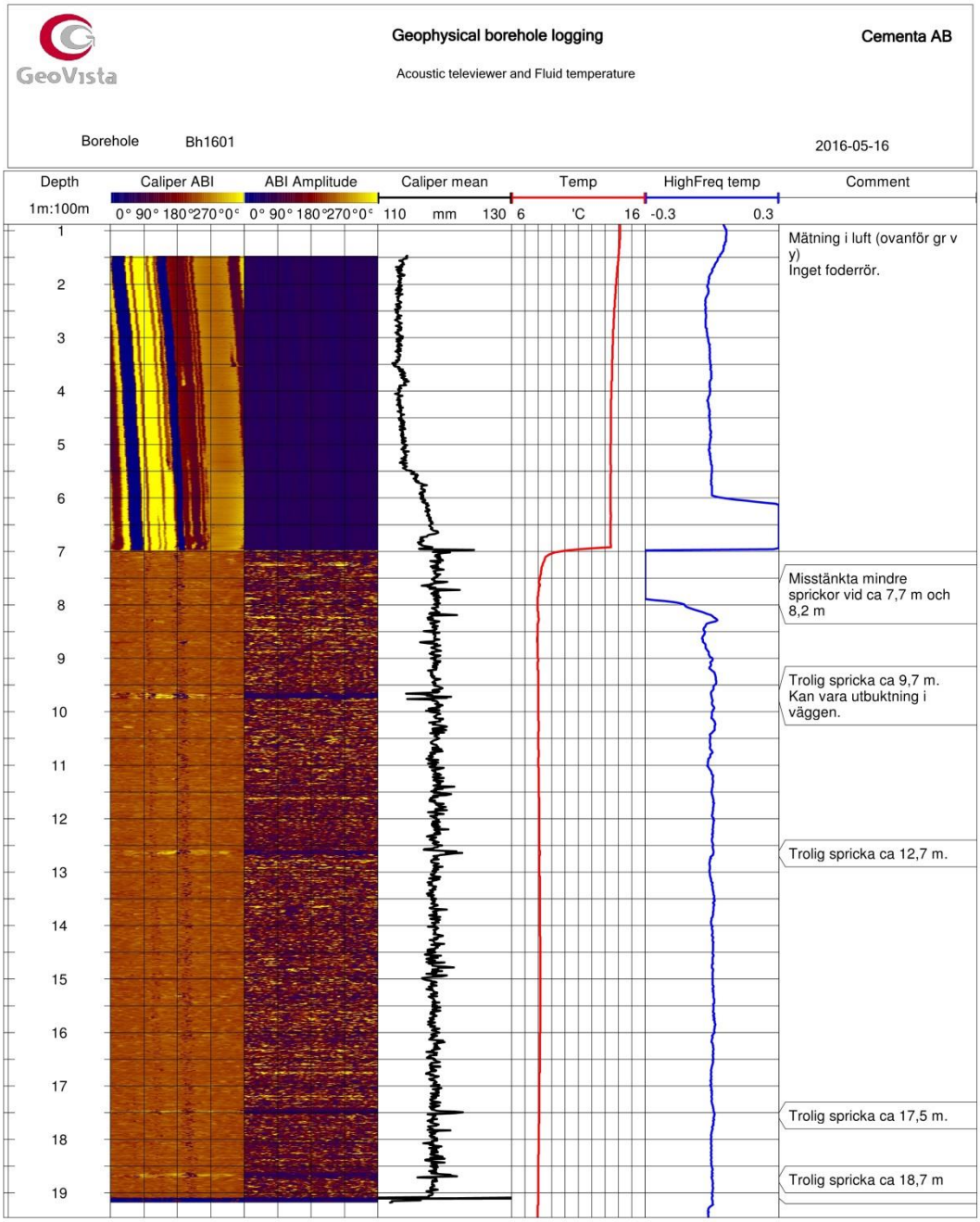

GeoVista
Geophysical borehole logging
Cementa AB
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Borehole Bh85
2016-05-16
Depth
1m:300m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
110 mm 140
Temp
6 °C 16
HighFreq temp
-0.3 0.3
Comment
Foderrör + luft, ovan gr v y
Trolig spricka + tydlig indikation på vatten ca 30.8 m
Trolig spricka ca 32,6 m
Trolig spricka ca 34,7 m
Trolig spricka ca 40,6 m
Misstänkt spricka ca 45,9 m
Misstänkt spricka ca 55,4 m

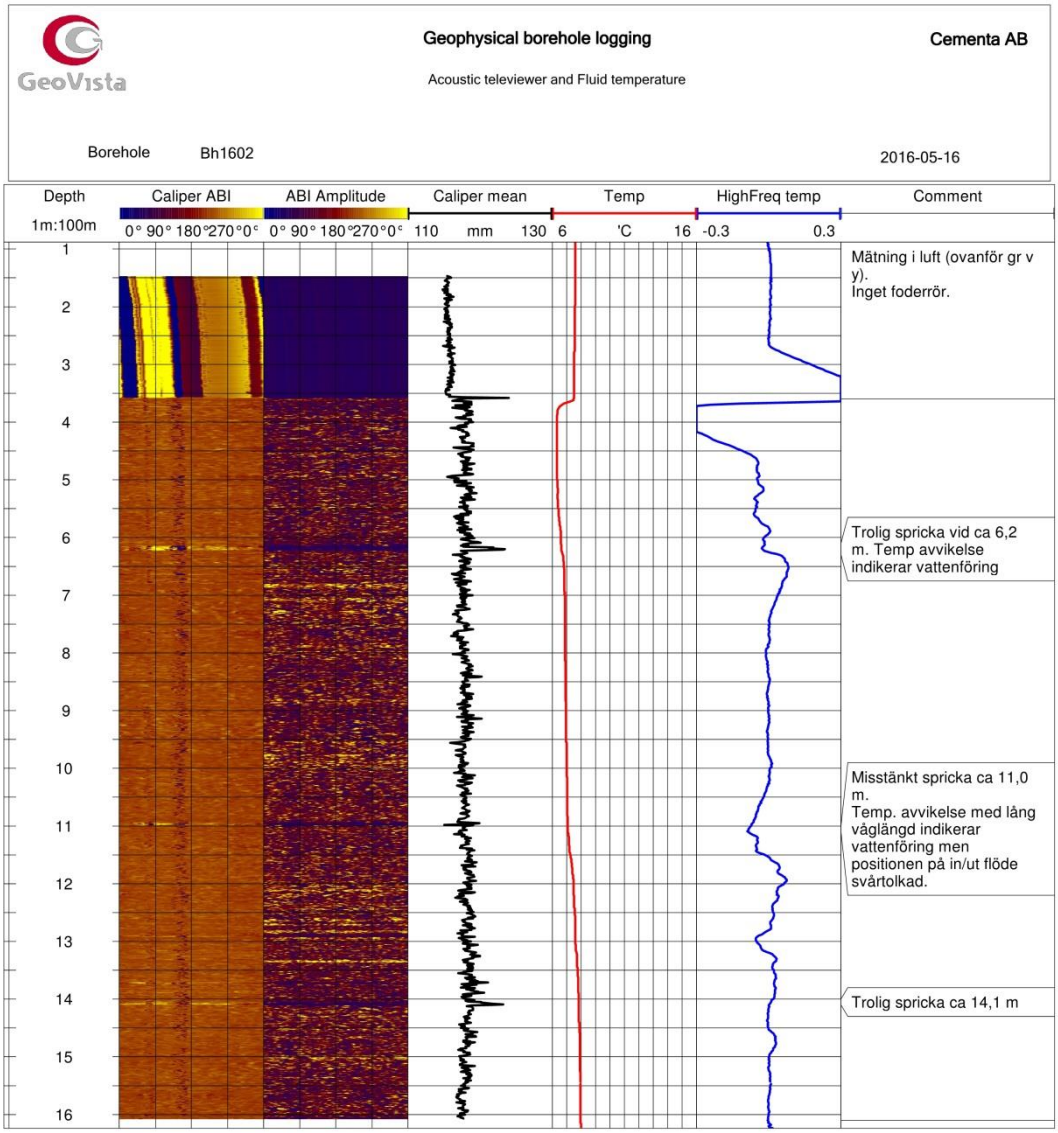

GeoVista
Geophysical borehole logging
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Cementa AB
Borehole Bh1101
2016-05-16
Depth
1m:100m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
110 mm 140
Temp
6 °C 9
HighFreq Temp
-0.3 0.3
Comment
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Foderrör
Ovanför gr v y
Vattenyta ca 5,5 m
Misstänkt spricka ca 7.3 m
Temperaturavvikelse, vattenflöde? Ingen tydlig sprickindikation
Misstänkt spricka ca 12,3 m, kan vara enbart utbuktning i borrhålsväggen ? Mindre tempavvikelse, kan indikera vattenflöde
Misstänkt spricka ca 15.1 m

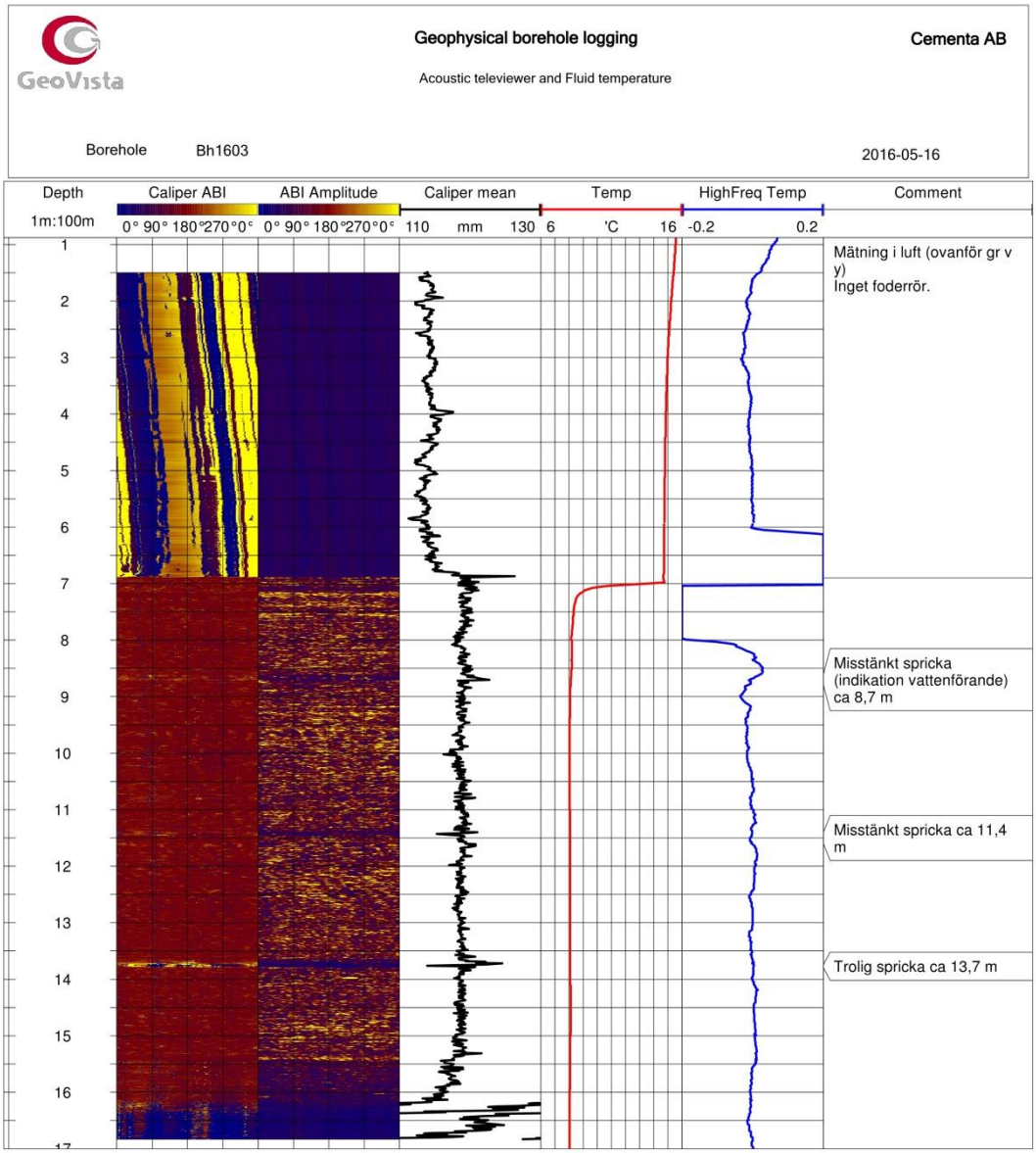

GeoVista
Geophysical borehole logging
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Cementa AB
Borehole Bh1102
2016-05-16
Depth
1m:100m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
110 mm 140
Temp
6 °C 16
HighFreq Temp
-0.3 0.3
Comment
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
Foderrör och/eller luft
(ovanför gr v y)
Trolig spricka ca 10,8 m.
Liten temperaturavvikelse
kan indikera vattenflöde.


GeoVista
Geophysical borehole logging
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Cementa AB
Borehole Bh1103
2016-05-16
Depth
1m:100m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
110 mm 140
Temp
6 °C 16
HighFreq temp
-0.3 0.3
Comment
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
Foderrör och/eller luft (ovanför gr v y)
Trolig spricka ca 6,4 m. Tydlig temp. avvikelse indikerar vattenförande.
Misstänkt sprickighet i intervallet 11,5-11,8 m. Temp. avvikelser indikerar vattenföring.
Misstänkt spricka ca 14,2 m.


GeoVista
Geophysical borehole logging
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Cementa AB
Borehole Bh1111
2016-05-16
Depth
1m:300m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
90 mm 140
Temp
6 °C 16
HighFreq temp
-0.2 0.2
Comment
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
50
52
54
56
58
60
62
Foderrör + luft, ovan gr v y
Trolig spricka vid 31,9 m + indikation på vatten ca 30-31 m
Trolig spricka ca 50,9 m + mindre temp avvikelse, indikation på vatten


GeoVista
Geophysical borehole logging
Cementa AB
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Borehole Bh1601
2016-05-16
Depth
1m:100m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
110 mm 130
Temp
6 °C 16
HighFreq temp
-0.3 0.3
Comment
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
Mätning i luft (ovanför gr v y)
Inget foderrör.
Misstänkta mindre sprickor vid ca 7,7 m och 8,2 m
Trolig spricka ca 9,7 m. Kan vara utbuktning i väggen.
Trolig spricka ca 12,7 m.
Trolig spricka ca 17,5 m.
Trolig spricka ca 18,7 m


GeoVista
Geophysical borehole logging
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Cementa AB
Borehole Bh1602
2016-05-16
Depth
1m:100m
Caliper ABI
0° 90° 180° 270° 0°
ABI Amplitude
0° 90° 180° 270° 0°
Caliper mean
110 mm 130
Temp
6 °C 16
HighFreq temp
-0.3 0.3
Comment
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
Mätning i luft (ovanför gr v y).
Inget foderrör.
Trolig spricka vid ca 6,2 m. Temp avvikelse indikerar vattenföring
Misstänkt spricka ca 11,0 m.
Temp. avvikelse med lång våglängd indikerar vattenföring men positionen på in/ut flöde svårtolkad.
Trolig spricka ca 14,1 m


GeoVista
Geophysical borehole logging
Cementa AB
Acoustic televiewer and Fluid temperature
Borehole Bh1603
2016-05-16
Depth
1m:100m
Caliper ABI
ABI Amplitude
Caliper mean
Temp
HighFreq Temp
Comment
0° 90° 180° 270° 0°
0° 90° 180° 270° 0°
110 mm 130
6 °C 16
-0.2 0.2
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
Mätning i luft (ovanför gr v y)
Inget foderrör.
Misstänkt spricka (indikation vattenförande) ca 8,7 m
Misstänkt spricka ca 11,4 m
Trolig spricka ca 13,7 m

Kund
Golder Associates
Projekt
Geofysisk loggning Slite
Författare
Håkan Mattsson

Datum
2017-02-06
GeoVista Nr
GVR17003
Kund Nr

Borrhålsloggning med Acoustic televiewer, temperatur och elektrisk konduktivitet vid Cementa ABs täkt på File hajdar, Gotland

GeoVista AB
P.O. BOX 276
SE-971 08 LULEÅ
+46(0)920 603 60
info@geovista.se
www.geovista.se

Sammanfattning

På uppdrag av Golder Associates AB har geofysisk loggning i borrhål genomförts med metoderna acoustic televiewer (ABI), temperatur och elektrisk konduktivitet. Mätningarna utfördes 26-27 januari 2017 vid Cementa ABs täkt på File hajdar, Gotland.

Syftet med de valda metoderna var att från ABI-data identifiera misstänkta sprickor i borrhålsväggen och med temperatur- samt konduktivitetsmätningar undersöka om de indikerade sprickorna är vattenförande. Resultaten ska användas som stöd för hydrologiska undersökningar som utförs av Golder Associates.

Loggningen utfördes i borrhålen BH1604, BH701 och BH1702. Samtliga borrhål kunde mätas till fullt djup och datakvaliteten är i regel god.

Resultaten av mätningarna presenteras sist i rapporten på sidorna 8 – 13 tillsammans med en kortfattad tolkning/kommentar.

Innehållsförteckning

1 Inledning och bakgrund 4
1.1 Osäkerheter 4

2 Geofysisk loggning 5
2.1 Loggningsutrustning 5
2.2 Utförande 5

3 Databearbetning och kalibrering 6
3.1 Acoustic televiewer 6
3.2 Temperatur 6
3.3 Längdjustering 6

4 Presentationer 7
4.1 Resultat av acoustic televiewer och temperaturloggning 7

1 Inledning och bakgrund

Cementa AB bedriver cementtillverkning vid sin fabrik i Slite på Gotland. Råvaran kalksten bryts i två täkter nära cementfabriken (Figur 1). Golder Associates AB utför hydrogeologiska undersökningar i och omkring dagbrottet. Som en del i det arbetet vill man ta reda på eventuell förekomst av sprickor i berget och om dessa sprickor är vattenförande. Golder har provat optisk skanning men metoden fungerar inte eftersom vattnet är grumligt. GeoVista AB utförde därför i maj 2016, på uppdrag av Golder Associates AB, geofysiska mätningar i borrhål (s.k. borrhålsloggning) med metoderna acoustic televiewer och temperatur. Nya mätningar i tre tillkommande borrhål (BH1604, 1701 och 1702) utfördes med samma utrustning i januari 2017. Det är dessa nya mätningar som presenteras i föreliggande rapport.

Syftet med mätningarna var att med acoustic televiewer få en akustisk ”bild” av borrhålsväggen och samtidigt mäta borrhålets medeldiameter för att därigenom kunna lokalisera misstänkta sprickor. Genom att noggrant mäta temperaturen och konduktiviteten på vattnet i borrhålet är det möjligt att få en indikation på om en misstänkt spricka är vattenförande.

Figur 1. *Undersökningsområdet File hajdar, redigerad från © Eniro.*

1.1 Osäkerheter

I denna rapport presenteras bearbetade mätdata där korrektioner, kalibreringssamband och empiriska relationer har applicerats på ursprungliga mätdata. GeoVista tar inte ansvar för beslut som fattas utifrån de resultat som levererats och som presenteras i denna rapport. Det åligger därmed kunden att noga kontrollera och godkänna data och resultat som levererats och snarast meddela eventuella anmärkningar och synpunkter.

2 Geofysisk loggning

2.1 Loggningsutrustning

Mätningarna har utförts med utrustning från ALT/Mount Sopris. Data har samlats in med ett BBOX datainsamlingssystem. En motordriven vinsch av typ ”mini-winch 4200-230” med skärmad enkelledarkabel (200 m lång) har använts för att sänka ned sonderna i mäthålen.

Följande sonder har använts:

- QL40-ABI, Acoustic Televiewer
- QL40-FTC, Temperature and Fluid Conductivity

Sonden för Acoustic televiewer centrerades i borrhålen med centreringsfjädrar. De loggade hålen har testats med en dummysond före mätning.

2.2 Utförande

De borrhåls som loggades var BH1604, BH1701 och BH1702. Borrhålens nominella diameter är 115 mm.

Loggningsutrustningen transporterades till hålen med bil. Innan mätningarna utfördes testades hålens tillgänglighet med en s.k. dummy-sond. Alla hålen var tillgängliga för mätning. Mätning av temperatur och konduktivitet utfördes därefter med start vid markytan och i riktning nedåt; detta för att inte röra om vattnet mer än nödvändigt. Därefter sänktes sonden för acoustic televiewer ner till botten av hålet och mätning utfördes i riktning uppåt. Genom att mäta i uppåtriktning hålls mätkabeln sträckt vilket gör att sonden kan köras med jämn hastighet och det ger bättre datakvalitet.

Temperaturen och konduktiviteten mättes med punktavstånd 0,02 m. Sondens mätnoggrannhet är 0,004 ˚C. Acoustic televiewer mättes med 0,002 m punktavstånd och runt borrhåslväggen (0 - 360˚) med en täthet av en mätning varje 2,5˚. Loggningshastigheten var ca 1 – 2 m/min.

Alla mätdata som presenteras är refererade till markytan som nollnivå.

3 Databearbetning och kalibrering

3.1 Acoustic televiewer

Data från acoustic televiewer består av två delar, dels tiden det tar för den akustiska vågen att gå från sändaren, genom instrumentet, genom borrhålsvätskan, reflekteras i borrhålsväggen och gå tillbaka till mottagaren och dessutom amplituden på den reflekterade vågen. I varje borrhålsposition utför instrumentet 144 mätningar med 2,5˚ intervall.

Alla data har bearbetats genom att först interpolera missade traces (missade mätpunkter), därefter 3-punkters medelvärdesfiltrering och sedan en centreringsberäkning. Reflektionstiderna har därefter räknats om till sträcka (borrhålsradie) genom att kompensera för sondens diameter och ljudvågens hastighet i vatten (antaget 1480 m/s). En medeldiameter (benämns caliper mean) har också beräknats.

3.2 Temperatur

Temperaturdata uppvisar mycket små och långvågiga variationer. För att kunna identifiera små avvikelser kopplade till inflöde av vatten i sprickor har data därför medelvärdesfiltretas med ett 99 punkters (1,98 m) löpande medelvärdesfilter. Uppmätt temperatur har därefter subtraherats med den filtrerade loggen och differensen (residualen) kan användas för att identifiera små högfrekventa variationer.

3.3 Konduktivitet

Borrhålsvätskans elektriska konduktivitet har inte bearbetats.

3.4 Längdjustering

Ingen typ av längdjustering, t.ex. mot en borrkärna eller annan information har gjorts, eftersom inga jämförande data har funnits tillgängliga. Med tanke på att borrhålen är korta så är längdfel pga. kabeltöjning obetydliga.

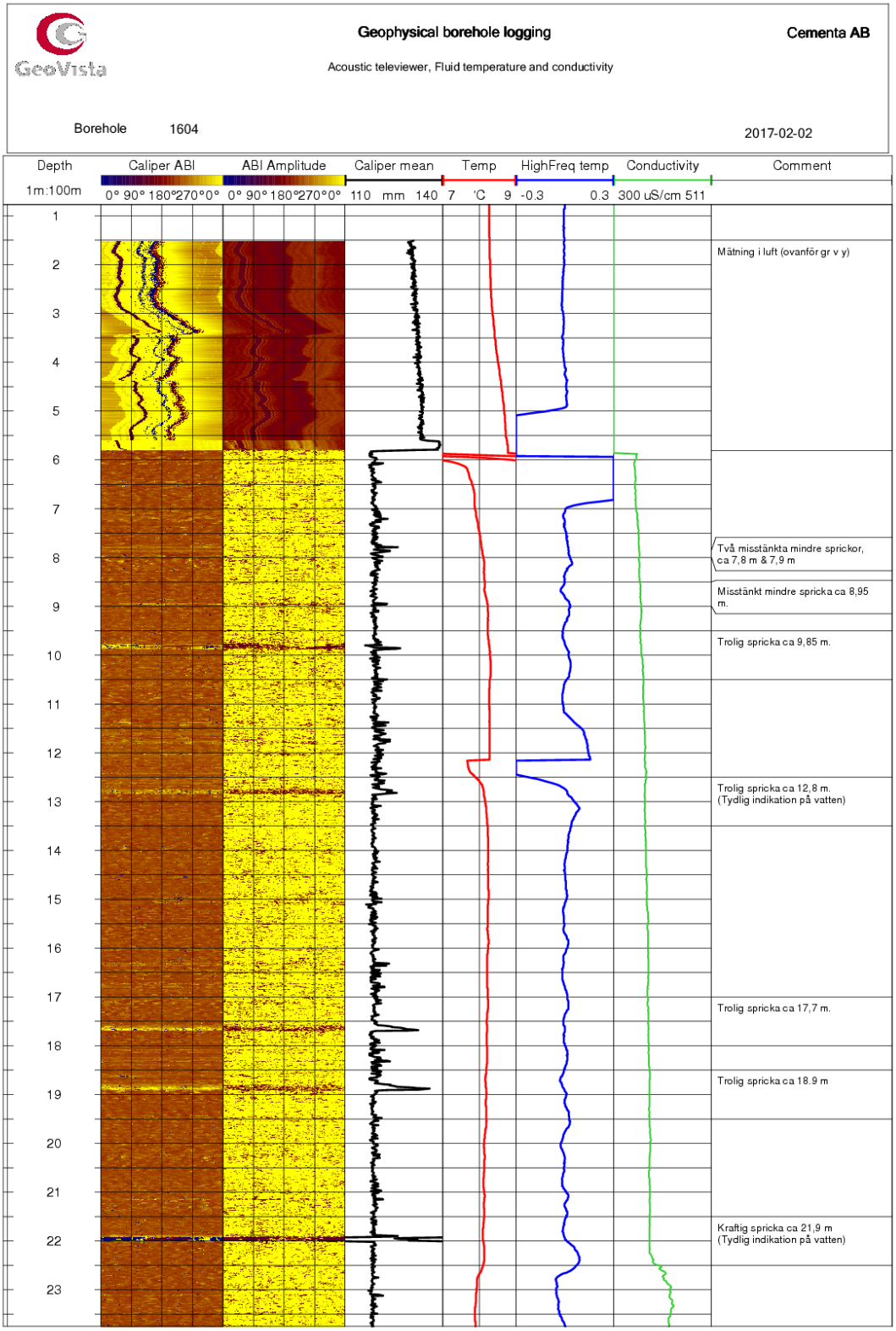
4 Presentationer

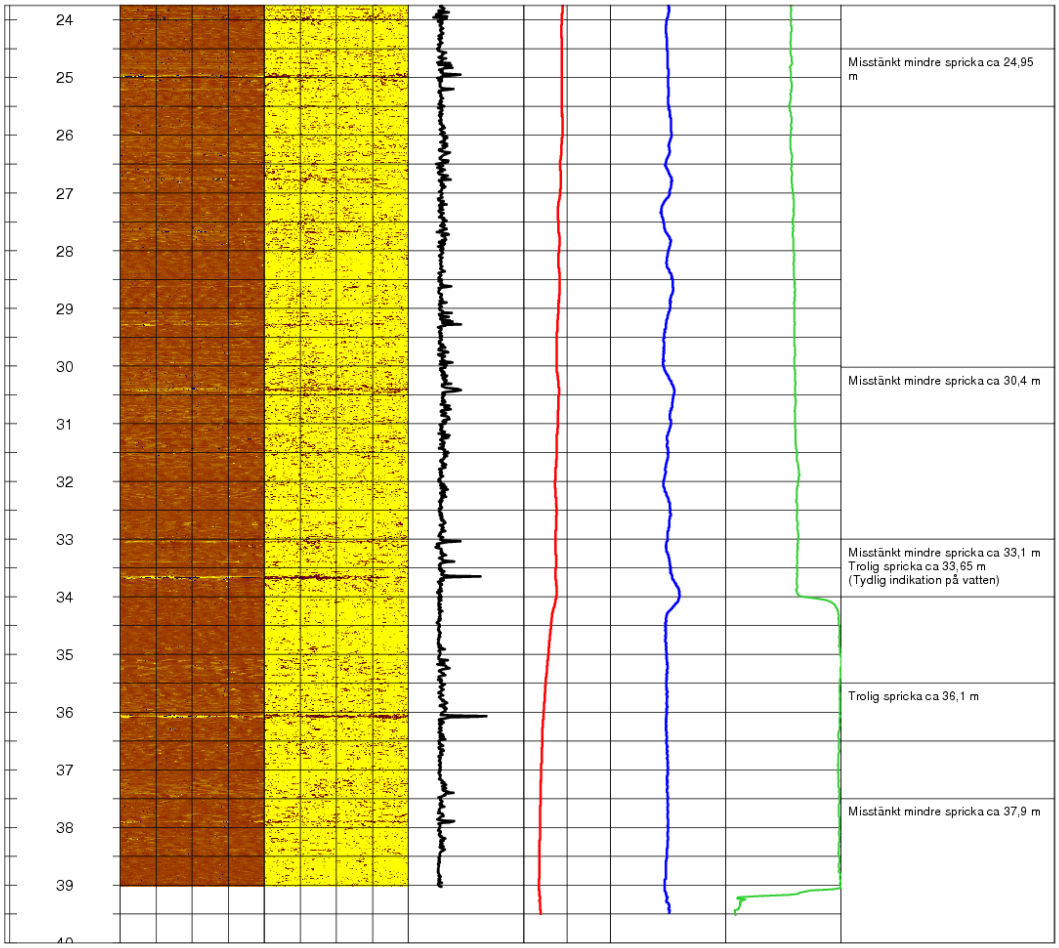
4.1 Resultat av acoustic televiewer och temperaturloggning

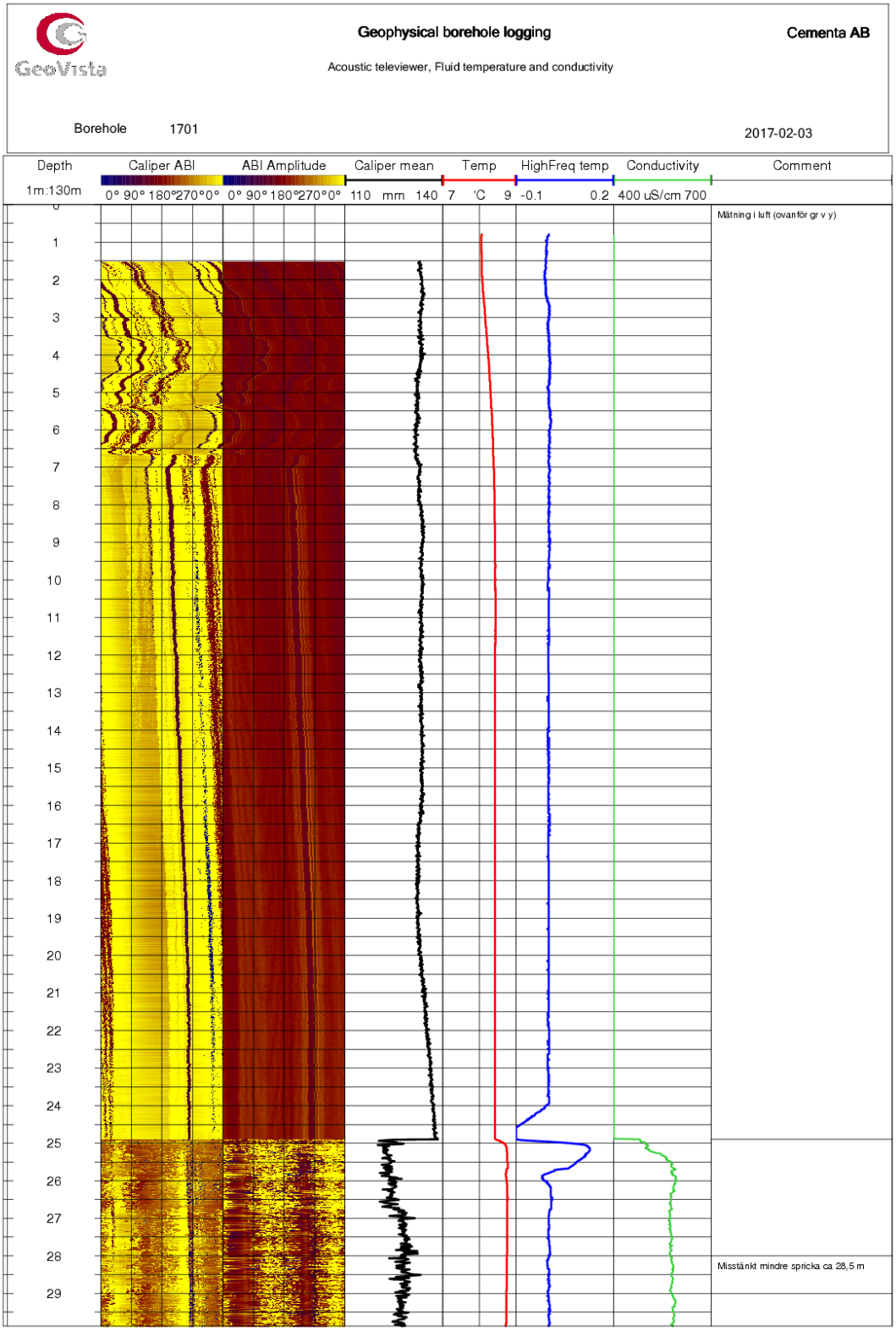
Presentationer för de tre borrhålen visas nedan. Notera att loggarna är påverkade av foderrör och luft i de översta delarna av hålen. Användbara data erhålls bara i den vattenfyllda delen av hålen.

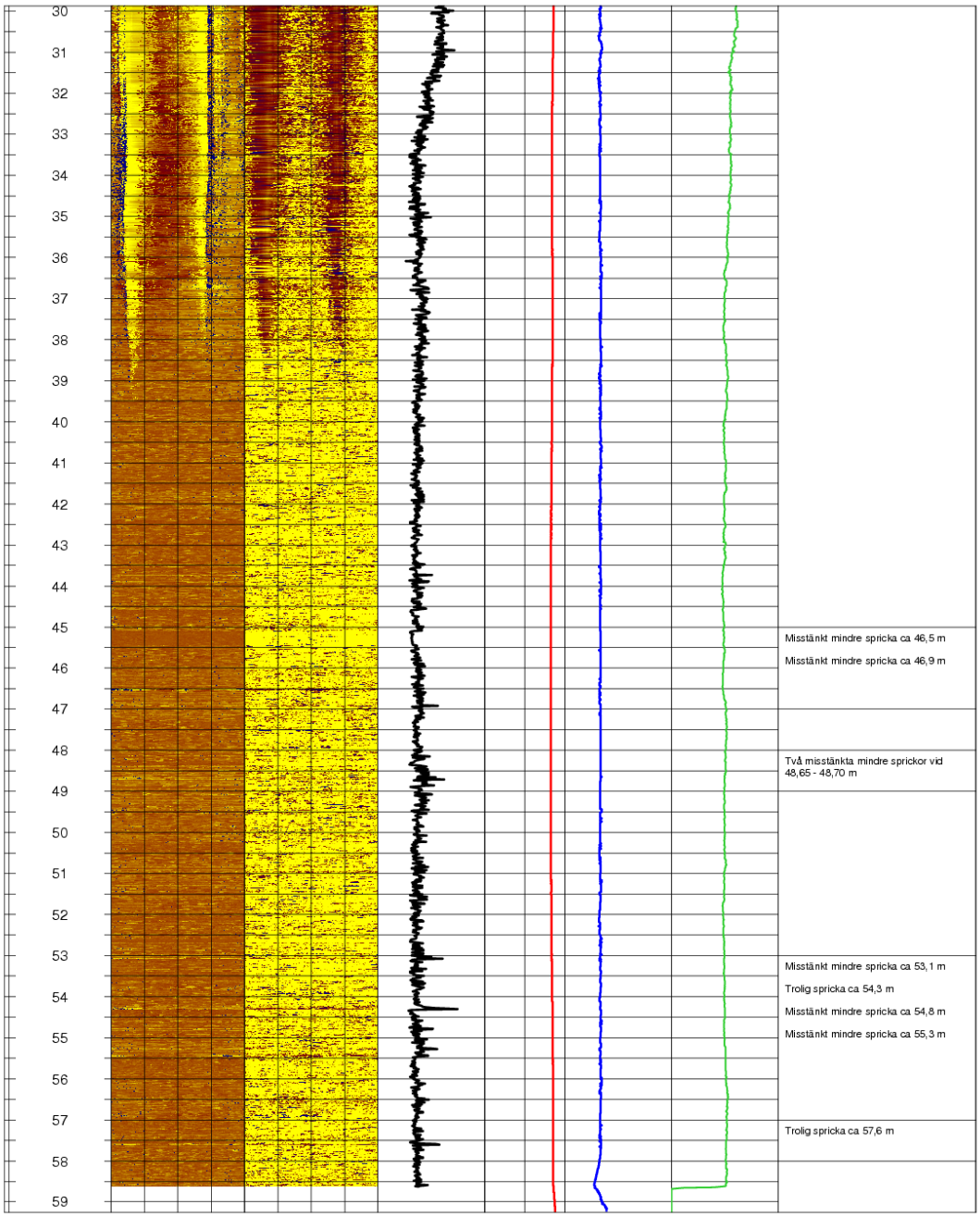
För varje borrhål visas, från vänster till höger:

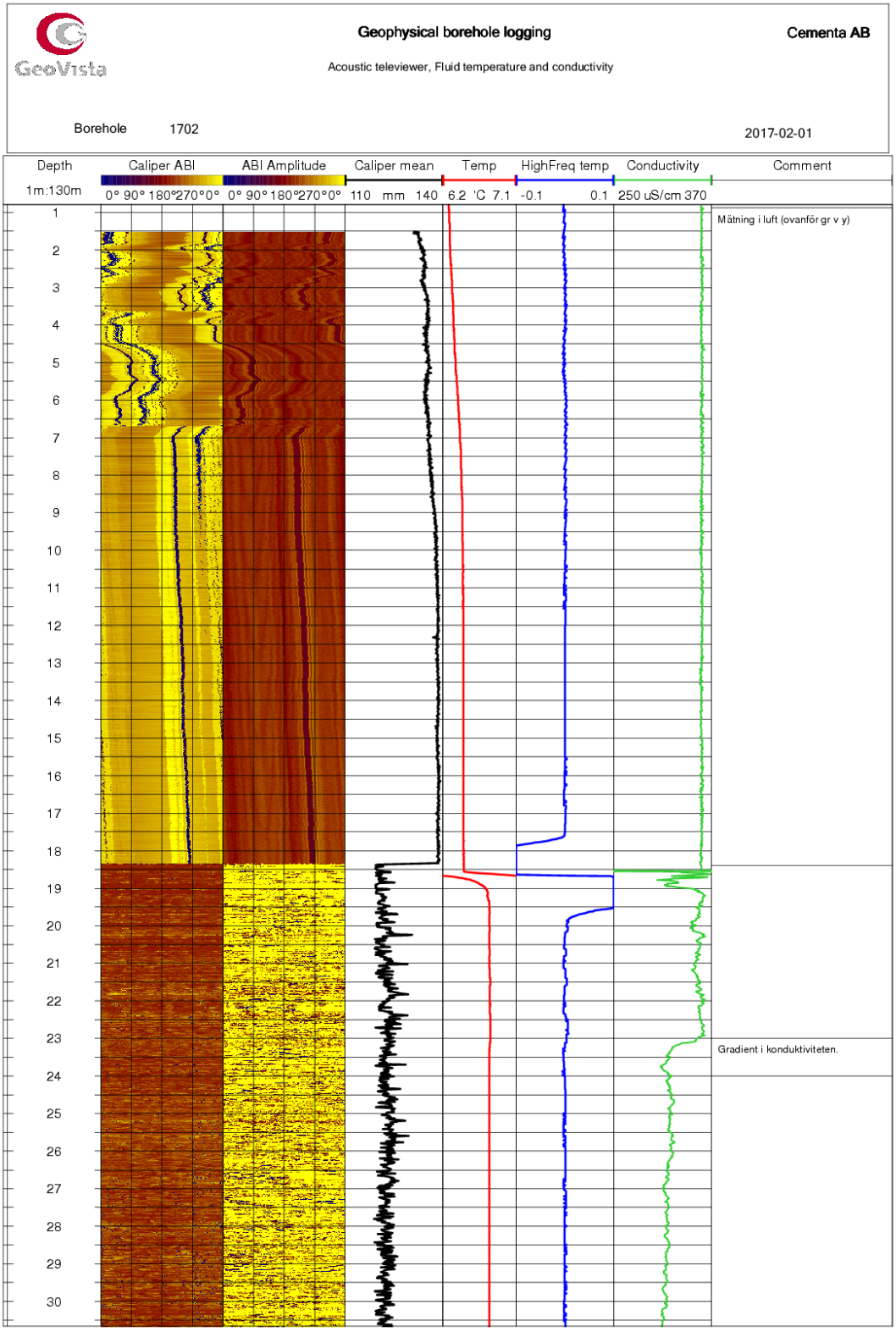
- Depth: djupskala i meter (nollnivå relaterad till markytan)
- Caliper ABI: akustisk ”bild” över borrhålets radie
- ABI Amplitude: bild över variationer av den reflekterade vågens amplitud
- Caliper mean: borrhålets medeldiameter (mm)
- Temp: temperaturen i borrhålsvattnet (˚C)
- HighFreq temp: residual temperatur efter subtraktion av medelvärdesfiltrerad temperatur från uppmätt temperatur (˚C)
- Conducticity: borrhålsvätskans elektriska ledningsförmåga (µS/cm)
- Comment: kommentarer, enkel tolkning av data m.a.p. förekomst av sprickor och vattenföring

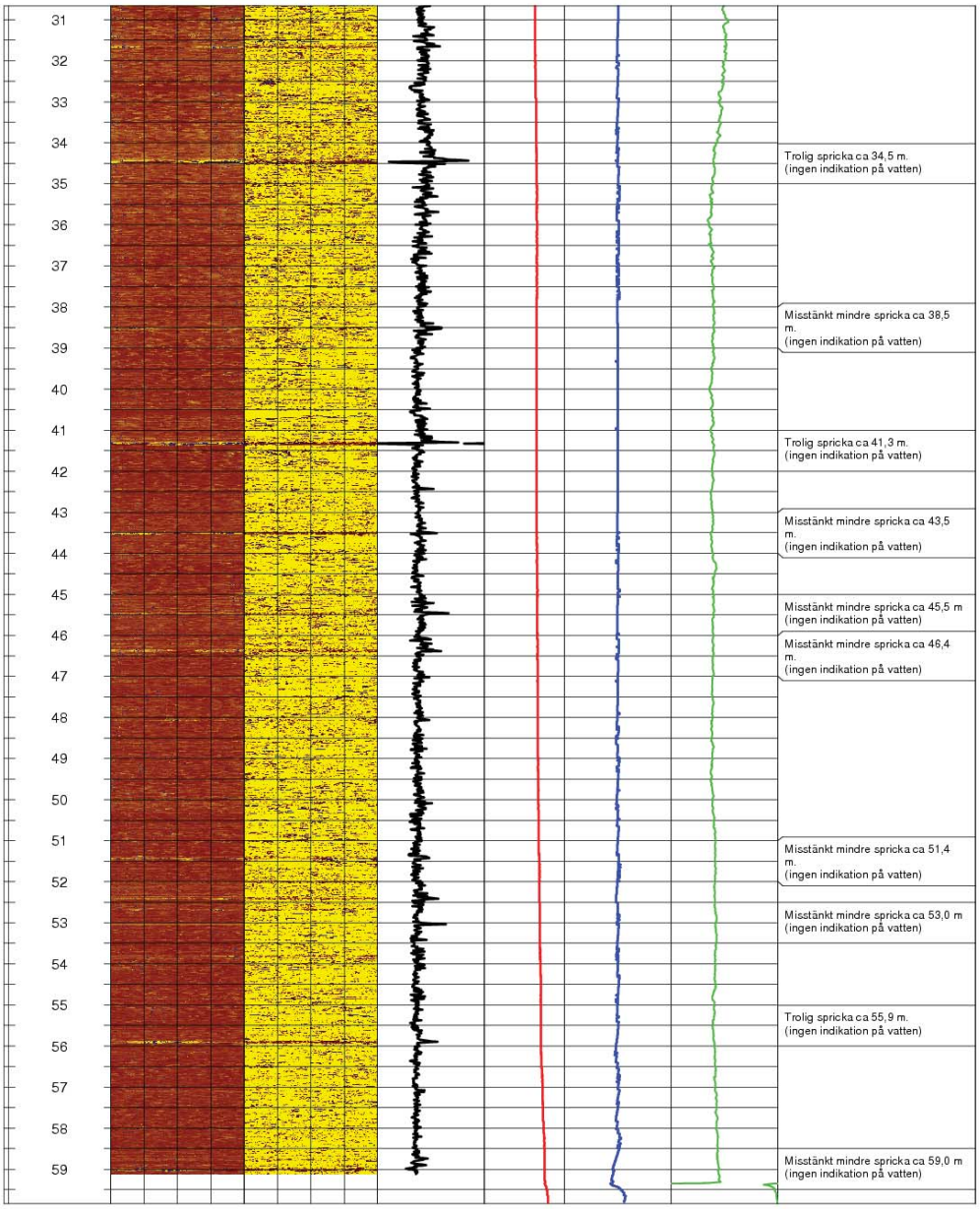

GeoVista
Geophysical borehole logging
Cementa AB
Acoustic televiewer, Fluid temperature and conductivity
Borehole 1604
2017-02-02
Depth
1m:100m
Caliper ABI
ABI Amplitude
Caliper mean
Temp
HighFreq temp
Conductivity
Comment
0° 90° 180° 270° 0°
0° 90° 180° 270° 0°
110 mm 140
7 °C 9
-0.3 0.3
300 uS/cm 511
Mätning i luft (ovanför gr v y)
Två misstänkta mindre sprickor, ca 7,8 m & 7,9 m
Misstänkt mindre spricka ca 8,95 m.
Trolig spricka ca 9,85 m.
Trolig spricka ca 12,8 m. (Tydlig indikation på vatten)
Trolig spricka ca 17,7 m.
Trolig spricka ca 18.9 m
Kraftig spricka ca 21,9 m (Tydlig indikation på vatten)


24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
Misstänkt mindre spricka ca 24,95 m
Misstänkt mindre spricka ca 30,4 m
Misstänkt mindre spricka ca 33,1 m
Trolig spricka ca 33,65 m
(Tydlig indikation på vatten)
Trolig spricka ca 36,1 m
Misstänkt mindre spricka ca 37,9 m


GeoVista
Geophysical borehole logging
Cementa AB
Acoustic televiewer, Fluid temperature and conductivity
Borehole 1701
2017-02-03
Depth
1m:130m
Caliper ABI
ABI Amplitude
Caliper mean
Temp
HighFreq temp
Conductivity
Comment
0° 90° 180° 270° 0°
0° 90° 180° 270° 0°
110 mm 140
7 °C 9
-0.1 0.2
400 uS/cm 700
Mätning i luft (ovanför gr v y)
Misstänkt mindre spricka ca 28,5 m


30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
Misstänkt mindre spricka ca 46,5 m
Misstänkt mindre spricka ca 46,9 m
Två misstänkta mindre sprickor vid 48,65 - 48,70 m
Misstänkt mindre spricka ca 53,1 m
Trolig spricka ca 54,3 m
Misstänkt mindre spricka ca 54,8 m
Misstänkt mindre spricka ca 55,3 m
Trolig spricka ca 57,6 m


Geophysical borehole logging
Cementa AB
Acoustic televiewer, Fluid temperature and conductivity
Borehole 1702
2017-02-01
Depth
1m:130m
Caliper ABI
ABI Amplitude
Caliper mean
Temp
HighFreq temp
Conductivity
Comment
0° 90° 180° 270° 0° 0° 90° 180° 270° 0° 110 mm 140 6.2 °C 7.1 -0.1 0.1 250 uS/cm 370
Mätning i luft (ovanför gr v y)
Gradient i konduktiviteten.


31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
Trolig spricka ca 34,5 m.
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 38,5 m.
(ingen indikation på vatten)
Trolig spricka ca 41,3 m.
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 43,5 m.
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 45,5 m
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 46,4 m.
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 51,4 m.
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 53,0 m
(ingen indikation på vatten)
Trolig spricka ca 55,9 m.
(ingen indikation på vatten)
Misstänkt mindre spricka ca 59,0 m
(ingen indikation på vatten)

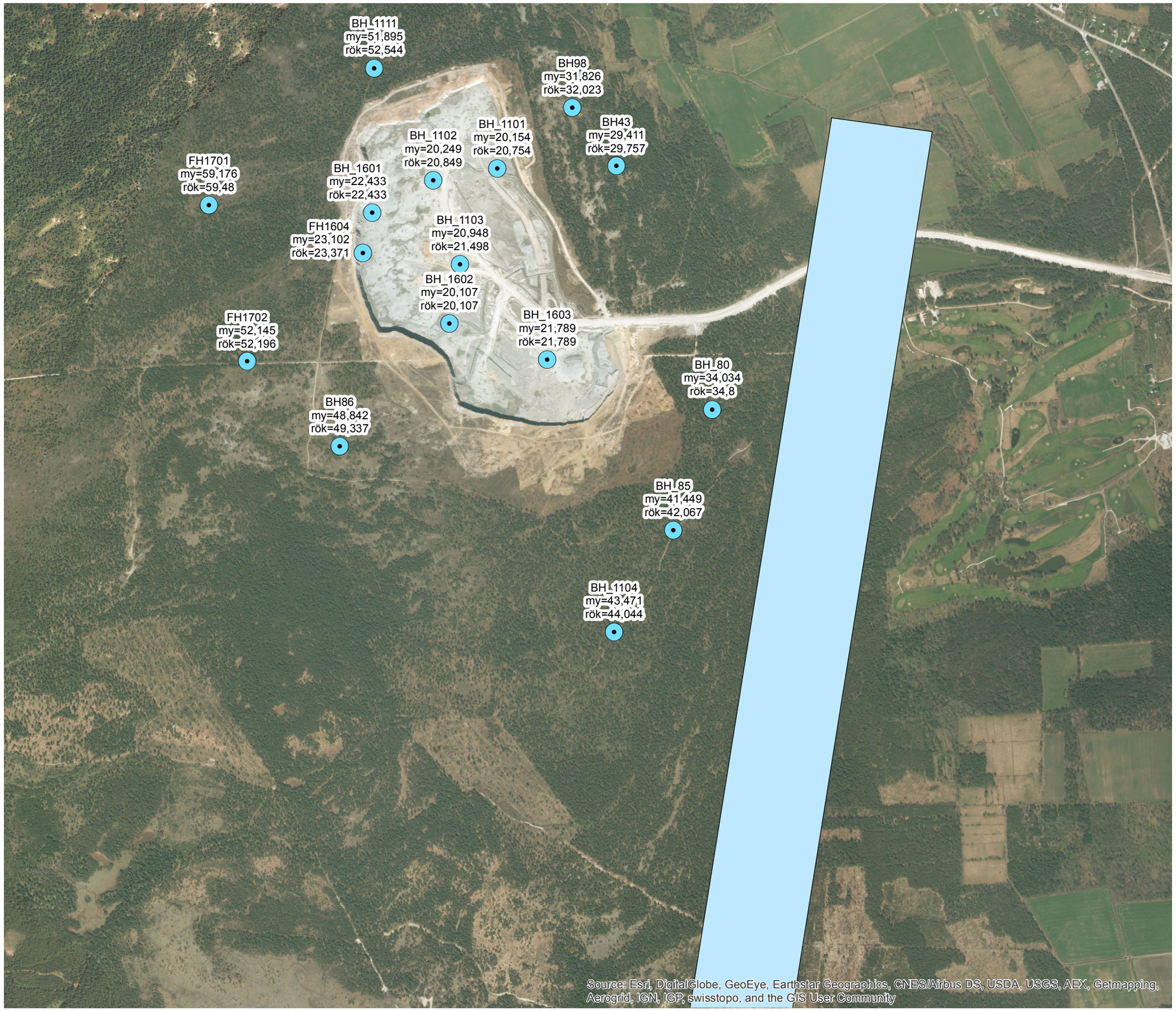
BILAGA E

Karta undersökningspunkter File hajdar

Golder Associates

SLITE
GOTLAND

Projektnr.	1650142	**BILAGA E**
Skala (A3)	1:13000	
Datum	2017-12-18	



Teckenförklaring

- Område för vattentäkt
- Borrhål

0 250 500 m

N

Koordinatsystem: SWEREF 99 TM

Uppdragsledare: J. Eng

Handläggare: J. Eng

Ritad av: F. Holmberg

Underlag:Copyright Lantmäteriverket. Ärende nr M2004/2092".

I:\Projekt\2016\1650142 fältundersökningar Cementa Slite\IMG\GIS\MXD\Koordinatpunkter.mxd

Golder Associates är en global medarbetarägd organisation med över 50 års erfarenhet, som i sin rådgivning verkar för att använda jordens möjligheter utan att påverka dess integritet. Vi tillhandahåller kostnadseffektiva lösningar som hjälper våra kunder att nå sina mål inom hållbar samhällsutveckling genom oberoende rådgivning, design och konstruktionslösningar inom våra specialistområden miljö, jord, berg och vatten.

För mer information, besök golder.com

Afrika	+ 27 11 254 4800
Asien	+ 86 21 6258 5522
Europa	+ 44 1628 851851
Oceanien	+ 61 3 8862 3500
Nordamerika	+ 1 800 275 3281
Sydamerika	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates AB
Lilla Bommen 6
411 04 Göteborg
Sverige
T: 031-700 82 30

Golder Associates

RAPPORT

Spillingsmagasinet

Beskrivning av hydrogeologisk påverkan från förändrad användning

Framställd för:

Cementa AB

Insänd av:

Golder Associates AB

Lilla Bommen 6

411 04, Göteborg, Sverige

031-700 82 30

2019-06-10

Distributionslista

Cementa AB

Region Gotland

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND 1

2.0 MAGASINETS UTFORMNING 1

3.0 BEFINTLIG NIVÅ- OCH UTTAGSSITUATION I MAGASINET 2

4.0 GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN 2

5.0 HYDROGEOLOGISK PÅVERKAN AV RESERVOAREN 4

6.0 UNDERLAG KOMPLETTERANDE YRKANDE 6

7.0 HYDROLOGISK PÅVERKAN PÅ SPILLINGSÅN 6

8.0 ÖVRIG PÅVERKAN 6

9.0 SLUTSATS 6

10.0 REFERENSER 7

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1: Modell av Spillingsmagasinet för beräkning av volym vid olika nivåer 1

Figur 2: Vattennivåmätningar i Spillingsmagasinet 2018 mätt från referenspunkt på nivån ca +5,8 2

Figur 3: Detaljerade nivåmätningar för att klarlägga vattenbalansen i Spillingsmagasinet 5

1.0 BAKGRUND

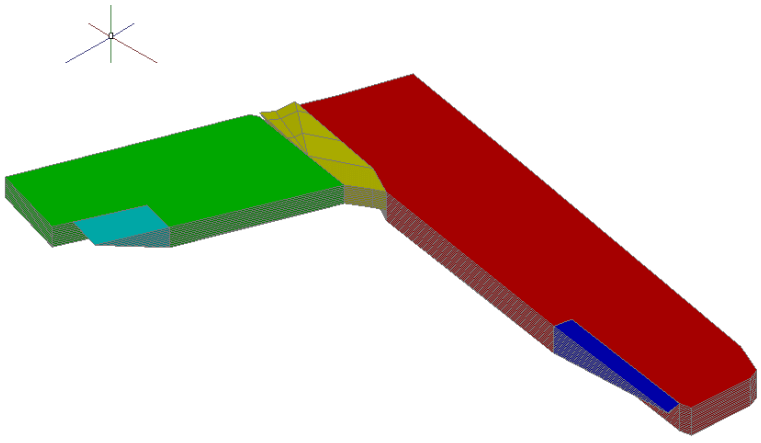
Cementa driver en cementfabrik i Slite på Gotland och söker tillstånd till fortsatt täktverksamhet främst i täkten på File hajdar. En fördjupning av täkten på File hajdar kommer leda till en ökad dränering av grundvatten och en viss nivåmässig påverkan på den närbelägna kommunala dricksvattentäkten. Förutom att Cementa AB vill att den egna verksamheten ska vara så hållbar som möjligt står Gotland inför utmaningar med vattenbrist som uppstår framförallt under sommaren. Med målsättningen att förbättra hushållningen av Gotlands vattenresurser avser Cementa AB tillsammans med region Gotland, som en kompensationsåtgärd inom ramen för pågående tillståndsprövning, tillgängliggöra en stor del av det inläckande grundvattnet för dricksvattenförsörjning.

Utgångspunkten för Cementa är att kompensera för den minskning i produktion i dricksvattentäkten som krävs för att vattennivåerna i produktionsbrunnarna ej ska avsänkas ytterligare. För att bibehålla vattennivåerna i brunnarna måste produktionen minskas med ca 8150 m^3 under sommarmånaderna. Utöver kompensationen för den eventuella försvagningen så finns möjligheten för att förstärka dricksvattenförsörjningen på Gotland. Följande förslag baseras således på en kapacitet på 300 000 m^3/år.

Den principiella utformningen bygger på att Spillingsmagasinet, som idag nyttjas för processvattenförsörjning för fabriken, nyttjas som reservoar för länshållningsvatten från File hajdar. Reservoaren syftar till att lagra vatten från vintermånaderna med god vattentillgång till sommarmånaderna med underskott och stor förbrukning.

Föreliggande dokument syftar till att beskriva den hydrogeologiska påverkan som kan förväntas uppkomma till följd av ett förändrat nyttjande av Spillingsmagasinet och utgör underlag för bedömningen om det kan anses utgöra en tillståndspliktig verksamhet.

2.0 MAGASINETS UTFORMNING



Figur 1: Modell av Spillingsmagasinet för beräkning av volym vid olika nivåer

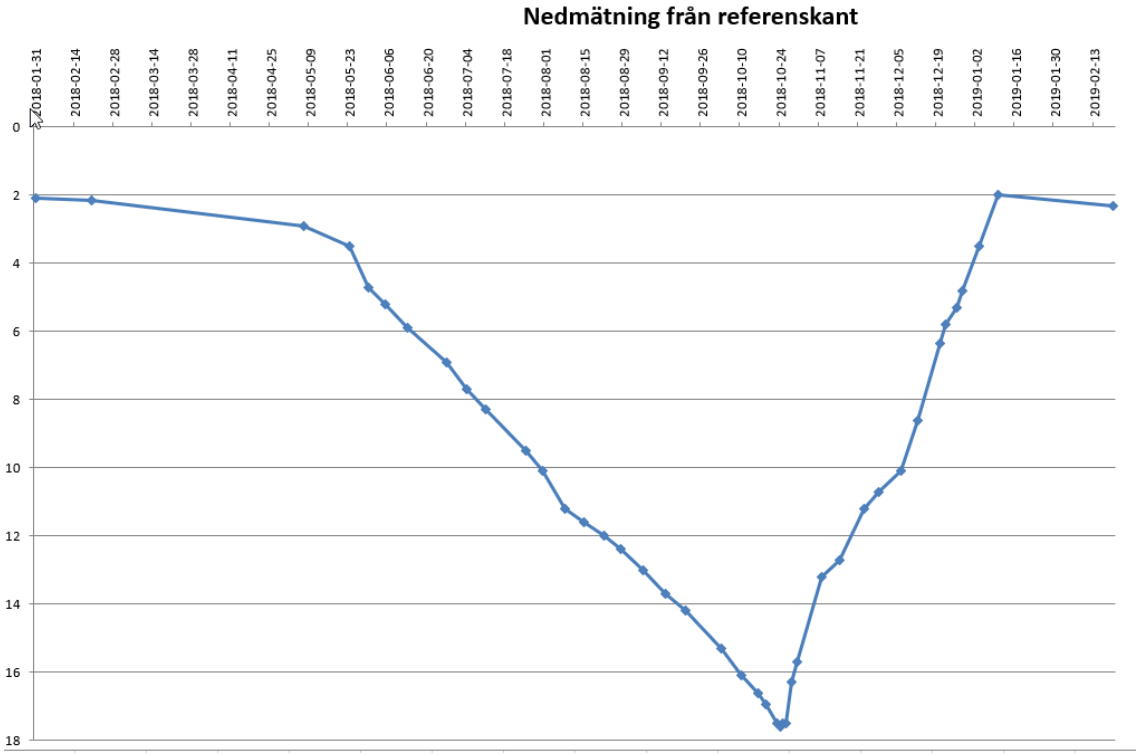
Magasinets area uppgår till ca 31 000 m^2. Magasinets volym med nuvarande tröskelnivå uppgår till ca 435 000 m^3. I dagsläget försörjs magasinet med vatten från Spillingsån.

Den avbanade bergytan runt magasinet ligger på nivån ca +6. Naturlig markyta ligger uppskattningsvis ca 1 m högre.

Utifrån ritningar, uppmätta ytor och djuplodningar (utförda av Cementa april 2019) har en modell av magasinet upprättats, se Figur 1.

3.0 BEFINTLIG NIVÅ- OCH UTTAGSSITUATION I MAGASINET

Nivåmönstret i Spillingsmagasinet är likartat mellan åren. Under vintermånaderna är magasinet fullt och Spillingsån rinner genom magasinet. Under april-maj upphör flödet i ån och nivån sjunker till följd av processvattenuttaget. I september-oktober är magasinet ofta i stort sett tomt, men vid denna tid skapar höstregnen åter flöden i ån och magasinet fylls relativt fort, se exempel år 2018 i Figur 2.



Figur 2: Vattennivåmätningar i Spillingsmagasinet 2018 mätt från referenspunkt på nivån ca +5,8

Medianuttaget av processvatten ur magasinet är ca 59 000 m^3/månad, medel något lägre (55 000 m^3/månad) till följd av ett årligt underhållsstopp i februari – mars. För de varma sommarmånaderna är uttaget ytterligare större med ett medeluttag för maj-augusti på ca 63 000 m^3/månad. För resterande året är medianuttaget 57000 m^3/månad och medeluttaget 54000 m^3/månad (statistik egenkontroll 2015-2018).

Utöver detta sker ett uttag av vatten för dammbekämpning. Detta bedöms uppgå till 30 tankbilar a' 15 m^3 under ca 70 sommardagar per år. Totalt motsvarar detta ca 31 500 m^3 (muntlig uppgift gruvchef Gunnar Hedin).

4.0 GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Gotlands berggrund består av sedimentära bergarter. De ytnära bergarterna är en kalksten av silurisk ålder och har på norra Gotland en mäktighet av ca 200m. Slite är beläget inom ett område med berggrund som benämns Slitelagren. Slitelagren består av kalksten, märgelsten och sandsten. Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av c:a 0.3 grader åt sydost. Spillingsmagasinet är bruten i den kalksten med högt lerinnehåll som benämns märgelsten.

Hydrogeologin präglas generellt av flöden i distinkta subhorisontella lager med en avsevärt lägre vertikal hydraulisk konduktivitet. Grundvattennivåerna i berg i området är kraftigt påverkade av närheten till Västra brottet. De mäktigare jordlagren norr om västra brottet innebär dock att betydligt mer grundvatten

magasineras i jordlagren jämfört med tex med File hajdar. Grundvattennivåerna är därmed betydligt mindre fluktuerande runt Spillingsmagasinet än på File hajdar och grundvattennivåerna bedöms generellt vara högre i ytliga lager än i djupare liggande lager.

I samband med platsbesök i mars 2019 observerades ett distinkt vattenförande lager på nivån ca +5 från vilket vatten droppade in i magasinet. Grundvattennivåerna var vid denna tidpunkt generellt höga. Samma lager droppade ännu i slutet av maj efter en längre nederbördsfattig period, vilket styrker ovan beskrivna hydrogeologiska funktion. Vid samma platsbesök i mars studerades även täktväggen på pall 1 i Västra brottet. På den del som är beläget vid Spillingsmagasinet bedömdes inflödena som små. Täktväggen var ställvis fuktig men inga distinkta flöden kunde observeras (till skillnad från flera andra ställen i täkten).

Grundvattnets tryckgradient i området har en tydlig riktning mot Västra brottet. Västra brottet har fram till 2017 varit dränerat till nivån – 48 m. I nuläget pågår vattenfyllnad av pall två för att på sikt vara dränerad endast till nivån – 26 m. Detta innebär att tryckgradient och därmed flöde mot Västra brottet kommer att minska relativt befintliga jämförelsedata, men alltjämt vara påtaglig.

Vintern 2018 borrades ett kontrollhål öster om Spillingsmagasinet BH1804B, på ett avstånd från Västra brottet ungefär motsvarande Spillingsmagasinets norra del, med ett djup motsvarande magasinets med syfte att representera Spillingsmagasinets grundvattennivåer. I nuläget visar tillgängliga mätdata att grundvattennivån varierar mellan +1,5 - -3,5 m ö h med ett medel på ungefär -0,1. Det bör noteras att grundvattennivåerna är mycket stabila jämfört med de kraftigt fluktuerande nivåer som uppmäts vid tex File hajdar. Detta tolkas som att vatten i en jordakvifer buffrar och förser bergakviferen med vatten även under nederbördsfattiga perioder. Under den mycket torra sommaren 2018 var nivån i slutet av juli tex fortfarande -1 för att nå ett minimum senare under hösten.

Magasinets läge i nära anslutning till Västra brottet, med en grundvattenströmning från norr mot söder, gör det komplicerat att bedöma om vatten netto rinner in eller ut från magasinet. Utifrån tillgängliga mätserier på vattennivåer i magasinet och uttagna vattenvolymer har beräkningar gjorts för att svara på denna fråga i ett vattenbalansperspektiv. Genom att jämföra uppmätt nivåsänkning i magasinet med uttagen vattenvolym (utöver nettonederbörden) kan skillnaden mellan in- och utströmmande grundvatten beräknas. Sommarperioder där mätserien styrker avsaknad av ytvattenflöde eller extrem nederbörd har använts för beräkningarna. Studerade perioder omfattar data för 1-3 månader åren 2016, 2017 och 2018, samt en veckas period med detaljerade mätningar från maj 2019. Skillnaderna mellan avsänkning och vattenuttag varierar mellan åren från ett nettoinflöde på ca 200 m^3/dygn till ett nettoutflöde på ca 400 m^3/dygn. Mest tillförlitlig bedöms dock perioden under 2019 vara vilken visar på ett nettoinflöde på 34 m^3/dygn. Detta innebär att inläckage och utläckage av grundvatten ur magasinet bedöms vara i stort sett lika stora och inom felmarginalen för gjorda mätningar och skattningar. Mätningar och beräkningar pågår och kommer att fortgå för att bättre förfina nivåmätningarna och vattenbalansen inför ett projekteringsskede.

Drygt 400 m VNV om Spillingsmagasinet ligger den tidigare kommunala vattentäkten Klints 1. Från denna finns hydrogeologisk information vilken bl.a. beskrevs av SGU i samband med ansökan om utökning av Spillingsmagasinet 2005. Lagerföljden anges vara 0-6 m mosand, 6-20 m moränlera, 20- 40 m märgelsten, vattenförande kalksten 40-41,5. Kapaciteten hos brunnen anges till i det närmaste 30 000 l/tim. Marknivån vi brunnen är ca +11,6 m.ö.h. Den grundvattenförande kalkstenen börjar således på nivån ca 30 m under markytan. Ytterligare två kommunala brunnar har borrats i området. På Spillings 1:14 finns en brunn med hög kapacitet och en snarlik lagerföljd om än utan mäktiga jordlager. På Spillings 1:31 finns en grundare brunn med något lägre kapacitet (12 000 l/tim) vars vattenförande lager uppges finnas på 20 och 27 meters djup. Sammantaget tyder informationen på att brunnarna främst försörjs med vatten från nivåer under Spillingsmagasinets botten. Det vattenförande lagret på ca -30 har ej påträffats i Västra brottet.

Hösten 2017 gjordes en provpumpning i Klints1 med ett uttag på ca 200 m³/dygn under ca 2 veckor vilket resulterade i ca 2,3 meters avsänkning i brunnen (-1,4 - -3,7 m ö h).

5.0 HYDROGEOLOGISK PÅVERKAN AV RESERVOAREN

Den fysiska förändring som görs för att kunna nyttja nuvarande processvattenmagasin som reservoar av råvatten för dricksvatten ändamål är att Spillingsån leds förbi (runt) magasinet. Vattenförsörjningen görs istället med pumpat vatten från File hajdar-täkten. Inga nya bergsschakt ska således brytas utan påverkan består endast av effekten av en något förändrad nivåkaraktäristik i magasinet.

Uttagen utifrån planerade 300 000 m³ per år med 120 000 m³ under sommarmånaderna (juni-augusti) ger ungefär 40 000 m³/månad under sommaren och 20 000 m³/månad under resterande året. Detta ska jämföras med dagens uttag på ca 63 000 m³/månad under sommaren och ca 54 000 m³/månad under resterande året. Avsänkningen vid perioder utan tillförsel kommer därmed bara ske med ca 60% av hastigheten jämfört med dagsläget. När reservoaren och vattenförsörjningen är i full drift kan magasinet antas vara fullt i slutet av den våta säsongen (antaget sista april). Som en konservativ beräkning antas att ingen tillförsel av pumpvatten skulle ske från denna tidpunkt till sista september då lägstanivån förväntas inträffa. Detta motsvarar då ett uttag av ca 160 000 m³ eller en nivåsänkning på ca 5 m. Detta ska ställas i relation till dagens användning då nivåerna som regel är avsänkta med 10-15 m vid samma tid på året. Det är även troligt att viss tillförsel av pumpvatten kommer kunna ske även under sommarmånaderna när brytning sker på pall 2 i File hajdar-täkten. Maximal avsänkning blir därmed troligen ytterligare mindre. Återfyllningen kommer däremot gå långsammare än i nuläget och mer kontinuerligt pågå under vintermånaderna.

Med utgångspunkt i dagens tröskelnivå för magasinet (ca +3,3) innebär en avsänkning på 5 m en årlig lägstanivå på -1,7 m ö h. Relativt nuvarande nivåer i magasinet innebär detta en avsevärt större högre nivå under sommarmånaderna, men en något lägre nivå under den första delen av vintern.

Det bör även påpekas att tröskelnivån med enkla tekniska åtgärder skulle kunna höjas ca 1-2 meter om så skulle vara önskvärt.

Effekten norr om magasinet bedöms därmed bli höjda grundvattennivåer under sommarmånaderna, men oförändrade under vintern då det ändå finns ett överskott av ytvatten. Grundvattennivåerna i åtminstone i bergets översta ca 20 meter kommer därmed närma sig förhållandena som rådde innan Västra brottets anläggande. De geologiska förhållandena med en större horisontell än vertikal hydraulisk konduktivitet gör dock att det alltjämnt kan finnas djupare borrade brunnar som fortsatt har nivåer som är påverkade av Västra brottets vattennivå.

Om uttag görs till nivåer under omgivande grundvattenyta, relaterat till nivån i BH1804B, dvs under ca +1,5 vintertid eller -3,5 under tidig höst bedöms uttaget kunna betraktas som ett grundvattenuttag oavsett om samma volym vatten även läcker ut mot Västra brottet. Detta skulle kunna bli fallet om vattenuttag behöver ske innan magasinet är fyllt efter driftsättning eller om det av tekniska skäl ej skulle gå att pumpa vatten från File hajdar i önskad takt.

För att öka driftsäkerheten eller för att påskynda idrifttagandet av reservoaren kan det därmed vara befogat att söka tillstånd (”vattendom”) för uttag av vatten.

Påverkan på grundvattennivåerna norr om magasinet vid ett vattenuttag ur magasinet under omgivande grundvattennivå bedöms ej bli större än i dagens situation (vilket innebär att magasinet i stort sett kan vara tomt innan Spillingsån återfår flöde på hösten). Teoretiskt sett skulle magasinet kunna nyttjas med en mindre fyllnadsgrad och därmed vara mer avsänkt under längre delar av året. Detta bedöms som oekonomiskt och därmed mindre troligt sätt att använda magasinet. I detta scenario skulle påverkan bli större än i dagsläget.

Dock ej markant mycket större då den maximala avsänkningen i magasinet inte ökar. Ovan redovisade beräkningar som pekar på att inflöde och utflöde av grundvatten ur magasinet är i samma storleksordning innebär att magasinet är av underordnad betydelse för grundvattennivåerna i omgivningen utan styrs av balansen mellan grundvattenbildning och dränering till Västra brottet.

Det är sannolikt att nettoinflödet är som störst när nivåerna i magasinet är kraftigt avsänkta. Från långtidsmätningarna med lite grövre upplösning har det dock ej kunnat utläsas några skillnader mellan olika nivåer och man bör beakta att den avsänkta nivån i Västra brottet är avsevärt större. Den beräkning av nettoinflöde med bäst noggrannhet som hittills gjorts baseras på en vecka under maj 2019 och resulterade i ett nettoinflöde på 34 m^3/dygn. Detta bör ställas i relation till kapaciteten för de brunnar som finns i närområdet (ca 400-700 m avstånd) vilka alla bedöms ha en kapacitet mellan 12-30 m^3/h. Skillnaden i storleksordning och det faktum att det finns stora volymer uttagbart vatten med nivåer i brunnarna som inte direkt korrelerar till varken Spillingsmagasinet eller Västra brottet, visar att dessa brunnar tar sitt vatten ur lager som troligen ligger under Spillingsmagasinets botten men inte har en tydlig hydraulisk kontakt med Västra brottet. Ett vattenuttag ur Spillingsmagasinet med vattennivåer som är avsänkta under en längre del av året bedöms därför ej vara av betydelse för uttagskapaciteten ur omgivande idag funktionsdugliga brunnar. Områdets hydrogeologi kommer oavsett främst vara påverkat av närheten till Västra brottet. Påverkan skulle ej heller ändra livsbetingelser för flora och fauna i närområdet.

Figur 3: Detaljerade nivåmätningar för att klarlägga vattenbalansen i Spillingsmagasinet

6.0 FÖRSLAG KOMPLETTERANDE YRKANDE

Cementa yrkar tillstånd att ur Spillingsmagasiet bortleda 300 000 m^3 vatten per år, varav 120 000 m^3 under perioden 1/6 – 31/8.

Förslag på villkor: (Kompletterade utifrån villkoren i 2006 års vattendom.)

- Vattennivån i magasinet ska kunna avläsas med för ändamålet lämplig utrustning. Avläsning ska ske varannan vecka under perioden juni till augusti och en gång per månad under återstående månader.

- Mätning av volym uttaget vatten från magasinet och tillfört vatten till magasinet ska ske genom summerande mätare. Cementa ska månadsvis i journal anteckna den uttagna vattenmängden. Journalen ska hållas tillgänglig för tillsynsmyndigheten.

- Magasinet ska vara inhägnat för att förebygga olyckor.

7.0 HYDROLOGISK PÅVERKAN PÅ SPILLINGSÅN

Omledning av Spillingsån runt Spillingsmagasinet innebär att flödet i ån återställs till naturliga förhållanden. Nedströms Spillingsmagasinet är vattenföringen i den omlagda Spillingsån starkt påverkad på grund av nuvarande bortledning av vatten. Ån är på sträckan ner till Bogeviken normalt torrlagd från maj och fram till fyllnadsperioden under hösten.

Mätningar av nivå i Spillingsmagasinet visar att magasinets första bräddningsdag under 2010-talet har varierat mellan mitten av oktober till senare delen av februari. Beräkningar i samband med ansökan om tillstånd för utvidgning av magasinet (Cementa 2005) visade att utifrån medelvattenflöde tar det, med ett samtidigt processvattenuttag, 59 dygn att fylla magasinet. Mätningar av vattennivån visar på en stor mellanårsvariation och en fyllningstid som varierar mellan ca 2 veckor till över 3 månader. Under fyllningstiden är Spillingsån torrlagd i dagsläget men kommer vara återställd till mer naturliga flöden om Spillingsån leds runt magasinet som istället används som vattenreservoar.

8.0 ÖVRIG PÅVERKAN

Magasinets utformning med utsprängda vertikala väggar i berget, en årlig vattennivåvariation på upp till 16 meter och botten som till del torrläggs under början av hösten innebär att inga beaktansvärda biologiska värden bedöms kunna finnas i magasinet.

9.0 SLUTSATS

Utifrån ett antagande att Spillingsmagasinet är fullt efter den våta säsongen innebär användandet av befintligt processvattenmagasin som reservoar för råvatten ej ett uttag av grundvatten. Därmed är det inte frågan om ett tillståndspliktigt vattenuttag.

Effekten på grundvattennivåerna utifrån detta antagande blir istället en minskad grundvattentillströmning från norr och därmed ett återställande av nivåer som mer motsvarar förhållandena innan Västra brottets anläggande i denna riktning.

Nivån i magasinet vid i idrifttagandet bedöms styras av kravet på vattenkvalité och önskemål på hur snabbt idrifttagande ska ske. Därmed kan det antingen krävas ett mindre vattenuttag än inpumpat flöde under de

inledande åren efter idrifttagande eller avvaktande med uttag till dess att magasinet har fyllts med pumpvatten från File hajdar alternativt ett tillstånd för vattenuttag.

Spillingsmagasinet är konceptuellt att betrakta som ett stort badkar, eller möjligen ett badkar som läcker in ungefär lika mycket på norrsidan som det läcker ut på sydsidan. Ett uttag baseras därmed på att vatten tillförs. I dagsläget görs detta med ytvatten från Spillingsån och i framtiden föreslås det fyllas med vatten från File hajdar-täkten. Föreslaget uttag om 300 000 m^3/år varav 120 000 m^3 under sommarmånaderna bygger därmed på att motsvarande volym tillförs. Även om fyllnadsgraden av magasinet är så låg att vattennivån är under omgivande grundvattenyta bedöms effekten på omgivningarna bli liten. Områdets hydrogeologi kommer oavsett främst vara påverkat av närheten till Västra brottet. Ett vattenuttag ur Spillingsmagasinet med vattennivåer som är avsänkta under en längre del av året än i dagsläget bedöms därför ej vara av betydelse för uttagskapaciteten ur omgivande idag funktionsdugliga brunnar eller ändra livsbetingelser för flora och fauna i närområdet.

Inga beaktansvärda naturvärden bedöms kunna finnas i magasinet som därmed kan påverkas av en förändrad användning av magasinet. För Spillingsån skulle det dock bli en positiv effekt med återställande av mer naturliga flöden.

10.0 REFERENSER

Cementa AB, 2005, Ansökan om tillstånd för att utvidga befintligt centralt utjämningsmagasin för processvatten m.m. i Slite, Gotlands kommun, Gotlands län

Naturvårdsbyrån Orback AB, 2005, Spillingsån, Utvidgning av utjämningsmagasin Teknisk beskrivning

RISE, 2017, Ansökansbilaga C.2. Utredning av nyttiggörande av länshållningsvatten från File hajdar-täkten Beteckning: 7P07794

SGU, 2005, Cementa AB Spillingsmagasinet Påverkan på grundvattenförhållandena genom utvidgning av befintligt utjämningsmagasin

Stockholms Tingsrätt, 2006, Dom Mål nr M 27311-05

Muntlig referens Gruvchef Gunnar Hedin, inklusive statistik över körtider vattenbil.

Signatur sida

Golder Associates AB

Jakob Eng
Hydrogeolog

Peter Vikström
Granskare

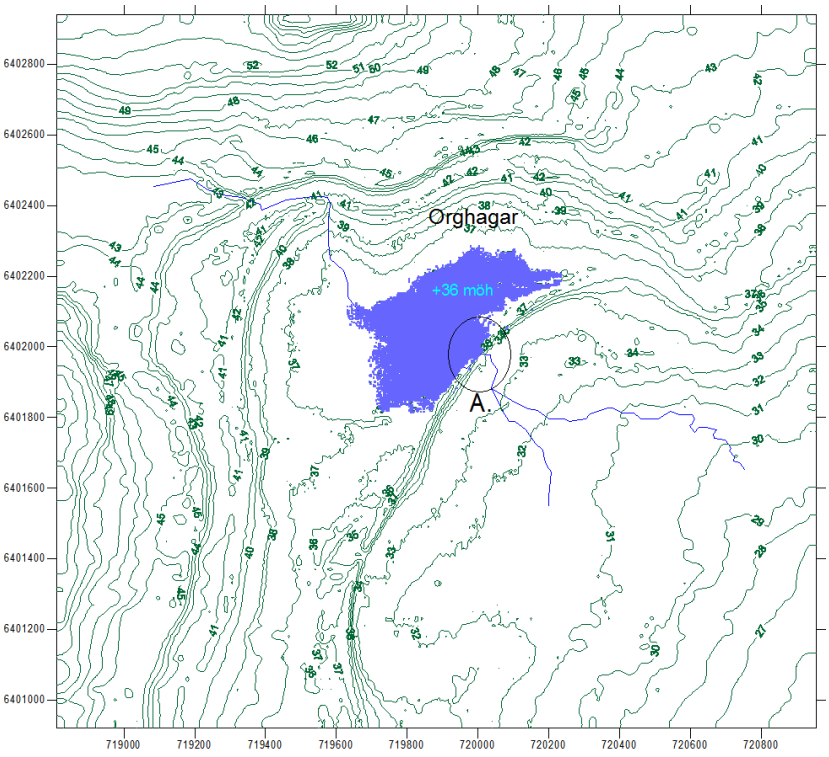
Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\8.rapporter\spillingsmagasinet\spillingsmagasinet_20190610.docx

golder.com

DÄMNING VID ANCYLUSVALLEN VID ORGHAGAROMRÅDET VID SLITE

BERÄKNING AV:
- GRUNDVATTENFLÖDE GENOM VALLEN
- STORLEK OCH NIVÅ PÅ VATTENSAMLINGEN UPPSTRÖMS VALLEN



Ver. 3A

Januari 2020

Johan Holmén Fil.dr.

Golder Associates

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. GRUNDVATTENFLÖDE GENOM ANCYLUSVALLEN VID ORGHAGAROMRÅDET VID SLITE. 3

1.1 INLEDNING OCH SYFTE 3
1.2 STUDERAT OMRÅDE 3
1.3 FÖRDÄMNING OCH VATTENYTA 5
1.4 ANCYLUSVALLENS STORLEK, JORDARTER OCH GENOMSLÄPPLIGHET 6
1.5 VATTENFÖRING VID SMHI:S STATION ORGVÄTAR. 7
1.5.1 Medelvärden för månader *7*
1.5.2 Medelvärden för veckor *9*
1.6 MODELLKOD 13
1.7 DEN UPPRÄTTADE MODELLENS STRUKTUR 13
1.8 BERÄKNINGSMETODIK 17
1.9 RESULTAT – BERÄKNAT FLÖDE GENOM VALLEN VID VATTENNIVÅN +36 MÖH 17
1.9.1 Beräkningsfall 1 – Homogen vall. *17*
1.9.2 Beräkningsfall 2 – Vall med tre olika lager. *19*
1.10 BERÄKNAT LÄCKAGE FRÅN VATTENSAMLINGEN VID OLIKA VATTENNIVÅER 23
1.11 BERÄKNADE VATTENNIVÅER I VATTENSAMLINGEN FÖR ETT NORMALÅR BASERAT PÅ MÅNADSMEDELVÄRDEN 28
1.12 BERÄKNADE VATTENNIVÅER I VATTENSAMLINGEN FÖR ETT NORMALÅR BASERAT PÅ VECKOVÄRDEN OCH KORRIGERAT AVRINNINGSOMRÅDE MM 31
1.13 SLUTSATS 38
1.14 REFERENSER 39

2. APPENDIX. BERÄKNAD GENOMSLÄPPLIGHET VID VALLEN 40

1. Grundvattenflöde genom Ancylusvallen vid Orghagarområdet vid Slite.

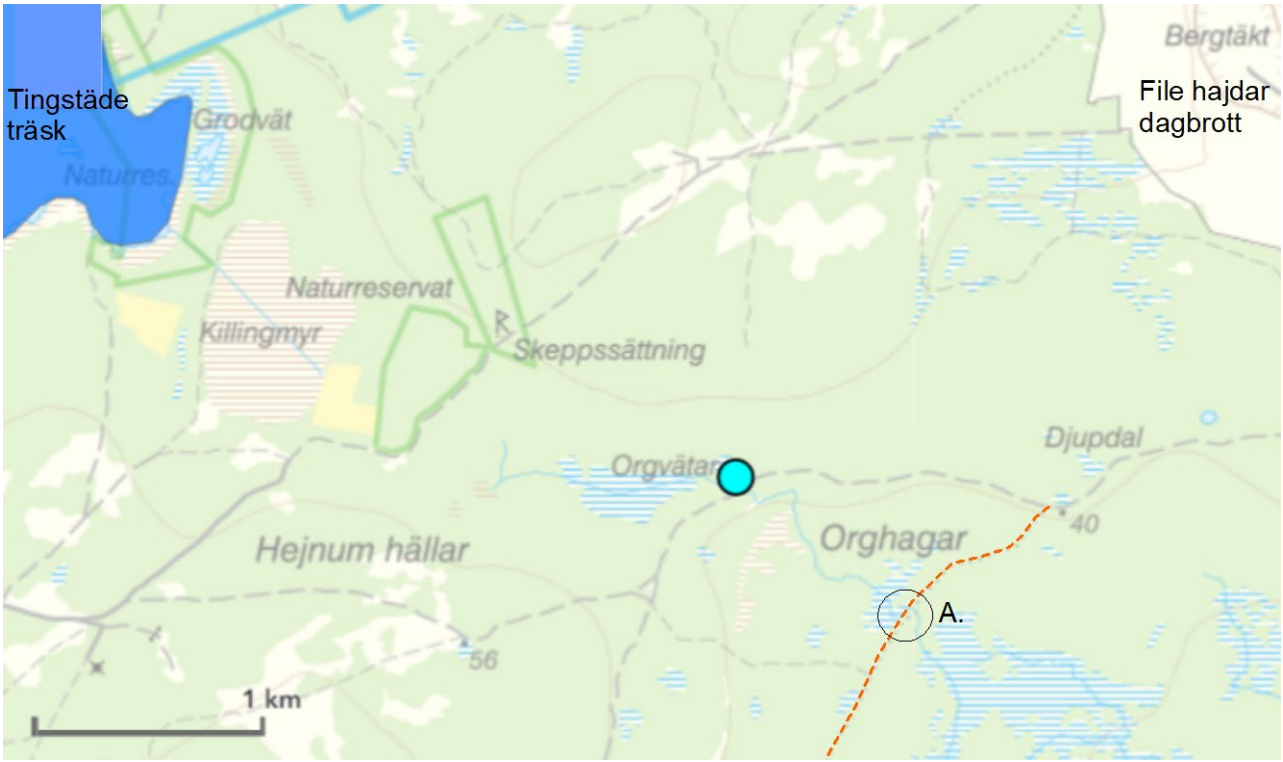
1.1 Inledning och Syfte

Följande text presenterar beräkning av grundvattenflöde genom Ancylusvallen vid Orghagarområdet vid Slite, då vattennivån uppströms Ancylusvallen däms, samt beräkning av storlek och nivå på vattensamlingen uppströms vallen under ett normalår.

Syftet med simuleringarna är att beräkna grundvattenflödet genom Ancylusvallen då ytvattennivån uppströms Ancylusvallen har dämts till som högst +36 möh. Grundvattenflödet är av intresse för veta om den dämda vattennivån kan upprätthållas under större delen av året. Grundvattenflödet har beräknats genom simuleringar i en upprättad lokal grundvattenmodell. Eftersom detta är ett kortfattat PM kommer den upprättade grundvattenmodellen endast att presenteras kortfattat i detta dokument.

1.2 Studerat område

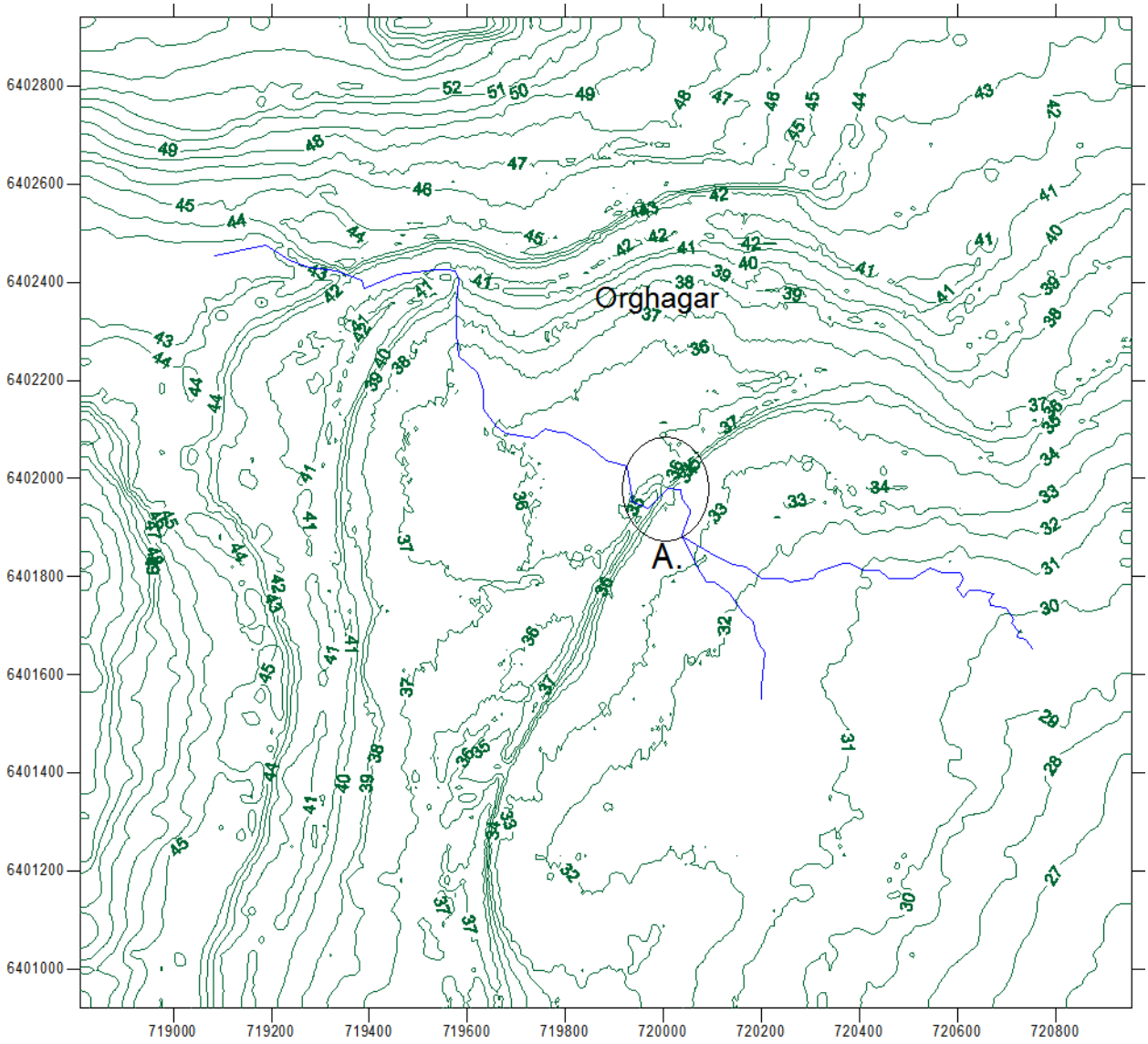
Det studerade området, Orghagar, ligger nära Slite på Gotland, sydost om Tingstäde träsk och sydväst om File hajdar dagbrott, se Figur 1-1, nedan.



Figur 1-1 *Studerat område. SMHI mätstation Orgvätar (vattenföring i bäcken) är markerad med blå ellips. Ancylusvallen är markerad med brandgul streckad linje. Skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) är markerad med svart ellips och ett A. Figur från SMHI (något modifierad).*

Figur 1-1 visar det studerade området. SMHI mätstation Orgvätar (vattenföring i bäcken) är markerad med blå ellips i figuren, Ancylusvallen är markerad med brandgul streckad linje och skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) är markerad med svart ellips och ett A.

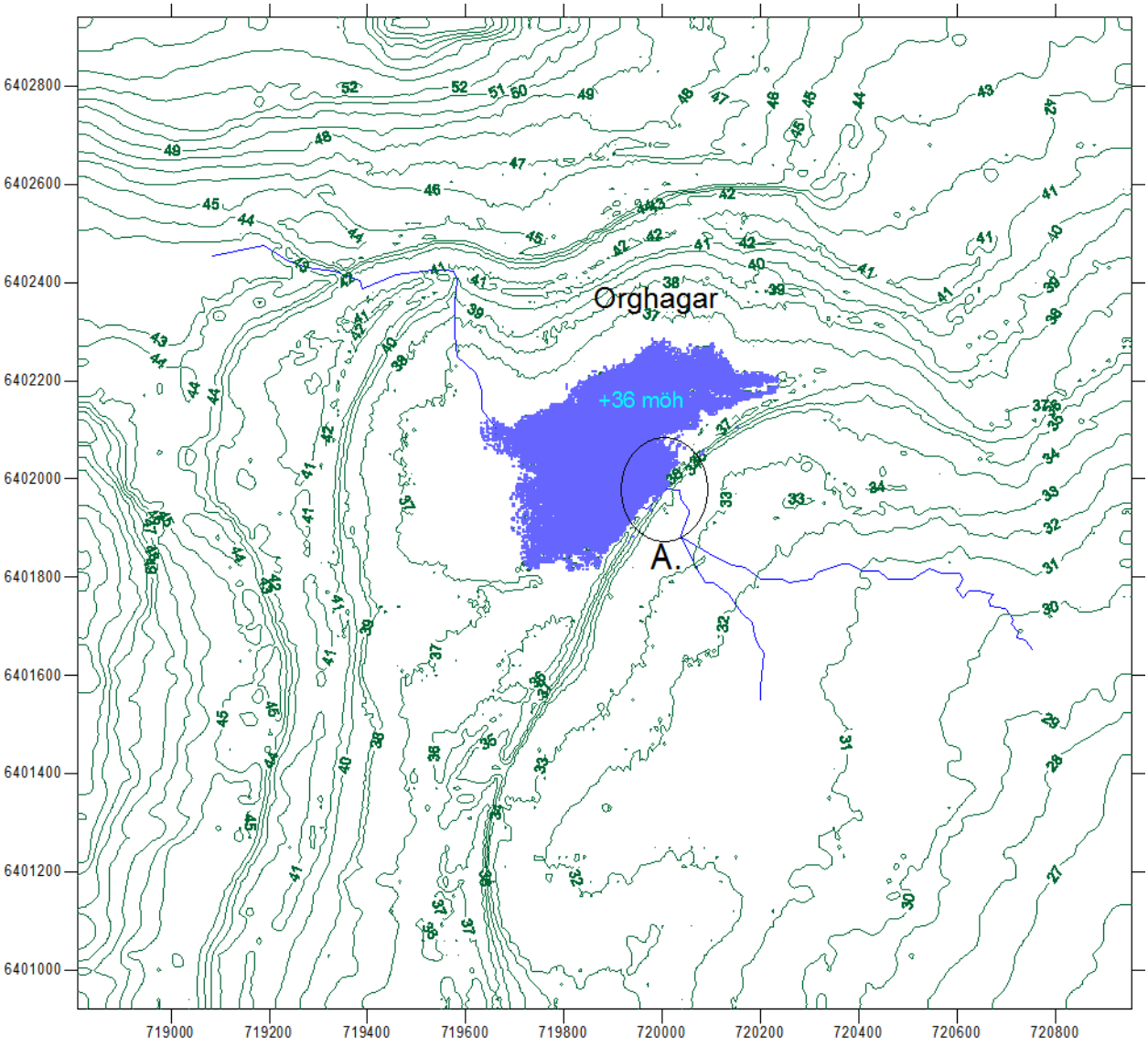
I en mer detaljerad skala visas topografin vid Orghagar i figuren nedan (Figur 1-2). Figuren visar topografin som den är definierad i modellen.



Figur 1-2 Detaljerad topografi vid Orghagarområdet, som den är definierad i modellen. Blå linje markerar Orgvätarbäcken. Skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) är markerad med svart ellips och ett A.

1.3 Fördämning och vattenyta

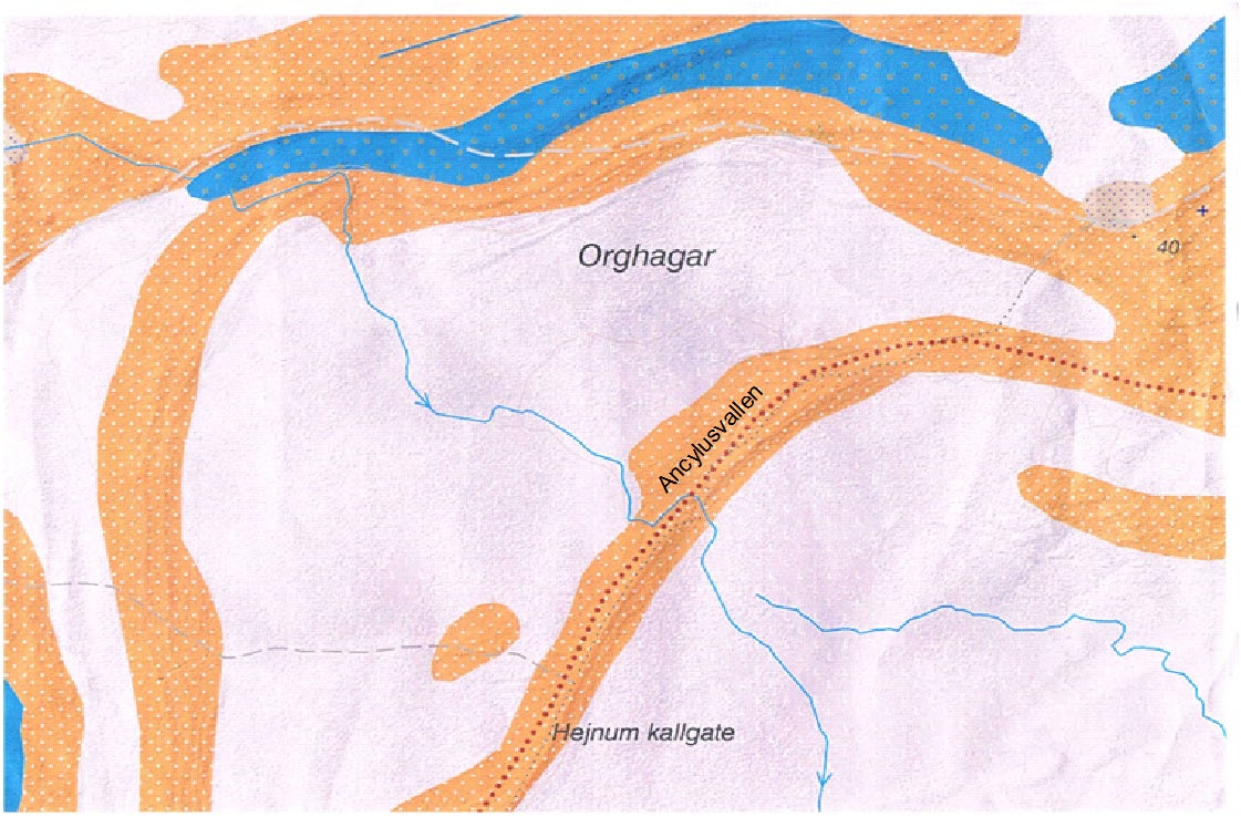
Vid skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) (vid A i Figur 1-2) har det tidigare förekommit ett dämme, ett enklare vattenhjul, kvarn och såg. Dessa installationer är numera huvudsakligen borta. Det är dock möjligt att återigen installera ett mindre dämme vid denna punkt och därmed återskapa en mindre vattensamling uppströms Ancylusvallen. I denna studie har vi beräknat grundvattenflödet genom Ancylusvallen då ytvattennivån uppströms Ancylusvallen har dämts till nivån +36 möh. Den då erhållna storleken på vattensamlingen uppström Ancylusvallen framgår av Figur 1-3 (nedan). Detta område inkluderas i modellen som den uppdämda vattensamlingen.



Figur 1-3 *Detaljerad topografi vid Orghagarområdet, som den är definierad i modellen. Blå linje markerar Orgvätarbäcken. Skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) är markerad med svart ellips och ett A. I figuren har ytvattennivån uppströms Ancylusvallen dämts till nivån +36 möh. Den då erhålla storleken på vattensamlingen uppström Ancylusvallen framgår som det blå området. Detta område inkluderas i modellen som den uppdämda vattensamlingen.*

1.4 Ancylusvallens storlek, jordarter och genomsläpplighet

Ancylusvallen sträcker sig genom, Orghagarområdet i riktning SV till NO, bredden är ungefär 30 m, vallen framgår som en tydlig förhöjning av topografin. Vallens utsträckning framgår av Figur 1-4 nedan.



Figur 1-4 Ancylusvallens storlek vid Orghagar

Baserat på geologiska sonderingar i den studerade vallen och även i angränsande vallar i området förväntas Ancylusvallen huvudsakligen bestå av grusig-sand, med en betydande hydraulisk genomsläpplighet. Vallen täcks delvis av tätande jordlager med högre organiskt innehåll och betydligt mindre genomsläpplighet. Mot djupet kan också tätare jordarter förkomma. Resultat från analys av ytliga jordprover tagna i provgropar i Ancylusvallen visas i Appendix.

Den hydrauliska genomsläppligheten (konduktiviteten) för de olika jordarterna i vallen bedöms variera mellan 5E-3 m/s och 1E-6 m/s, även lägre värden på genomsläppligheten kan förekomma lokalt. Jordproverna visar att ett material med en relativt låg genomsläpplighet förekommer nära markytan, och ett material med betydligt större genomsläpplighet förekommer under detta ytnära skikt. På ännu större djup i vallen är det troligt att genomsläppligheten minskar.

Baserat på jordproverna tagna i Ancylusvallen kan vi konstatera att det är troligt att genomsläppligheten för det ytnära lagret, de översta decimetrarna, ligger nära 7E-6 m/s. Under detta ytnära lager är genomsläppligheten betydligt större och ligger troligen nära 3E-3 m/s.

Som nämns ovan är det troligt att genomsläppligheten är mindre några meter ned i vallen, i jämförelse med genomsläppligheten för materialet som förekommer högre upp under det ytnära lagret. På större djup i vallen bedöms genomsläppligheten ligga nära 3E-5 m/s. Uppskattningen av vallens genomsläpplighet är behäftad med osäkerheter.

1.5 Vattenföring vid SMHI:s station Orgvätar.

SMHI har en mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar, SMHI (2019). Mätstationens placering framgår av Figur 1-1. Vattenflödet har mätts sedan 1979. Vattendraget i vilket vattenflödet har mätts kallas för Vikeån, i denna rapport benämns vattendraget som Orgvätarbäcken.

1.5.1 Medelvärden för månader

Månadsmedelvärden för vattenföringen mellan år 2000 och år 2018 framgår av Figur 1-5.

Med avseende på månadsmedelvärden för perioden år 2000 till 2019, är:
Medelvattenföringen = 19.8 Liter/sekund
75:e percentilen = 32.6 Liter/ sekund
50:e percentilen = 12.5 Liter/ sekund (medianen)
25:e percentilen = 1.34 Liter/ sekund
20:e percentilen = 0.44 Liter/ sekund
15:e percentilen = 0.17 Liter/ sekund
10:e percentilen = 0 Liter/ sekund

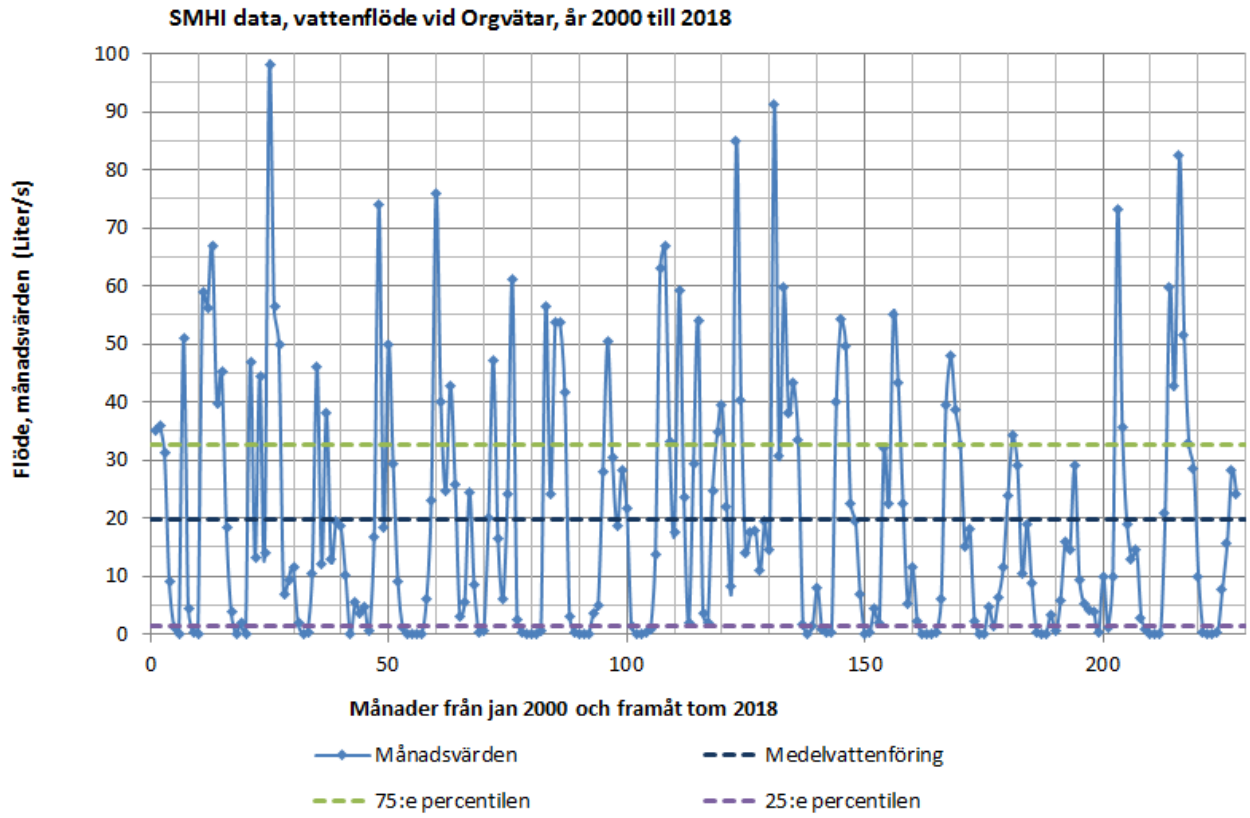
(En percentil är det värde på en stokastisk variabel nedanför vilken en viss procent av observationerna av variabeln hamnar. Så är till exempel "20-percentilen" P20 det värde som delar observationerna så att 20 procent av dem är mindre än P20 och 80 procent är större än detta värde.)

Av värdena ovan framgår det vattenföringen är obefintlig under nära 10% av månaderna, alltså ungefär 1 månad om året, detta inträffar under sommaren. Under vintern är vattenföringen mycket stor i jämförelse med den lilla vattenföringen under sommarmånaderna, se Figur 1-5.

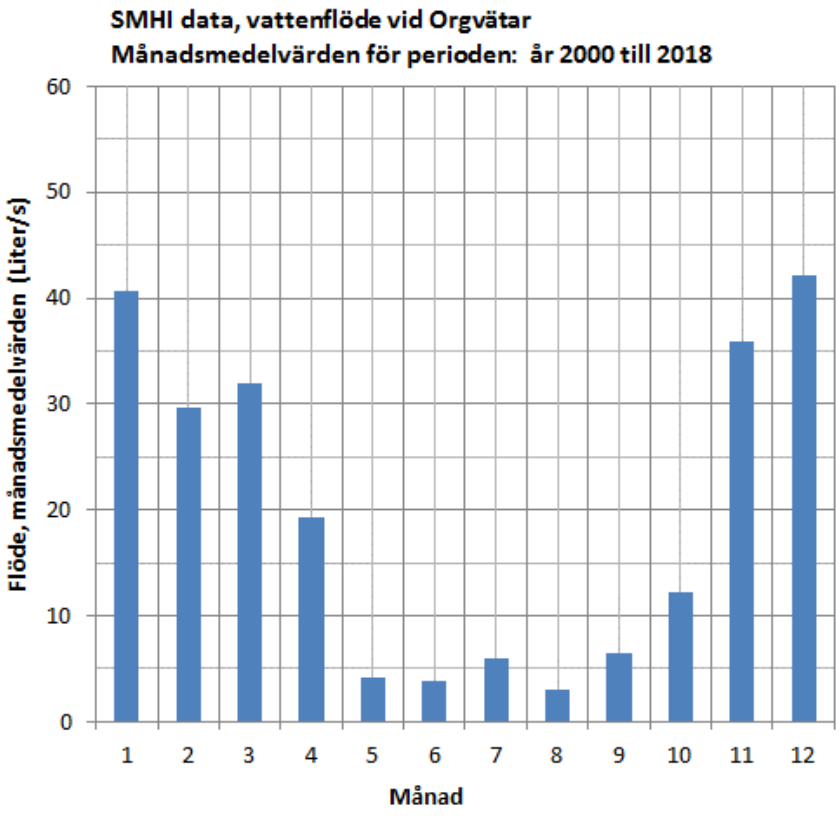
Månadsmedelvärden för perioden 2000 till 2018 ges i Figur 1-10 och Tabell 1-1.

Tabell 1-1 SMHI:s mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar. Månadsmedelvärden för perioden 2000 till 2018

	Flöden i Liter / sekund											
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flöde	40.7	29.7	31.9	19.3	4.1	3.8	6.0	3.0	6.4	12.2	36.0	42.2



Figur 1-5 *SMHI:s mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar. Vattenföring mellan år 2000 och 2018. Månadsmedelvärden.*



Figur 1-6 *SMHI:s mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar. Månadsmedelvärden för perioden 2000 till 2018.*

1.5.2 Medelvärden för veckor

Veckomedelvärden för vattenföringen mellan år 2000 och år 2019 (20 år) framgår av Figur 1-5.

Med avseende på veckomedelvärden för perioden år 2000 till 2019 (20 år), är:
Medelvattenföringen = 19.8 Liter/sekund
95:e percentilen = 78.9 Liter/ sekund
80:e percentilen = 34.6 Liter/ sekund
50:e percentilen = 8.1 Liter/ sekund (medianen)
20:e percentilen = 0.03 Liter/ sekund
15:e percentilen = 0 Liter/ sekund
10:e percentilen = 0 Liter/ sekund

(En percentil är det värde på en stokastisk variabel nedanför vilken en viss procent av observationerna av variabeln hamnar. Så är till exempel "20-percentilen" P20 det värde som delar observationerna så att 20 procent av dem är mindre än P20 och 80 procent är större än detta värde.)

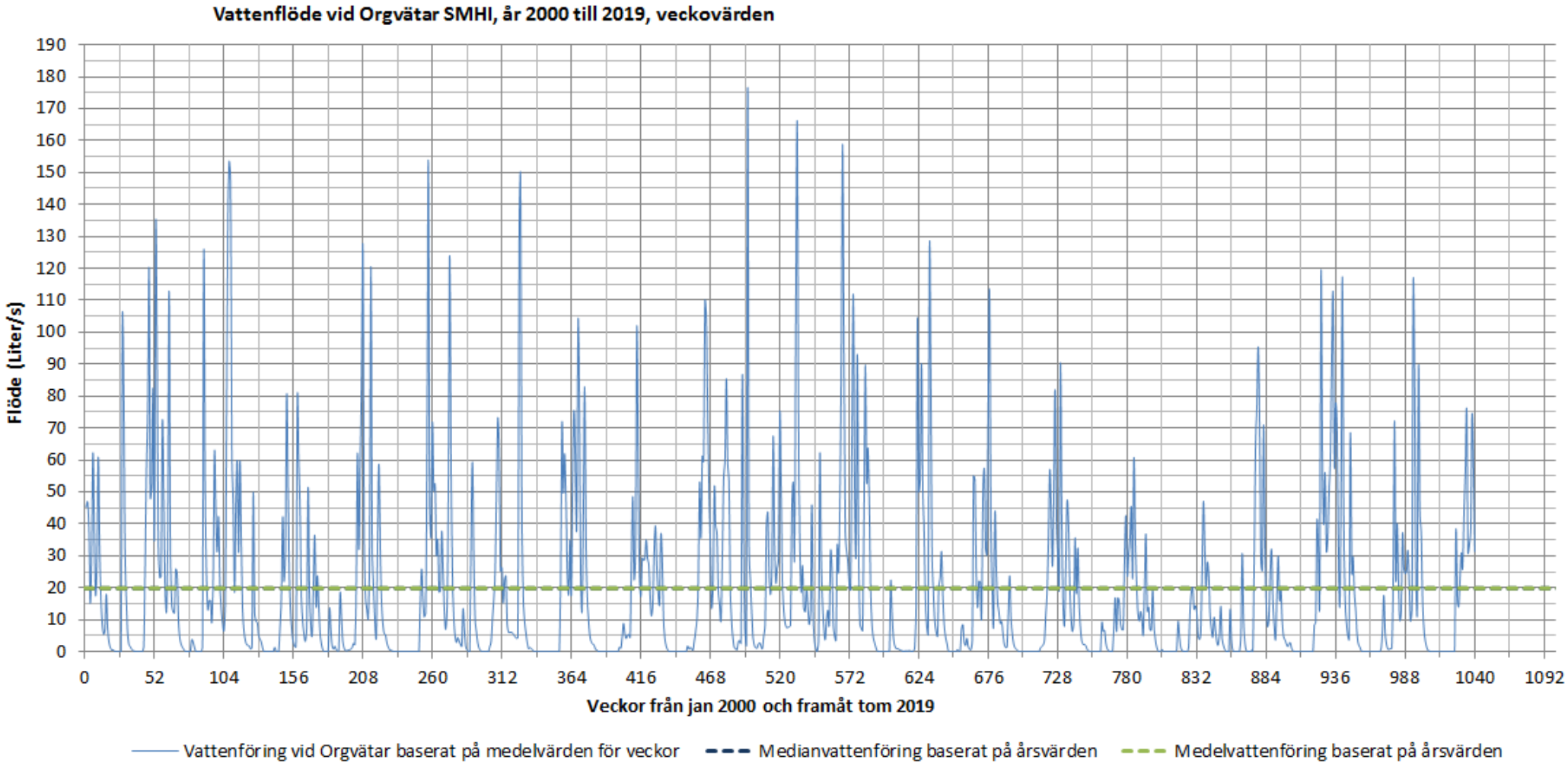
Av värdena ovan framgår det vattenföringen är obefintlig under nära 15% av veckorna, detta inträffar under sommaren. Under vintern är vattenföringen mycket stor i jämförelse med den lilla vattenföringen under sommarmånaderna, se Figur 1-7.

Veckomedelvärden för perioden 2000 till 2019 (20 år) ges i Tabell 1-2 och Figur 1-8 (nedan).

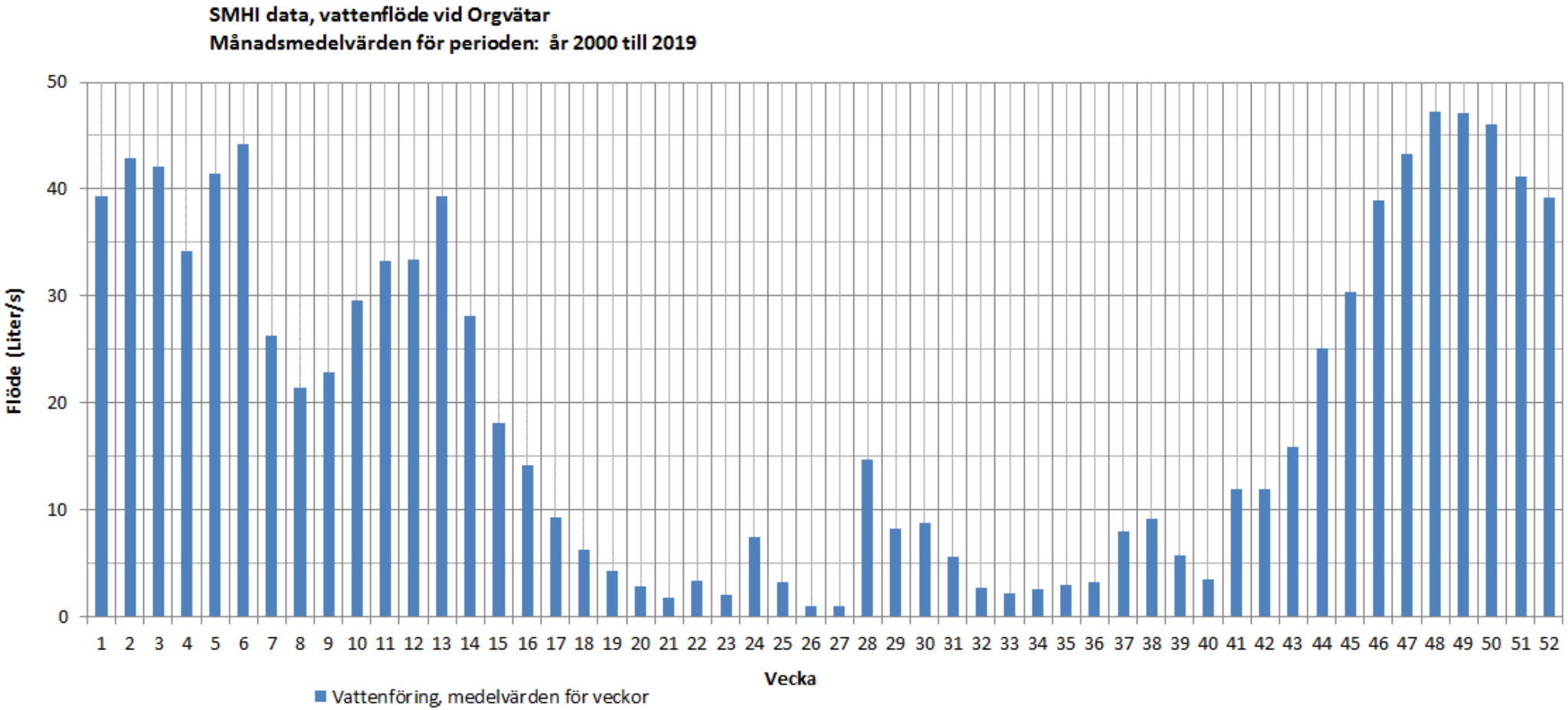
Tabell 1-2 SMHI:s mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar. veckomedelvärden för perioden 2000 till 2019 (20 år)

Vecka	m3/s	Lit/s
1	0.0393	39.3
2	0.0429	42.9
3	0.04215	42.15
4	0.03415	34.15
5	0.04145	41.45
6	0.04415	44.15
7	0.02635	26.35
8	0.02145	21.45
9	0.02285	22.85
10	0.02955	29.55
11	0.03325	33.25
12	0.03335	33.35
13	0.03935	39.35
14	0.02815	28.15
15	0.01815	18.15
16	0.0142	14.2
17	0.00925	9.25
18	0.0063	6.3
19	0.0043	4.3
20	0.0028	2.8
21	0.0018	1.8
22	0.0034	3.4
23	0.0021	2.1
24	0.00745	7.45

25	0.0032	3.2
26	0.001	1
27	0.00105	1.05
28	0.01475	14.75
29	0.0082	8.2
30	0.00885	8.85
31	0.0056	5.6
32	0.00275	2.75
33	0.0022	2.2
34	0.0026	2.6
35	0.003	3
36	0.00325	3.25
37	0.008	8
38	0.0092	9.2
39	0.0057	5.7
40	0.00355	3.55
41	0.0119	11.9
42	0.012	12
43	0.01595	15.95
44	0.02505	25.05
45	0.0304	30.4
46	0.039	39
47	0.04325	43.25
48	0.04725	47.25
49	0.04715	47.15
50	0.0461	46.1
51	0.04115	41.15
52	0.03915	39.15



Figur 1-7 SMHI:s mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar. Vattenföring mellan år 2000 och 2019. Veckomedelvärden.



Figur 1-8 SMHI:s mätstation för ytvattenflöde vid Orgvätar. Veckomedelvärden för perioden 2000 till 2019.

1.6 Modellkod

Beräkningarna av grundvattenflödet vid Ancylusvallen är utförda med beräkningskoden ***GEOAN.*** Holmén (1992, 1997 och 2019). Denna kod har också använts för de tidigare modellberäkningarna över Cementas anläggningar vid Slite.

1.7 Den upprättade modellens struktur

Vi har upprättat en grundvattenmodell för att beräknat grundvattenflödet genom Ancylusvallen. Modellen är en lokal modell som bara avser Orgvätaområdet med fokus på Ancylusvallen. Modellens storlek och topografi framgår av Figur 1-2.

Modellen består huvudsakligen av tre lager (se Figur 1-9), Vid vallen förekommer dessutom ett tunt ytnära lager. Lagret nedanför det tunna ytnära lagret sträcker sig från markytan och ned till djupet 3 m, lagret under ligger på djupet 3 till 8 meter, det nedersta lagret representerar större djup än 8 m.

Det översta kontinuerliga lagret (nedanför det tunna ytnära lagret vid vallen) representerar ytliga jordlager. Lagret under representerar djupare jordlager och också berg. Det tredje lagret representerar berg. Bortanför vallen har genomsläppligheten för de olika lagren sattes till: Översta kontinuerliga lagret, K= 3E-6 m/s, Lagret under, K= 1E-7 m/s, nedersta lagret, K= 1E-8 m/s. Vid vallen har andra värden använts, som diskuteras längre fram.

Med nettonederbörd (R) menas skillnaden mellan nederbörden (P) och avdunstningen (E), nettonederbörden är direkt indata till den modellen. I de följande modellberäkningarna har vi använt oss av samma värde på nettonederbörden som i en studie av SGU för Gotlands kommun: *'Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003*. Det använda värdet på nettonederbörden baseras på data från SMHI, som har beräknat nettonederbörden för olika platser på Gotland. Samma värde användes även i den tidigare utförda stora grundvattenmodellen över norra Gotland, Slite och cementas dagbrott (Golder, 2017). Nettonederbörden i modellen är lika med 154 mm/år och representerar ett normalår.

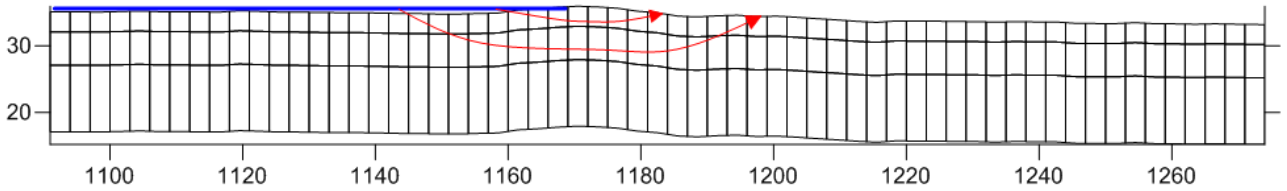
Nederbörden kan infiltrera utmed modellens hela ovansida och grundvatten kan utströmma och bilda ytvatten, men bara om systemets hydrauliska tillstånd tillåter det. Geoan modellen inkluderar både grundvattenflöde och ytvattenflöde. Nivån på grundvattenytan och storlek på inströmningsområden och utströmningsområden, samt storlek på den lokala grundvattenbildningen beräknas av modellen Även storlek på utflödet av grundvatten vid utströmningsområden beräknas av modellen. Randvillkoret på modellens övre yta kan därför sägas vara en varierande grundvattenbildning som beror av grundvattennivån, nettonederbörden, topografin och ytvattenflödena.

Den uppdämda vattensamlingen representeras i modellen av beräkningsceller i det översta lagret som är definierade med en vattennivå lika med +36 möh (även andra nivåer har simulerats). Vattensamlingens storlek i modellen framgår av tex Figur 1-3

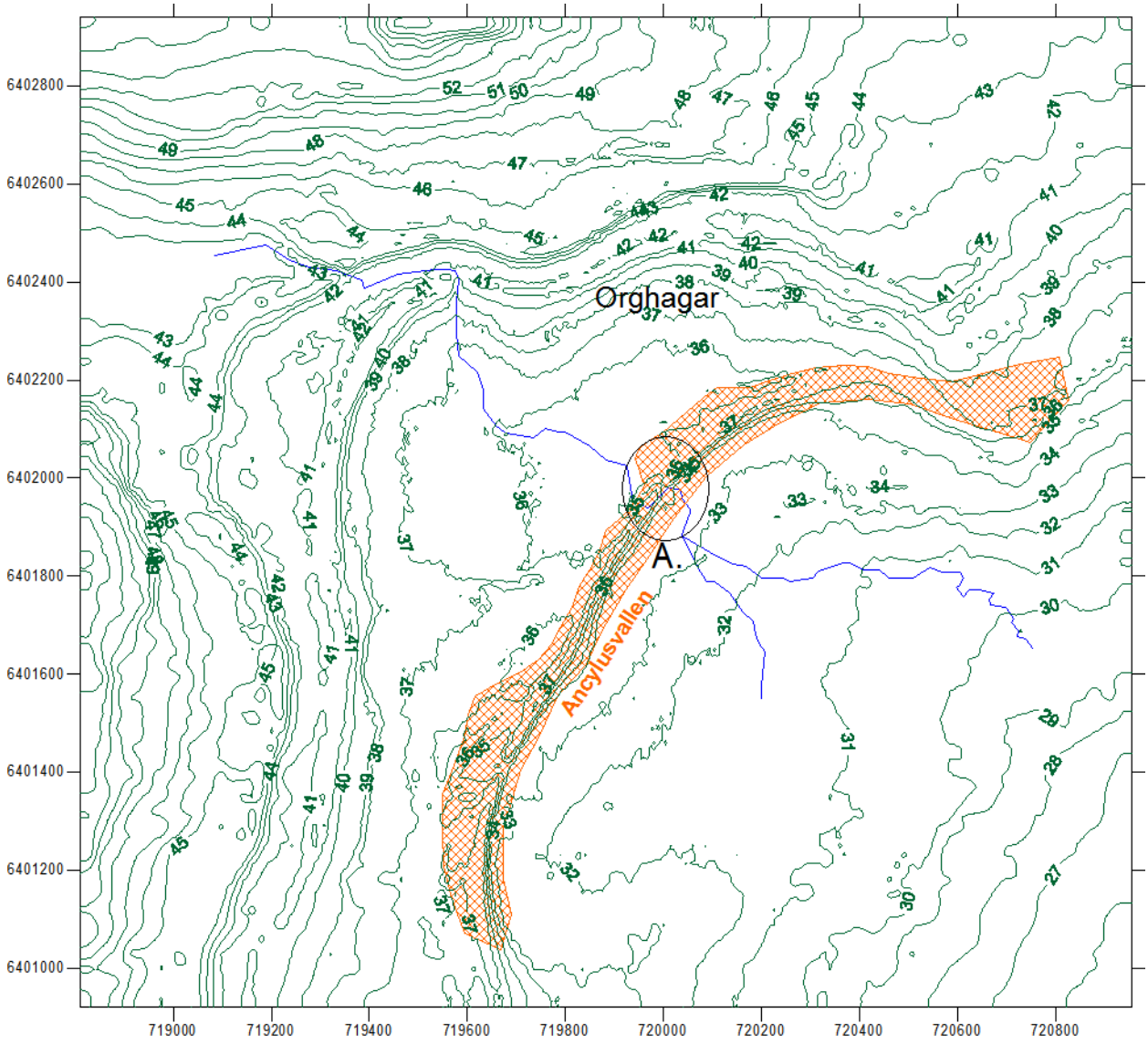
Grundvattenflöde genom vallen visas principiellt i Figur 1-9. Det inte endast den översta metern av vallen som har betydelse för flödet under och genom vallen. Det finns ett ytligt grundvattenflöde genom vallen (övre pilen i Figur 1-9), men också ett något djupare grundvattenflöde (nedre pilen i

Figur 1-9). Därför har genomsläppligheten på några meters djup också betydelse för flödet genom och under vallen. Notera att figuren inte inkluderar det översta tunna ytnära lagret vid vallen.

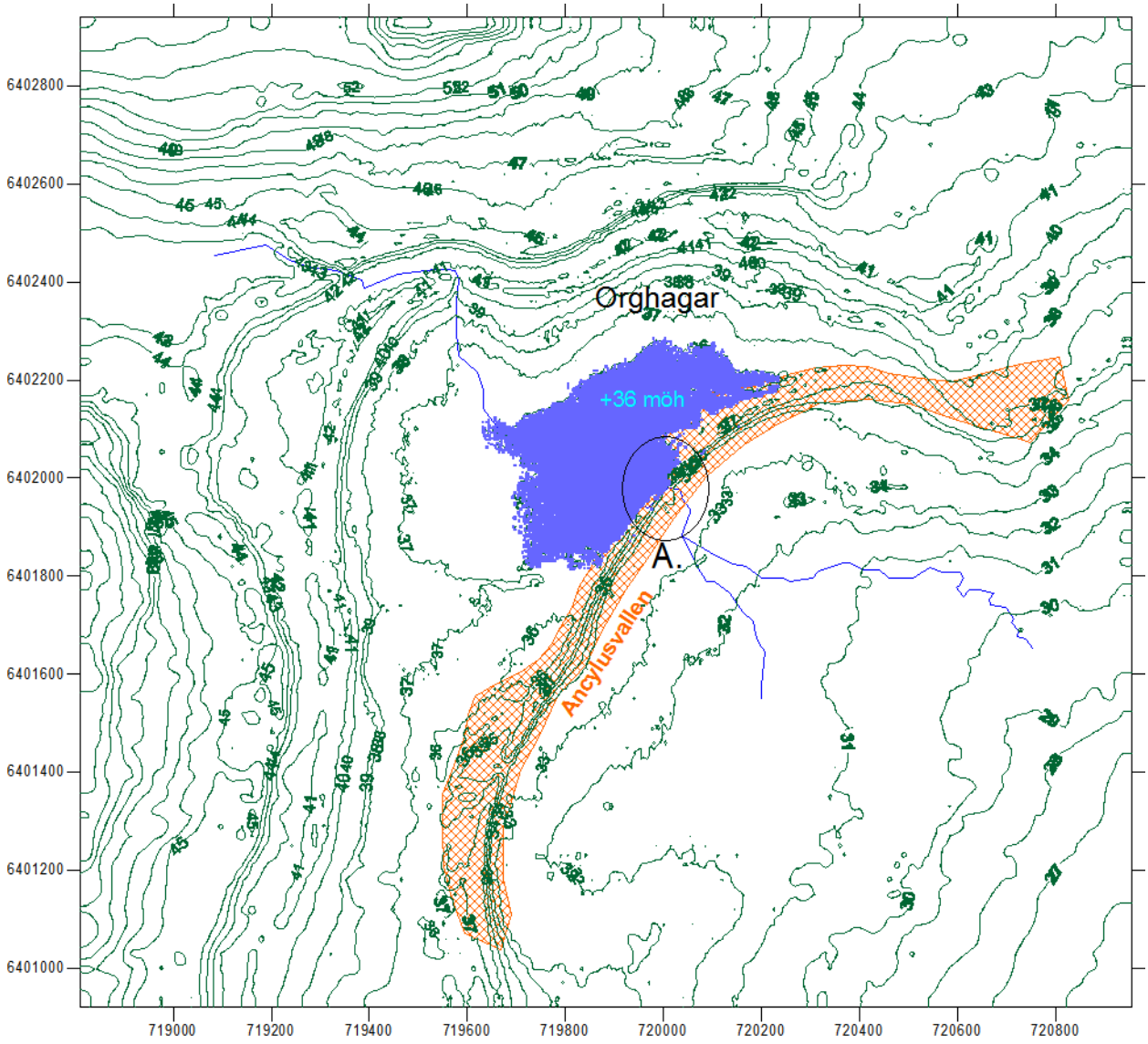
Ancylusvallen är i modellen definiera i de översta lagren. Ancylusvallens storlek i modellen framgår av Figur 1-10 och Figur 1-11. Notera att den uppdämda vattensamlingen delvis kommer att täcka Ancylusvallen.



Figur 1-9 *Tvärsektion W-Ö genom modellen vid Ancylusvallen, ungefär där bäcken skär genom vallen. Tvärsektionen skär bara genom en liten del av modellen. Vattennivån i vattensamlingen är satt till +36 möh. Pilarna i figuren visar att det finns ett ytligt grundvattenflöde genom vallen (övre pilen), men också ett något djupare grundvattenflöde (nedre pilen). Därför har genomsläppligheten på några meters djup också betydelse för flödet genom och under vallen. Notera att figuren inte inkluderar det översta tunna ytnära lagret vid vallen.*



Figur 1-10 Detaljerad topografi vid Orghagarområdet, som den är definierad i modellen. Blå linje markerar Orgvätarbäcken. Skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) är markerad med svart ellips och ett A. Den del av Ancylusvallen som är inkluderad i modellen är markerad i figuren med ett brandgult raster.



Figur 1-11 Detaljerad topografi vid Orghagarområdet, som den är definierad i modellen. Blå linje markerar Orgvätarbäcken. Skärningspunkten mellan Ancylusvallen och bäcken (Orgvätar) är markerad med svart ellips och ett A. Den del av Ancylusvallen som är inkluderad i modellen är markerad i figuren med ett brandgult raster. I figuren har ytvattennivån uppströms Ancylusvallen dämts till nivån +36 möh. Den då erhålla storleken på vattensamlingen uppström Ancylusvallen framgår som det blå området. Detta område inkluderas i modellen som den uppdämda vattensamlingen.

1.8 Beräkningsmetodik

Flödet genom Ancylusvallen uppskattas baserat på en massbalans som beräknas för den uppdämda vattensamlingen. Till och från vattensamlingen strömmar ytvatten och grundvatten. Om det totala utflödet från vattensamlingen överstiger inflödet kommer vattennivån i vattensamlingen att sjunka.

Det totala utflödet från vattensamlingen är ett mått på läckaget genom Ancylusvallen, och utflödet beror av Ancylusvallens hydrauliska genomsläpplighet.

Vattensamlingens utflöde har beräknats för olika värden på Ancylusvallens genomsläpplighet. Utflödet kan sedan jämföras med vattenföringen i Orgvätarbäcken. Om det beräknade utflödet från vattensamlingen (genom Ancylusvallen) är större än flödet i Orgvätarbäcken, då är det troligt att vattennivån i dem dämda vattensamlingen inte kommer att kunna upprätthållas. (Värt att notera är att vattenföringen i Orgvätarbäcken vid vattensamlingen är större än vattenföringen vid SMHI;s mätstation, eftersom vattensamlingen ligger ett gott stycke nedströms om mätstationen.)

1.9 Resultat – Beräknat flöde genom vallen vid vattennivån +36 möh

Som nämnts ovan har vattensamlingens utflöde beräknats för olika värden på Ancylusvallens genomsläpplighet, och för en dämningsnivå på 36 möh. Detta flöde kallar vi för flöde genom vallen.

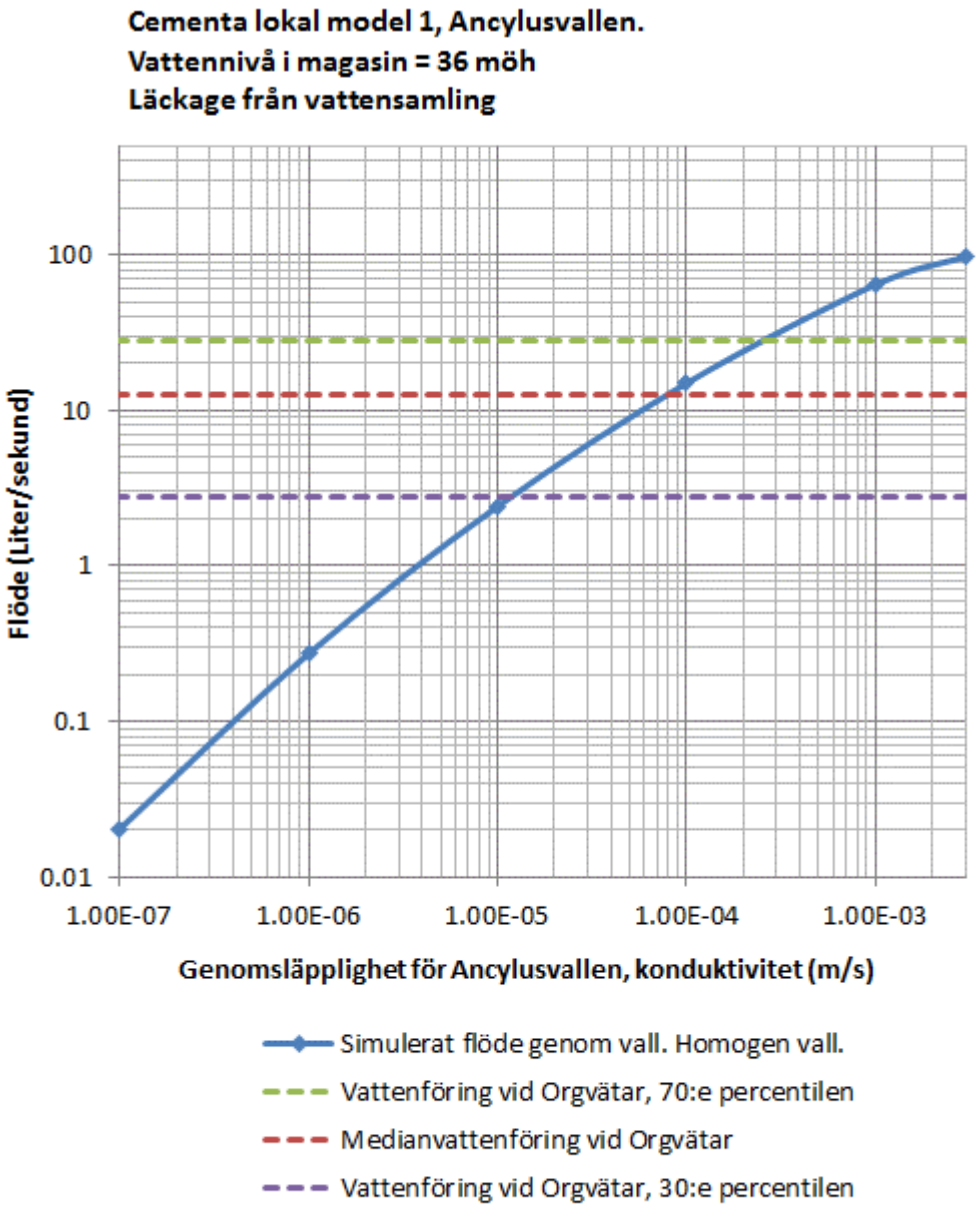
1.9.1 Beräkningsfall 1 – Homogen vall.

Beräkningsfall ett är inte det mest sannolika scenariot, fallet illustrerar hur flödet genom vallen skulle variera med genomsläppligheten om vallen vore homogen (vilket vi vet att den inte är). Fallet är medtaget för visa skillnaden mot en heterogen vall.

Flödet genom vallen har beräknats för en homogen vall med ett enda värde på genomsläppligheten ända ned till ett djup på 8m. Detta värde på genomsläppligheten har varierats i olika simuleringar.

Resultaten visas i Figur 1-12 (nedan). Figuren visar också vattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation baserat på månadsvärden. Vattenföringen visas för medianen, dessutom visas vattenföringen för 30:e och 90:e percentilerna.

De resultat av beräkningarna som visas i Figur 1-12 demonstrerar att om vallens genomsläpplighet är mindre än 1E-4 m/s (homogen vall), så kommer vattennivån +36 möh (i vattensamlingen) att kunna upprätthållas under c:a 50% av tiden, eftersom läckaget då blir mindre än medianvattenföringen. Vattennivån kommer att sjunka under sommaren då flödet är mindre än medianen (50:e percentilen).



Figur 1-12 Beräknat flöde genom vallen för olika värden på vallens sammanlagda genomsläpplighet, homogen vall. Figuren visa också vattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation, baserat på månadsvärden.

1.9.2 Beräkningsfall 2 – Vall med tre olika lager.

Beräkningsfall två är det beräkningsfall som är det mest sannolika. Vallen är definierad med tre olika lager, och med följande K-värden. (Under vallen förekommer ett berg i modellen.)

- Ytnära lagret. Översta delen av vallen, med tjocklek 0.3m, är definierad med en inte allt för stor genomsläpplighet, som ges av medianen av de beräknade K-värdena för de översta decimetrarna (se Appendix). Beräknade värden: max= 2.4E-5 m/s, median= 7E-6 m/s, min= 2.3E-6 m/s.
- Mellersta lagret. Under den allra översta delen av vallen, ned till djupet 3 m, är vallen definierad med mycket stor genomsläpplighet, som ges av medianen av de beräknade K-värdena för materialet under de översta decimetrarna (se Appendix). Beräknade värden: max= 5.9E-3 m/s, median=3E-3 m/s, min= 1.3E-3 m/s.
- Undre lagret. För den understa delen av vallen, på djupet 3 till 8 meter, är vallen definierat med en relativ stor genomsläpplighet, dock betydligt mindre än K-värden för de översta metrarna, detta K-värde är lika med 3E-5 m/s (uppskattat värde).

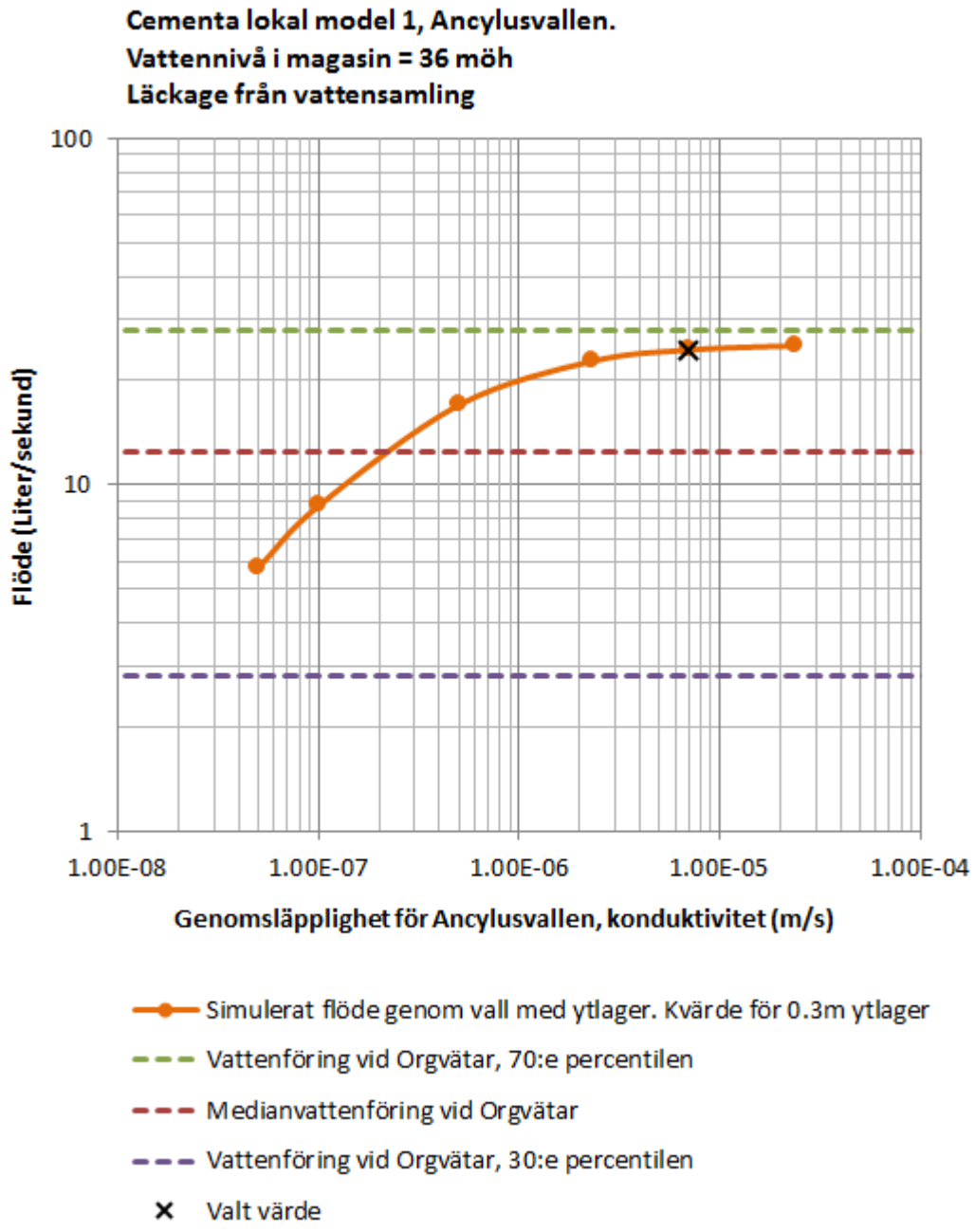
Som en känslighetsanalys har flödet genom en heterogen vall beräknats för olika värden på genomsläpplighet för det ytnära lagret i den översta delen av vallen. Syftet är att undersöka hur känsligt flödet genom vallen är för värdet på genomsläpplighet för det ytnära lagret. Resultaten visas i Figur 1-13. De tre största värdena för genomsläppligheten korresponderar mot de tre beräknade värdena (min, median, max). Som framgår av figuren så varierar inte flödet genom vallen särskilt mycket för olika värden på det ytnära lagrets genomsläpplighet, om inte det ytnära lagret har mycket liten genomsläpplighet. Med avseende på de beräknade värdena för det ytnära lagrets genomsläpplighet (max= 2.4E-5 m/s, median= 7E-6 m/s, min= 2.3E-6 m/s.) så är variationen i flöde ringa. Det valda värdet är markerat med ett kryss i figuren.

Som en känslighetsanalys har flödet genom en heterogen vall beräknats för olika värden på genomsläpplighet för det mellersta lagret. Syftet är att undersöka hur känsligt flödet genom vallen är för värdet på genomsläpplighet för den mellersta delen av vallen. Resultaten visas i Figur 1-14. De tre största värdena för genomsläppligheten korresponderar mot de tre beräknade värdena (min, median, max). Som framgår av figuren så varierar flödet en del med genomsläppligheten för det mellersta lagret. För de tre beräknade värdena (max= 5.9E-3 m/s, median=3E-3 m/s, min= 1.3E-3 m/s) är variationen ändå relativt begränsad. Det valda värdet är markerat med ett kryss i figuren. En viktig orsak till den begränsade variationen i flöde är att om det mellersta lagret görs tätare, så omfördelas flödet delvis till det undre lagret.

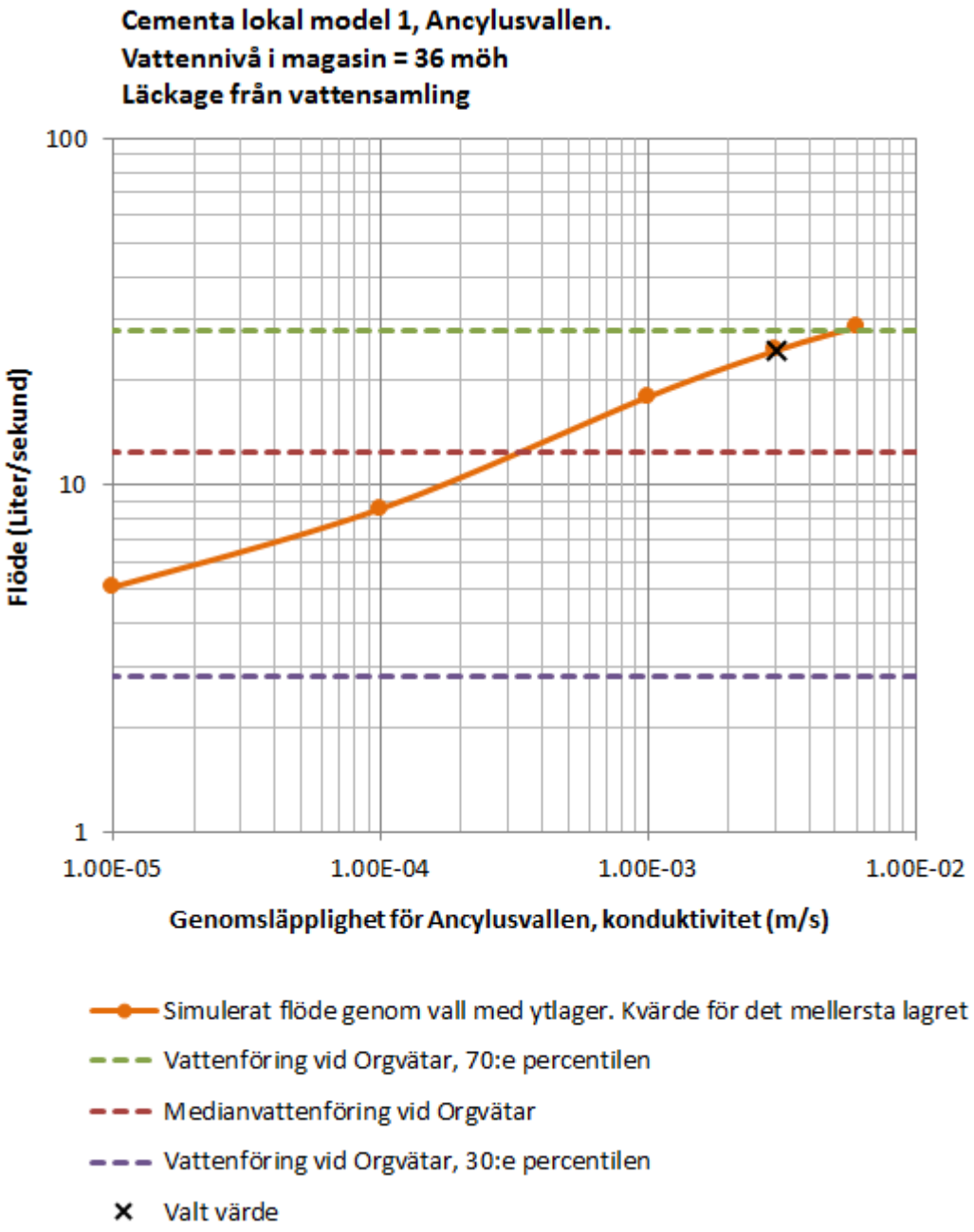
Som en känslighetsanalys har flödet genom en heterogen vall beräknats för olika värden på genomsläpplighet för det undre lagret. Syftet är att undersöka hur känsligt flödet genom vallen är för värdet på genomsläpplighet för den undre delen av vallen. Resultaten visas i Figur 1-15. De tre största värdena för genomsläppligheten korresponderar mot det uppskattade värdet, plus/minus en storleksordning. Som framgår av figuren så varierar flödet en del med genomsläppligheten för det understa lagret, men variationen är ändå relativt begränsad. Det valda värdet är markerat med ett kryss i figuren. En viktig orsak till den begränsade variationen i flöde är att om det undre lagret görs tätare, så omfördelas flödet delvis till det mellersta lagret.

För beräkningarna som presenteras i följande kapitel har vi använt oss av Beräkningsfall 2, och de ovan diskuterade medianvärdena för genomsläppligheten. Flödet som produceras av Beräkningsfall 2

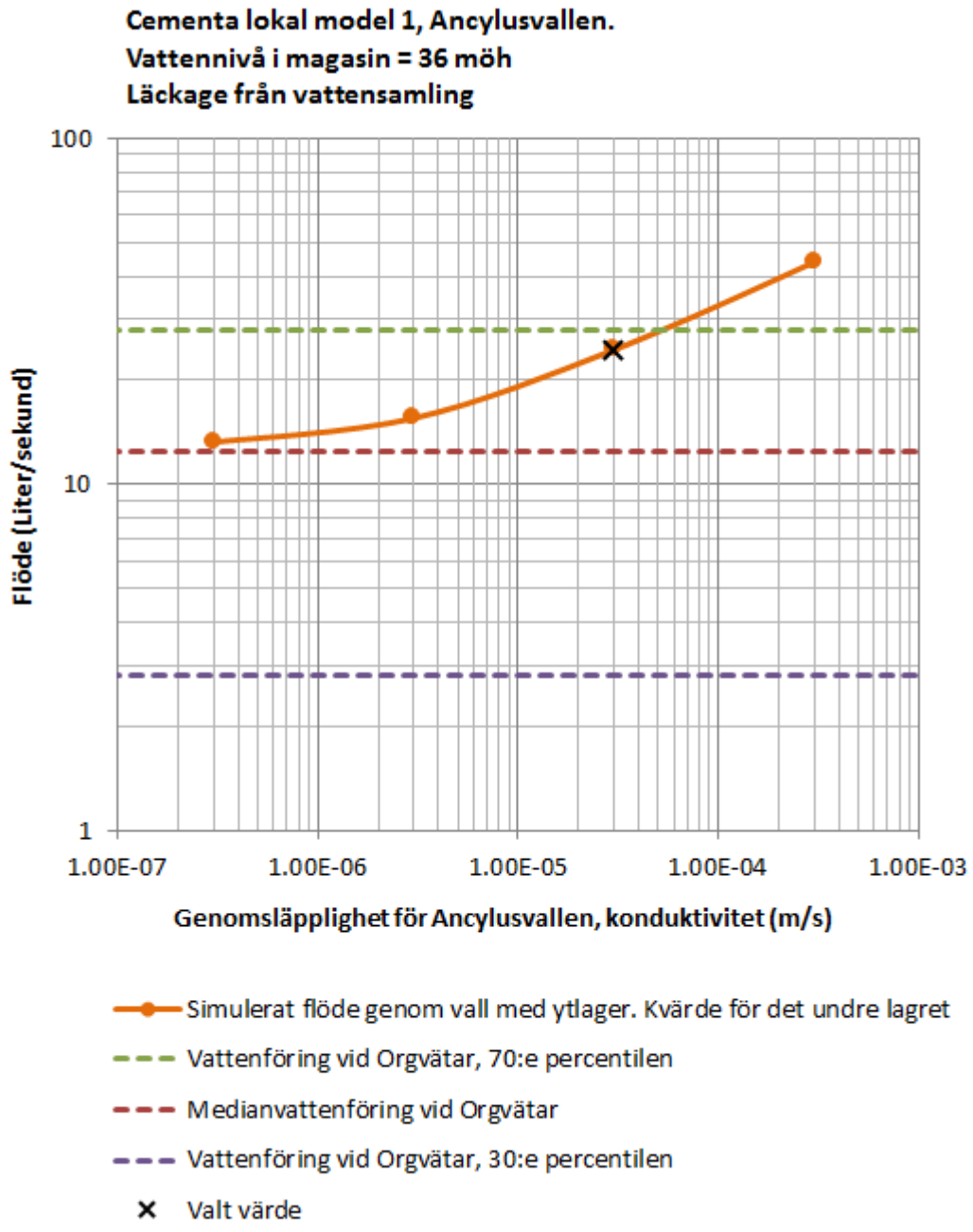
då medianvärdena används är lika med 24.5 Liter/sekund. Beräkningsfall 1 producerar nästan samma flöde då den homogena genomsläppligheten är lika med 2E-4 m/s.



Figur 1-13 Beräknat flöde genom vallen för olika värden på genomsläpplighet för vallens ytnära lager, de översta 0.3 m (heterogen vall). Figuren visa också vattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation, baserat på månadsvärden.



Figur 1-14 Beräknat flöde genom vallen för olika värden på genomsläpplighet för vallens mellersta lager (heterogen vall). Figuren visa också vattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation, baserat på månadsvärden.

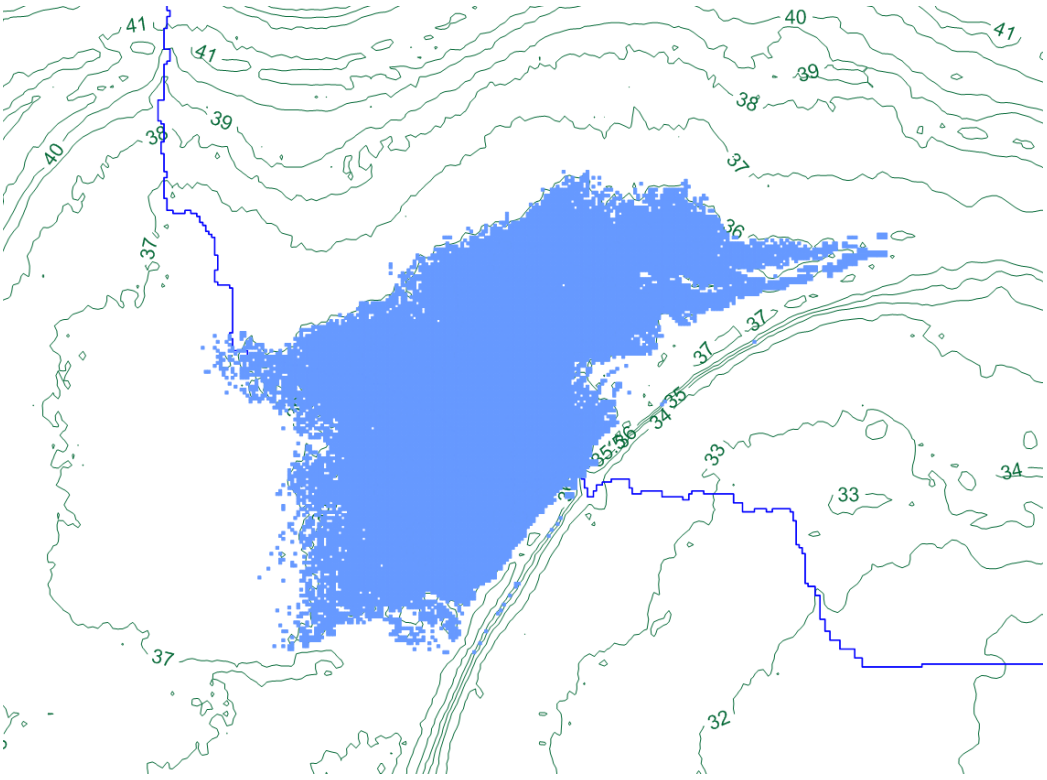


Figur 1-15 Beräknat flöde genom vallen för olika värden på genomsläpplighet för vallens undre lager (heterogen vall). Figuren visa också vattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation, baserat på månadsvärden.

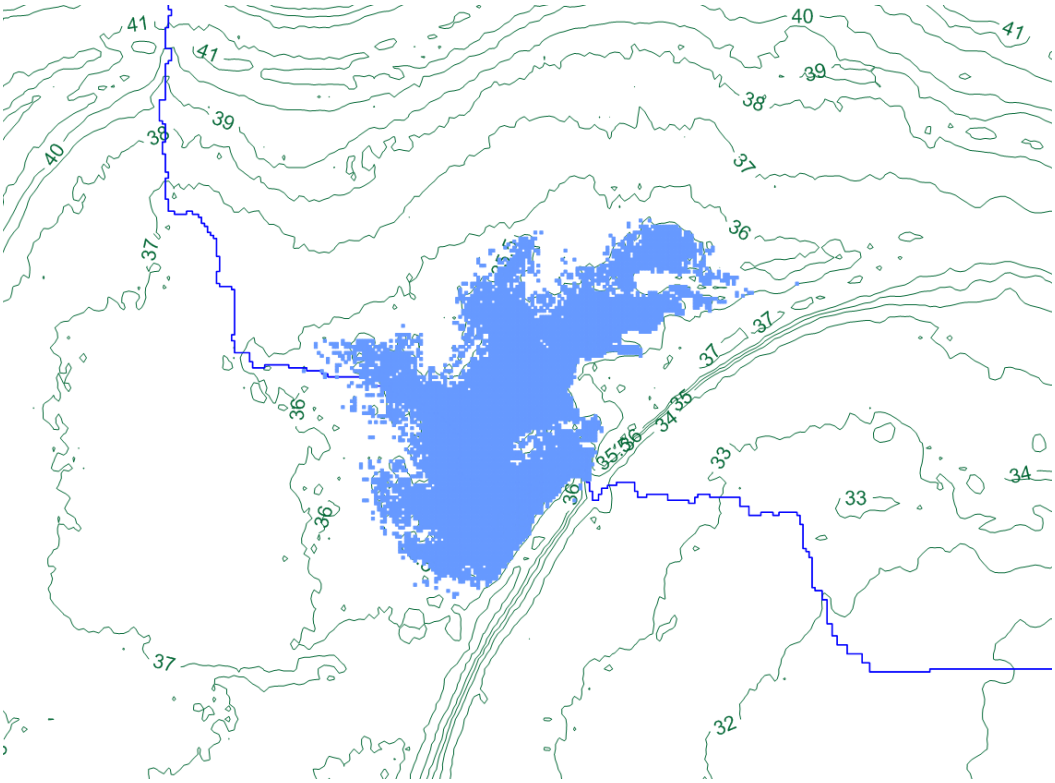
1.10 Beräknat läckage från vattensamlingen vid olika vattennivåer

I de följande beräkningarna har vi använt oss av den beskrivning av vallen som inkluderar tre olika lager (samt berg under vallen). Vallens genomsläpplighet är definierad i enlighet med de medianvärdena som diskuterades i förra kapitlet (Beräkningsfall 2).

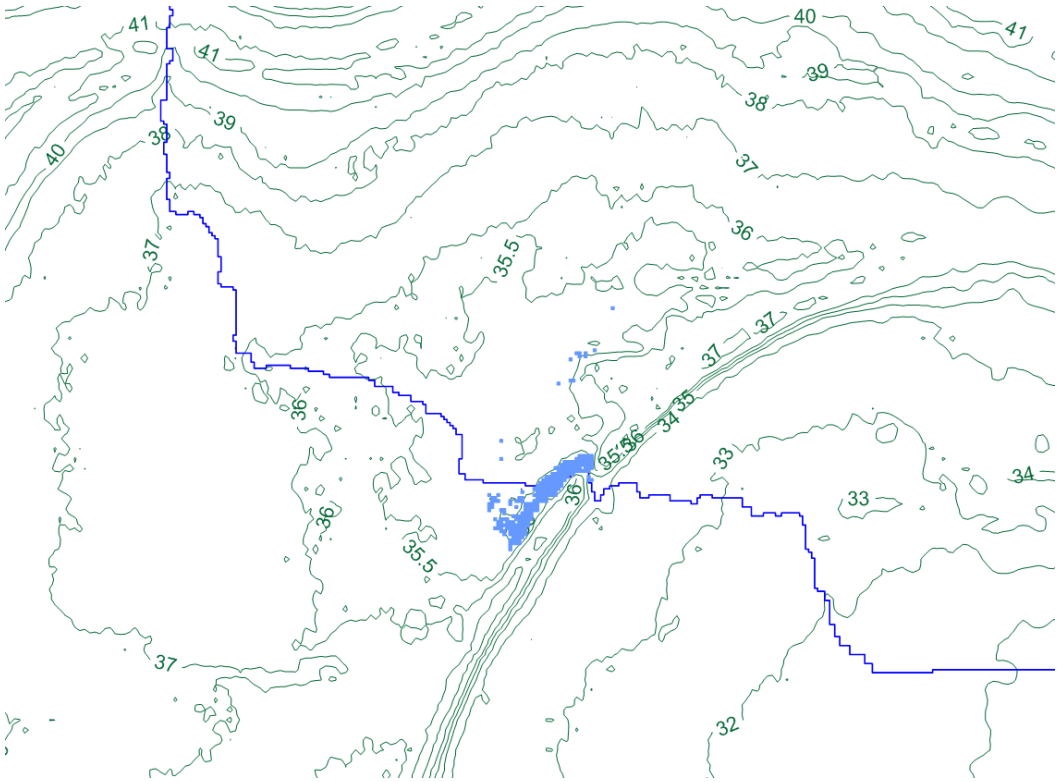
För att beräkna vattennivån i vattensamlingen för ett normalår, måste vi först beräkna läckage från vattensamlingen, dvs flöde genom vallen, för olika värden på vattennivån i vattensamlingen. Fyra olika värden på vattennivån har studerats: +36 möh, +35.5 möh, +35 möh, +34.7 möh. Dessa fyra vattennivåer motsvarar vattensamlingar med mycket olika storlek, se Figur 1-16, Figur 1-17, Figur 1-18 och Figur 1-19. De beräknade flödena genom vallen för dessa nivåer visas i Figur 1-20.



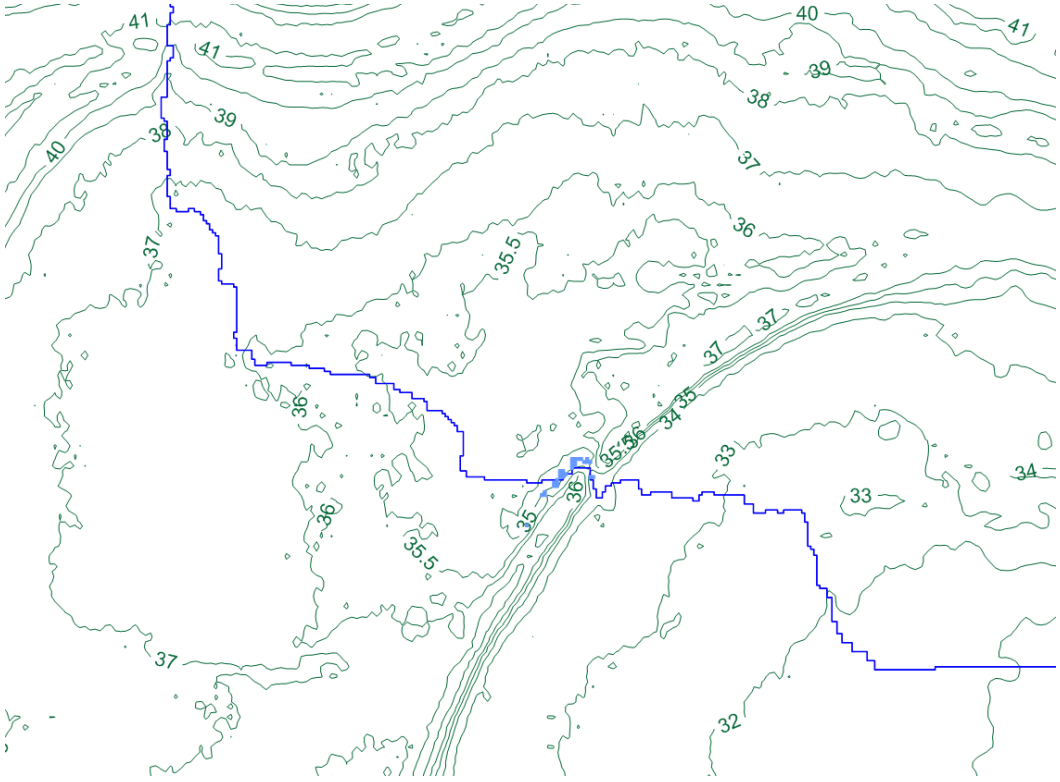
Figur 1-16 Storlek på vattensamlingen i modellen då vattennivån i vattensamlingen är lika med +36 möh.



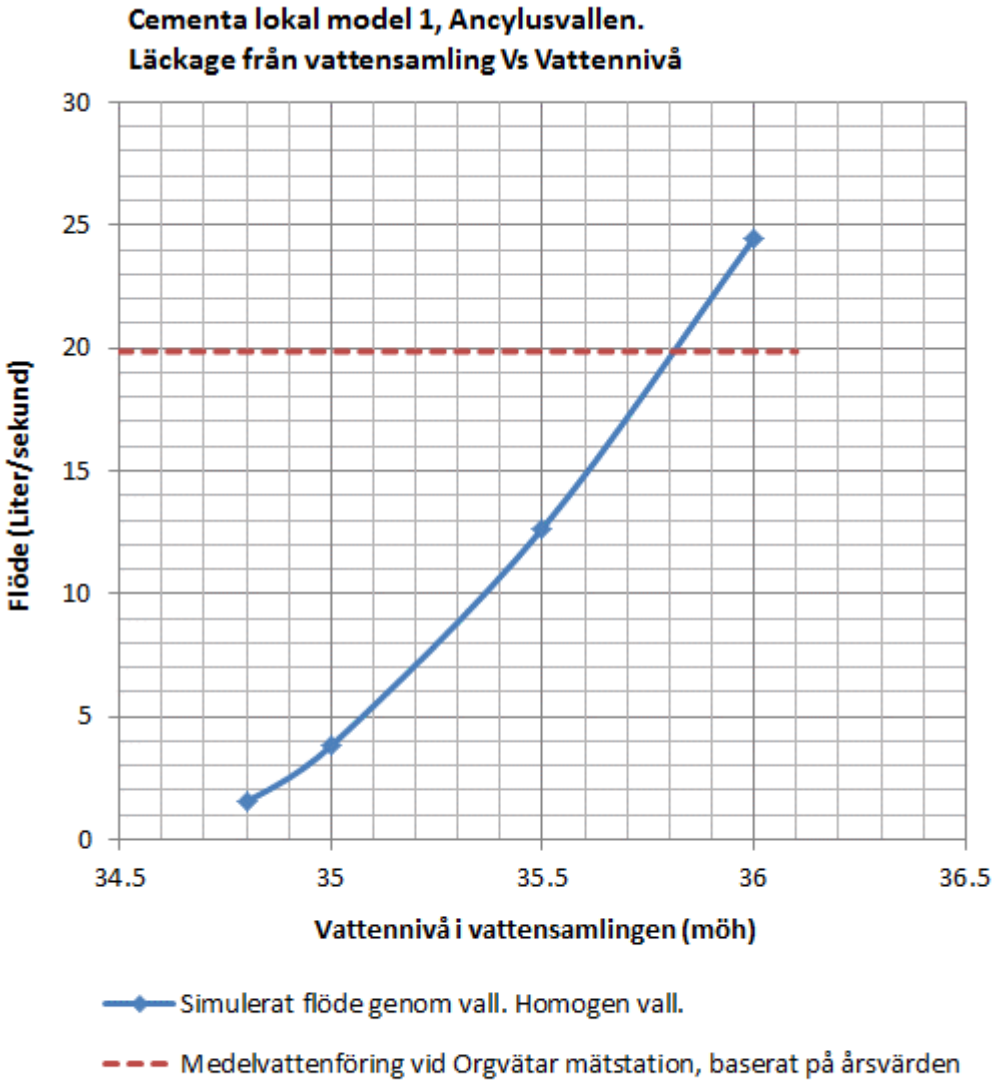
Figur 1-17 Storlek på vattensamlingen i modellen då vattennivån i vattensamlingen är lika med +35.5 möh.



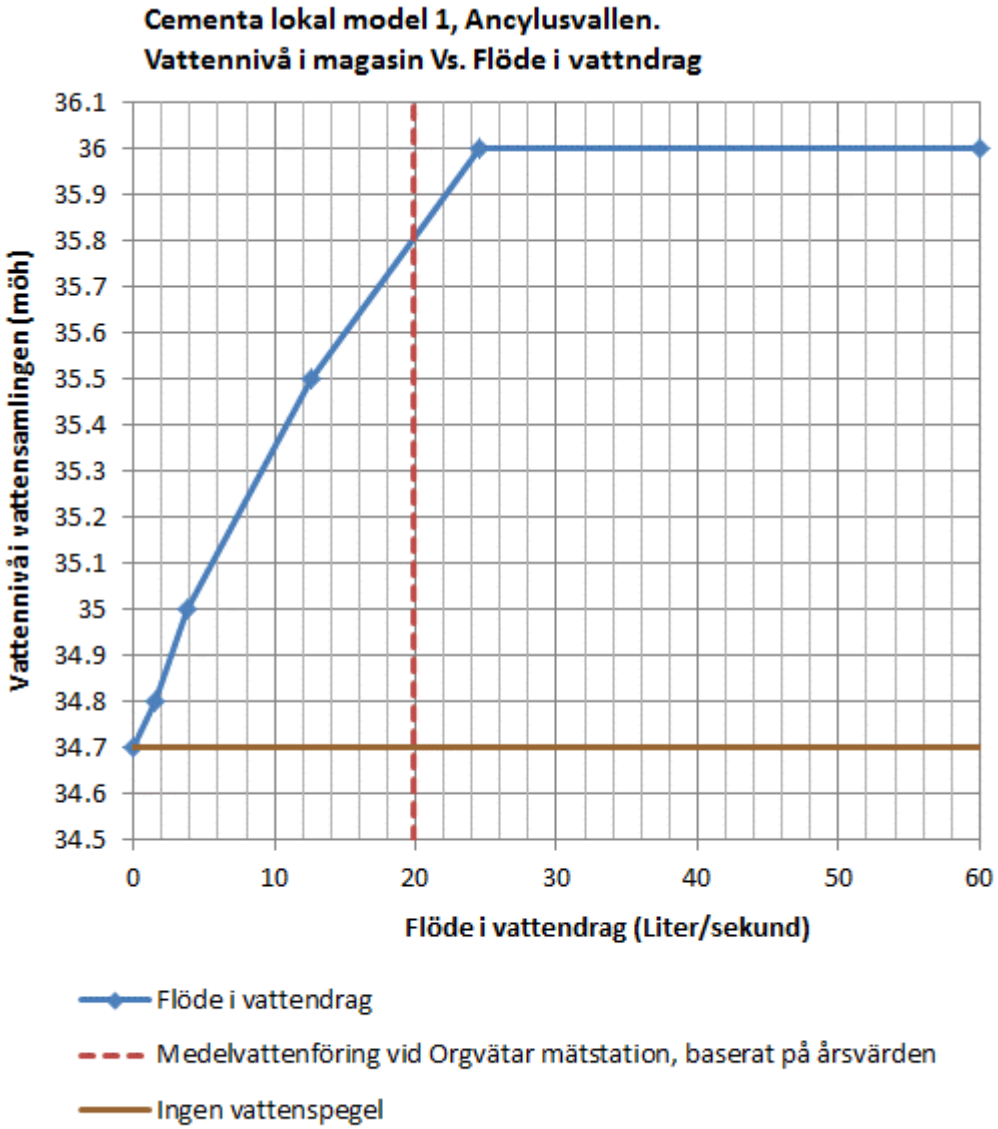
Figur 1-18 Storlek på vattensamlingen i modellen då vattennivån i vattensamlingen är lika med +35 möh.



Figur 1-19 Storlek på vattensamlingen i modellen då vattennivån i vattensamlingen är lika med +34.8 möh.



Figur 1-20 Beräknat läckage från vattensamlingen (flöde genom vallen) för olika värden på vattennivån i vattensamlingen. Figuren visa också medelvattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation, baserat på årsvärden.



Figur 1-21 Beräknat vattennivå i vattensamlingen för olika flöden i bäcken. Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh, och att stationärt tillstånd uppnås. Figuren visa också medelvattenföringen i Orgvätarbäcken vid SMHI:s mätstation, baserat på årsvärden.

1.11 Beräknade vattennivåer i vattensamlingen för ett normalår baserat på månadsmedelvärden

De beräknade flödena genom vallen vid olika vattennivåer i vattensamlingen visas i Figur 1-20. Figur 1-21 är inversen av Figur 1-20. Figur 1-21 visar hur vattennivån i vattensamlingen varierar med vattenföringen i bäcken, under förutsättning att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh, och att flödena representerar månadsvärden, och att stationärt tillstånd uppnås under den studerade månaden.

Hur vattennivån i vattensamlingen kommer att variera under ett normalår kan uppskattas genom att kombinera de månadsmedelvärden för bäckflödena som visas i Tabell 1-1 med nivåerna som visas i Figur 1-21. Resultatet presenteras i Figur 1-22. Figuren visar beräknad vattennivå i vattensamlingen för månader under ett normalår (baserat på perioden 2000 till 2018). Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh, och att bäckflödena representerar månadsvärden, och att stationärt tillstånd uppnås under den studerade månaden.

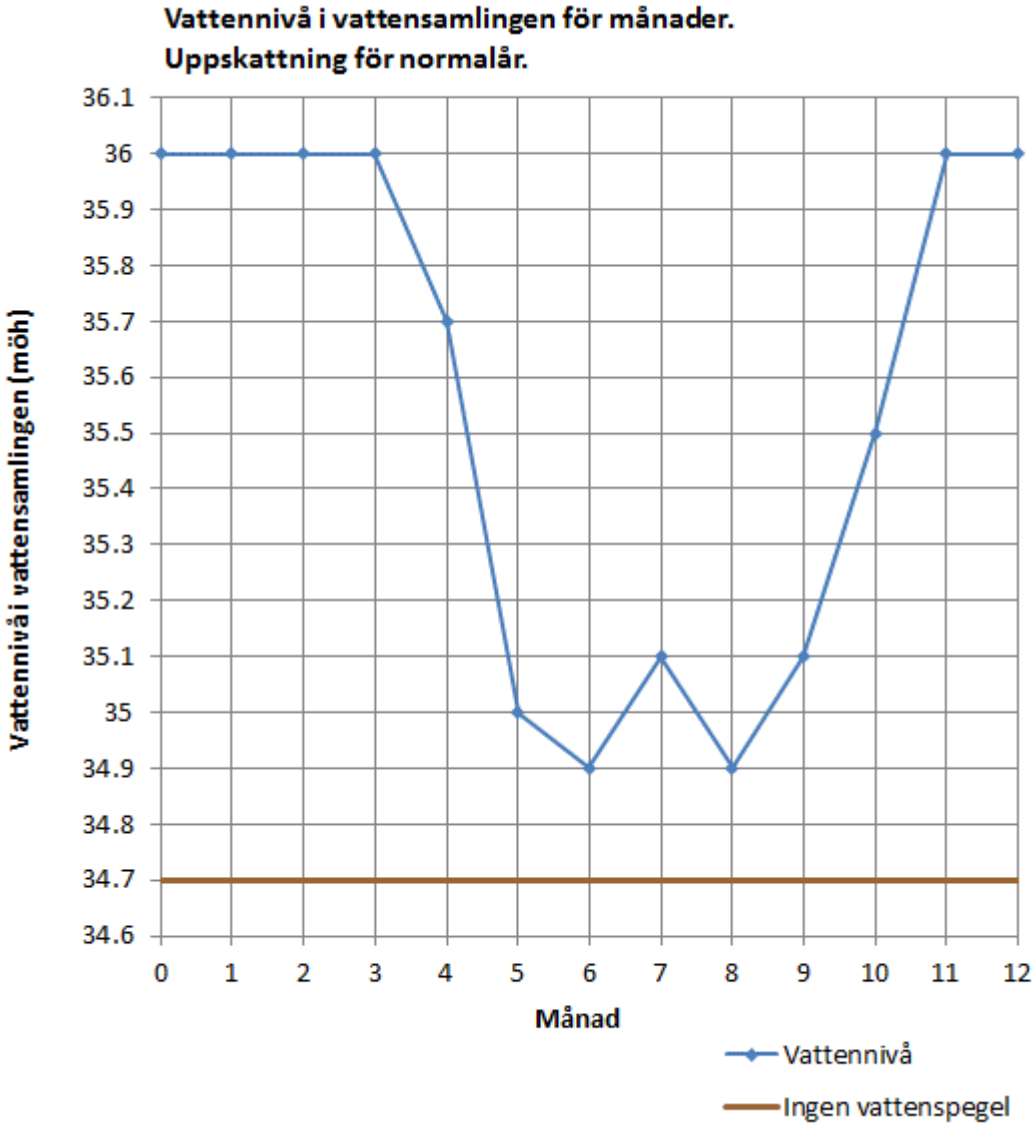
Hur vattensamlingens area kommer att variera under ett normalår kan uppskattas genom att vattennivåerna (tex i Figur 1-21) ersätts med motsvarande areor. Arean beräknas baserat på de områden som visas i Figur 1-16 till Figur 1-19. Resultatet visas i Figur 1-23. Figuren visar beräknad area för vattensamlingen för månader under ett normalår (baserat på perioden 2000 till 2018). Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh, och att de underliggande bäckflödena representerar månadsvärden, och att stationärt tillstånd uppnås under den studerade månaden.

Beräkningarna visar att en vattennivå på +36 möh kan troligen upprätthållas i vattensamlingen under nära sex av årets månader, under ett normalår. Under vår och sommar kommer dock vattennivån i vattensamlingen att sjunka, och under sommarens torraste period är det troligt att vattensamlingen helt kommer att försvinna.

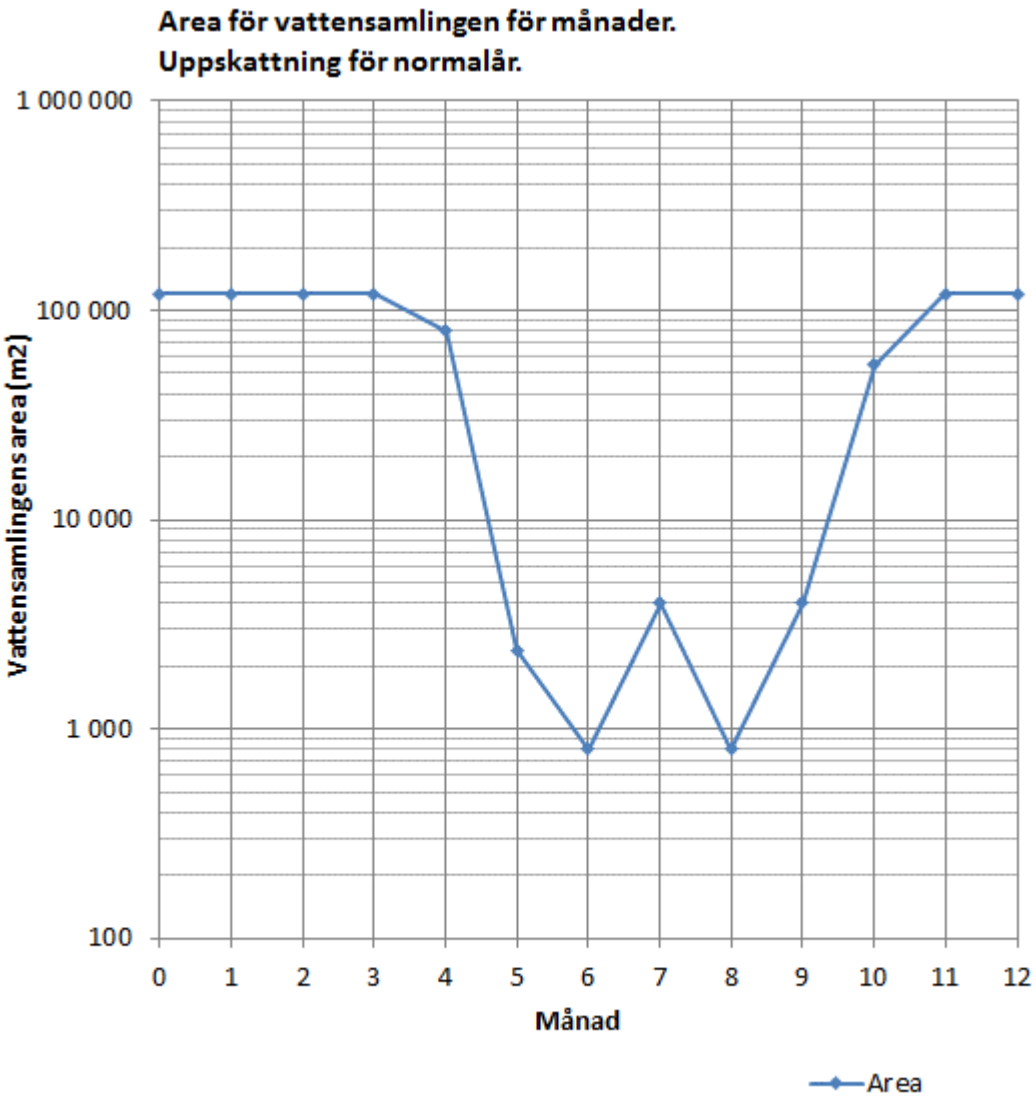
Beräkningarna som presenteras i Figur 1-22 och Figur 1-23 baseras på bäckflödena vid Orgvätar. Den studerade vallen ligger ett gott stycke nedströms mätstationen vid Orgvätar och har därmed ett tydligt större avrinningsområde, och därför kommer de verkliga bäckflödena vid vallen att vare större än de flöden som har använts för att beräkningarna som presenteras i Figur 1-22 och Figur 1-23. Därför är det möjligt att vattensamlingen kommer att bestå under en längre period än den tidsperiod som visas i dessa två figurer.

Avdunstningen från vattensamlingens fria vattenyta är troligen betydande,denna effekt är inte medtagen i de beräkningar som presenteras i Figur 1-22 och Figur 1-23.

Effekten av snömagasin och tjäle är inte inkluderade i denna studie.



Figur 1-22 Beräknad vattennivå i vattensamlingen för månader under ett normalår (baserat på perioden 2000 till 2018). Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh, och att bäckflödena representerar månadsvärden, och att stationärt tillstånd uppnås under den studerade månaden.



Figur 1-23 Beräknad area för vattensamlingen för månader under ett normalår (baserat på perioden 2000 till 2018). Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh, och att de underliggande bäckflödena representerar månadsvärden, och att stationärt tillstånd uppnås under den studerade månaden.

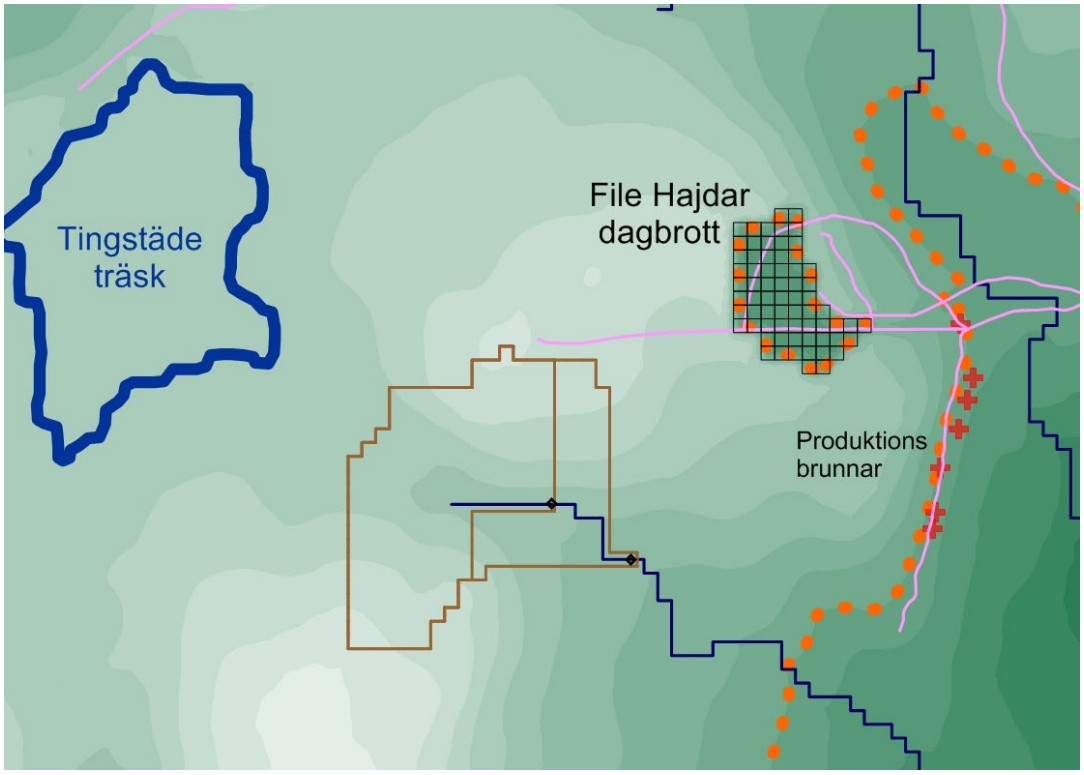
1.12 Beräknade vattennivåer i vattensamlingen för ett normalår baserat på veckovärden och korrigerat avrinningsområde mm

I detta kapitel beräknas också hur vattennivån i vattensamlingen varierar. I beräkningar i detta kapitel har följande förbättringar inkluderats i jämförelse med beräkningarna som presenterades i det förra kapitlet.

- Beräkningarna är utförda som medelvärden för veckor, istället för månader. Detta ger bättre upplösning,

- Det studerade avrinningsområdets storlek har korrigerats. Den studerade vattensamlingen ligger ett gott stycke nedströms mätstationen vid Orgvätar och har därmed ett tydligt större avrinningsområde, se Figur 1-24. En jämförelse mellan Orgvätar mätstations avrinningsområde och vattensamlingens avrinningsområde visar att vattensamlingens avrinningsområde är 1.39 gånger större än Orgvätar mätstations avrinningsområde.

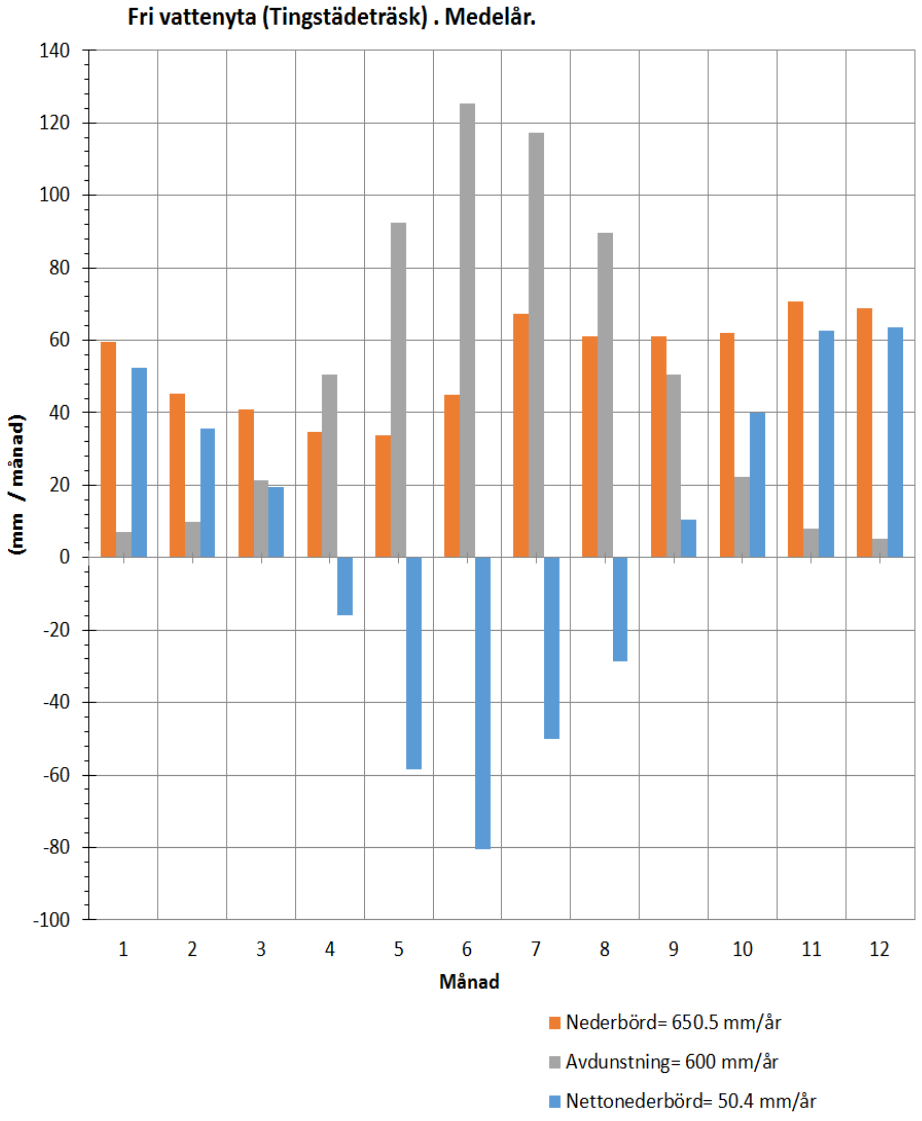
För att representera bäckflöden vid vattensamlingen har därför bäckflödena vid Orgvätar mätstation multiplicerats med 1.39. Det är dessa större flöden som har använts i beräkningarna i detta kapitel.



Figur 1-24 *Beräknade avrinningsområden för Orgvätar mätstations och den studerade vattensamlingen. Vattensamlingens avrinningsområde inkluderar hela Orgvätar mätstations avrinningsområde, plus ytterligare ett område nedströms Orgvätar mätstation. Orgvätar mätstation är markerad som den NW punkten längs med Orgvätarbäcken. Vallen är markerad som den SÖ punkten längs med Orgvätarbäcken. Avrinningsområdena är markerade med bruna linjer.*

- Magasins effekter har inkluderats i analysen, även om magasinseffekterna storlek är uppskattad med en viss osäkerhet.

- Avdunstningen från vattensamlingens fria vattenyta är medtagen i beräkningarna. Avdunstningen är inkluderad på samma vis som nettonederbörden över Tingstäde träsk, under de månader då nettonederbörden är negativ (april till aug).



Figur 1-25 Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende en fri vattenyta (t.ex. Tingstäde träsk).

Tabell 1-3 Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende en fri vattenyta (t.ex. Tingstäde träsk).

	Slite och File hajdar. Fri vattenyta, Tingstäde träsk. Uppskattad och beräknad vattenbalans [mm/månad]												
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	59.4	45.3	40.9	34.8	33.9	45.0	67.3	61.0	61.1	62.2	70.7	68.9	650.5
E	7.1	9.8	21.3	50.7	92.4	125.3	117.3	89.8	50.7	22.2	8	5.3	600
R	52.3	35.5	19.6	-15.8	-58.5	-80.3	-50.5	-28.8	10.5	39.9	62.7	63.5	50.0

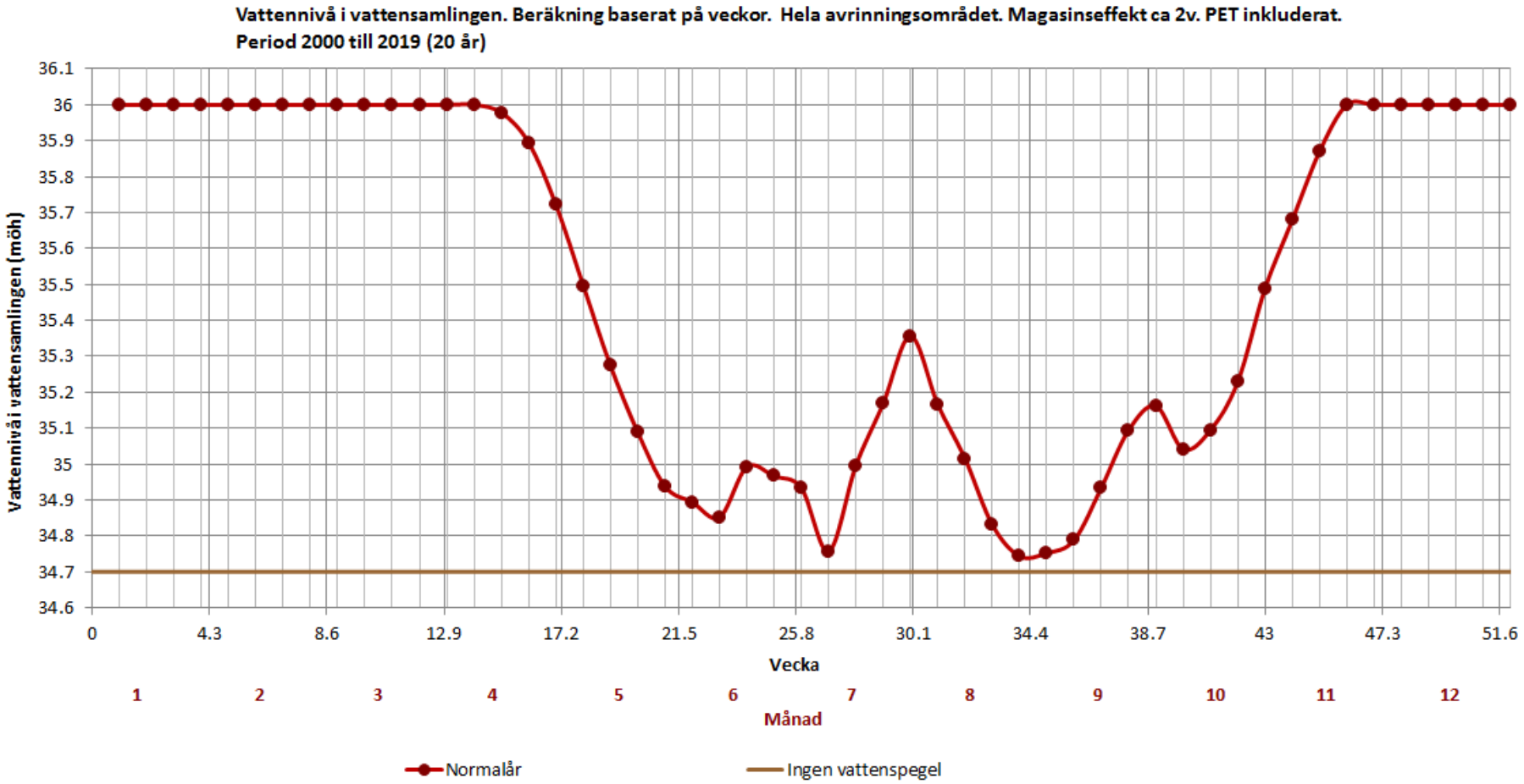
Resultat av beräkningarna ges nedan.

Figur 1-26 visar hur vattennivån i vattensamlingen varierar med vattenföringen i bäcken under ett normalår för perioden 2000 – 2019 (20 år). Figur 1-27 visar hur vattennivån i vattensamlingen varierar för ett normalår, samt för åren med största respektive minsta medelflödet. Figurerna förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh.

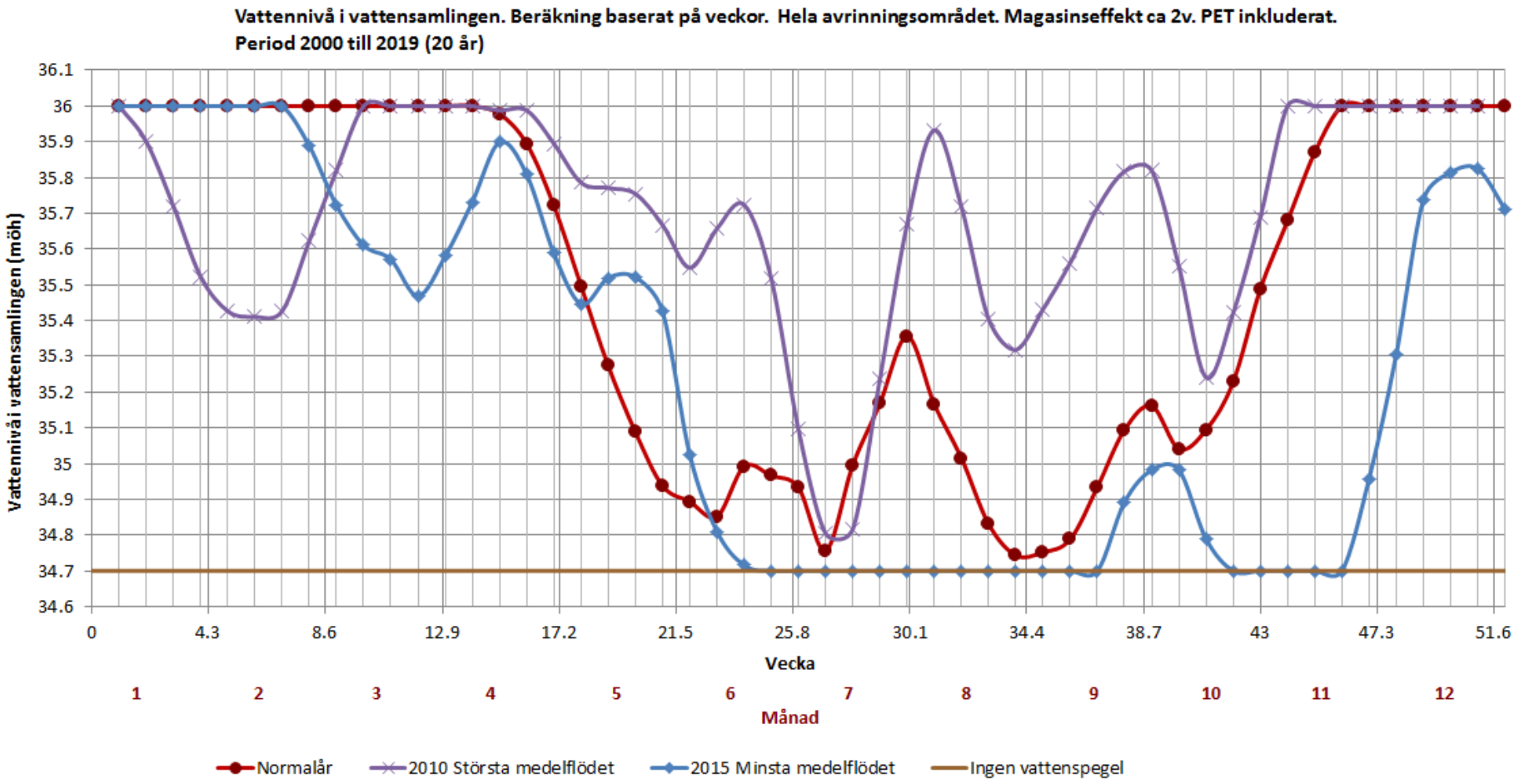
Hur vattensamlingens area kommer att variera under ett normalår kan uppskattas genom att vattennivåerna (tex i Figur 1-26) ersätts med motsvarande areor. Arean beräknas baserat på de områden som visas i Figur 1-16 till Figur 1-19. Resultatet visas i Figur 1-28 och Figur 1-29. Figurerna visar vattennivå och area för vattensamlingen för veckor under ett normalår (baserat på perioden 2000 till 2019 – 20 år), samt för åren med största respektive minsta medelflödet. (Figurerna förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh).

Beräkningarna visar att en vattennivå nära +36 möh kan troligen upprätthållas i vattensamlingen under fem till sex av årets månader, under ett normalår. Under vår och sommar kommer dock vattennivån i vattensamlingen att sjunka, och under sommarens torraste period är det troligt att vattensamlingen helt kommer att försvinna.

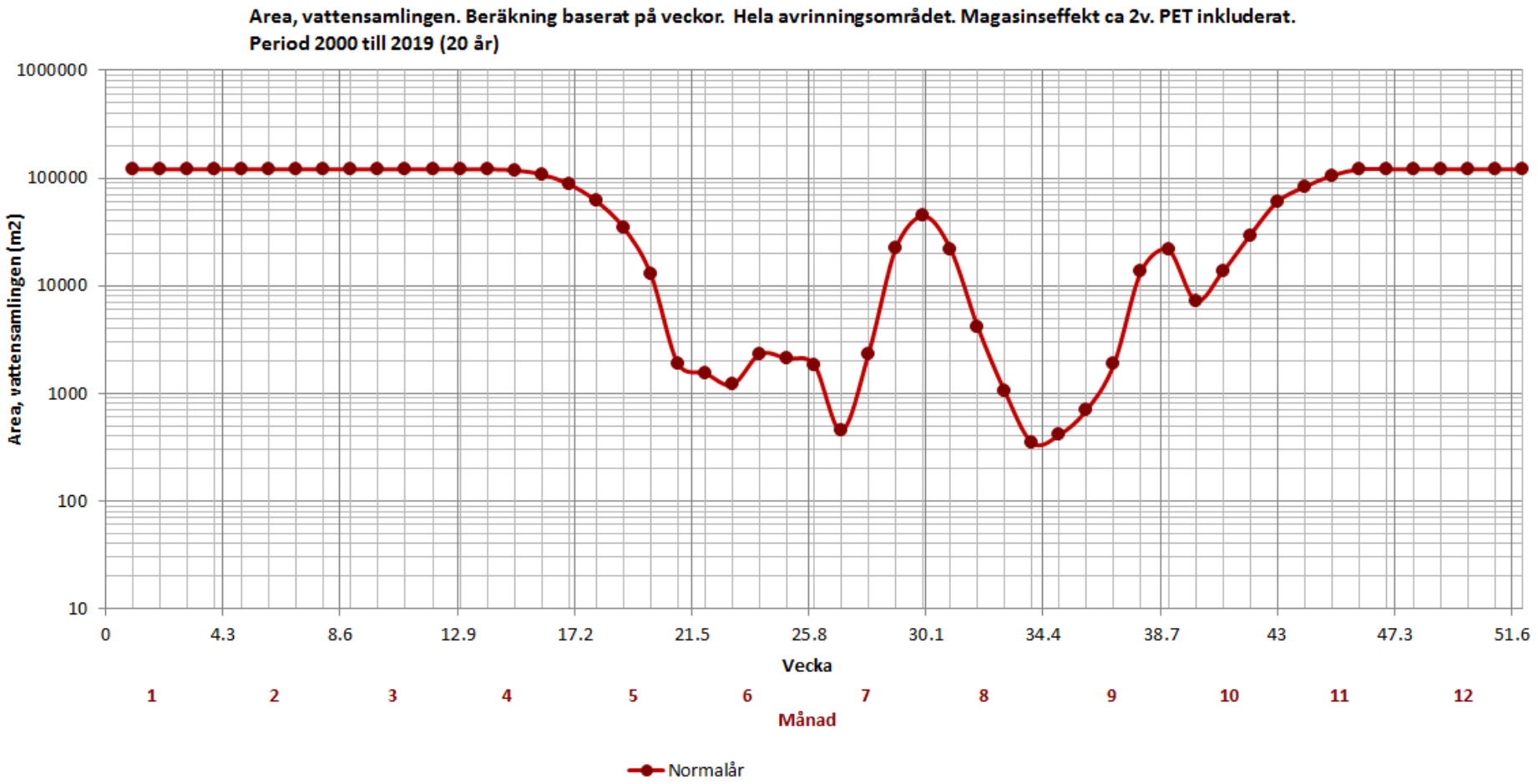
Effekten av snömagasin och tjäle är inte inkluderade i denna studie.



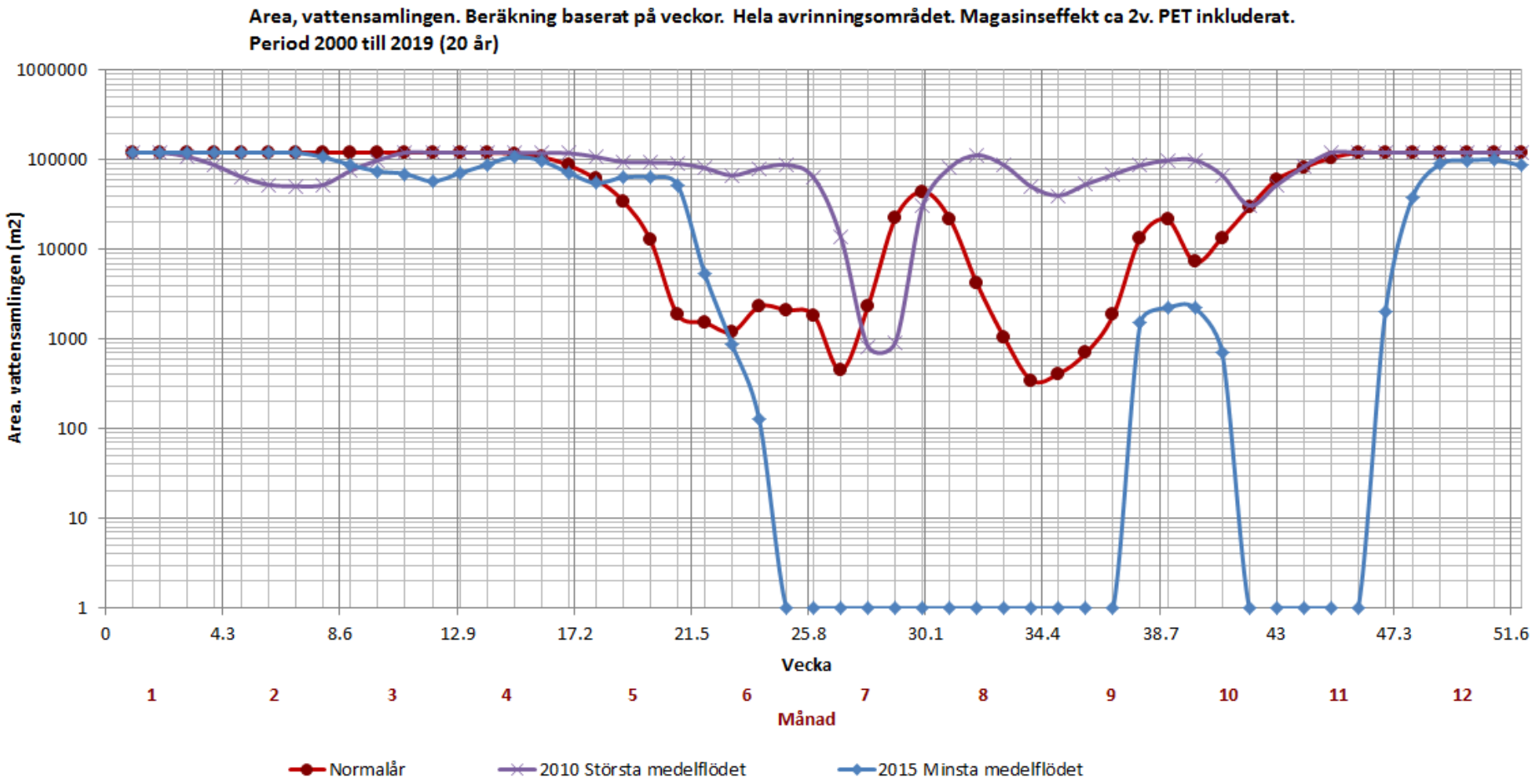
Figur 1-26 Beräknad vattennivå i vattensamlingen för veckor under ett normalår, baserat på perioden 2000 till 2019 (20 år). Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh.



Figur 1-27 Beräknad vattennivå i vattensamlingen för veckor under ett normalår, baserat på perioden 2000 till 2019 (20 år), samt för åren med största respektive minsta medelflödet. Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh.



Figur 1-28 Beräknad area för vattensamlingen för veckor under ett normalår, baserat på perioden 2000 till 2019 (20 år). Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh.



Figur 1-29 Beräknad area för vattensamlingen för veckor under ett normalår, baserat på perioden 2000 till 2019 (20 år), samt för åren med största respektive minsta medelflödet. Figuren förutsätter att vattensamlingen bräddas vid nivån +36 möh.

1.13 Slutsats

Beräkningarna visar att en vattennivå nära +36 möh kan troligen upprätthållas i vattensamlingen under fem till sex av årets månader, under ett normalår. Under vår och sommar kommer dock vattennivån i vattensamlingen att sjunka, och under sommarens torraste period är det troligt att vattensamlingen helt kommer att försvinna.

På länge sikt (flera år in i framtiden) är det troligt att lågpermeabla sediment kommer att ackumuleras på vattensamlingens botten, och vid vallen. Detta kan leda till att läckagen genom vallen kommer att minska i framtiden, och därför är det möjligt att vattensamlingen kommer att bestå under en längre period i framtiden än den tidsperiod som visas i denna studie.

Effekten av snömagasin och tjäle är inte inkluderade i denna studie.

1.14 Referenser

Golder (2017) "Cementa, Slite, Grundvattenmodell - 2017." Golder Associates, Holmén J.

Golder, 2017). Fältrapport.

Holmén J. G. (1997): "On the flow of groundwater in closed tunnels. Generic hydrogeological modelling of nuclear waste repository, SFL 3-5", 286 pp, Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in Earth Sciences, Uppsala University, Sweden, ISBN 91-506-1231-X.

Holmén J. G. (1992): "A three-dimensional finite difference model for calculation of flow in the saturated zone.", (Licentiate thesis) Department of Quaternary Geology, University of Uppsala, Box 555, S-75122 Uppsala, Sweden.

Holmén, J. (2018, 2019) Geoan Users Guide.

SMHI (2019). Vattenföringsdata.

http://vattenweb.smhi.se/station/

Stationsnummer	2304
Stationsnamn	ORGVÄTAR
Vattendragsnamn	VIKEÅN
Vattendragsnummer	118117
Avrinningsarea	2,6 km^2
Koordinater (lat,lng)	57,7102 18,682
Dataperiod från	1979-08-10
Dataperiod till	2019-09-19
Stationstyp	Vattenföring
Uppgift från	SMHI

2. Appendix. Beräknad genomsläpplighet vid vallen

Fem provgropar har grävts i Ancylusvallen nära det område där bäcken skär genom vallen. Jordproverr har tagits av Cementa i dessa gropar på olika djup (Ander Birgerson Cementa).

Provgroparna är relativt grunda då rötter och större flata stenar hindrar grävningen. Målsättningen var att komma ner 1 m men groparna är inte mer än c:a 0,5 m djupa, pga mycket sten och rötter.

Prov 1 a – c ligger i genomgrävningen av vallen. De proverna avviker också från de andra och är generellt mer sorterade och utsvallade.

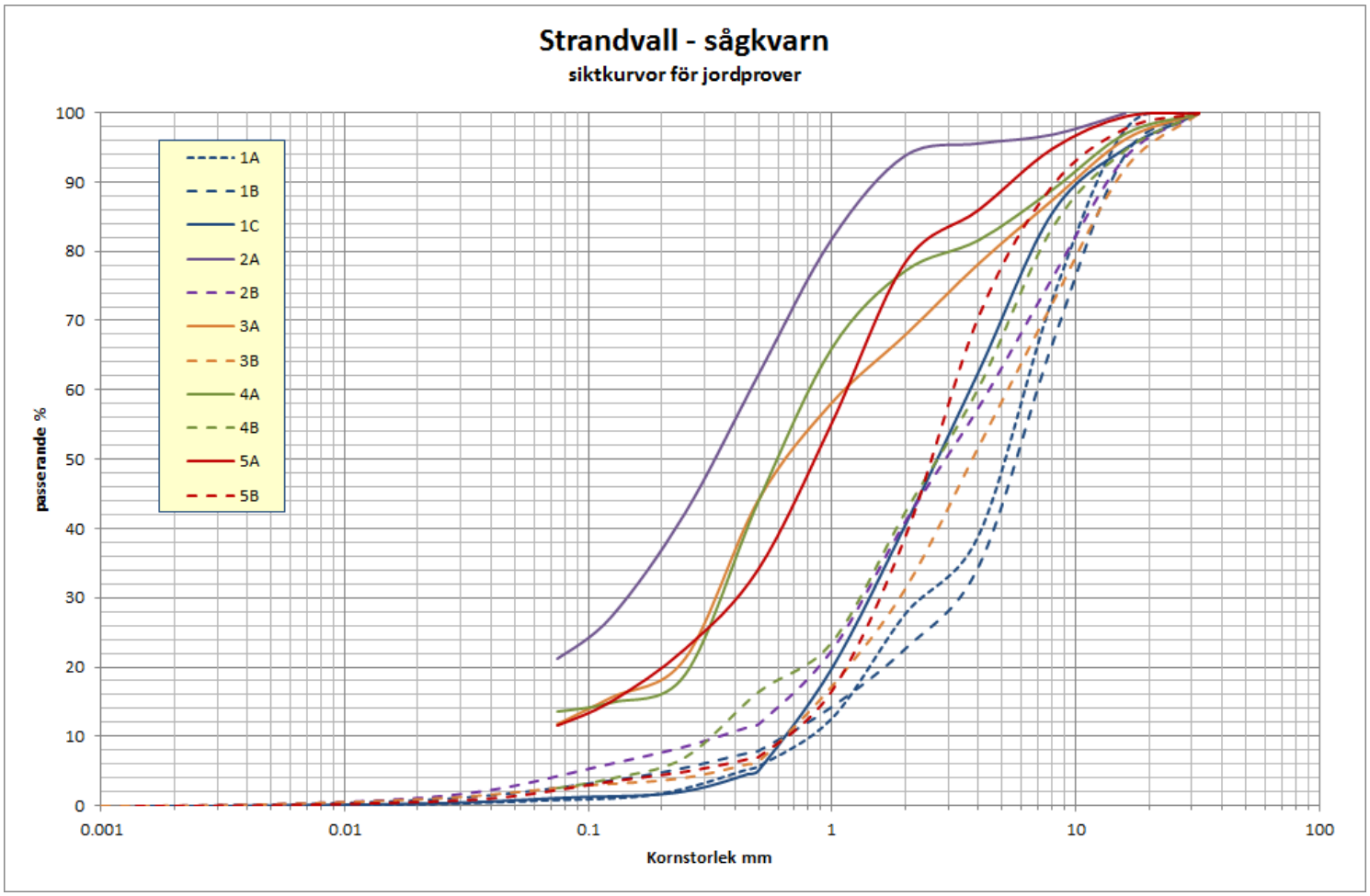
Prov 2 – 5 ligger i sluttningen på vallens västra sida.

Delprov A ligger ytligt strax under förnan och 20 – 30 cm ner.

Delprov B ligger 20 – 30 cm under A.

Generellt är finkornigheten och den organiska halten hög längst upp och högst nära våtmarken. Det märks att området varit dämt tidigare både naturligt och med mänsklig hand och det ligger troligen ett tätande skikt längs vallens hela sträckning på den västra relativt flacka sluttningen (Ander Birgerson Cementa).

Jordproverna siktades av Cementa. Genomsläppligheten har beräknats baserat på siktkurvorna av Golder (Jakob Eng Golder).



Konduktivitet											
	1A	1B	1C	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
D10	0.80	0.62	0.62	0.02	0.5	0.06	0.65	0.02	0.32	0.06	0.65
D60	6.2	7	2.7	0.45	4.5	1.1	5.2	0.45	1.8	1.1	3.1
K (Hazen) (m/s)	7.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.6E-06	2.9E-03	4.2E-05	4.9E-03	4.6E-06	1.2E-03	4.2E-05	4.9E-03
U (Hazen giltig om U<5)	7.8	11.3	4.4	22.5	9.0	18.3	8.0	22.5	5.6	18.3	4.8
g (U)	2.2	2.0	2.6	1.8	2.1	1.8	2.1	1.8	2.4	1.8	2.5
e	0.18	0.16	0.23	0.13	0.17	0.14	0.18	0.13	0.21	0.14	0.22
E(U)	11063	8888	14595	5781	10165	6579	10870	5781	13060	6579	14067
D10 (mikrometer)	0.0008	0.00062	0.00062	0.00002	0.0005	0.00006	0.00065	0.00002	0.00032	0.00006	0.00065
K (Gustafson)	7.1E-03	3.4E-03	5.6E-03	2.3E-06	2.5E-03	2.4E-05	4.6E-03	2.3E-06	1.3E-03	2.4E-05	5.9E-03

		Geomedel	Medel		Max	Min
Sumering 2-5	2-5 A	7.4E-06	1.3E-05	Ytligt	2.4E-05	2.3E-06
	2-5 B	3.1E-03	3.6E-03	I vallen	5.9E-03	1.3E-03

RAPPORT

Strukturgeologiska observationer Filehajdar

Framställd för:

Cementa AB

Insänd av:

Golder Associates AB

Box 20127

104 60, Stockholm, Sverige

08-506 306 00

2020-06-18

Distributionslista

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND....1

2.0 SYFTE....1

3.0 PERSONAL....1

4.0 STRUKTURGEOLOGI NORRA GOTLAND....1

5.0 FÄLTOBSERVATIONER....2

6.0 SLUTSATSER....6

7.0 REFERENSER....7

1.0 BAKGRUND

Golder Associates AB (Golder) har på uppdrag av Cementa AB utfört en översiktlig strukturgeologisk bedömning av området kring File hajdar inom projektet ”Fältundersökningar Cementa Slite”. Bolaget bedriver täktverksamhet och har ansökt om och erhållit tillstånd enligt miljöbalken för fortsatt täktverksamhet samt bortledning av grund- och ytvatten från bolagets två kalkstenstäkter, ”Västra brottet” respektive ”File hajdar-täkten”, belägna inom fastigheten Österby 1:229 i Slite. Bolagets tillstånd har överklagats av bl.a. Länsstyrelsen på Gotland och Naturvårdsverket.

2.0 SYFTE

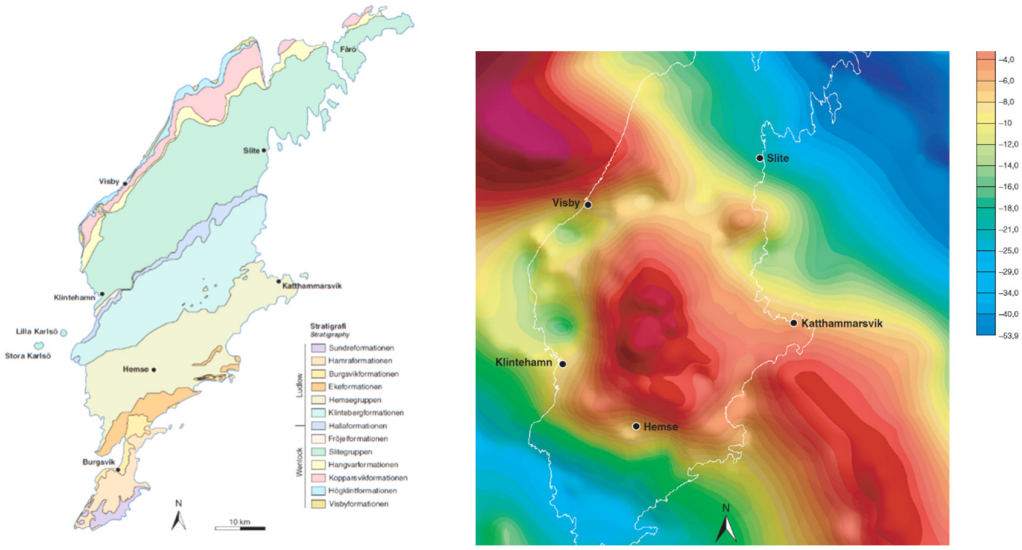
Frågeställningen för den strukturgeologiska bedömningen har varit att bedöma om det inom det sökta brytområdet på File hajdar dels finns potentiellt vattenförande vertikala strukturer eller karstbildningar med betydande storlek som riskerar att hamna inom eller i absolut närhet till planerat brytningsområde, dels om det finns en dominerande riktning på mindre sprickor och karststrukturer som tillsammans kan leda till påverkan av grundvattennivåer antingen vid Tingstäde träsk eller Natura 2000-områdena i söder.

3.0 PERSONAL

Från Golder utförde Jan Hermanson fältbesöket och avrapportering. Jan Hermanson är geolog med mer än 25 års erfarenhet av strukturgeologi och sprickigt berg i både kristallin och sedimentär berggrund i Sverige, Nordamerika och Mellanöstern.

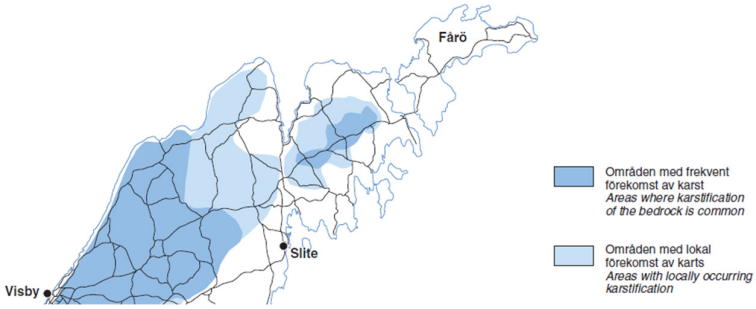
4.0 STRUKTURGEOLOGI NORRA GOTLAND

SGU utförde under åren 2006-2008 en uppdaterad geologisk och geofysisk kartläggning av Gotland (Erlström et al. 2009), se figur 1. Flygmagnetisk mätning tillsammans med tyngdkraftsmätningar över hela Gotland visar på ett underliggande nordvästligt mönster av deformationszoner i urberget under kalkstensformationerna. De två största identifierade nordvästliga zonerna är uppe vid Fårösund respektive nere vid Hemse där den senare sammanfaller med Linköping-Loftahammar deformationszonen. I anslutning till den norra zonen vid Fårösund anges att den äldre underliggande sedimentära berggrunden är breccierad vilket tyder på gamla deformationsrörelser under kambrisk tid. Området som idag utgör centrala-södra Östersjön karaktäriserades under kambrisk tid av en långsam nedsjunkning efter en svag riftbildning av den baltiska plattan. I huvudsak gav detta upphov till nordostliga sprickbildningar, men där Fårö och Hemse anomalierna visar att det även fanns nordvästliga strukturer som utbildades främst under kaledoniska orogenesen. Under silur ökade sedimentationshastigheten snabbt och skapade kalkstensformationerna vi ser idag. Den siluriska berggrunden är förhållandevis lite påverkad av tektoniska händelser. Mindre förkastningar, sprickzoner och lineament förekommer dock frekvent, främst i riktningarna 270°- 310° samt i 40°-60° enligt Erlström et al. I de lineamentsstudier som genomförts finns dessutom tydliga nordvästliga och nordostliga riktningar.



Figur 1. Kartan till vänster visar stratigrafisk indelning av Gotlands berggrund (Erlström et al. 2009). File hajdar ligger i Klintebergsformationen vilken innehåller betydande revformationer samt lagrad kalksten och märgel eller märgelsten. Till höger syns utklipp från Erlström et al. (2009) på de tyngdkraftsanomalier som tolkas vara stora nordvästliga deformationszoner.

Förekomst av småskalig karst är vanligast i kalkstenslagren och revkalkstenen på västra och nordvästra Gotland. Under gynnsamma betingelser kan urlakning leda till vidgning av sprickor, slukhål och underjordiska gångar, tex. den 1.3 km långa Lummelundagrottan (Engh, 1980). SGU har dock identifierat att karstförekomsten avtar betydligt öster om Tingstäde träsk, se figur 2.



Figur 2: Översiktlig karta som visar områden med karst på norra Gotland. Utklipp från Figur 14. i Erlström et al. (2009).

Karstifiering är vanligast förekommande i homogen kalksten med relativt hög karbonathalt. Karstsprickor har identifierats i Slitegruppens bergarter (Erlström et al. 2009) och även vid fältbesöket uppe på File hajdar (se Figur 3. Sprickvidden kan vara uppemot 20 cm på ytan men utbredningen mot djupet är osäker. Ofta syns sprickspåren som gräsbeväxta linjer i hällarna.

Enligt SGU's kartläggning finns större karststrukturer såsom slukhål endast i de markerade områdena i figur 2 och i huvudsak i terräng högre än 25 m.ö.h.

5.0 FÄLTOBSERVATIONER

Jan Hermanson genomförde ett endags fältbesök vid dagbrottet samt uppe på File hajdar under juni 2020. Fokus med besöket var dels att göra fältkontroller av linjära strukturer som kan identifieras på flygfoto, dels

översiktligt mäta in större sprickor och zoner som kunde observeras i eller i absolut närhet till planerat brytområde.

I efterhand har även nyttjats drönarbilder från dagbrottet för mycket översiktlig kartering av större sprickor. Karteringen har utförts på en sk. fotogrammetrisk 3D modell (se figur 6) för att identifiera de dominerande sprickriktningar som förekommer i dagbrottsväggen och deras uthållighet mot djupet.

Det planerade bryt och verksamhetsområdet för File hajdars dagbrott visas i figur 4.

Koordinatsystem – SWEREF 99 - TM

Hela verksamhetsområdet

	N	E
A	6404936.658	721044.709
B	6404605.718	720379.575
C	6403770.21	720413.351
D	6403337.333	721132.993
E	6403280.327	721230.798
F	6403234.162	721456.203
G	6403407.765	721706.591
H	6403718.444	721746.027
I	6403878.558	721961.152
J	6403912.616	721919.627
K	6403883.691	721604.433
L	6404325.909	721320.284
M	6404513.015	721245.667
N	6404691.373	721202.426
O	6404688.225	721144.876

Brytområde

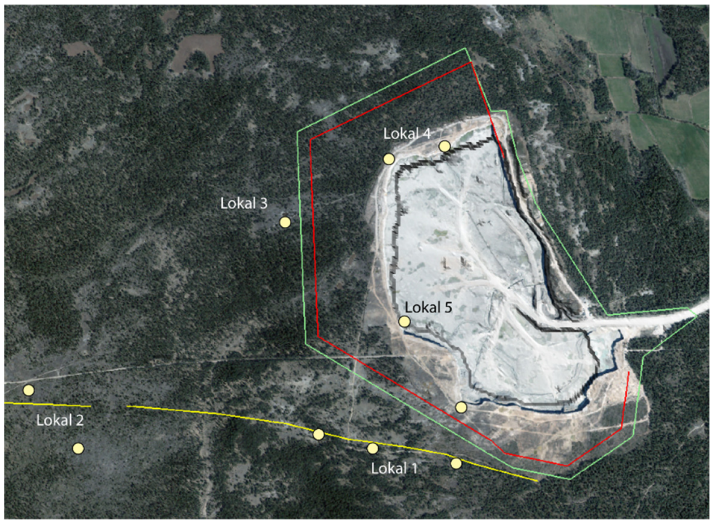
	N	E
1	6404504.052	721196.349
2	6404890.053	721063.294
3	6404575.221	720430.806
4	6403799.657	720462.521
5	6403386.127	721148.663
6	6403338.093	721198.037
7	6403287.345	721445.517
8	6403660.349	721689.976
9	6403434.320	721658.667

Inklusive södra delen av nuvarande tillstånd fram till 2021 (nr 6 – 9).

CEMENTA
HEIDELBERGCEMENTGroup

Figur 4: File hajdar bryt- och verksamhetsområde 2021-41 (av Cementa 2020-06-12)

De lokaler som besöktes är noterade i figur 5. Speciellt fokus var fältkontroll av det västnordvästliga lineamentet (gul linje vid Lokal 1) som går strax söder om verksamhetsområdet (grön linje) upp på File hajdar mot Tingstäde träsk. Lineamentet är tydligt i flygbild med markerad växtlighet längs en linje. Längs med lineamentet syns ingen marksänka av betydelse, endast tydlig växtlighet i lineamentets riktning. Vid lokal 1 är kalkstenslagren intill intakta och uppvisar ingen tektonisk påverkan. Vid lokal 2 befinner man sig stratigrafiskt högre upp i kalkstenen och lineamentsparallella sprickor med svag karstpåverkan syns spridda över närområdet, se figur 6, men det saknas ett tydligt läge för ett uthålligt lineament. Observationerna tyder på att lineamentet upphör eller fördelar ut sig på flertalet mindre, ej sammanhängande sprickor Längre västerut ändras markförhållanden så bergöverytan är täckt av jordlager eller växtlighet. Lokalt karstifierade sprickor med begränsad uthållighet vid lokal 2 domineras av brantstående västnordvästliga (ca 280°) riktningar följt av en mindre dominant grupp mot nordost (ca 70°).



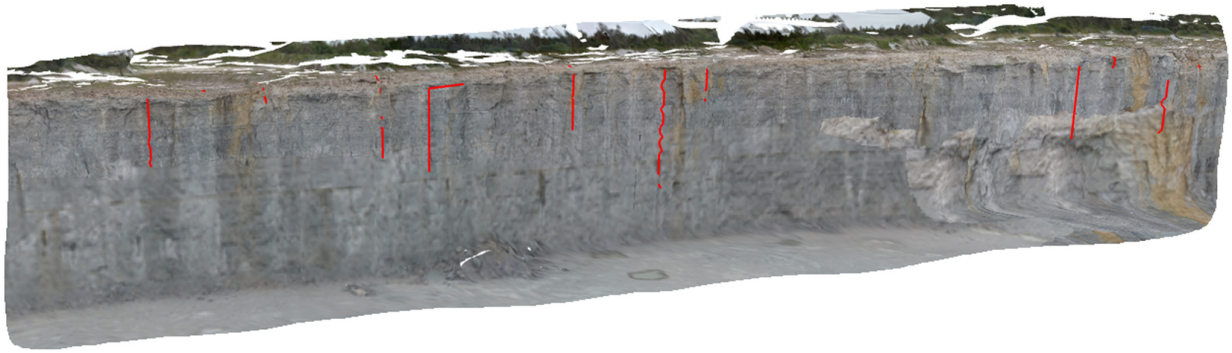
Figur 5: Besökta lokaler på File hajdar

Figur 6: Exempel på observationer av svagt karstifierade sprickor uppe på File hajdar vid lokal 2.

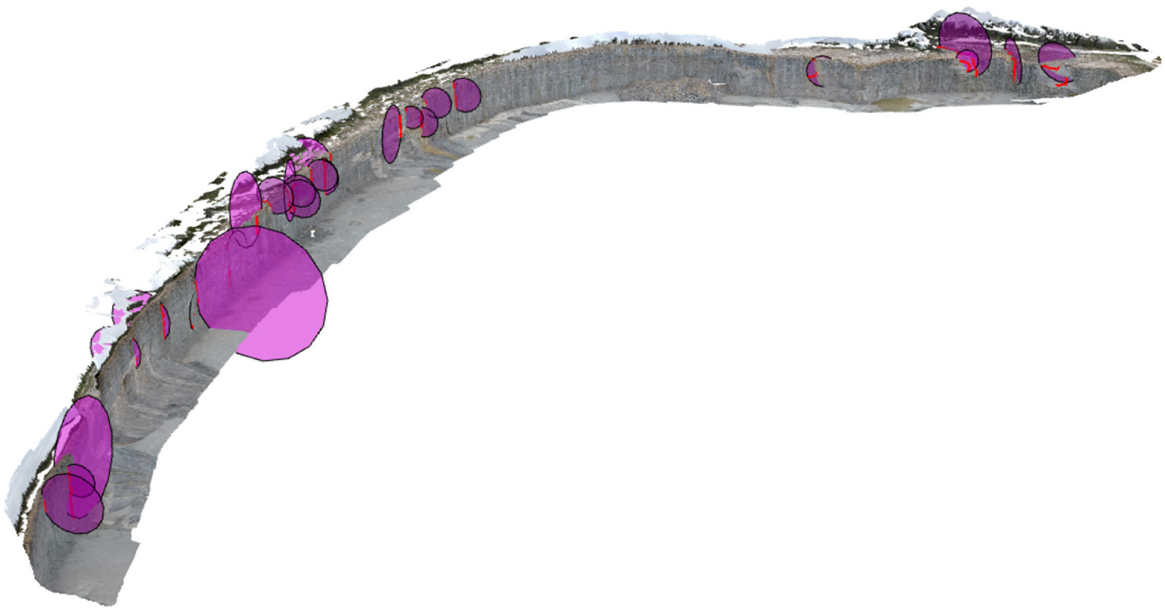
Rör man sig nordväst till norr om dagbrottet, vid lokalerna 3 och 4 domineras sprickriktningarna istället av den nordostliga sprickgruppen (ca 70°) samt en mindre dominant grupp med riktning mot nordväst (330°). Mycket svaga eller inga indikationer på karstifiering kunde observeras i detta område. Sprickor i öppna hällar vanligtvis med gräsväxtlighet eller enbart synliga sprickplan i kalkstenen. Vid avbaning för dagbrottet vid lokal 4 kan dessa sprickgrupper tydligt observeras i övre delen av kalkstenen. Dock varierar uthålligheten mot djupet mycket vid observationer i dagbrottet. Ett fåtal strukturer når botten av dagbrottet, men flertalet avstannar mot kalkstenslager mellan ca 2-10 m djup. Vid lokal 5 kan noteras att den övre delen av kalkstenen ibland är eroderad längs stråk där det ligger moränavlagringar alternativt svallsediment. Sådana topografiska sänkor kan ibland tolkas vara sprickzoner, men här saknas evidens av detta i dagbrottsväggen. På topografiska kartan syns tydligt dessa erosionsstrukturer uppe på File hajdar, se figur 7.

Figur 7: Erosionsstrukturer på File hajdar mellan över och underliggande kalkstenslager ger upphov till små långsträckta dalgångar. Samma fenomen kan observeras vid avbaningar längs dagbrottskanten vid lokal 5 (se figur 5.

Cementa genomförde fotografering av dagbrottets västra och norra del den 12 juni 2020. Golder bearbetade materialet och genererade fotogrammetrimodeller som mycket översiktligt karterades med avseende på dominerande sprickriktningar. En liten del av modellen illustreras i figur 8 och en större överblick i figur 9.

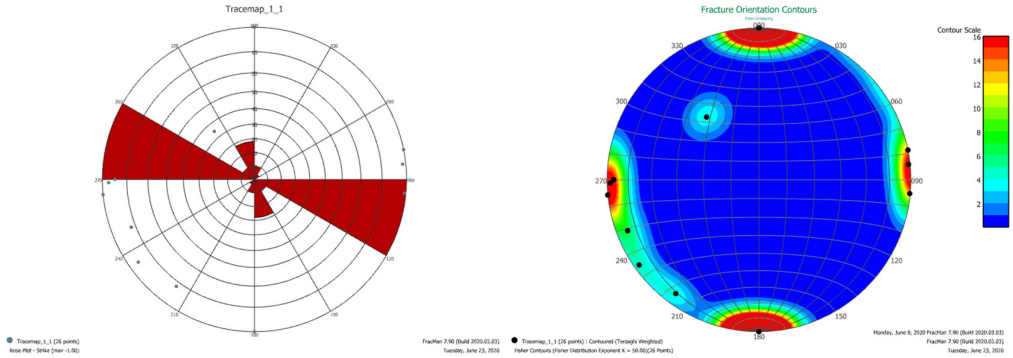


Figur 8: Illustration av en liten del av fotogrammetrimodellen för File hajdars dagbrott. En översiktlig kartering utfördes av dominerande sprickor (röda linjer). Vy mot väster.



Figur 9: Fotogrammetrimodell av västra och norra delen av File hajdars dagbrott. Cirklar illustrerar endast positionen för observerade sprickspår. Vy mot norr.

De dominerande sprickriktningarna kan ses i sprickrosen och stereonät i figur 10. I den västra delen av dagbrottet domineras riktningarna av nord-nordvästliga sprickor (330°). I den norra delen är den dominerande sprickgruppen ost-nordostlig (70°) och ger upphov till ganska stora brottytor. De ost-nordostliga sprickorna tenderar att nå djupare genom kalkstenslagren än den nord-nordvästliga.



Figur 10: Sprickros och stereonät (konturerad nedre hemisfärs projicerad sprickpolsplott) av de dominerande sprickriktningarna.

6.0 SLUTSATSER

De observationer som gjorts i dagbrottet och kring verksamhetsområdet visar två dominerande sprickriktningar; nord-nordvästliga och ost-nordostliga samt en nord-västlig lineamentsriktning som överensstämmer med det strörre tektoniska mönstret på Gotland. I västra delen av verksamhetsområdet är nord-nordvästliga riktningar dominerande och i norr ost-nordostliga. Sprickriktningar som sammanfaller med det raka lineamentet söder om verksamhetsområdet förekommer sparsamt nära dagbrottet men mer frekvent längre västerut uppe på File hajdar. Karstifiering är mycket svag eller obefintlig inom verksamhetsområdet.

Då det längre lineamentet går söder om verksamhetsområdet saknas en direkt koppling till den framtida utvidgningen av dagbrottet. Det finns inga indikationer på någon tydlig hydraulisk koppling av spricksystemet

som observeras inom verksamhetsområdet till just detta lineament. De få inläckage av grundvatten som kunde observeras i dagbrottet kan knytas delvis till enskilda kalkstenslager eller till några fåtal brantstående sprickor, då främst i nord-nordvästlig riktning. Djupgående på dessa sprickor tycks vara något mindre än de ost-nordostliga sprickorna i norra delen.

Slutsatsen är att en utvidgning av dagbrottet inom markerat område inte riskerar att gå in i det observerade lineamentet och att spricksystemet förefaller vara likartat det som kan observeras idag i dagbrottet. Noterbart är även att den norra dagbrottsväggen kan riskera att bli ställvis instabil vid berguttag då de ost-nordostliga sprickorna löper parallellt med brytningsriktningen.

7.0 REFERENSER

Engh, L., 1980: Lummelundagrottan med tillhörande karstområde. Svenska grottor 3, Sveriges peleologförbund, 290 s.

Erlström, M., Persson L., Siched, U., Wickström, L., 2009: Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län , K221. Sveriges Geologisk Undersökning.

Signatur sida

Golder Associates AB

Jan Hermanson
Principal

Peter Vikström

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\9. fält\geologi_2020\strukturgeologiskt pm filehajdar.docx

golder.com

RAPPORT

Undersökning av bergets hydrauliska egenskaper med flowlogger

Runt Filehajdar kalkstenstäkt med ett särskilt fokus på Hejnum Kallgate Natura 2000

Framställd för:

Cementa AB

Insänd av:

Golder Associates AB

Box 20127

104 60, Stockholm, Sverige

08-506 306 00

1650142

2020-09-16

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND OCH SYFTE 1

1.1 Geologiska förhållanden 1

1.2 Hydrogeologiska förhållanden 2

2.0 MÄTNING AV VATTENTEMPERATUR, ELEKTISK KONDUKTIVITET SAMT SPINNER FLOW LOGGING 2

2.1 Processen för borrhålsloggning 2

2.2 Genomförande i fält 3

2.3 Kalibrering och tolkning av data 8

2.4 Beräkning av transmissivitet 9

2.5 Högfrekvenstemperatur 10

2.6 Enhålspumptest 11

3.0 RESULTAT 12

3.1 Vattentemperatur, elektrisk konduktivitet och flow logging 12

3.2 Enhålspumptest 17

3.3 Kommentarer från borrprotokoll 18

4.0 REFERENSER 19

5.0 BILAGOR 19

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1: Data för loggade borrhål. Koordinater i SWEREF99 TM and RH2000. 5

Tabell 2: Tabellen visar ungefärliga djup för sektioner loggade under steg 2-3 samt 4-5 och flöden under steg 4-5. Särskilda kommentarer för olika borrhål framgår också. 7

Tabell 4: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och beräknade flöden (% av totalflödet samt L/min) vid opåverkade (steg 2-3) och pumpade (steg 4-5) förhållanden. 13

Tabell 5: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och deras uppmätta temperatur och elektriska konduktivitet i opåverkade och pumpade förhållanden. 14

Tabell 6: Beräknade totala transmissiviteter för borrhål baserat på Ekvation 1 & 2. 16

Tabell 7: Transmissivitet för enskilda sprickor eller sprickzoner identifierade med flowlogging och beräknade med Ekvation 3. 16

Tabell 8: Utvärderad transmissivitet och magasinskoefficient från enhålspumptest. 17

Tabell 9: Kommentarer från borrprotokoll för borrhål BH2001 till BH2007. 18

Figur 1: Konceptuell illustration av grundvattnetsflödesvägar i horisontellalager förbundna med enskilda vertikala sprickor. Figur ursprungligen från SGU (SGU-rapport 2017:01). Figuren är modifierad 2

Figur 2: Översiktskarta över aktuella borrhål som undersöktes under juli 2020. 4

Figur 3: Schematisk överblick av sond för att mäta temperatur och elektrisk konduktivitet (övre till vänster). Spinner Flow Logger i borrhål (övre till höger). I fotot visas en Spinner Flow Logger med två "centralisers" och en "impeller cage". 6

Figur 4: Grafen visar hur ”Counts per second” (CPS), på x-axeln varierar med nedsänkningshastighet. I textrutan framgår R^2 samt kalibreringskoefficienter som användes för utvärdering av flow logging i BH2001till BH2007 samt BH1801B till BH1803. 8

Figur 5: Förenklad bild av en flow log där vatten flödar uppåt från en spricka i mitten av djupsektionen. 9

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1: Översiktskarta över aktuella borrhål som undersöktes under juli 2020. 4

Figur 2: Schematisk överblick av sond för att mäta temperatur och elektrisk konduktivitet (övre till vänster). Spinner Flow Logger i borrhål (övre till höger). I fotot visas en Spinner Flow Logger med två "centralisers" och en "impeller cage". 6

Figur 3: Grafen visar hur ”Counts per second” (CPS), på x-axeln varierar med nedsänkningshastighet. I textrutan framgår R^2 samt kalibreringskoefficienter som användes för utvärdering av flow logging i BH2001till BH2007 samt BH1801B till BH1803. 8

Figur 4: Förenklad bild av en flow log där vatten flödar uppåt från en spricka i mitten av djupsektionen. 9

BILAGOR

BILAGA A
Utvärderade Borrhålsloggar

BILAGA B
Diverdata från enhålspumptest

BILAGA C
Fältprotokoll flowlogging

BILAGA D
Borrhålsprotokoll

1.0 BAKGRUND OCH SYFTE

Cementa (”Bolaget”) bedriver täktverksamhet och har ansökt om och erhållit tillstånd enligt miljöbalken för fortsatt täktverksamhet samt bortledning av grund- och ytvatten från bolagets två kalkstenstäkter, ”Västra brottet” respektive ”File hajdar-täkten”, belägna inom fastigheten Österby 1:229 i Slite. Bolagets tillstånd har överklagats av bl.a. Länsstyrelsen på Gotland och Naturvårdsverket.

Söder om Cementas täktområde på File hajdar finns ett större sammanhängande våtmarksområde skyddat som Natura 2000 områdena Kallgatburg, Hejnum kallgate och Bojsvätar. En stor del av tillståndsprövningen för täkttillstånd har rört eventuell påverkan på yt- och grundvattenförhållandena i dessa våtmarker. Syftet med nu genomförda mätningar har varit att verifiera tidigare antaganden om hydrogeologiska förhållanden framförallt inom och omkring Natura 2000 områdena, men även undersöka ett antal borrhål kopplade till andra hydrogeologiska frågeställningar.

1.1 Geologiska förhållanden

Berggrunden på Gotland består av sedimentära bergarter. Sedimenten som har omvandlats till bergarter avsattes i ett subtropiskt till tropiskt hav. De ytnära bergarterna är av silurisk ålder (415–440 miljoner år gamla). En betydande andel av dessa bergarter utgörs av kalksten med hög kalciumkarbonathalt. Förutom kalksten finns även märgelsten (lerblandad kalksten) och på vissa ställen sandsten. Bergarterna på Gotland uppträder i lager.

Av särskilt intresse för den industriella användningen av kalksten är Slitelagren. Slitelagren består i huvudsak av kalksten och märgelsten. Märgelsten består av karbonat- och silikatbergarter. Det finns övergångsformer mellan kalksten och märgelsten. De kallas vanligen leriga kalksten. Vid File hajdar-täkten, i de obrutna delarna, överlagras märgelstenen av kalksten med en mäktighet på mer än 20 m. File hajdar-täktens södra kant utgörs av revkalksten. Revstrukturen är främst belägen i kalkstenen men sträcker sig även ner i märgelstenen. En utförlig dokumentation av de geologiska förhållandena inom täktområdet på File hajdar gjordes av SGU i slutet av 70-talet (SGU, 1977 och Svantesson, 1980), en rad studier av olika karaktär har gjort sedan dess vilka i huvudsak har verifierat SGU’s beskrivning.

Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en svag lutning av cirka (mellan 0,15° och 0,3°) åt sydost. Varken i Västra brottet eller i täkten på File hajdar har några förkastningar observerats.

De kvartära avlagringarna på File hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen.

På de lågt liggande området mellan Västra brottet och Filehajdar finns relativt mäktiga jordlager av moränlera. Enligt SGU:s jorddjupskarta uppgår jorddjupet i huvudsak till 5-10 m. Mellan moränleran och de tunna jordlagren på File hajdar löper en avlagring av svallsediment (grus) som ett bälte. Avlagringen följer en tidigare strandlinje.

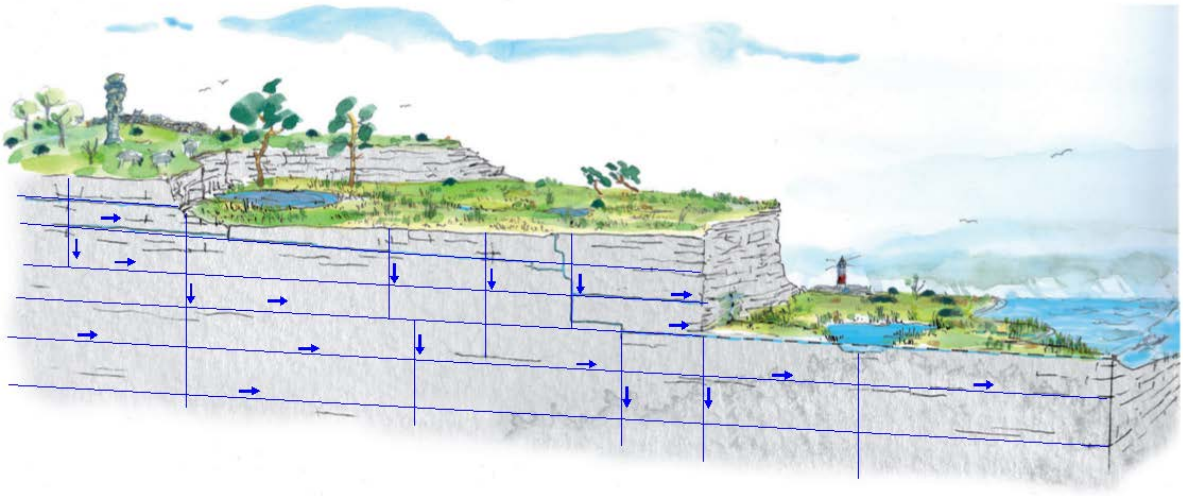
Söder om File hajdar finns ett flackt lågt liggande bäcken vilket i huvudsak utgör Hejnum Kallgate Natura 2000 område. Jordlagren på kalkstenen i bäckenet utgörs av moränlera. Enligt SGU:s jorddjupskarta uppgår jorddjupet i huvudsak till 1-3 m men utifrån observationer i fält är jorddjupet ofta under 1 m. På moränleran eller direkt på kalkstenen löper en serie strandvallar vilka återspeglar Östersjöns olika transgressionstadier. Vallarna har i huvudsak en grusig sammansättning.

1.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattenflödet i berggrunden är till större delen koncentrerat till de ovan beskrivna nära horisontella lager vilka varierar i sin genomsläpplighet och som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande märgelstenen. Strömningsmönstret visas i en schematisk i Figur 1. Vid sidan om de illustrerade flödeskanalerna är kalkstenen mycket tät.

De horisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Den vertikala genomsläppligheten är liten och endast små mängder vatten kan infiltrera och bilda grundvatten. Infiltrationen och den vertikala strömningen sker främst i enstaka vertikala sprickor.

Mellan File hajdar-täkten och Västra brottet vid Dyhagen är kommunens grundvattentäkt belägen. Vattentäkten har stor inverkan på grundvattennivåerna inom ett avstånd på flera kilometer.



Figur 1: Konceptuell illustration av grundvattnetsflödesvägar i horisontellalager förbundna med enskilda vertikala sprickor. Figur ursprungligen från SGU (SGU-rapport 2017:01). Figuren är modifierad

Under nederbördsrika perioder är markytan mer eller mindre vattenmättad. Då sker grundvattenbildningen och grundvattnets trycknivåyta befinner sig nära markytan. Den höga trycknivån beror på att magasinsförmågan (det tillgängliga porutrymmet) är mycket liten vilket leder till att även en liten infiltration av vatten medför en stor höjning av trycknivåytan. Därav sjunker även grundvattenytan kraftigt under perioder utan grundvattenbildning. Grundvattennivåvariationer i berg på 20-30 meter mellan vinter (högvatten) och sommar (lågvatten) är vanliga i området.

Grundvattenförhållandena i strandvallarna och övriga jordlager påverkas främst av nederbörd och ytvattenflöden men i viss mån även av trycknivåer i underliggande berg. En eventuell påverkan på grundvatten i jord är därmed endast en indirekt påverkan till följd av förändrade förhållanden för ytvatten eller grundvatten i berg.

2.0 MÄTNING AV VATTENTEMPERATUR, ELEKTISK KONDUKTIVITET SAMT SPINNER FLOW LOGGING

2.1 Processen för borrhålsloggning

Om ett borrhål borrats i en heterogen bergmassa förekommer ofta flöden mellan olika vattenförande strukturer i kontakt med borrhålet. Genom att mäta vattentemperatur, elektrisk konduktivitet och strömning genom Spinner Flow Logging kan en bättre bild av vad som sker erhållas under opåverkade (ej pumpade) och

påverkade (pumpade) förhållanden. SFL-sonden mäter hastigheten med vilken vattnet flödar vid olika nivåer Positioner för in- och utflöden till borrhålet kan därmed upptäckas och storleksbestämmas.

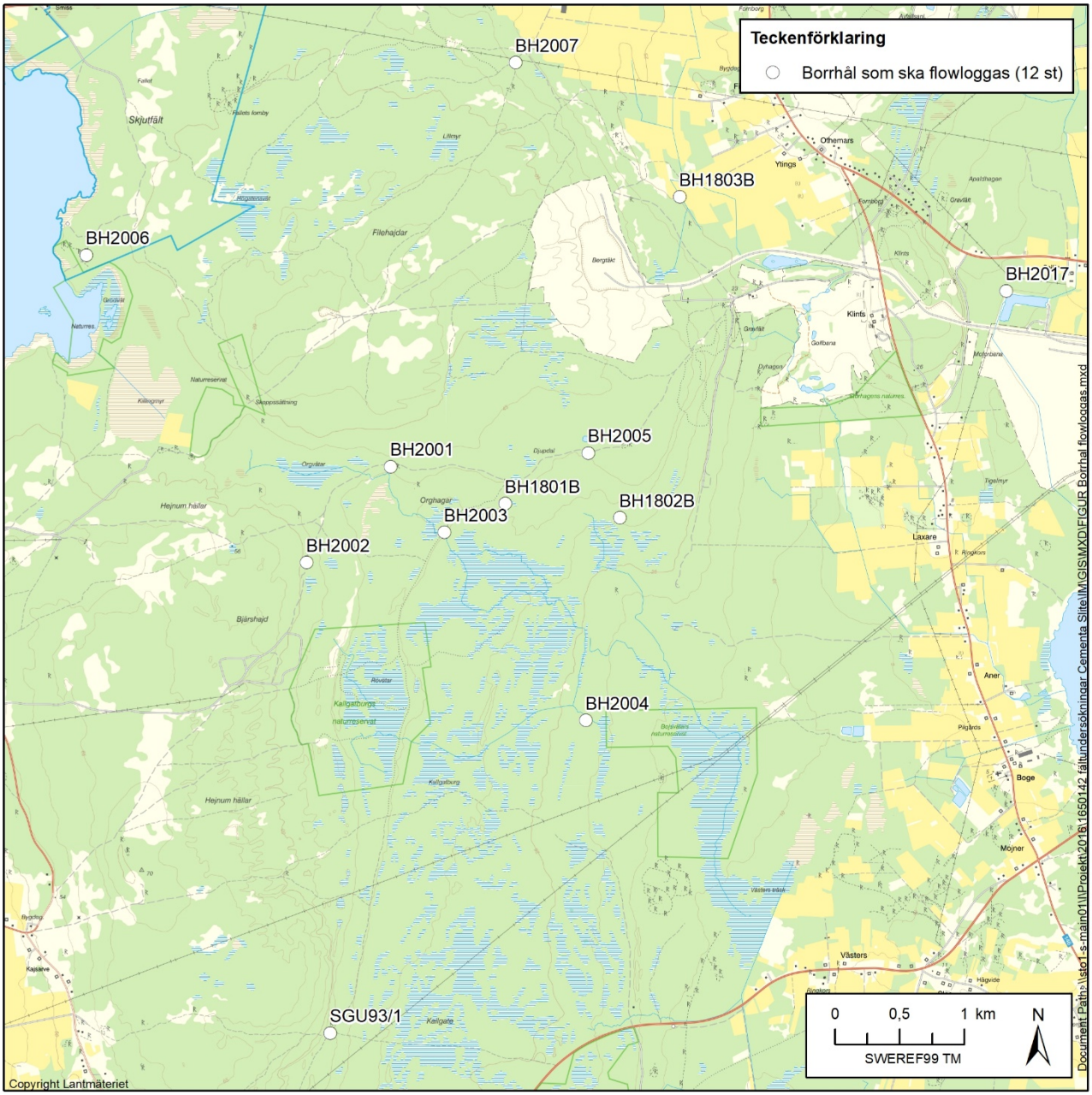
Proceduren för att genom föra en borrhålsloggning kan summeras enligt följande:

- Steg 1 – Innan borrhålsloggningen genomförs testas om eller hur stor del av borrhålets djup är åtkomligt. Detta görs genom att en så kallad ”dummy probe” sänks ned i borrhålet.
- Steg 2 – Loggning av vattenegenskaperna temperatur och elektrisk konduktivitet under opåverkade (opumpade) förhållanden.
- Steg 3 – Flow logging (SFL) genomförs under opåverkade (opumpade) förhållanden. Nivåer för huvudsakliga in- och utflöden längs borrhålsprofilen identifieras.
- Steg 4 - Flow logging (SFL) genomförs under påverkade (pumpade) förhållanden. Genom att pumpa vatten ur borrhålet skapas ett inflöde till borrhålet. På så sätt kan transmissiviteten (genomsläppligheten) för olika sprickor/zoner bestämmas. Pumpningen genomfördes med ett konstant flöde efter att grundvattennivån i borrhålet avsänkts till en stabil lägre nivå.
- Steg 5 – Loggning av vattenegenskaperna temperatur och elektrisk konduktivitet under påverkade (pumpade) förhållanden.

2.2 Genomförande i fält

Borrhålsloggningen genomfördes under slutet av juli månad 2020. Totalt 12 st borrhål avsågs flödesloggas.

Borrhålens placering framgår av Figur 2 nedan.



Figur 2: Översiktskarta över aktuella borrhål som undersöktes under juli 2020.

Av de 12 borrhålen genomfördes opåverkad borrhålsloggning för samtliga utom BH2017 (endast 5 m vatten i hålet) och påverkad (pumpad) borrhålsloggning för alla utom BH2005, BH2017. I BH2005 befann sig grundvattennivån 8 meter ovanför botten på röret och det var därför inte möjligt att logga röret med pumpat flöde på ett tillfredställande sätt.

Borrhålen har en lutning på cirka 90˚ från markytan. I Tabell 1 framgår koordinater, borrat djup, nivå för markyta och uppmätt MPD (maximalt pejlbart djup) vid borrhålsloggning. För BH2006 uppmättes ett maximalt pejlbart djup större än det angivna borrade djupet av borrhålet. Detta antas bero på att borrhålet krökt ihop med ett äldre intilliggande borrhål SGU borrat, Slite_100. BH2006 borrades delvis för att ersätta detta rör då det var igensatt med skräp i dess övre del. MPD från loggningen överensstämmer med borrdjup för Slite_100.

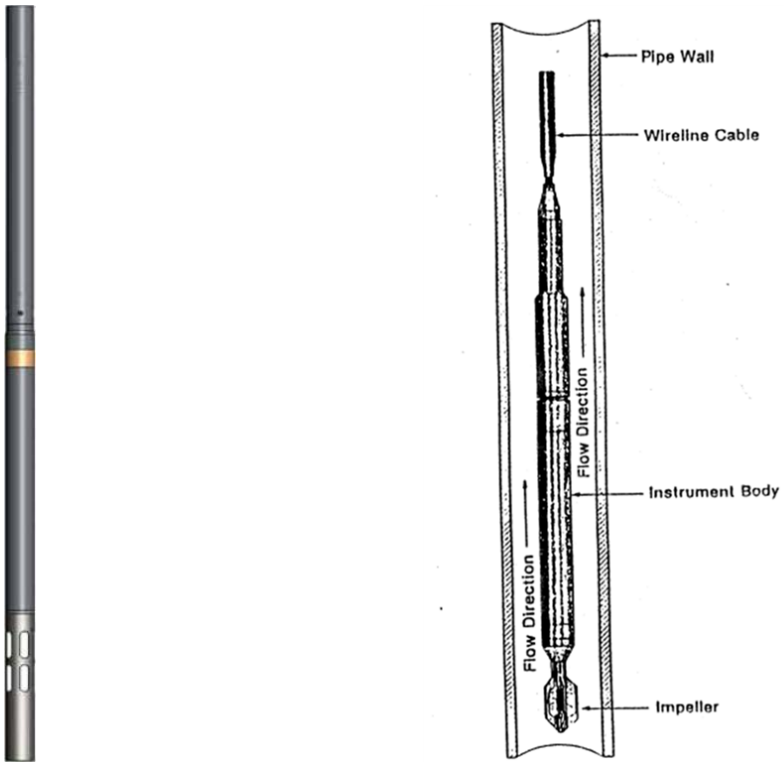
Tabell 1: Data för loggade borrhål. Koordinater i SWEREF99 TM and RH2000.

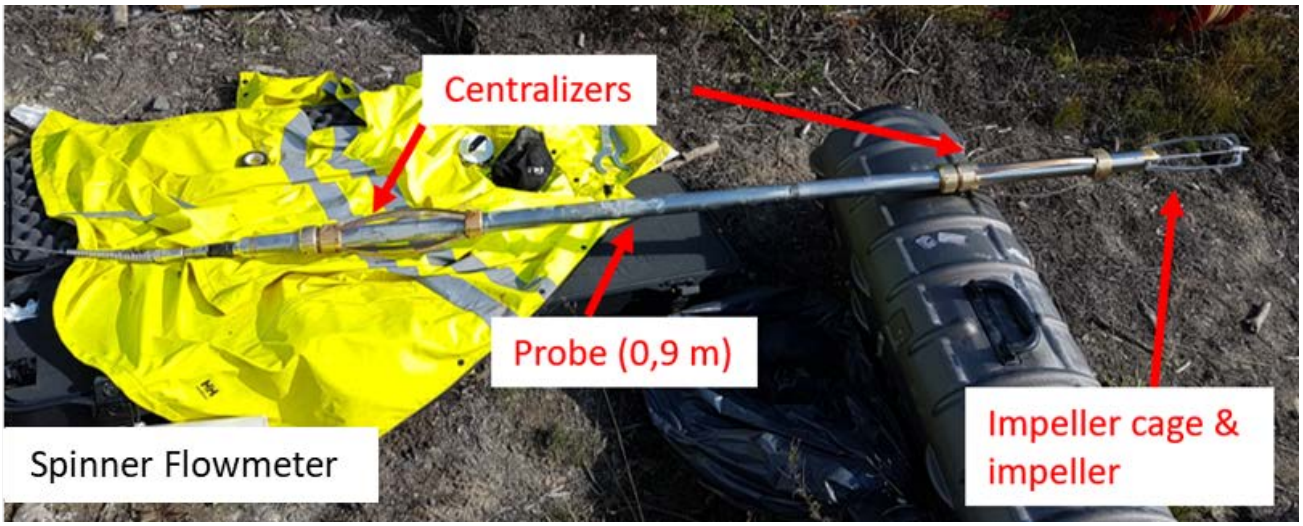
ID	Northing	Easting	Nivå (markyta) [m]	Uppstick [m]	Borrat djup [m]	MPD vid loggning [m]
BH2001	6402469.19	719568.08	42.15	0.51	42	43
BH2002	6401727.93	718921.55	51.21	0.51	51	55
BH2003	6401962.38	719984.18	36.91	0.11	36	36
BH2004	6400509.71	721077.34	21.80	0.32	30	30
BH2005	6402574.62	721094.66	39.22	0.18	40	40
BH2006	6404102.71	717223.29	46.91	0.36	20	39
BH2007	6405588.79	720532.56	40.27	0.22	42	41
BH2017	6403826.03	724318.39	7.55	0.15		20.5
BH1801B	6402183.33	720453.43	35.60	0.43		40
BH1802B	6402074.65	721339.59	33.19	0.31		39
BH1803B	6404551.87	721802.19	19.92	0.25*		51
SGU93/1	6398094.58	719103.98	39.90	0.05		40

*Uppskattat av fältpersonal, ej mätt.

För att mäta vattenegenskaperna temperatur och elektrisk konduktivitet användes sonden QL40-FTC. För spinner flow logging användes sonden QL40 Spinner Flowmeter (SFM). Se Figur 3 nedan.

Sonden för att mäta vattenegenskaper är försedd med två sensorer. En för temperatur och en för elektrisk konduktivitet. SFL-sonden är försedd med en impeller som skyddas av en slags bur (impeller cage). Vatten i borrhålet rör sig relativt impellern som snurrar. SFL-sonden sänks och höjs från borrhålets topp till botten och upp igen med konstant hastighet. En elektisk puls förs via vajer till ett mottagarsystem på markytan. Sondernas djup och fart registreras for SFL-sonden i kombination med impellerns ”counts per second” (CPS) och för sonden som mäter vattenegenskaper i kombination med temperatur och elektrisk konduktivitet.





Figur 3: Schematisk överblick av sond för att mäta temperatur och elektrisk konduktivitet (övre till vänster). Spinner Flow Logger i borrhål (övre till höger). I fotot visas en Spinner Flow Logger med två "centralisers" och en "impeller cage".

Vid borrhålsloggning under pumpade förhållanden sänks sonden ned till cirka 5 meter under grundvattenytan och en dränkbar pump (i detta fall en MP1 Grundfos) placeras sedan cirka en meter ovanför sonden. I de fall pumpen måste sänkas nedanför casing i borrhålet för att inte riskera att gå torr kommer det att medföra att en del av borrhålsprofilens flöden och vattenegenskaper inte kan mätas vid påverkade (pumpade) förhållanden. Så var fallet för samtliga undersökta borrhål. Pumpen startades med ett konstant flöde. När avsänkningen av vattenytan i borrhålet stabiliserats sänktes sonden ned med konstant hastighet till strax ovan borrhålsbotten eller det djup som ”dummy probe” nått om detta var grundare.

I Tabell 2 nedan framgår loggade djup för samtliga borrhål samt vilka flöden som användes under steg 4 & 5.

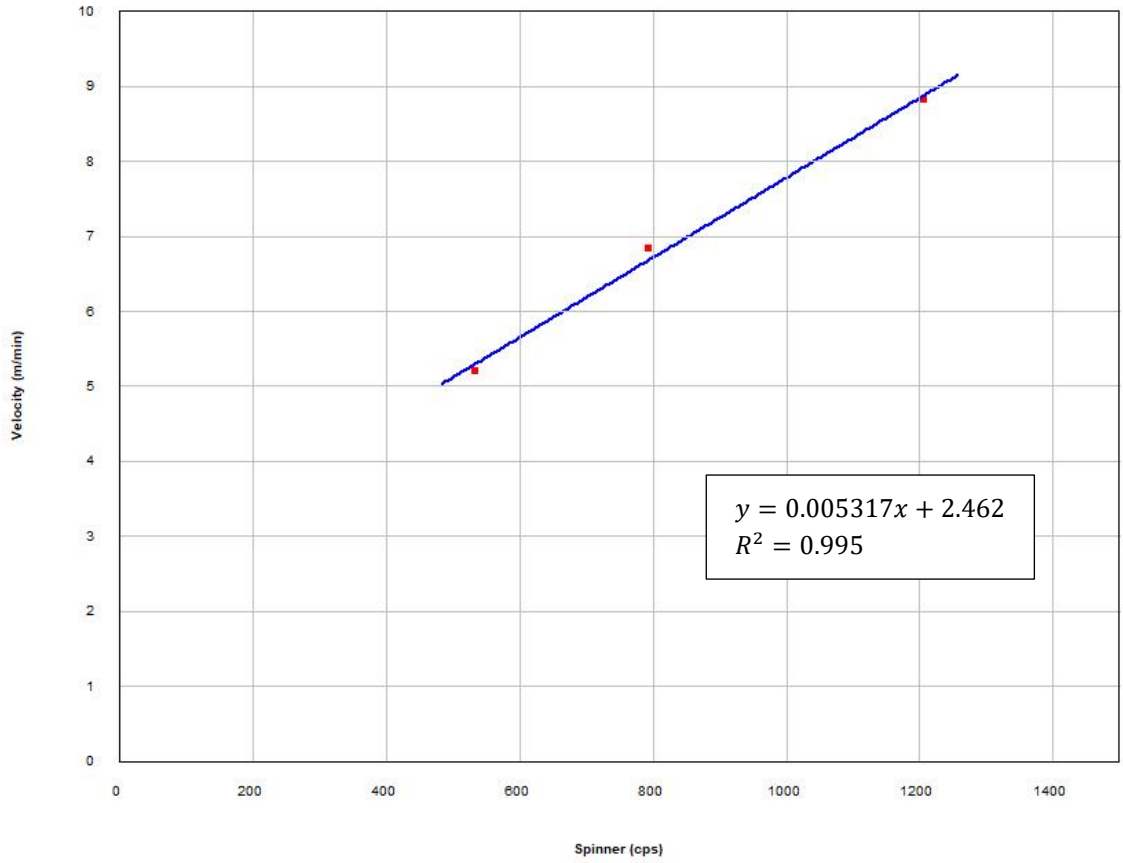
Tabell 2: Tabellen visar ungefärliga djup för sektioner loggade under steg 2-3 samt 4-5 och flöden under steg 4-5. Särskilda kommentarer för olika borrhål framgår också.

ID	Opåverkad djupsektion testad under steg 2-3 [m under markytan]	Pumpad djupsektion testad under steg 4-5 [m under markytan]	Flöde under steg 4-5 [L/min]	MPD [m]	Draw-down [m]	Kommentar
BH2001	25–38	30–38	9	43	0.82	
BH2002	18–51	23–51	16	55	1.06	
BH2003	22–34	27–34	3	36	0.97	
BH2004	4–26	9–26	5	30	1.04	
BH2005	32–38	-	-	40		Steg 4-5 utfördes ej.
BH2006	2–34	9–34	21	39	0.28	MPD > borrat djup (20m) Sonderna tycks fortsätta under borrhålet. Data anses därför ej pålitliga och har ej utvärderats.
BH2007	2–37	7–37	4	41	1.15	
BH2017	-	-	-	20.5		Kunde inte loggas då grundvattennivån i borrhålet bara var 5m över botten.
BH1801B	24–38	30–38	16	40	0.58	
BH1802B	25–36	30–36	8	39	0.38	
BH1803B	24–47	30–47	19	51	0.79	
SGU93	15–38	19–38	18	40	0.08	Flowlogger kunde ej kalibreras för borrhålet då grundvattennivån befann sig nedanför casing, där exakt borrhålsdiameter var okänd.

2.3 Kalibrering och tolkning av data

Värden uppmätta med flowlogger påverkas av borrhålsgeometri såväl som av viskositet och densitet för borrhålsvätskan.

För att ta fram flowloggerns responskurva sänks och hissas den med olika konstanta hastigheter ned och upp i grundvatten i casing med känd diameter. För dessa undersökningar användes hastigheterna 5, 7 och 9 m/min. Ett genomsnittligt värde för varv per sekund och faktisk hastighet beräknas för varje vald hastighet och plottas mot varandra (se Figur 4). Genom enkel linjär regression tas funktionen för hur sondens hastighet påverkar det uppmätta CPS (counts per sencond) fram.



Figur 4: Grafen visar hur ”Counts per second” (CPS), på x-axeln varierar med nedsänkningshastighet. I textrutan framgår R^2 samt kalibreringskoefficienter som användes för utvärdering av flow logging i BH2001till BH2007 samt BH1801B till BH1803.

Impellerns uppmätta rotationer (CPS) kan nu användas för att mäta flöde relativt sondens hastighet och flödeshastigheten för ett givet längdintervall *L* kan beräknas enligt:

$$v(L) = A * C(L) + B - v_{logging}$$

Där:

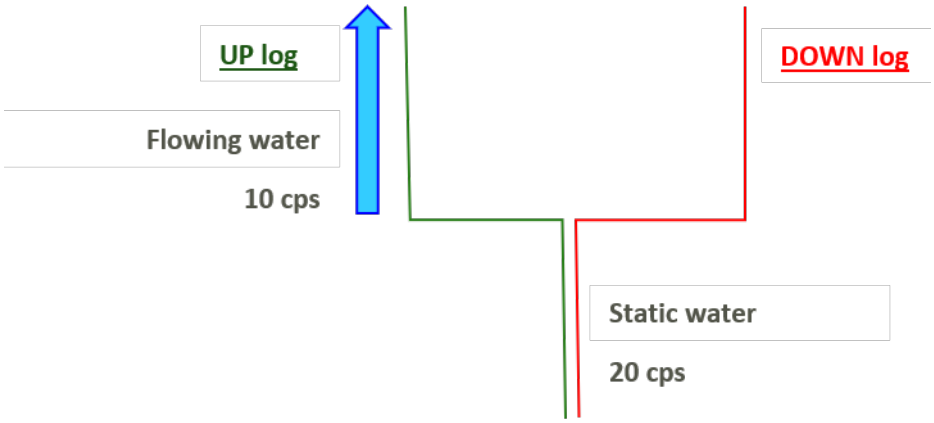
$v(L)$ är flödeshastighet för borrhålsvätskan för loggat djup.

$C(L)$ är CPS registrerade av impellern.

$v_{logging}$ är den hastighet med vilken sonden sänks ned i borrhålet.

A och B är kalibreringskoefficienter.

Efter att kalibreringskoefficienter tagits fram utvärderas responskurvorna för borrhålen. Om vatten flödar från ett lager eller en spricka vid ett visst djup i borrhålet, till ett annat, kommer det att synas i responskurvan. Baserat på kurvans form kan också riktningen för ett sådant flöde bestämmas. Det vill säga om vatten flödar uppåt eller nedåt i borrhålet. I Figur 5 nedan visas ett exempel där vatten flödar uppåt från en spricka i mitten av längdsektionen. Ovanför sprickan kommer DOWN log att visa högre CPS, UP log kommer att visa lägre CPS. Om det inte fanns något flöde i borrhålet skulle DOWN log och UP log visa samma värde för hela djupet.



Figur 5: Förenklad bild av en flow log där vatten flödar uppåt från en spricka i mitten av djupsektionen.

För att utvärdera temperatur-, konduktivitets- och flow loggingdata användes mjukvaran WellCAD 5.2.

2.4 Beräkning av transmissivitet

Spinner flow logging genomfördes vid pumpade förhållanden, se avsnitt 2.1 steg 4. Innan flowloggingen påbörjades mättes grundvattennivån manuellt. Under den pumpade flowloggingen mättes grundvattennivån kontinuerligt med en tryckgivare inställd att registrera ett värde i sekunden. Flödet som pumpades ur borrhålet mättes manuellt.

Transmissiviteten för hela borrhålet T_{bh} kan beräknas med hjälp av data från de pumpade stegen 4 & 5. Transmissiviteten beräknades med hjälp av två olika formler. Thiems (eller Depuits) formel (Thiem 1906, Marsily 1986) and Moyes formel (Moye 1967). Båda dessa formler bygger på antagandet att radiellt (cylindriskt) flöde råder samt att flöden kring ”brunnen” (borrhålet) är konstanta för den avsedda perioden (steady-state). Thiems formel (Ekvation 1) skrivs:

$$T_{bh} = \frac{Q}{2\pi(h_0 - h_1)} \ln\left(\frac{R}{r_0}\right)$$

Där:

Q är det flöde som pumpas ur borrhålet (m^3/s).

h_0 är grundvattentrycknivån före pumpning påbörjas (meter över havet).

h_1 är grundvattentrycknivån vid stabila (steady state) pumpade förhållanden (meter över havet).

R är radien för borrhålets influensarea (m).

r_0 är brunnens (borrhålets) radie (m).

Kvoten (R/r_0) valdes till 500, vilket innebär ett värde för R på cirka 30 m och att specifik kapacitet $Q/(h_0 - h_1)$ kan användas som proxy för transmissiviteten.

För Moyes formel antas cylindriskt flöde nära borrhålet (till avståndet $r = L/2$, där L är längden för testsektionen) och sfäriskt längre bort. Med testsektionen avses här avståndet från grundvattentrycknivån vid opåverkade förhållanden ner till botten på borrhålet. Moyes formel (Ekvation 2) skrivs:

$$T_{bh} = \frac{Q}{2\pi(h_0 - h_1)}\left[1 + \ln\left(\frac{L}{2r_0}\right)\right]$$

Där:

L är testsektionen (m).

Då den faktiska flödesgeometrin, influensradien och eventuell flödesresistens (skin-effekt) är okända bör beräknade transmissivteter tolkas i termer av tiopotenser eller i vart fall heltalet före snarare än som exakta värden.

Transmissiviteten för en individuell vattenförande spricka eller sprickzon kan beräknas givet att flödet från sprickan eller sprickzonen är känt. Flödet (liter per minut) från varje identifierad transmissiv vattenförande spricka eller sprickzon, Q_i beräknades baserat på flow loggingresultaten (Se Bilaga A). Transmissivitet för identifierade sprickor och sprickzoner framgår i Tabell 7. Beräkningar av vattenförande sprickor och sprickzoners transmissivitet baseras på Thiems (eller Depuits) formel (Ekvation 3):

$$T_i = T_{bh}\left(\frac{Q_i}{Q_{bh}}\right)$$

Där:

T_i är transmissiviteten för en individuell spricka eller sprickzon (m^2/s)

Q_i är flödet från en individuell spricka eller sprickzon.

I utvärderingen har summan av identifierade sprickors flöden antagits vara lika med det totala pumpade flödet. Detta är en förenklad modell med hänsyn framförallt till att inte hela det vattenmättade djupet har loggats i pumpade förhållanden. Pumpen är placerad några meter under vattennivån i borrhålen och sonderna nedanför denna, totalt cirka 5 meter under vattennivån. Detta medför att flowlogging under pumpade förhållanden ej mäter in- eller utflöden som sker ovanför dess startposition. För de aktuella borrhålen utgör detta mellan 10 och 50% av det mättade djupet. Sannolikt finns det också små, icke identifierade sprickor som står för en minoritet av flödet. Med hänsyn till detta skall redovisade transmissiviteter för individuella sprickor och sprickzoner tolkas i jämförande syfte snarare än som exakta värden.

För beräkning av flöden görs ett antagande om konstant borrhålsdiameter. Detta är en förenkling då håligheter kan förkomma längs borrhålsdjupet. En större tvärsnittsarea kan medföra att flödeshastigheten och uppmätta CPS minskar vid djupet vid pumpad flowlogging, trots oförändrat pumpat flöde.

2.5 Högfrekvenstemperatur

För att identifiera potentiella in- och utflöden söks efter plötsliga avvikelser i temperatur. För att finna dessa medelvärdesfiltreras data med ett 40 punkters (2.00 m) löpande medelvärdesfilter. Därefter subtraheras medelvärdet för aktuell djupsektion från uppmätt temperatur och avvikelsen återstår och kan utvärderas. Ekvation 4:

$$HFT = T_L - T_{ML}$$

Där:

HFT (°C) är högfrekvenstemperatur (High Frequency Temp)

T_L (°C) är temperaturen på djupet L (m)

T_{ML} (°C) är medelvärdet för temperatur för det intervall som sträcker sig från djupet $L - 1$ till $L + 1$.

Den översta metern under grundvattennivån i borrhålet kommer HFT att innehålla temperaturvärden från ovan vattenytan och kommer därför att bli missvisande.

2.6 Enhålspumptest

För att undersöka borrhålen som hade otillräckligt med grundvatten för flowloggning genomfördes mindre enhålspumptest för att utvärdera transmissiviteten. Detta genomfördes i BH2005, BH2017 och SGU93/1, där SGU93/1 genomfördes för att det inte med säkerhet gick att kalibrera Flowloggern till rördimensionen på grund av generellt låga grundvattennivåer. Grundvattennivån mättes dels manuellt med ljuslod och dels med en installerad tryckgivare av modellen Diver programmerad att registrera trycknivån varje sekund. Pumpflödet mättes manuellt med en hink och klocka.

Ingen barometerkompensation har gjorts av testdata, då tester med en varaktighet i storleksordningen minuter – fåtal timmar knappast påverkas av lufttrycksförändringar d.v.s. lufttrycksförändringar kan anses vara en försumbar felkälla i dessa sammanhang. Pumpningarna har varierat i omfattning mellan ca 15 minuter och 1 timme. Återhämtningsfaserna har studerats minst lika länge. Samtliga tester har dessutom genomförts under stabila väderförhållanden.

Testerna har utvärderats i programvaran AQTESOLV 4.50 Professional. Passningar av typkurvor har gjorts enligt metoden Theis (1935) för tester med konstant flöde. Som en första kontroll och rimlighetsbedömning har testerna även utvärderats genom en beräkning av specifik kapacitet (Q/dh).

Vid enhålstestet i SGU93/1 fastnade tryckgivaren ovan vattenytan under testet, resultaten bygger därmed på de manuella mätningar som gjordes under pumptestets gång. Avsänkningsförloppet har även jämförts med data från en tryckgivare som loggade trycknivån kontinuerligt när brunnen flowloggades under pumpat förhållande. Under pumpning vid flowlogging uppnåddes steady-state läge efter ca 30 sekunder, därav görs antagandet att borrhålet reagerar likadant under enhålspumptestet.

3.0 RESULTAT

Tabell 3 Visar vilken undersökningsmetod som användes i respektive borrhål. X = genomfört, - = inte genomfört.

ID	Flowloggning under naturligt förhållande	Flowloggning under pumpat förhållande	Enhålspumptest
BH2001	x	x	-
BH2002	x	x	-
BH2003	x	x	-
BH2004	x	x	-
BH2005	x	-	x
BH2006	x	x	-
BH2007	x	x	-
BH2017	-	-	x
BH1801B	x	x	-
BH1802B	x	x	-
BH1803B	x	x	-
SGU93/1	x	x	x

3.1 Vattentemperatur, elektrisk konduktivitet och flow logging

Kurvor återfinns i Bilaga A. Temperaturdata presenteras som högfrekvenstemperatur (HFT) i ned- och uppåtgående riktning mot djupet. Konduktiviteten presenteras i ned- och uppåtgående riktning som ekvivalent konduktivitet vid 25˚ Celsius mot djupet. För flowlogging presenteras ett flertal kurvor. I loggen Flow (amb) visas inflöden och utflöden ur borrhålet vid opåverkade förhållanden. Dessa syns som trappstegsliknande förändringar. Flow (pump) visar flöden som andel av det totala flödet vid pumpade förhållanden. Kurvorna är inte jämna, vilket kan bero på förändringar i borrhålsdimensioner längs djupet, såväl som på turbulens i borrhålets vatten som påverkar sonden. Djupintervallen för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner summeras i Tabell 4.

Logkurvor som presenteras i Bilaga A representerar antingen opåverkade eller pumpade förhållanden. Följande logkurvor presenteras i Bilaga A:

- HFT och elektrisk konduktivitet vid 25˚C (HFT Dn/Up och Cond25 Dn/Up)
- Impellerns uppmätta CPS (Spinner Dn/Up)
- Flödeshastighet baserad på kalibreringsfunktionen i avsnitt 2.3 (Flow Dn)
- Identifierade in- och utflöden vid opåverkade förhållanden (Flow (amb))
- Andel av flödet för vid pumpning (Flow (pump))

Flowloggingresultat och resultat från temperatur och elektrisk konduktivitetsloggning presenteras i bilaga A och sammanställs i Tabell 4 till 7 nedan.

Tabell 4: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och beräknade flöden (% av totalflödet samt L/min) vid opåverkade (steg 2-3) och pumpade (steg 4-5) förhållanden.

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2-3 [m]	Flödesriktningar under steg 2-3	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 4-5 [m]	Beräknade flöden i steg 5
BH2001	28.38 - 28.88 n/a 34.50 - 34.80	Utflöde n/a Inflöde	n/a 33.4 - 33.6 34.5 - 34.6	n/a 50% (4.5 L/min) 50% (4.5 L/min)
BH2002	25.30 - 25.40 29.10 - 29.30 34.58 - 35.10 41.00 - 41.50 45.40 - 45.50	Utflöde Inflöde Utflöde Inflöde Utflöde	n/a 29.10 - 29.30 35.90 - 36.00 41.00 - 41.50 45.40 - 45.50	n/a 35% (5.6 L/min) 15% (2.4 L/min) 20% (3.2 L/min) 30% (4.8 L/min)
BH2003	25.99 - 26.05 27.20 - 27.32 31.40 - 31.45 32.50 - 32.57 n/a	Inflöde Utflöde Inflöde Utflöde	n/a n/a 27.96 - 28.56 30.03 - 31.45 32.00 - 32.60	 25% (0.7 L/min) 35% (1.1L/min) 40% (1.2 L/min)
BH2004	13.86 - 13.87 17.06 - 17.11 n/a	Inflöde Utflöde	n/a n/a 23.72 - 25.05	 80% (4.0 L/min)*
BH2005**	33.40 - 34.75	Utflöde	Ej steg 4-5	
BH2006				
BH2007	17.60 - 17.62 22.70 - 23.02 25.40 - 25.60 28.30 - 28.73	Utflöde Inflöde Utflöde Inflöde	17.61 - 17.62 n/a 25.16 - 25.42 26.78 - 28.07	10% (0.4 L/min) 30% (1.2 L/min) 60% (2.4 L/min)
BH2017				
BH1801B	25.30 - 25.50 37.70 - 38.00***	Utflöde Inflöde	n/a 37.70 - 38.00***	 100% (16 L/min)
BH1802B	26.70 - 26.90 29.00 - 29.30 31.10 - 31.20	Inflöde Utflöde Utflöde	n/a n/a 31.1 - 31.2	 100% (8 L/min)

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2-3 [m]	Flödesriktningar under steg 2-3	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 4-5 [m]	Beräknade flöden i steg 5
BH1803B	25.95 - 25.96 28.30 - 28.38 32.25 - 32.33 33.10 - 33.20 33.60 - 33.70 44.48 - 44.58 n/a	Inflöde Utflöde Utflöde Inflöde Utflöde Utflöde	n/a n/a 32.10 - 33.29 34.53 - 36.09 38.22 - 38.42 42.23 - 43.47 44.34 - 45.84	 10% (1.9 L/min) 20% (3.8 L/min) 10% (1.9 L/min) 40% (7.6 L/min) 20% (3.8 L/min)
SGU93/1	19.40 - 20.94 24.94 - 27.00 29.22 - 30.70	Inflöde Utflöde Inflöde	n/a 26.54 - 27.20 29.38 - 30.38	 20% (3.6 L/min) 80% (14.4 L/min)

*20 % av flödet kommer från resten av borrhålet. Svårt att identifiera in- och utflöden.
**Inflöde ovanför grundvattennivån i borrhålet.
***Denna spricka eller sprickzon har identifierats främst baserat på temperatur och konduktivitetsloggar. Det exakta djupintervallet är svårt att bestämma då loggningen avslutades vid detta djup.

Tabell 5: Djupintervall (m) för identifierade vattenrörelser och deras uppmätta temperatur och elektriska konduktivitet i opåverkade och pumpade förhållanden.

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2-3 [m]	[˚C]	[uS/cm]	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 4-5 [m]	[˚C]	[uS/cm]
BH2001	28.38 - 28.88 n/a 34.50 - 34.80	6.7 - 6.8 6.7 - 6.8	512 507	n/a 33.4 - 33.6 34.5 - 34.6	 6.7 - 6.8 6.7 - 6.8	 512 509
BH2002	25.30 - 25.40 29.10 - 29.30 34.58 - 35.10 41.00 - 41.50 45.40 - 45.50	6.9 - 7.2 6.9 - 7.2 6.9 - 7.2 6.9 - 7.2 6.9 - 7.2	368 366 372 407 408	n/a 29.10 - 29.30 35.90 - 36.00 41.00 - 41.50 45.40 - 45.50	 6.90 6.90 6.90 6.90	 404 430 415 419
BH2003	25.99 - 26.05 27.20 - 27.32 31.40 - 31.45	6.48 6.48 6.55	585 579 559	n/a n/a 27.96 - 28.56	 6.54	 556

ID	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 2-3 [m]	[˚C]	[uS/cm]	Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner i steg 4-5 [m]	[˚C]	[uS/cm]
	32.50 - 32.57 n/a	6.59	558	30.03 - 31.45 32.00 - 32.60	6.55 6.56	554 553
BH2004	13.86 - 13.87 17.06 - 17.11 n/a	6.5 - 6.7 6.5 - 6.7	321 329	n/a n/a 23.72 - 25.05	6.50	350
BH2005**	33.40 - 34.75	6.52	500	Ej steg 4-5		
BH2006						
BH2007	17.60 - 17.62 22.70 - 23.02 25.40 - 25.60 28.30 - 28.73	6.62 6.63 6.63 6.63	485 487 486 485	17.61 - 17.62 n/a 25.16 - 25.42 26.78 - 28.07	6.66 6.66 6.66	487.00 488.00 488
BH2017						
BH1801B	25.30 - 25.50 37.70 - 38.00***	6.6 - 6.9 6.6 - 6.9	485 490-492	n/a 37.70 - 38.00****	6.64	489-490
BH1802B	26.70 - 26.90 29.00 - 29.30 31.10 - 31.20	6.7 6.8 6.75	489 487 489	n/a n/a 31.1 - 31.2	6.78	483.00
BH1803B	25.95 - 25.96 28.30 - 28.38 32.25 - 32.33 33.10 - 33.20 33.60 - 33.70 44.48 - 44.58 n/a	6.93 6.86 6.86 6.86 6.86 6.94	785 846 949 953 955 1120	n/a n/a 32.10 - 33.29 34.53 - 36.09 38.22 - 38.42 42.23 - 43.47 44.34 - 45.84	6.90 6.91 6.91 6.92 6.96	1015 - 1017 1015 - 1017 1013 1021 1223 - 1240
SGU93/1	16.40 - 17.60 19.40 - 20.94 24.94 - 27.00 29.22 - 30.70	6.93 6.68 6.56 6.55	495 483 476 476	n/a n/a 26.54 - 27.20 29.38 - 30.38	6.66 6.65	484 478

Total transmissivitet för borrhålen beräknades med två olika formler (se avsnitt 2.4):

- För Ekvation 1 sattes R/r_0 till 500. Pumpade flöden Q och grundvattentrycknivåns avsänkning (drawdown) s kan utläsas ur Tabell 2.
- För Ekvation 2 användes rördiameter ($2r_0$) 0.183 m för SGU93/1 och 0.115 m för övriga.

Tabell 6: Beräknade totala transmissiviteter för borrhål baserat på Ekvation 1 & 2.

ID	Transmissivitet (Ekv 1) [m²/s]	Transmissivitet (Ekv 2) [m²/s]
BH2001	1.81E-04	1.75E-04
BH2002	2.49E-04	2.70E-04
BH2003	5.10E-05	4.72E-05
BH2004	7.93E-05	8.19E-05
BH2006	1.24E-03	1.34E-03
BH2007	5.73E-05	6.34E-05
BH1801B	4.55E-04	4.32E-04
BH1802B	3.47E-04	3.22E-04
BH1803B	3.96E-04	4.12E-04
SGU93	3.71E-03	3.53E-03

Transmissiviteten för enskilda sprickor eller sprickzoner beräknades med hjälp av Ekvation 3, avsnitt 2.4 och sammanställs i Tabell 7 nedan.

Tabell 7: Transmissivitet för enskilda sprickor eller sprickzoner identifierade med flowlogging och beräknade med Ekvation 3.

ID	Djupintervall [m under markytan]	Transmissivitet [m²/s]
BH2001	33.4 - 33.6 34.5 - 34.6	9.05E-05 9.05E-05
BH2002	29.10 - 29.30 35.90 - 36.00 41.00 - 41.50 45.40 - 45.50	8.71E-05 3.73E-05 4.98E-05 7.46E-05
BH2003	27.96 - 28.56 30.03 - 31.45 32.00 - 32.60	1.27E-05 1.78E-05 2.04E-05

ID	Djupintervall [m under markytan]	Transmissivitet [m^2/s]
BH2004	23.72 - 25.05	6.34E-05
BH2007	17.61 - 17.62 25.16 - 25.42 26.78 - 28.07	5.73E-06 1.72E-05 3.44E-05
BH1801B	37.70 - 38.00	4.55E-04
BH1802B	31.1 - 31.2	3.47E-04
BH1803B	32.10 - 33.29 34.53 - 36.09 38.22 - 38.42 42.23 - 43.47 44.34 - 45.84	3.96E-05 7.93E-05 3.96E-05 1.59E-04 7.93E-05
SGU93/1	26.54 - 27.20 29.38 - 30.38	7.42E-04 2.97E-03

3.2 Enhålspumptest

Resultat från de 3 borrhål där enhålspumpningar utfördes redovisas i Tabell 8. Högst utvärderad transmissivitet förekommer i SGU93/1 som ligger söder om täkten vid Hejnum Kallgate. BH2005 har en helhålstransmissivitet i samma storleksordning som de närliggande BH1801B och BH1802B medan BH2017 vid Spillingsmagasinet har en 10-potens lägre transmissivitet. Det ska dock påpekas att längden testat borrhål (den vattenmättade delen av borrhålet) avtar enligt samma mönster, även om det långt ifrån förklarar en skillnad på två storleksordningar.

Tabell 8: Utvärderad transmissivitet och magasinskoefficient från enhålspumptest.

ID	Start/Stopp för pumpning	Flöde [l/min]	Utvärderad transmissivitet [m^2/s]	Specifik kapacitet (Q/dh) [m^2/s]	Magasinskoefficient [-]
BH2005	29/7 15:31/15:50	16	$4.7 \cdot 10^{-4}$	$8.8 \cdot 10^{-4}$	0.002
BH2017	28/7 08:08/08:32	5	$4.0 \cdot 10^{-5}$	$5.5 \cdot 10^{-5}$	0.0011
SGU93/1	31/7 14:19/15:22	18	$3.6 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	0.0012

Diverdata som visar trycknivån och passningen till typkurvorna redovisas i bilaga B.

3.3 Kommentarer från borrprotokoll

I Tabell 9 nedan sammanställs kommentarer från borrprotokoll.

Tabell 9: Kommentarer från borrprotokoll för borrhål BH2001 till BH2007.

ID	Kommentar
BH2001	Fukt på 3.5 m, vatten på 29.3 m ca 2 lit/min, ökande vid 24.8 m till ca 3 lit/min
BH2002	Fukt på 17 m, vatten på 29.5 m ca 1 lit/min ökande vid 36.1 m ca 3 lit/min, ökande vid 41 m till ca 6 lit/min
BH2003	Vatten på 32.3 m ca 2 lit/min
BH2004	Fukt på 22.2 m, vatten på 25.1 m ca 2.5 lit/min
BH2006	Vatten på 6.1 m ca 2 lit/min, ökande vid 7.5 m till ca 2.5 lit/min. Sprickor/hålrum.
BH2005	Vatten på 30 m ökande på 33 m. Sprickor på 29 och 30 m.
BH2007	Spricka på 6, 9 och 14 m.

4.0 REFERENSER

AQTESOLV (1989). Hämtad 2020-09-04 från http://www.aqtesolv.com/default.htm.

de Marsily G. (1986): Quantitative Hydrogeology, Groundwater Hydrology for Engineers. Academic Press, Inc. London

Moye D. G. (1967): Diamond drilling for foundation exploration. Civil Engineering Trans., 1967, April, pp. 95-100

SGU,1977, Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märgelsten på File hajdar. SGU-rapport 1977-10-31. SGU, Uppsala

SGU, 2017, Våtmarker och grundvattenbildning– om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland SGU-rapport 2017:01

Svantesson S., 1980, Geologisk dokumentation av Cementa ABs täktområde på File hajdar, Gotland. SGU-rapport januari 1980. SGU, Uppsala.

5.0 BILAGOR

Bilaga A - Utvärderade Borrhålsloggar

Bilaga B – Diverdata från enhålspumptest

Bilaga C – Fältprotokoll Flowlogging

Bilaga D – Borrhålsprotokoll

Signatur sida

Golder Associates AB

Emil Svensson, Gustav Tennby, Rita Kamera
Hydrogeolog

Jakob Eng
Kvalitetsansvarig hydrogeolog

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\8.rapporter\flowlogging_juli_2020\fflowlogging_200916 qa.docx

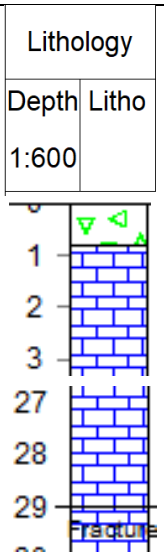
BILAGA A

Utvärderade Borrhålsloggar

Lithology

Depth: Borrdjup i meter (0 = markyta)

Litho: litologi baserad på borrprotokoll (ej detaljerad litologi)



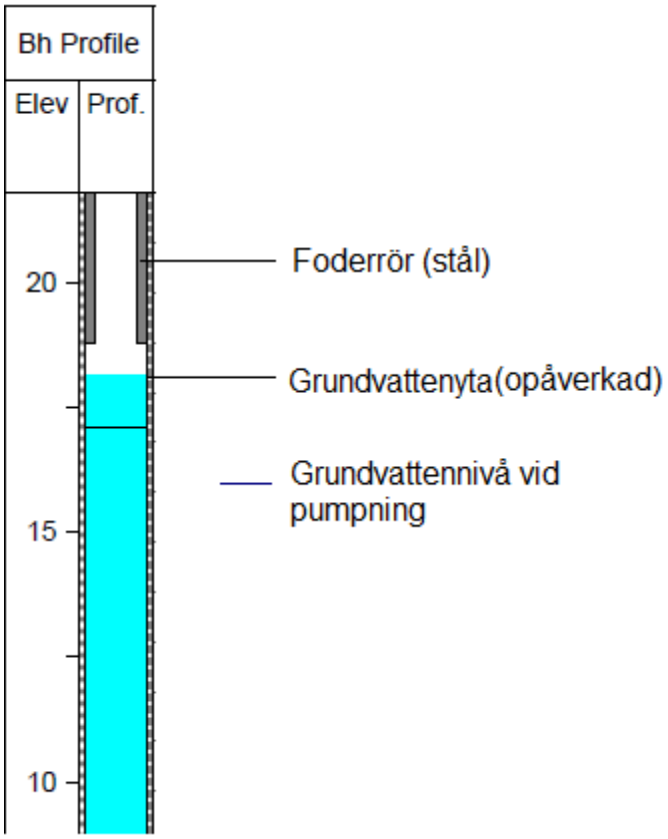
Grus, sand, lera eller jord

Kalksten

Spricka eller sprickzon (i kalksten)

Bh Profile

Elev: nivå (m, RH2000)
Prof: borrhålsprofil
DPC (Drill protocol comments): Kommentarer från borrprotokoll (kommentarer om sprickor visas i litho)



Fluid parameters (ambient)

HFT Dn/Up (amb): High Frequency temperature. Denna log visar temperaturavvikelser från medelvärdet för ett intervall som sträcker sig 1 meter ovan och nedan djupet. På djupet 20m visas till exempel avvikelsen från medelvärdet för intervallet 19-21m, opåverkade förhållanden.

Cond25 Dn/Up (amb): loggad elektrisk konduktivitet i nedåtgående (Dn) och uppåtgående (Up) riktning för opåverkade förhållanden, översatt till motsvarande konduktivitet vid 25˚C

Flow (ambient)

Spinner Dn/Up (amb): loggad spinner counts per second (CPS) i nedåtgående (Dn) och uppåtgående (Up) riktning för opåverkade förhållanden.

Flow Dn (amb): Beräknad flödeshastighet vid loggning i nedåtgående (Dn) riktning för opåverkade förhållanden.

Flow (amb): Kurva för utvärdering där inflöden och utflöden till borrhålet vid opåverkade förhållanden identifierats. Kurvan visar data för Spinner Dn (amb) men skalor har modifierats för att in- och utflöden lättare ska kunna identifieras.

Flow-depth (amb): Djupintervall för identifierade in- och utflöden.

Fluid parameters (pumping)

HFT Dn/Up (pump): High Frequency temperature. Denna log visar temperaturavvikelser från medelvärdet för ett intervall som sträcker sig 1 meter ovan och nedan djupet. På djupet 20m visas till exempel avvikelsen från medelvärdet för intervallet 19-21m, pumpade förhållanden.

Cond25 Dn/Up (pump): loggad elektrisk konduktivitet i nedåtgående (Dn) och uppåtgående (Up) riktning vid pumpade förhållanden, översatt till motsvarande konduktivitet vid 25˚C.

Flow (pumping)

Spinner Dn/Up (pump): loggad spinner counts per second (CPS) i nedåtgående (Dn) och uppåtgående (Up) riktning vid pumpade förhållanden.

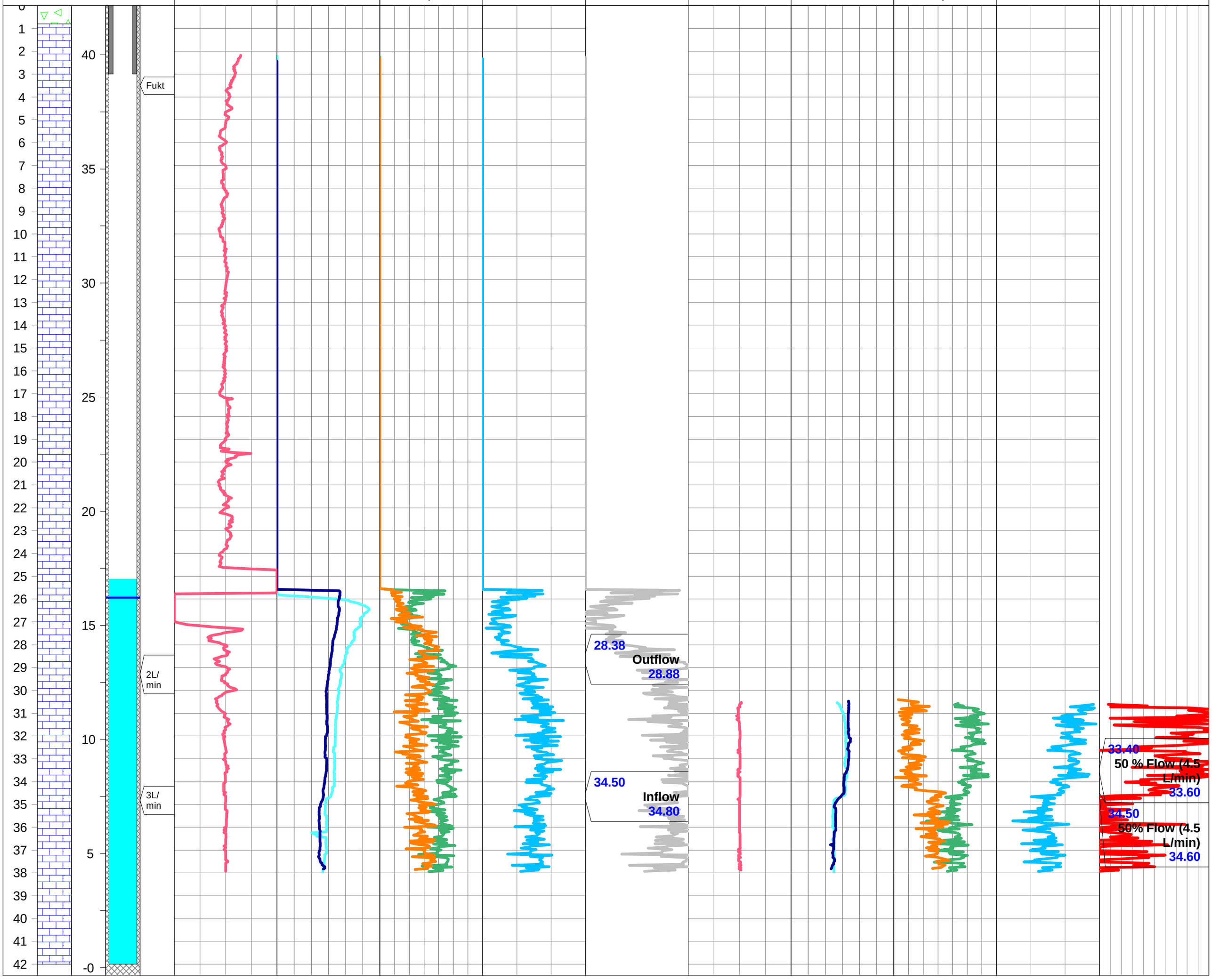
Flow Dn (pump): Beräknad flödeshastighet för borrhålsvätskan vid loggning i nedåtgående (Dn) riktning för opåverkade förhållanden.

Flow (pump): Flöde som andel av totalen vid pumpade förhållanden.

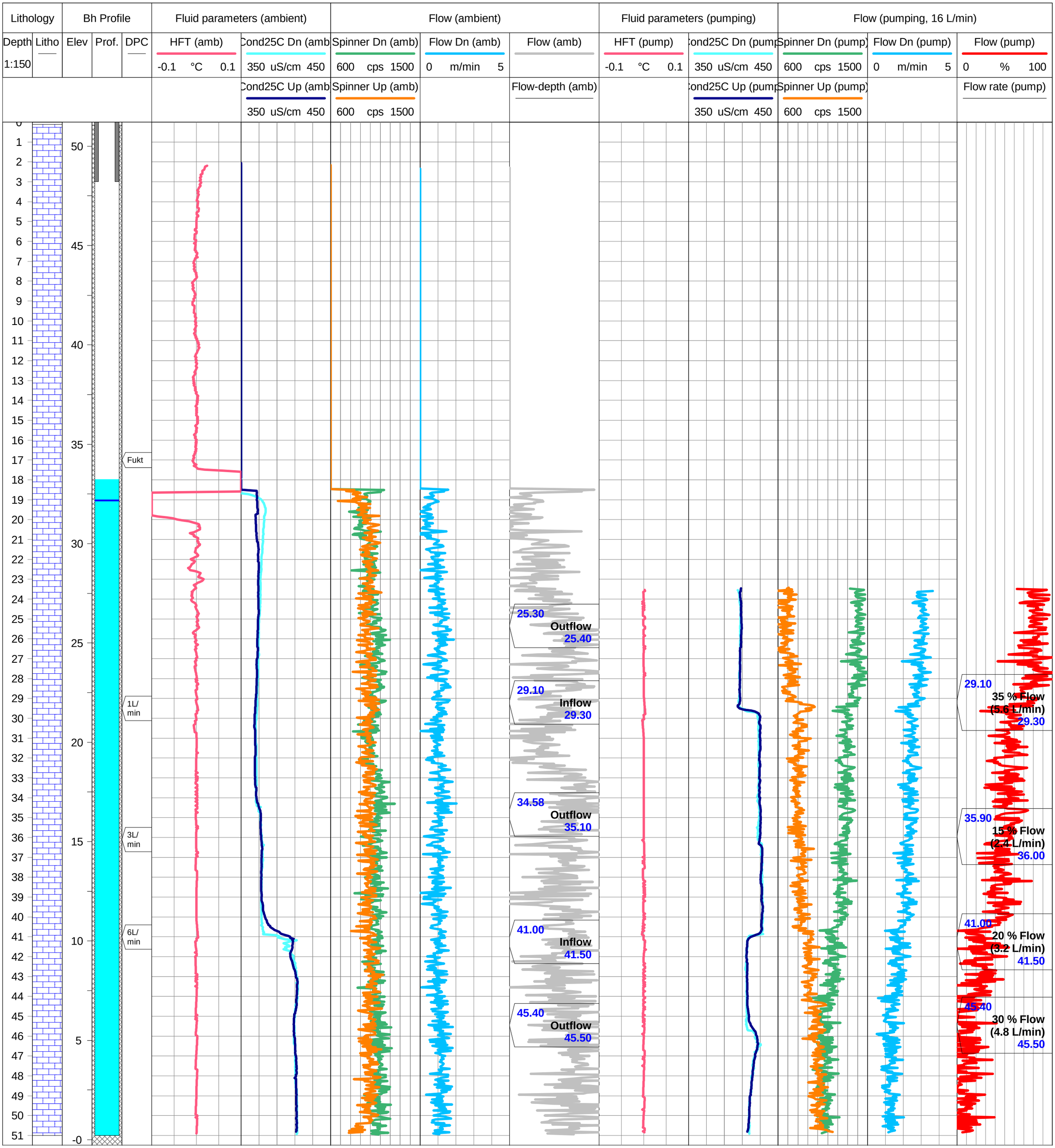
Flow-rate (pump): Djupintervall för identifierade vattenförande sprickor och sprickzoner samt deras flöden (% av totalen, L/min)

BH2001

Lithology		BH Profile			Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)			Fluid parameters (pumping)		Flow (pumping, 9 L/min)		
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	DPC	HFT (amb) -0.1 °C 0.1	Cond25Dn (amb) 480 uS/cm 540	SpinDn (amb) 700 cps 1400	FlowDn (amb) 0 m/min 3	Flow (amb)	HFT (pump) -0.1 °C 0.1	Cond25Dn (pump) 480 uS/cm 540	SpinDn (pump) 700 cps 1400	FlowDn (pump) 0 m/min 3	Flow (pump) 0 % 100
						Cond25Up (amb) 480 uS/cm 540	SpinUp (amb) 700 cps 1400		Flow-depth (amb)		Cond25Up (pump) 480 uS/cm 540	SpinUp (pump) 700 cps 1400		Flow rate (pump)

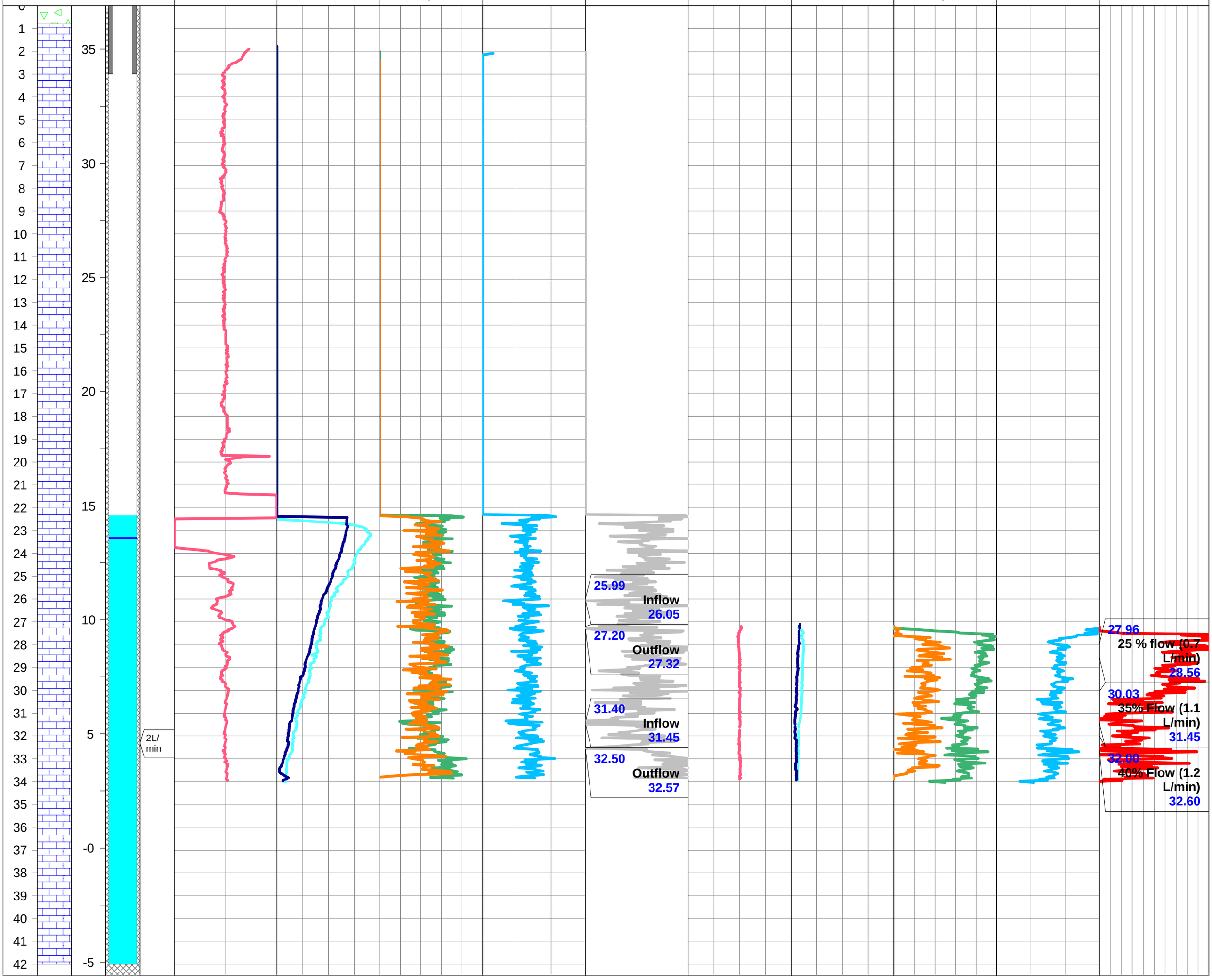


BH2002

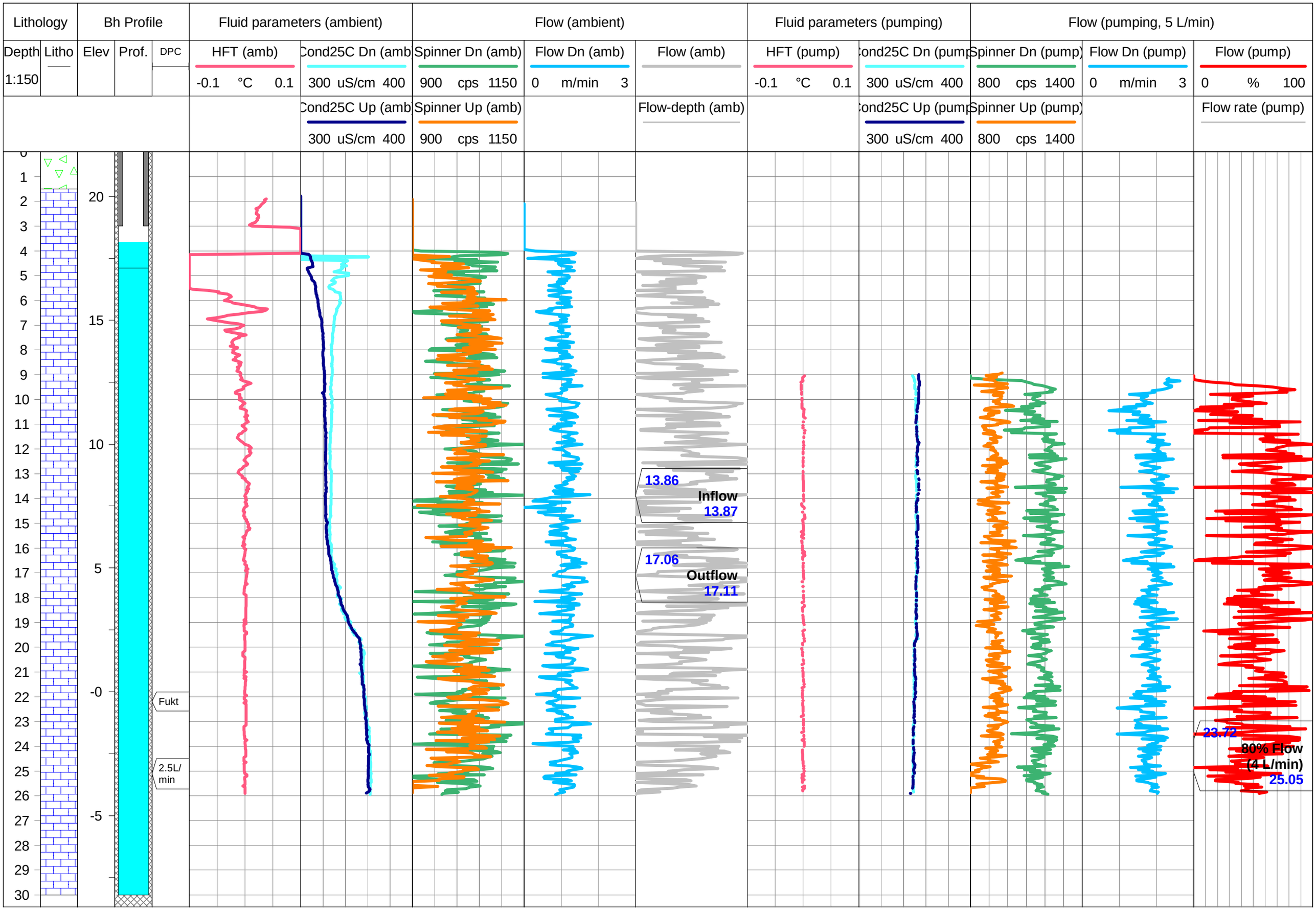

Lithology
Bh Profile
Fluid parameters (ambient)
Flow (ambient)
Fluid parameters (pumping)
Flow (pumping, 16 L/min)
Depth
1:150
Litho
Elev
Prof.
DPC
HFT (amb)
-0.1 °C 0.1
Cond25C Dn (amb)
350 uS/cm 450
Cond25C Up (amb)
350 uS/cm 450
Spinner Dn (amb)
600 cps 1500
Spinner Up (amb)
600 cps 1500
Flow Dn (amb)
0 m/min 5
Flow (amb)
Flow-depth (amb)
HFT (pump)
-0.1 °C 0.1
Cond25C Dn (pump)
350 uS/cm 450
Cond25C Up (pump)
350 uS/cm 450
Spinner Dn (pump)
600 cps 1500
Spinner Up (pump)
600 cps 1500
Flow Dn (pump)
0 m/min 5
Flow (pump)
0 % 100
Flow rate (pump)
Fukt
1L/ min
3L/ min
6L/ min
25.30
Outflow
25.40
29.10
Inflow
29.30
34.58
Outflow
35.10
41.00
Inflow
41.50
45.40
Outflow
45.50
29.10
35 % Flow
(5.6 L/min)
29.30
35.90
15 % Flow
(2.4 L/min)
36.00
41.00
20 % Flow
(3.2 L/min)
41.50
45.40
30 % Flow
(4.8 L/min)
45.50

BH2003

Lithology		Bh Profile			Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)			Fluid parameters (pumping)		Flow (pumping, 3 L/min)		
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	DPC	HFT (amb) -0.1 °C 0.1	Cond25C Dn (amb) 550 uS/cm 630	Spinner Dn (amb) 800 cps 1300	Flow Dn (amb) 0 m/min 3	Flow (amb)	HFT (pump) -0.2 °C 0.2	Cond25C Dn (pump) 550 uS/cm 630	Spinner Dn (pump) 800 cps 1300	Flow Dn (pump) 0 m/min 3	Flow (pump) 0 % 100
						Cond25C Up (amb) 550 uS/cm 630	Spinner Up (amb) 800 cps 1300		Flow-depth (amb)		Cond25C Up (pump) 550 uS/cm 630	Spinner Up (pump) 800 cps 1300		Flow rate (pump)

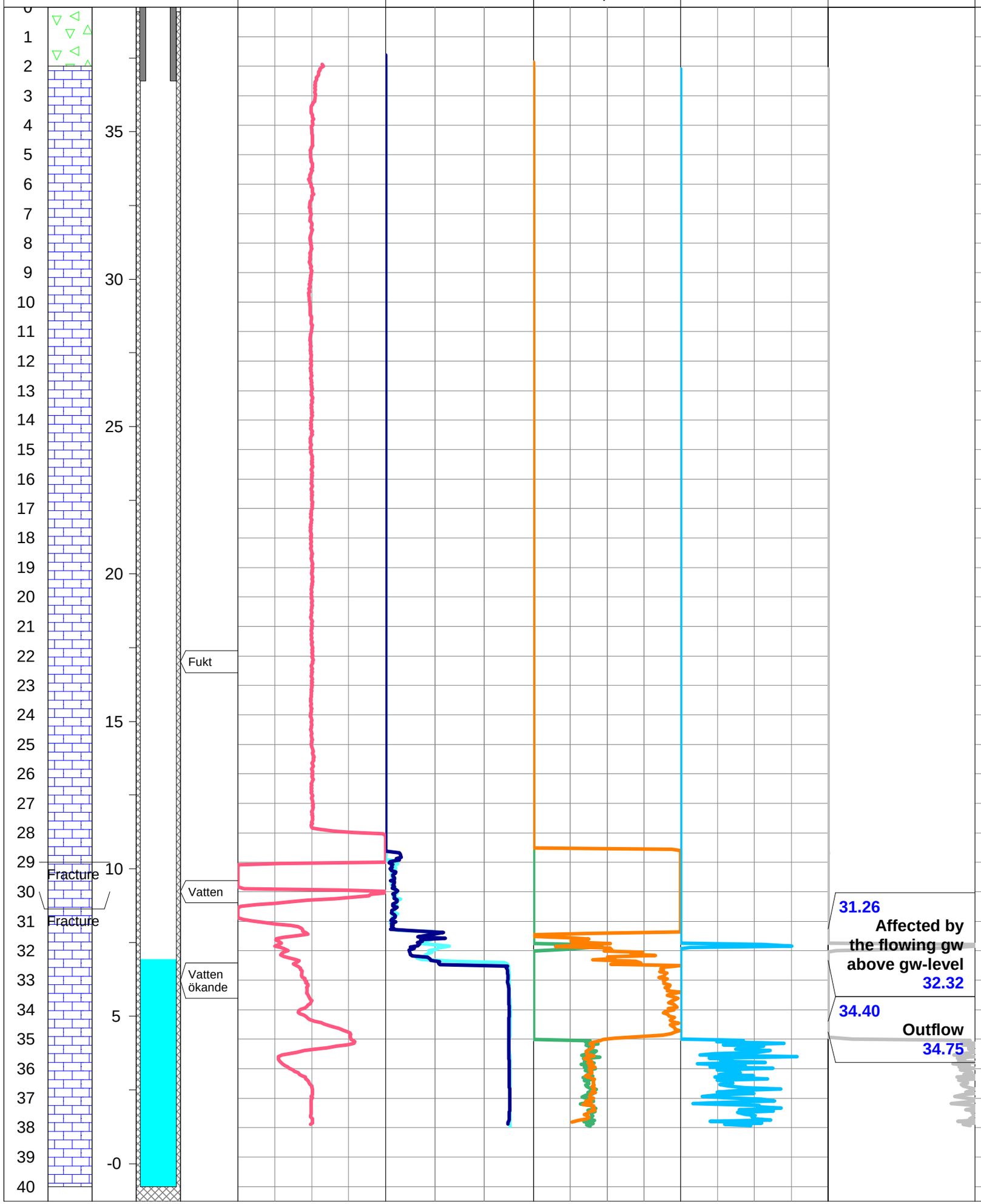


BH2004

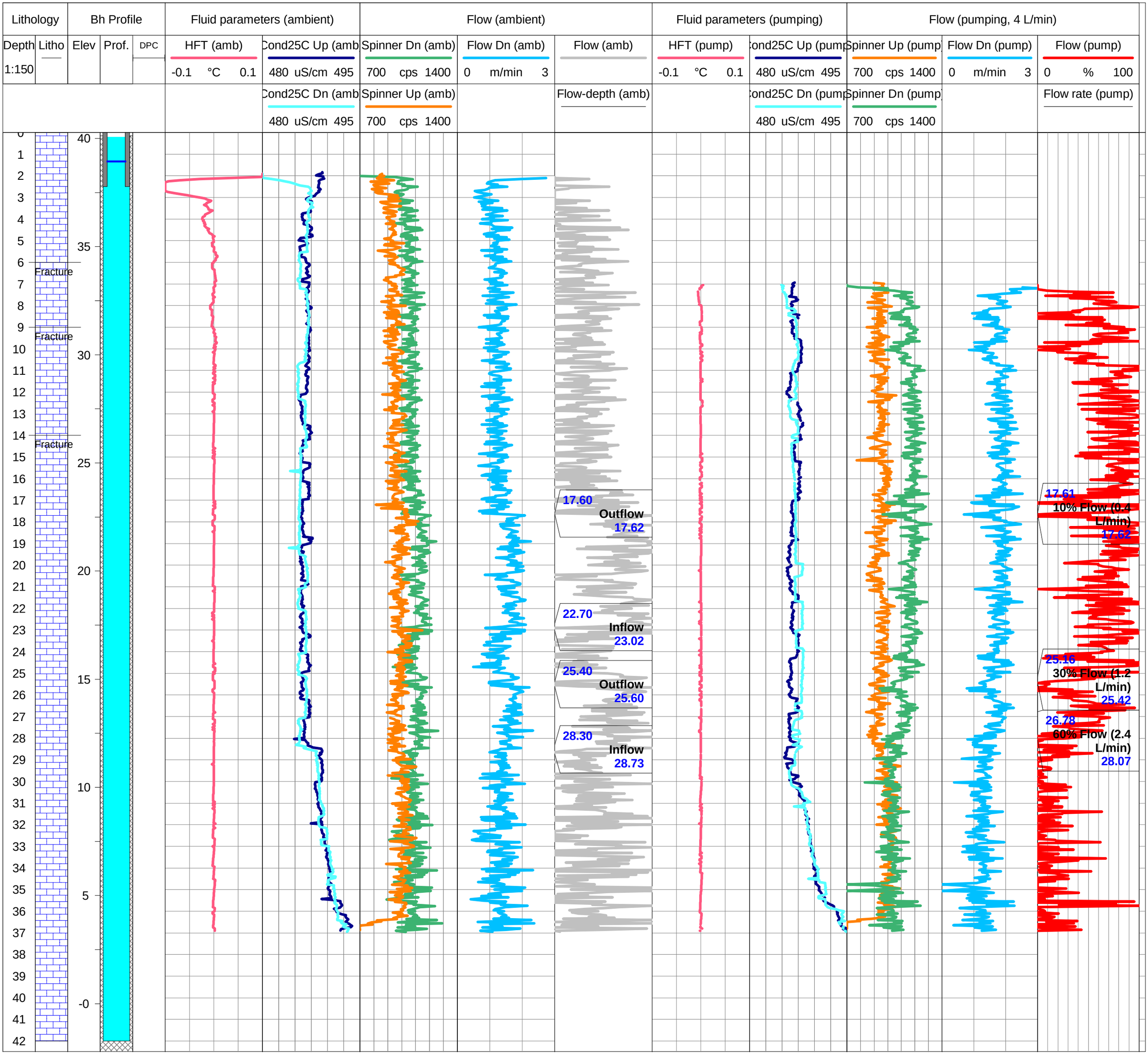

Lithology
Bh Profile
Fluid parameters (ambient)
Flow (ambient)
Fluid parameters (pumping)
Flow (pumping, 5 L/min)
Depth
1:150
Litho
Elev
Prof.
DPC
HFT (amb)
-0.1 °C 0.1
Cond25C Dn (amb)
300 uS/cm 400
Cond25C Up (amb)
300 uS/cm 400
Spinner Dn (amb)
900 cps 1150
Spinner Up (amb)
900 cps 1150
Flow Dn (amb)
0 m/min 3
Flow (amb)
Flow-depth (amb)
HFT (pump)
-0.1 °C 0.1
Cond25C Dn (pump)
300 uS/cm 400
Cond25C Up (pump)
300 uS/cm 400
Spinner Dn (pump)
800 cps 1400
Spinner Up (pump)
800 cps 1400
Flow Dn (pump)
0 m/min 3
Flow (pump)
0 % 100
Flow rate (pump)
20
15
10
5
-0
-5
Fukt
2.5L/ min
13.86
Inflow
13.87
17.06
Outflow
17.11
23.72
80% Flow
(4 L/min)
25.05

BH2005

Lithology		Bh Profile			Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)		
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	DPC	HFT (amb)	Cond25C Dn (amb)	Spinner Dn (amb)	Flow Dn (amb)	Flow (amb)
					-0.2 °C 0.2	0 uS/cm 600	200 cps 2200	0 m/min 2	
						Cond25C Up (amb)	Spinner Up (amb)		Flow-depth (amb)
						0 uS/cm 600	200 cps 2200		

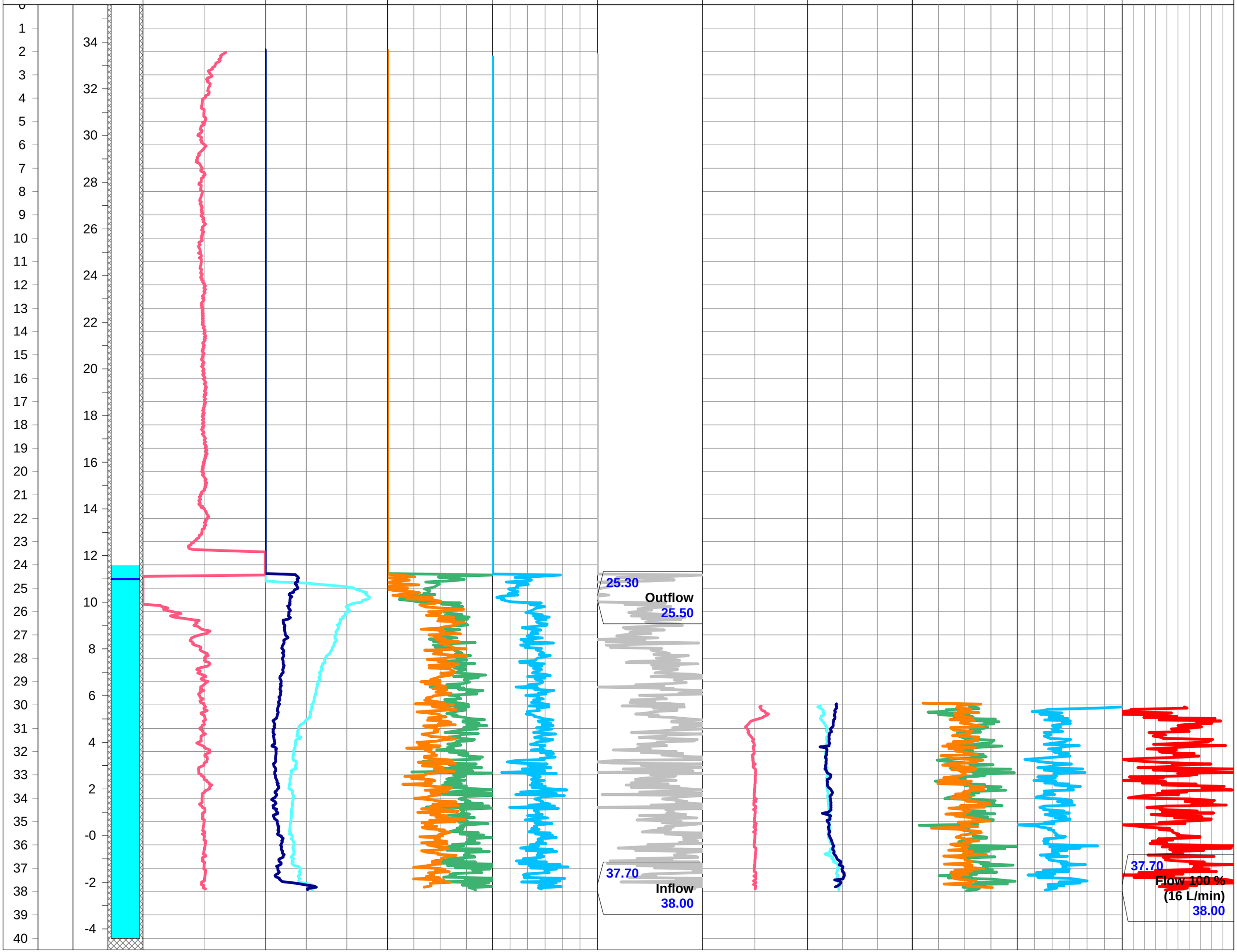


BH2007


Lithology
Bh Profile
Fluid parameters (ambient)
Flow (ambient)
Fluid parameters (pumping)
Flow (pumping, 4 L/min)
Depth
1:150
Litho
Elev
Prof.
DPC
HFT (amb)
-0.1 °C 0.1
Cond25C Up (amb)
480 uS/cm 495
Spinner Dn (amb)
700 cps 1400
Flow Dn (amb)
0 m/min 3
Flow (amb)
HFT (pump)
-0.1 °C 0.1
Cond25C Up (pump)
480 uS/cm 495
Spinner Up (pump)
700 cps 1400
Flow Dn (pump)
0 m/min 3
Flow (pump)
0 % 100
Cond25C Dn (amb)
480 uS/cm 495
Spinner Up (amb)
700 cps 1400
Flow-depth (amb)
Cond25C Dn (pump)
480 uS/cm 495
Spinner Dn (pump)
700 cps 1400
Flow rate (pump)
40
35
30
25
20
15
10
5
-0
Fracture
Fracture
Fracture
17.60
Outflow
17.62
22.70
Inflow
23.02
25.40
Outflow
25.60
28.30
Inflow
28.73
17.61
10% Flow (0.4 L/min)
17.62
25.16
30% Flow (1.2 L/min)
25.42
26.78
60% Flow (2.4 L/min)
28.07

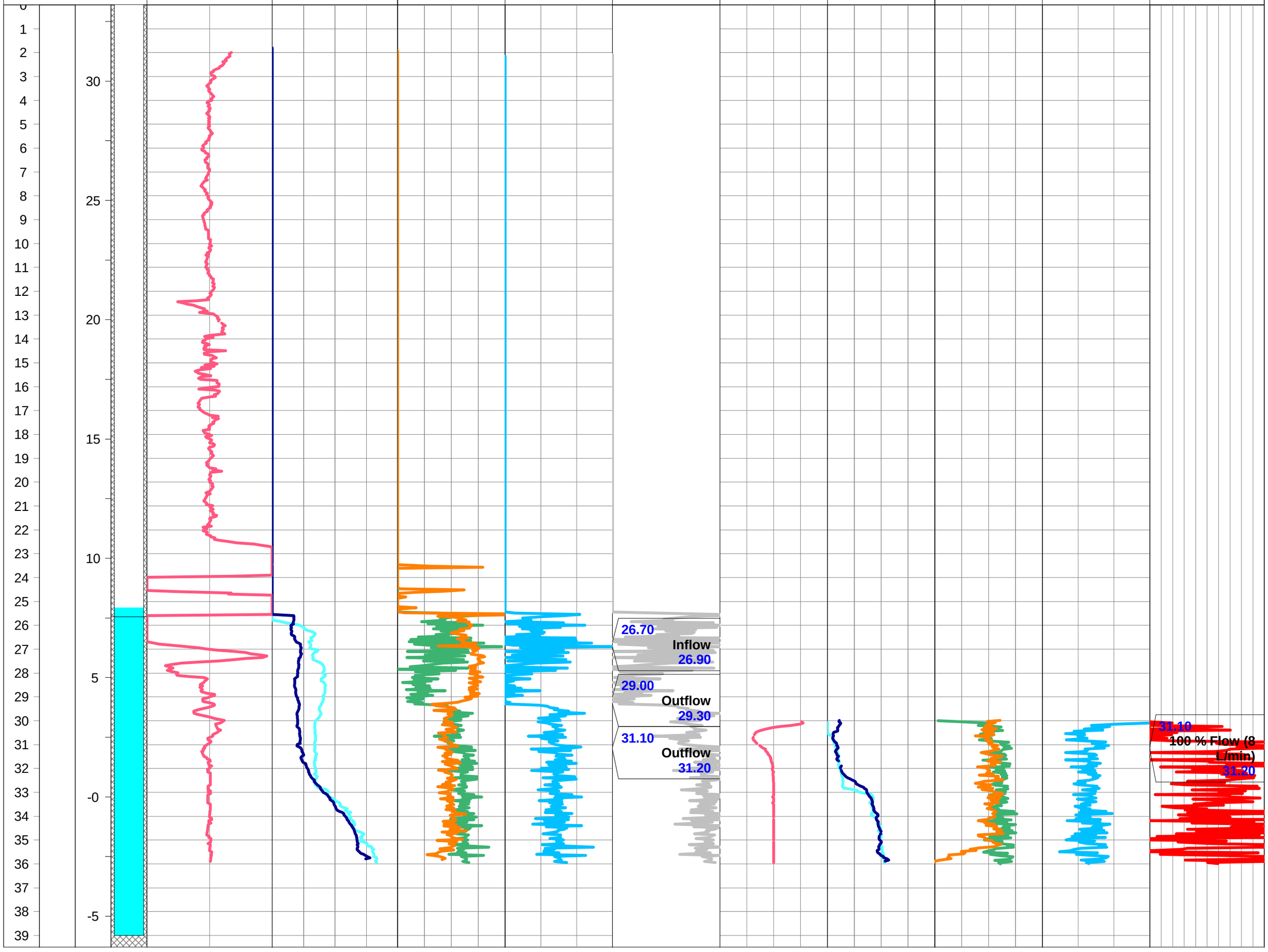
BH1801B

Lithology		Bh Profile		Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)			Fluid parameters (pumping)		Flow (pumping, 16 L/min)		
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	HFT (amb) -0.1 °C 0.1	Cond25C Dn (amb) 480 uS/cm 510	Spinner Dn (amb) 800 cps 1200	Flow Dn (amb) 0 m/min 3	Flow (amb)	HFT (pump) -0.1 °C 0.1	ond25C Dn (pump) 480 uS/cm 510	Spinner Dn (pump) 800 cps 1200	Flow Dn (pump) 0 m/min 3	Flow (pump) 0 % 100
					Cond25C Up (amb) 480 uS/cm 510	Spinner Up (amb) 800 cps 1200		Flow-depth (amb)		ond25C Up (pump) 480 uS/cm 510	Spinner Up (pump) 800 cps 1200		Flow rate (pump)



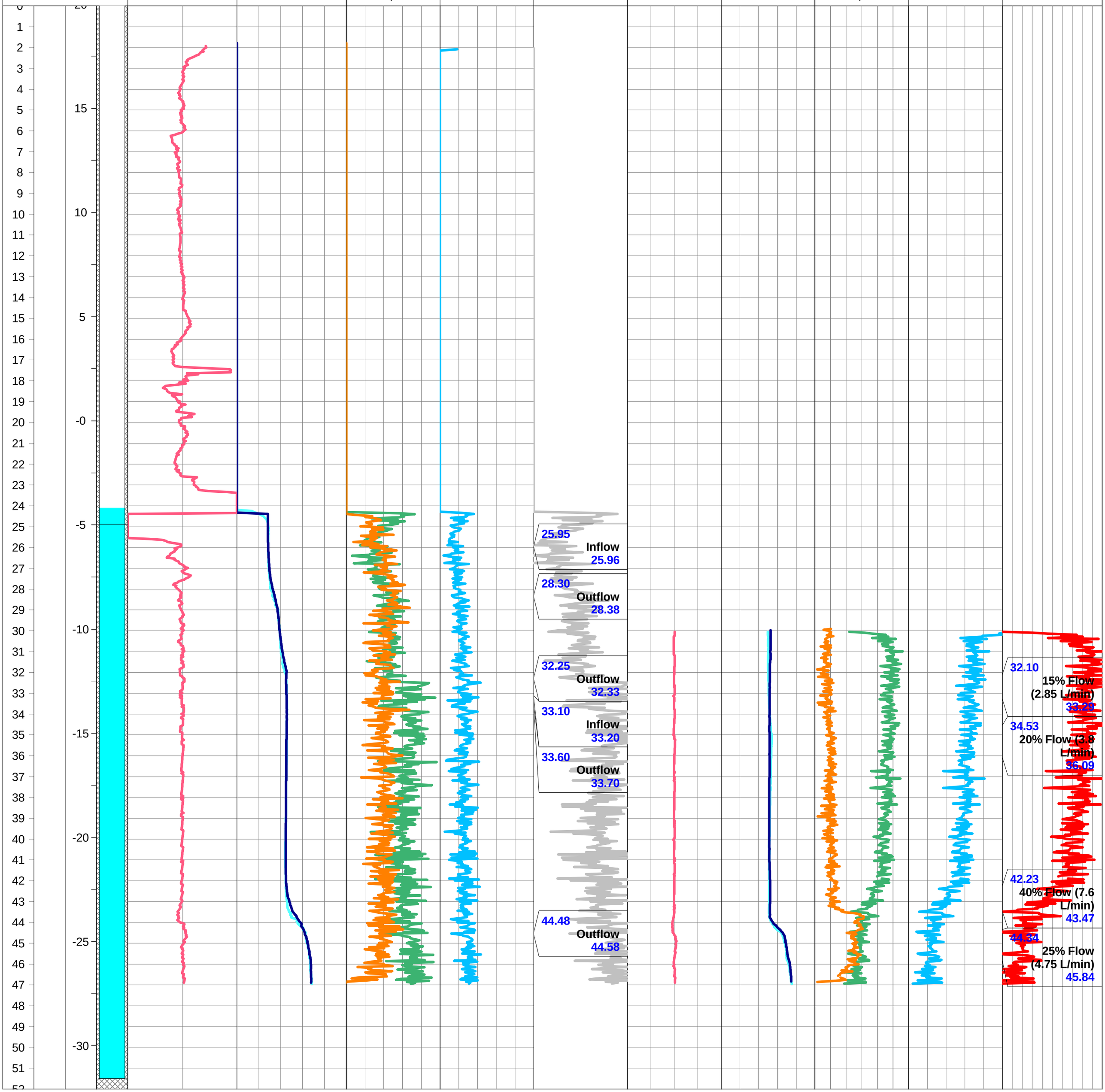
BH1802B

Lithology		Bh Profile		Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)			Fluid parameters (pumping)		Flow (pumping, 8 L/min)		
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	HFT (amb) -0.1 °C 0.1	Cond25C Dn (amb) 480 uS/cm 520	Spinner Dn (amb) 600 cps 1400	Flow Dn (amb) 0 m/min 3	Flow (amb)	HFT (pump) -0.2 °C 0.2	Cond25C Dn (pump) 480 uS/cm 520	Spinner Dn (pump) 600 cps 1400	Flow Dn (pump) 0 m/min 3	Flow (pump) 0 % 100
					Cond25C Up (amb) 480 uS/cm 520	Spinner Up (amb) 600 cps 1400		Flow-depth (amb)		Cond25C Up (pump) 480 uS/cm 520	Spinner Up (pump) 600 cps 1400		Flow rate (pump)



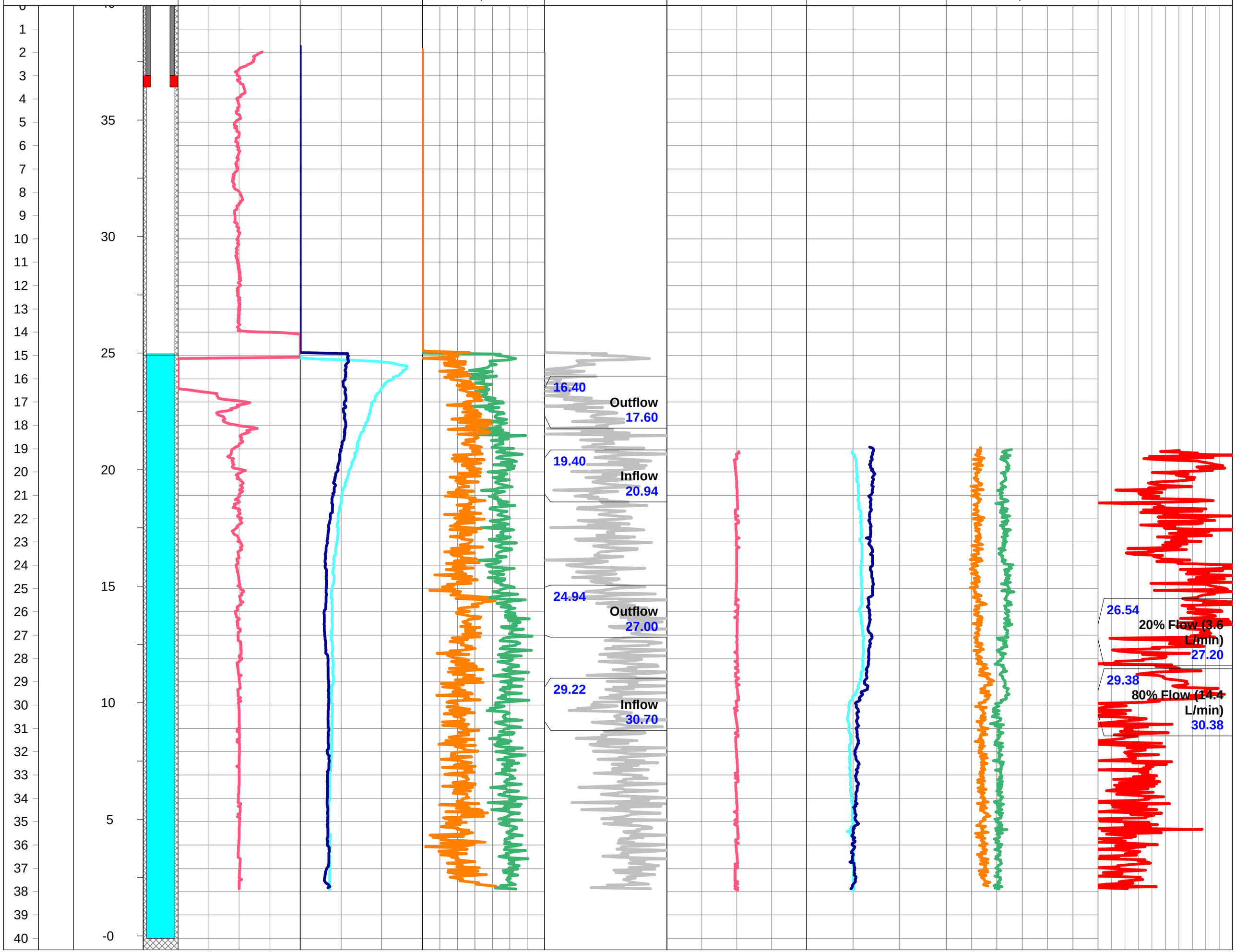
BH1803B

Lithology		Bh Profile		Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)			Fluid parameters (pumping)		Flow (pumping, 19 L/min)		
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	HFT (amb) -0.1 °C 0.1	Cond25C Dn (amb) 500 uS/cm 1500	Spinner Dn (amb) 800 cps 1300	Flow Dn (amb) 0 m/min 5	Flow (amb) 0 100	HFT (pump) -0.2 °C 0.2	Cond25C Dn (pump) 500 uS/cm 1500	Spinner Dn (pump) 500 cps 1700	Flow Dn (pump) 0 m/min 5	Flow (pump) 0 % 100
					Cond25C Up (amb) 500 uS/cm 1500	Spinner Up (amb) 800 cps 1300		Flow-depth (amb)		Cond25C Up (pump) 500 uS/cm 1500	Spinner Up (pump) 500 cps 1700		Flow rate (pump)



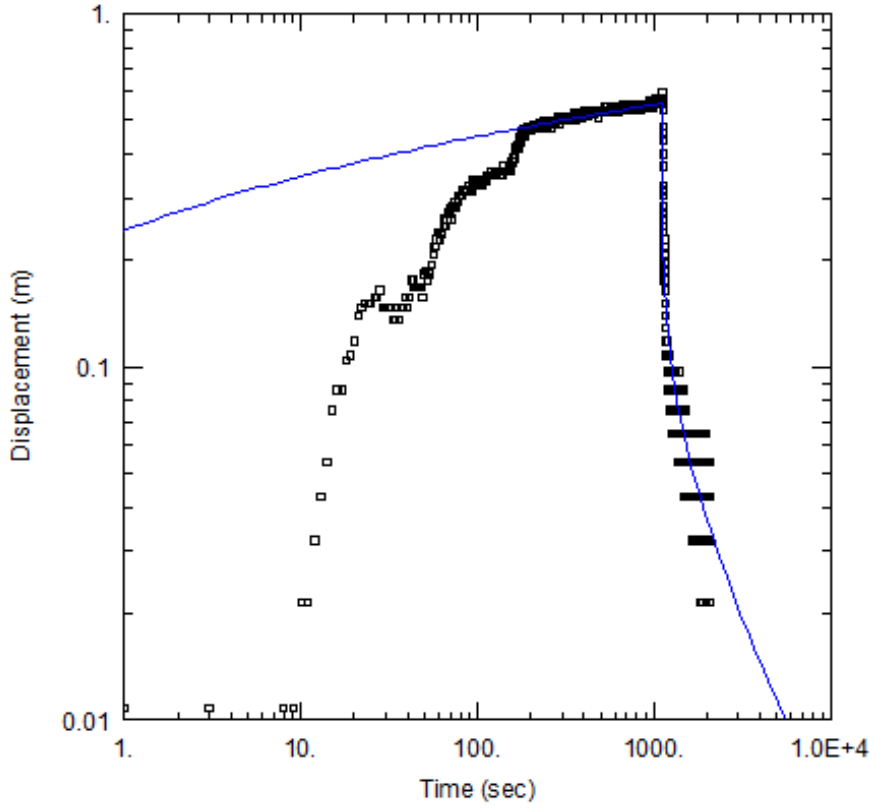
SGU93/1

Lithology		Bh Profile		Fluid parameters (ambient)		Flow (ambient)		Fluid parameters (pumping)		Flow (pumping, 18 L/min)	
Depth 1:150	Litho	Elev	Prof.	HFT (amb) -0.1 °C 0.1	Cond25C Dn (amb) 460 uS/cm 520	Spinner Dn (amb) 500 cps 1200	Flow (amb)	HFT (pump) -0.1 °C 0.1	Cond25C Dn (pump) 460 uS/cm 520	Spinner Dn (pump) 0 cps 3000	Flow (pump) 0 100
					Cond25C Up (amb) 460 uS/cm 520	Spinner Up (amb) 500 cps 1200	Flow-depth (amb)		Cond25C Up (pump) 460 uS/cm 520	Spinner Up (pump) 0 cps 3000	Flow rate (pump)



BILAGA B

Diverdata från enhålspumptest



PUMP TEST

Data Set: I:\...\BH2005_JE.aqt
Date: 08/31/20 Time: 09:10:22

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH2005
Test Date: 200729

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2005	0	0

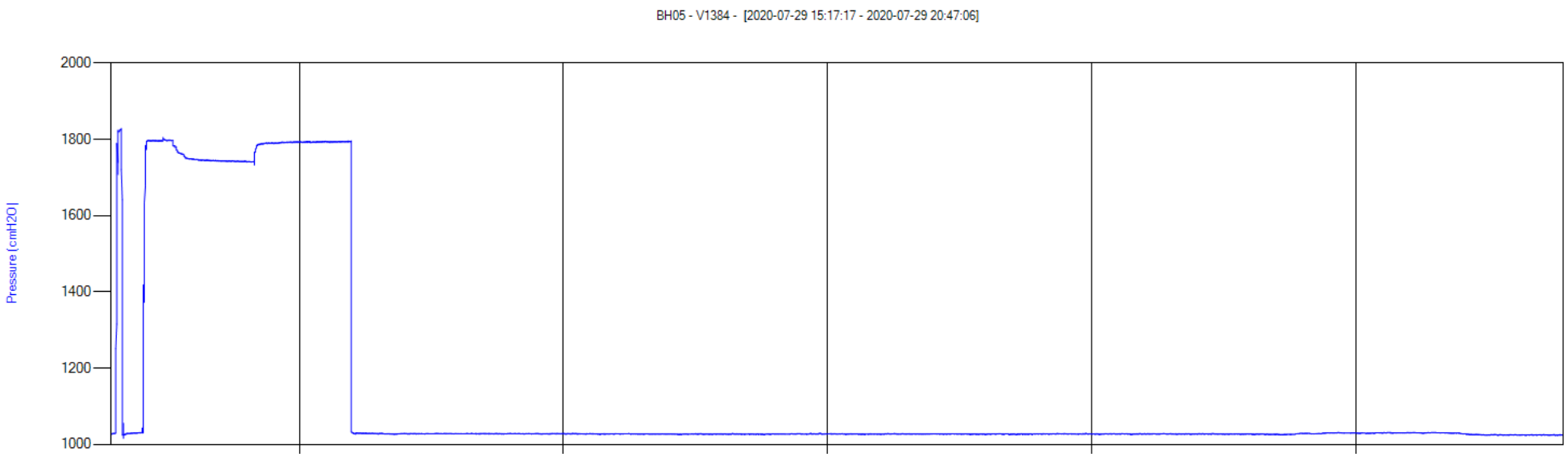
Observation Wells

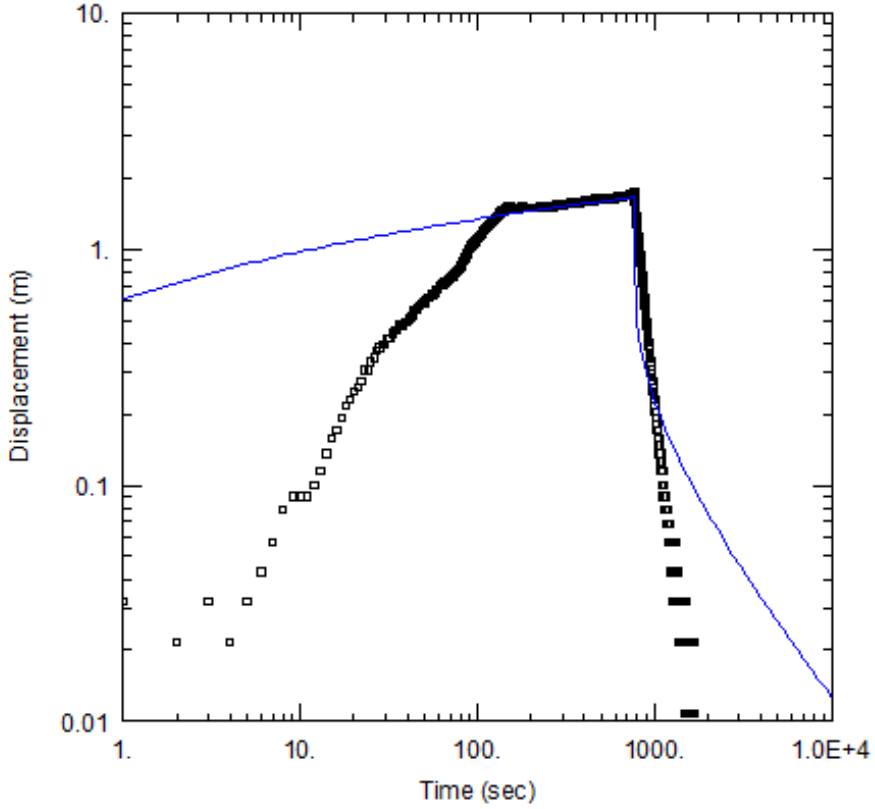
Well Name	X (m)	Y (m)
BH2005	0	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.0004749 m^2/sec
S = 0.001989
Kz/Kr = 0.1023
b = 4.5 m


BH05 - V1384 - [2020-07-29 15:17:17 - 2020-07-29 20:47:06]
Pressure (cmH2O)
2000
1800
1600
1400
1200
1000



PUMPTEST

Data Set: I:\...\BH2017_JE.aqt
Date: 08/31/20 Time: 10:37:52

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: BH17
Test Date: 200729

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
BH2017	0	0

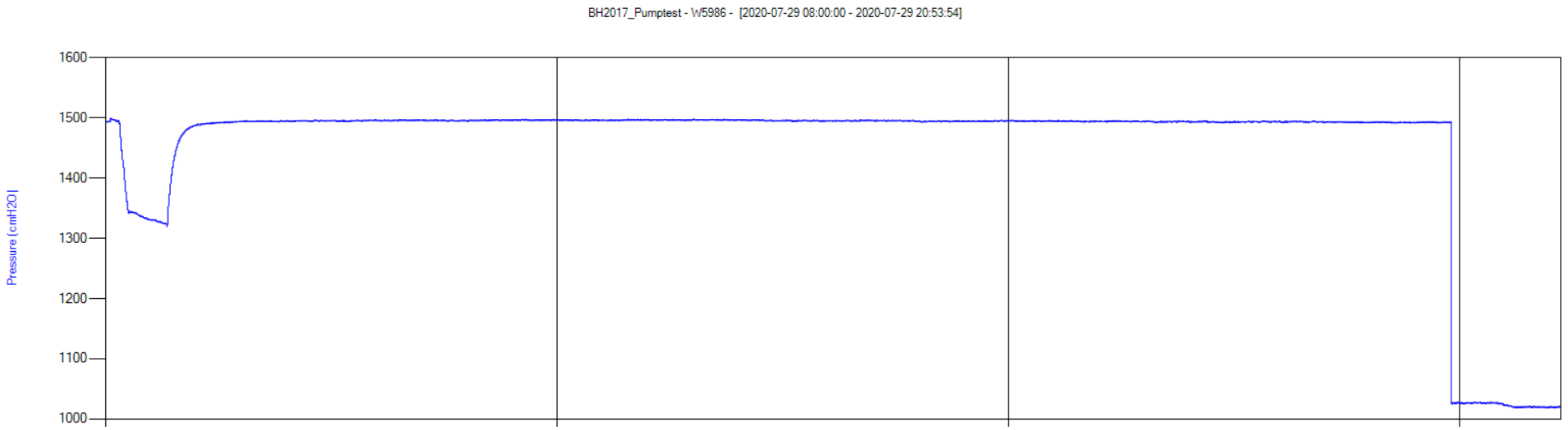
Observation Wells

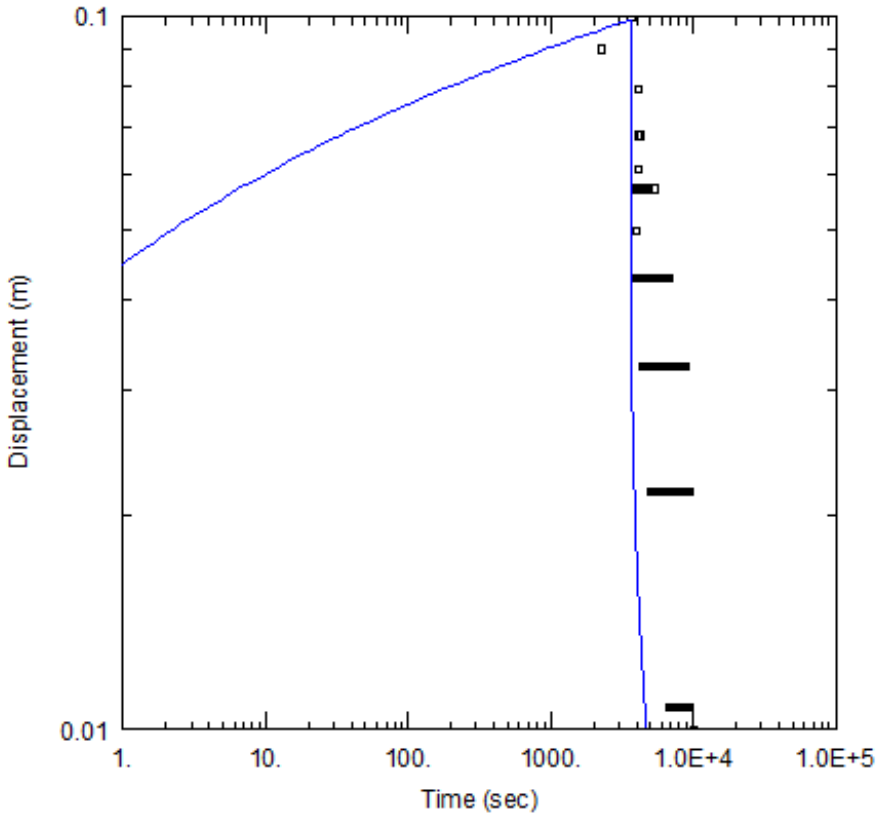
Well Name	X (m)	Y (m)
▫ BH2017	0	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 4.19E-5 m^2/sec
S = 0.001105
Kz/Kr = 0.1
b = 5. m


BH2017_Pumptest - W5986 - [2020-07-29 08:00:00 - 2020-07-29 20:53:54]
Pressure (cmH2O)
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000



PUMPTEST

Data Set: I:\...\SGU93_1_JE.aqt
Date: 08/31/20 Time: 09:09:34

PROJECT INFORMATION

Company: Golder
Client: Cementa
Project: 1650142
Location: Gotland
Test Well: SGU93/1
Test Date: 200731

WELL DATA

Pumping Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
SGU93/1	0	0

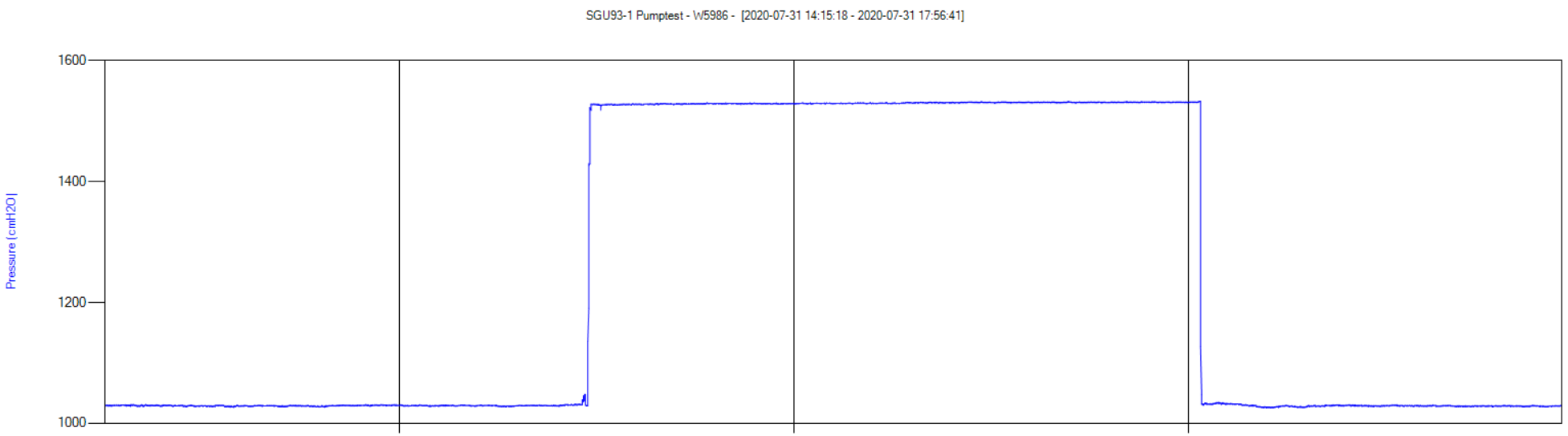
Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
SGU93/1	0	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined
Solution Method: Theis

T = 0.003629 m^2/sec
S = 0.001186
Kz/Kr = 0.1
b = 25. m


SGU93-1 Pumptest - W5986 - [2020-07-31 14:15:18 - 2020-07-31 17:56:41]
Pressure [cmH2O]
1600
1400
1200
1000

BILAGA C

Fältprotokoll flowlogging

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	29/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH1801b				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		24.46			
Djup till vatten med logger i borrhål:		24.46		Uppstick:	0.43
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		24.46		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		25.04		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		16 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 40 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	29/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH1802b				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:			25.57		
Djup till vatten med logger i borrhål:			25.5	Uppstick:	0.31
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:			25.47	Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:			25.95	Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:			8 l/min		

Egna kommentarer:

MPD 39 m

Märkliga värden ovanför gvy. Proben studsade, framfröallt mellan 24-28 m. Impellern roterade åt fel håll. Förmodligen mycket sprickor i berget.

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	29/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH1802b				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		25.57			
Djup till vatten med logger i borrhål:		25.5		Uppstick:	0.31
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		25.47		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		25.95		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		8 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 39 m
Märkliga värden ovanför gvy. Proben studsade våldsamt och impellern gick baklänges, famförallt mellan 24-28 m. Pumpen stannade också, men vi fick igång den igen.

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	28/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH1803b				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		24.34			
Djup till vatten med logger i borrhål:				Uppstick:	
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		25.23		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		19 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 51.5 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	28/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH1803b				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:			24.34		
Djup till vatten med logger i borrhål:			24.46	Uppstick:	
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:			24.47	Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:			25.13	Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:			19 l/min		

Egna kommentarer:

MPD 51.5 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	30/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2001				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		25.63			
Djup till vatten med logger i borrhål:		25.63		Uppstick:	0.51
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		25.63		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		26.27		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		6 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 42.8 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	30/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2001				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		25.63			
Djup till vatten med logger i borrhål:		25.63		Uppstick:	0.51
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		25.63		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		26.45		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		9 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 42.8 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	30/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2002				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		18.48			
Djup till vatten med logger i borrhål:		18.48		Uppstick:	0.51
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		18.48		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		20.02		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		16 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 54.7 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	30/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2002				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		18.48			
Djup till vatten med logger i borrhål:		18.48		Uppstick:	0.51
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		18.48		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		19.54		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		16 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 54.7 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	30/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2003				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		22.46			
Djup till vatten med logger i borrhål:		22.22		Uppstick:	0.11
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		22.3		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		23.68		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		3.5 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 35.83 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	30/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2003				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		22.46			
Djup till vatten med logger i borrhål:		22.22		Uppstick:	0.11
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		22.26		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		23.43		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		3 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 35.83 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	27/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2004				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		3.97			
Djup till vatten med logger i borrhål:				Uppstick:	0.32
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		4.44		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		5.02		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		5 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 30 m

Dummyn upp lerig.

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	27/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2004				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		3.97			
Djup till vatten med logger i borrhål:		3.94		Uppstick:	0.32
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		3.97		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		5.01		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		5 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 30 m

Dummyn upp lerig.

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	29/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2005				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		32.48			
Djup till vatten med logger i borrhål:				Uppstick:	0.18
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:				Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:					

Egna kommentarer:

MPD 40 m
Gjorde enhåls pumptest. Vattenpelaren för kort. Fick mycket värde ovanför gvy, förmodligen beroende på att vatten sprutar in från sprickor ovan gvy.

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	27/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2006				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		2.31			
Djup till vatten med logger i borrhål:		2.31		Uppstick:	0.36
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		2.31		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		2.6		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		21 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 38.50
Brunnen lite hög. Fick starta mätningen med probens nollpunkt 7 cm under rök. Justerat i datorn vid körning

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	27/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2006				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		2.31			
Djup till vatten med logger i borrhål:		2.31		Uppstick:	0.36
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		2.31		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		2.59		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		21 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 38.50
Brunnen lite hög. Fick starta mätningen med probens nollpunkt 7 cm under rök. Justerat i datorn vid körning

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR CT-LOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	28/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2007				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		0.41			
Djup till vatten med logger i borrhål:		0.28		Uppstick:	0.22
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:				Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		1.51		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		4 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 41.3 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	28/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	BH2007				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		0.41			
Djup till vatten med logger i borrhål:		0.28		Uppstick:	0.22
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		0.23		Inre diameter:	130 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		1.56		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		4 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 41.3 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm

Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	31/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	SGU93/1				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		1.91			
Djup till vatten med logger i borrhål:		14.91		Uppstick:	0.05
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		14.91		Inre diameter:	183 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		15.08		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		18.5 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 40 m

Golder Associates AB

Östgötagatan 12 * Box 20127 * 104 60 Stockholm
Tel: 08-506 306 00

PROTOKOLL FÖR FLÖDESLOGGNING

Projektnamn	Cementa Slite			Uppdragsnr	1650142
Datum (ÅÅMMDD)	31/07/2020	Tid (TT:MM)		Utfört av (Fullständigt namn)	Stefan Rhodin
ID	SGU93/1				Gustav Tennby
				Företag	
Djup till vatten utan utrustning i borrhål:		1.91			
Djup till vatten med logger i borrhål:		14.91		Uppstick:	0.05
Djup till vatten med logger & pump i borrhål:		14.91		Inre diameter:	183 mm
Djup till vatten vid steady state-pumpning:		14.99		Tid: (steady state)	
Flöde vid steady state-pumpning:		18 l/min			

Egna kommentarer:

MPD 40 m

BILAGA D

Borrhålsprotokoll

SGU diarienr: 920572227

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 0498-244005
Fax:
E-post: info@ahlqvists.com
www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-06-25
Borrningen avslutad datum: 2020-06-24
Protnr: 201849

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Hejnum Rings 2:1
Ort: Tinstäde
Församling:
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge: Borrhål 1
Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress:
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Cementa
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: Box 50727
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 202 70 Malmö

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.8	Grus/sand		
0.8	42.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare ☐ annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [X] cementering ☐ extra plaströrsfodring ☐ annan:

	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
Borrhål fodrat: [X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	3.0	m
☐ annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
42.0 m	0.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: ☐ hushållsvatten ☐ energi värme/kyla ☐ kommunalt vatten [X] övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd: ☐ fys. kemisk ☐ bakteriologisk ☐ radon
Vattenflaska lämnad: ☐ ja ☐ nej
Analysresultat: ☐ bifogas ☐ insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning ☐ flottörmätning ☐ pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
42.0 m	1.0 tim	180 liter/tim	[X] före tryckning	—	m
m	tim	liter/tim	☐ efter tryckning	—	m

Grundvattennivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: ☐ före vattenuttag ☐ efter vattenuttag
antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: ☐ tryckning ☐ sprängning ☐ gradborrning, riktning:

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
mg/l	mS/m	

Annan anmärkning: Fukt på 3,5 m, vatten på 29,3 m ca 2 lit/min, ökande vid 34,8 m till ca 3 lit/min.

mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/r

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920572237

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 0498-244005
Fax:
E-post: info@ahlqvists.com
www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-06-25
Borrningen avslutad datum: 2020-06-24
Protnr: 201849

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Hejnum Mallgårds 5:1
Ort: Tinstäde
Församling:
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge: Borrhål 2
Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress:
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Cementa
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: Box 50727
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 202 70 Malmö

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.1	Jord		
0.1	51.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [X] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	3.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
51.0 m	0.1 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
51.0 m	1.0 tim	360 liter/tim	[X] före tryckning	—	m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	—	m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag
antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
Fukt på 17 m, vatten på 29,5 m ca 1 lit/min, ökande vid	mg/l	mS/m	
36,1 m ca 3 lit/min, ökande vid 41 m till ca 6 lit/min.	mg/l	mS/m	
	mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/r

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920572245

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 0498-244005
Fax:
E-post: info@ahlqvists.com
www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-06-25
Borrningen avslutad datum: 2020-06-24
Protnr: 201849

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Hejnum Rings 2:1	Tinstäde
Församling	**Kommun**
	Gotland
Borrplatsens läge	**Borrplatsens GPS-koordinater i system:** ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrhål 3	
Borrplatsens adress	**Telefon (även riktnummer)**

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn	Telefon (även riktnummer)
Cementa	
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan	**Ortsadress (postnummer och ortsnamn)**
Box 50727	202 70 Malmö

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.1	Jord		
0.1	1.0	Grus/sand		
1.0	2.0	Lera/grus		
2.0	36.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [X] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	3.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
36.0 m	0.1 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från — till
36.0 m	1.0 tim	120 liter/tim	[X] före tryckning	— m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	— m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
[ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:	mg/l	mS/m	
Annan anmärkning: Vatten på 32,3 m ca 2 lit/min.	mg/l	mS/m	
	mg/l	mS/m	
	mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/r

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920572252

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 0498-244005
Fax:
E-post: info@ahlqvists.com
www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-06-25
Borrningen avslutad datum: 2020-06-24
Protnr: 201849

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Hejnum Graute 1:18	Tinstäde
Församling	**Kommun**
	Gotland
Borrplatsens läge	**Borrplatsens GPS-koordinater i system:** ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrhål 4a	
Borrplatsens adress	**Telefon (även riktnummer)**

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn	Telefon (även riktnummer)
Cementa	
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan	**Ortsadress (postnummer och ortsnamn)**
Box 50727	202 70 Malmö

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.1	Sand/grus	
0.1	1.5	Grus/lera	
1.5	30.0	Kalkberg	

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp
☒ sänkhammare ☐ annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med
☒ cementering ☐ extra plaströrsfodring ☐ annan:

Borrhål fodrat

	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
☒ stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	3.0	m
☐ annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
30.0 m	0.0 m	115.0 mm

Brunnens användning
☐ hushållsvatten ☐ energi värme/kyla ☐ kommunalt vatten ☒ övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd
☐ fys. kemisk
☐ bakteriologisk
☐ radon

Vattenflaska lämnad
☐ ja
☐ nej

Analysresultat
☐ bifogas
☐ insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning
☒ blåsning ☐ flottörmätning ☐ pumpning

Pumpens maxkapacitet liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från — till
30.0 m	1.0 tim	150 liter/tim	☒ före tryckning	— m
m	tim	liter/tim	☐ efter tryckning	— m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
m		☐ före vattenuttag ☐ efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar
☐ tryckning ☐ sprängning ☐ gradborrning, riktning:

Annan anmärkning
Fukt på 22,2 m, vatten på 25,1 m ca 2,5 lit/min.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/r

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920532934

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB

Fröjel Sälle 931

623 55 Klintehamn

Tel: 0498-244005

Fax:

E-post: info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-07-21

Borrningen avslutad datum: 2020-03-20

Protnr: 201772

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Othem Ytings 1:46	
Församling	**Kommun**
	Gotland
Borrplatsens läge	**Borrplatsens GPS-koordinater i system:** ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress	**Telefon (även riktnummer)**

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn	Telefon (även riktnummer)
Cementa AB	
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan	**Ortsadress (postnummer och ortsnamn)**

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	2.0	Grus/sand		Se teknisk- och grundvattenanmärkning
2.0	40.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [x] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[x] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	2.5	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
40.0 m	2.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [x] övrigt: Annan användning

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [x] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från — till
m	tim	liter/tim	[ ] före tryckning	m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Vatten på 30 m ökande på 33 m. Sprickor 29 och 30 m. Hål 5

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920572267

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 0498-244005
Fax:
E-post: info@ahlqvists.com
www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-06-25
Borrningen avslutad datum: 2020-06-24
Protnr: 201849

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Tingstäde Furbjärs 1:29
Ort: Tinstäde
Församling:
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge: Borrhål 6
Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress:
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Cementa
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: Box 50727
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 202 70 Malmö

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.1	Jord/grus		
0.1	20.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [x] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [x] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[x] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	3.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan: 20.0 m
Jorddjup från markytan (djup till berg): 0.1 m
Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [x] övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [x] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
20.0 m	1.0 tim	150 liter/tim	[x] före tryckning	—	m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	—	m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag
antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
Vatten på 6,1 m ca 2 lit/min, ökande vid 7,5 m till ca 2,5	mg/l	mS/m	
lit/min. Sprickor/Hålrum	mg/l	mS/m	
	mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/r

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920532901

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-07-21

Borrningen avslutad datum: 2020-02-19

Protnr: 201772

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB

Fröjel Sälle 931

623 55 Klintehamn

Tel: 0498-244005

Fax:

E-post: info@ahlqvists.com

www.ahlqvists.com

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Othem Österby 1:229

Ort:

Församling:

Kommun: Gotland

Borrplatsens läge:

Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V

Borrplatsens adress:

Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Cementa AB

Telefon (även riktnummer):

Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan:

Ortsadress (postnummer och ortsnamn):

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	42.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat:

	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	2.5	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
42.0 m	0.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Annan användning

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
m	tim	liter/tim	[ ] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

Gv-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m

Datum vid mätningstillfället:

Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag

antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Spricka på 6, 9 och 14 m. Hål 7

m under markytan	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet
	mg/l	mS/m
	mg/l	mS/m
	mg/l	mS/m
	mg/l	mS/m

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

SGU diarienr: 920572273

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 0498-244005
Fax:
E-post: info@ahlqvists.com
www.ahlqvists.com

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2020-06-25
Borrningen avslutad datum: 2020-06-24
Protnr: 201849

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Hejnum Rings 2:1
Ort: Tinstäde
Församling:
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge: Borrhål 16
Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress:
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Cementa
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: Box 50727
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 202 70 Malmö

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.1	Jord		
0.1	1.0	Grus/sand		
1.0	2.0	Lera/Grus		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [X] cementering [ ] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	3.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
2.0 m	0.1 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
m	tim	liter/tim	[ ] före tryckning		— m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning		— m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett		antal timmar
m		[ ] före vattenuttag	[ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
	mg/l	mS/m	
	mg/l	mS/m	
	mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/r

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

VI ÄR MEDLEM I BORRFÖRETAGEN®

golder.com

RAPPORT

Fältrapport - Flödesmätning med saltinjektion

Hejnum Kallgate

Framställd för:

Cementa AB

Insänd av:

Golder Associates AB

Box 20127

104 60, Stockholm, Sverige

08-506 306 00

Uppdragnr: 1650142

2020-09-16

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND 1

2.0 SYFTE 1

3.0 OMRÅDESBESKRIVNING 1

4.0 FÄLTARBETE 2

5.0 METOD 3

5.1 Saltinjektionstest 3

5.2 Hink och klocka 4

5.3 Flödestest flytande objekt 4

6.0 RESULTAT 5

6.1 Saltinjektionstest 5

6.1.1 Mätplats 1 (SMHI) 5

6.1.2 Mätplats 2 (VF1) 7

6.1.3 Mätplats 3 7

6.1.4 Mätplats 3B 7

6.1.5 Mätplats 4 8

6.1.6 Mätplats 5 10

6.1.7 Mätplats 6 11

6.2 Hink och klocka 14

6.3 Flödestest flytande objekt 14

7.0 OSÄKERHETER I MÄTNINGARNA 15

Tabellförteckning

Tabell 1: Uppmätt vattenföring i de undersökta vattendragen. 5

Tabell 2. Resultaten från hink och klocka-testet. 14

Tabell 3. Medelflödeshastigheten från flödestest med objekt 15

Figurförteckning

Figur 1: Samtliga testplatser. 1

Figur 2: Av SMHI uppmätt flödesdata för Orgvätarstationen 2

Figur 3. CTD-diver nedströms på mätplats 3. 3

Figur 4: Handhållna enheten av YSI Pro Plus 4
Tabell 1: Uppmätt vattenföring i de undersökta vattendragen. 5
Figur 5. Mätplats 1 (SMHI) i april 6
Figur 6. Mätplats 1 (SMHI) i september. 6
Figur 7. SMHI:s mätstation Orgvätar i september 7
Figur 8. Mätplats 3B (Bojsvätar) i september 8
Figur 9. Mätplats 4 i april 9
Figur 10. Uppströms mätplats 4 i september, hinder av barr och pinnar 10
Figur 11. Mätplats 5 i april 10
Figur 12. Mätplats 5 i september 11
Figur 13. Växtlighet mätplats 6 i april 12
Figur 14. Växtlighet mätplats 6 i september 12
Figur 15. Mätplats 6 i april (med en väldigt tydlig flödesfåra) 13
Figur 16. Mätplats 6 i september 13
Figur 17. Foto på vattendraget VF1. 14

BILAGOR

BILAGA A - Registrerade konduktivitetsvärden 1-2 april

BILAGA B - Registrerade konduktivitetsvärden 1-2 september

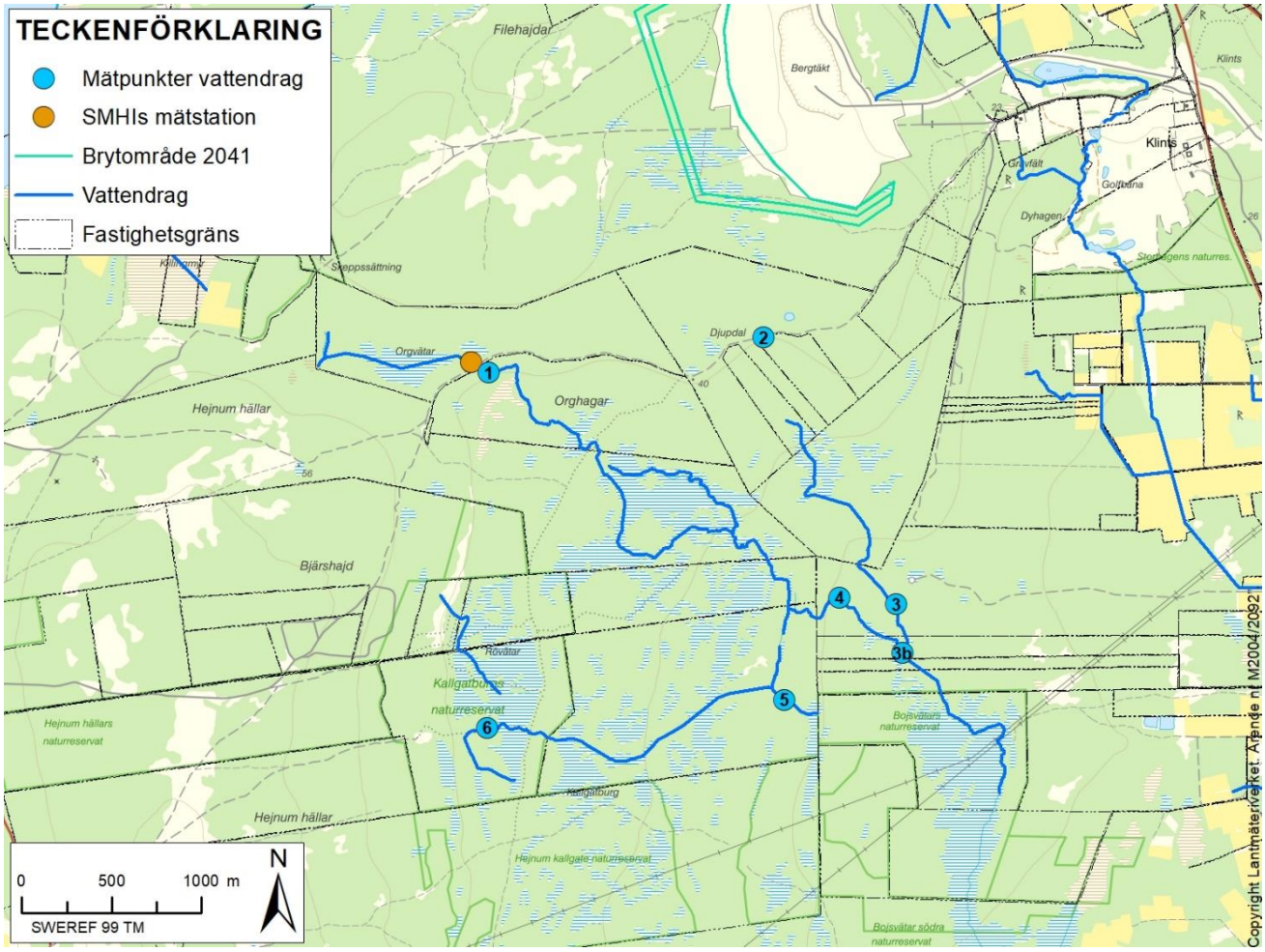
1.0 BAKGRUND

Golder Associates AB (Golder) har på uppdrag av Cementa AB utfört flödesmätningar inom projektet ”Fältundersökningar Cementa Slite”. Bolaget bedriver täktverksamhet och har ansökt om och erhållit tillstånd enligt miljöbalken för fortsatt täktverksamhet samt bortledning av grund- och ytvatten från bolagets två kalkstenstäkter, ”Västra brottet” respektive ”File hajdar-täkten”, belägna inom fastigheten Österby 1:229 i Slite. Bolagets tillstånd har överklagats av bl.a. Länsstyrelsen på Gotland och Naturvårdsverket.

2.0 SYFTE

Söder om Cementas täktområde på File hajdar finns ett större sammanhängande våtmarksområde skyddat som Natura 2000 områdena Kallgatburg, Hejnum kallgate och Bojsvätar. En stor del av tillståndsprövningen för täkttillstånd har rört eventuell påverkan på yt- och grundvattenförhållandena i dessa våtmarker. Syftet med nu genomförda mätningar är att kartlägga flödet i de olika vattendragen i området för att kunna relatera till beräknade flöden utifrån karterade avrinningsområden.

3.0 OMRÅDESBESKRIVNING



Figur 1. Samtliga testplatser.

Terrängen är varierande, med allt ifrån områden med orörd våtmark till tät skog. Vattendragen är grunda och bedöms som mer eller mindre mänskligt omformade vid alla mätpunkter. Vattenföringen mättes i april i 6 mätpunkter, och i september i 7 mätpunkter, se Figur 1. Dessa ligger fördelade med minst två punkter per vattendrag.

Mätpunkter

1 Nedströms SMHI:s mätstation Orgvät

2 VF1

3 Vattendrag från Djupdal

3B Bojsvätar

4 Vattendrag från Orgvät

5 Vattendrag från Hejnum Kallgate

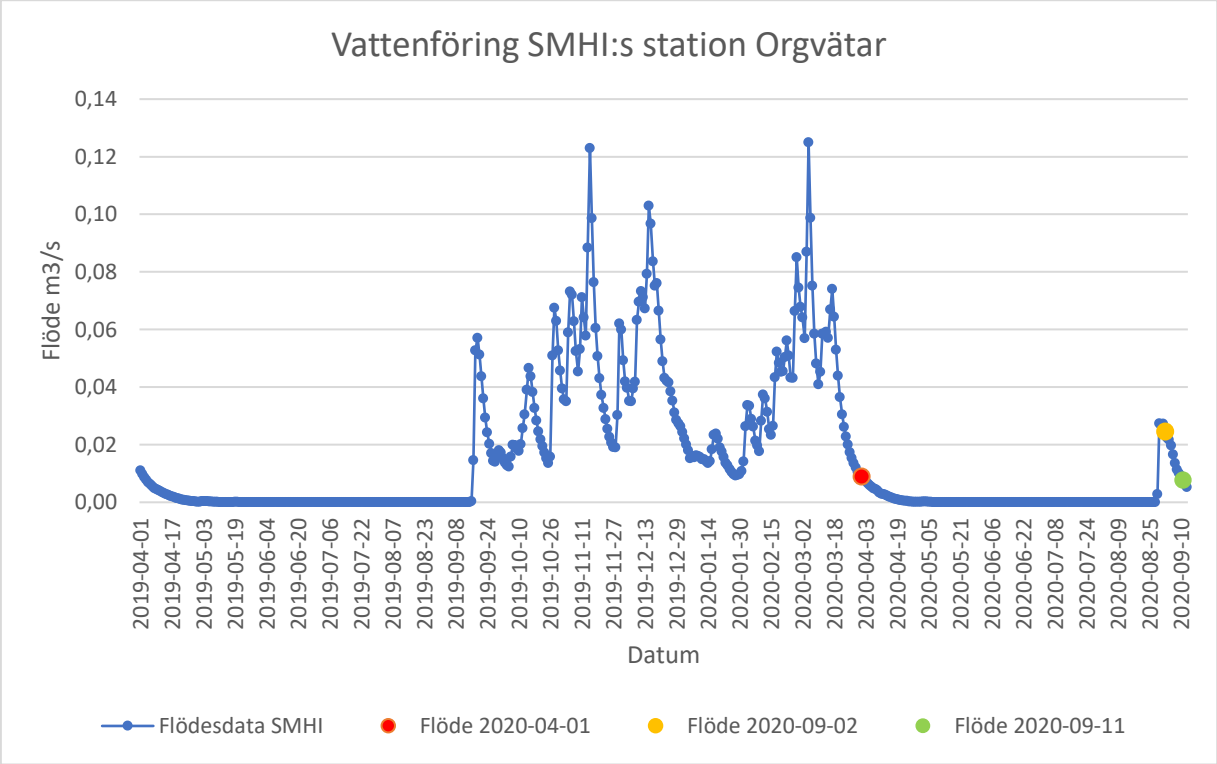
6 Nedströms Prosthulet

4.0 FÄLTARBETE

Flödesmätningarna genomfördes i två omgångar, den 1: a – 2: a april 2020 samt den 1: a – 2: a september 2020. Mätningarna i april genomfördes då det rådde regnuppehåll och vackert väder. Ansvariga i fält för flödesmätningarna var Johanna Alexson Ahlberg och Linda Strajnar, från Golder. Temperaturen varierade mellan +5 och +10 °C. Mätningarna utfördes under en period av hastigt sjunkande flöden efter vinterns högflöden under en mycket torr vår, vilket åskådliggörs med mätdata från SMHI:s station Orgvätar i Figur 2.

Mätningarna i september genomfördes med växlande sol och moln samt en liten regnskur. Temperaturen varierade kring + 12 och + 16 °C. Ansvarig i fält var Linda Strajnar från Golder, med hjälp av Anders Birgersson från Cementa AB. Mätningarna genomfördes efter några dagars intensiva regnväder, vilket också åskådliggörs i flödesgrafen från SMHI:s station, Figur 2. SMHI:s nederbördsstation i Hejnum registrerade 22 mm 26/8 och 45 mm 29/8.

Kompletterande fältmätning gjordes av Anders Birgersson 11 september 2020. Enstaka mm nederbörd föll i området flera av dagarna 1-11 september.



Figur 2. Av SMHI uppmätt flödesdata för Orgvätarstationen

5.0 METOD

Tre olika typer av flödesmätningar genomfördes under fältarbetet. Olika metoder användes för att kunna göra jämförelser av resultaten samt anpassa metoden till de platsspecifika förhållandena. Metoderna kommer i denna rapport benämnas flödesmätning med saltinjektion, flödesmätning med hink och klocka samt flödestest med flytande objekt. Rapportens huvudsakliga metod, då denna är mest tillförlitlig i denna typ av vattendrag, är dock flödesmätning med saltinjektion.

5.1 Saltinjektionstest

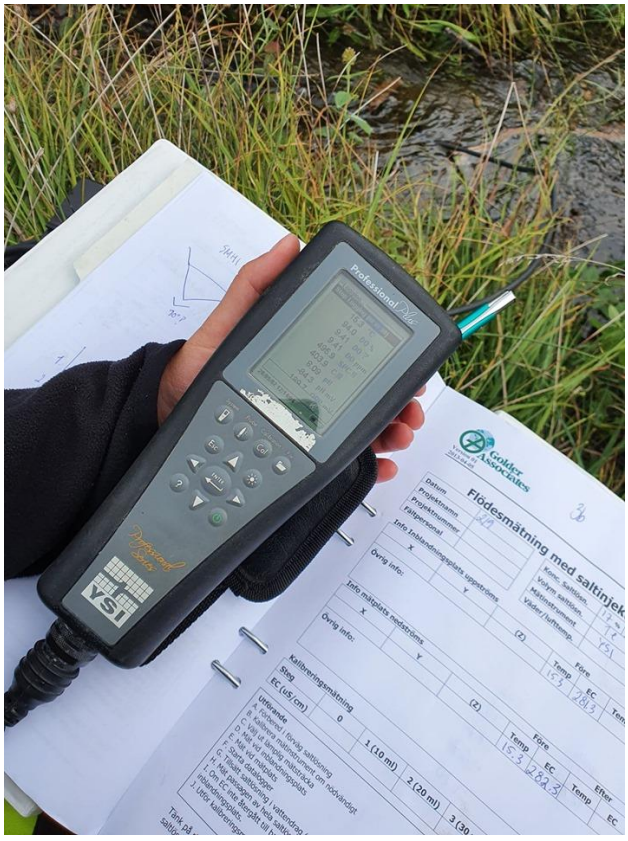
Flödesmätning med saltinjektion utförs genom att förändra salthalten i vattnet och mäta förändringen av elektrisk konduktivitet i vattendraget då en saltpuls passerar. Initialt förbereds inför testet en saltlösning gjord på bordssalt och vatten från vattendraget med 17% saltkoncentration. Av denna saltlösning hälls en bestämd volym (i detta fall 1 eller 2 l), beroende på vattendragets egenskaper, snabbt i vattnet som en momentan puls.

Saltlösningens flöde i vattendraget registreras därefter nedströms på lämpligt ställe där lösningen bedömts blivit homogent utblandad över vattendragets tvärsektion. Riktlinjen för val av mätpunkt var minst 25 x vattendragets bredd nedströms längst en bäcksträcka med turbulent flöde.

Saltpulsen identifieras genom uppmätt ökning av konduktivitet. Registrering av konduktiviteten utfördes i april med konduktivitetsgivare av typen CTD-Diver från vanEssen instruments, programmerad att registrera konduktiviteten varje sekund. Konduktiviteten registrerades av en givare uppströms som beskriver vattendragets normala bakgrundsvärden, och en givare nedströms som registrerar saltpulsens passage. För exempel hur det ser ut att mäta med CTD-Diver i fält, se Figur 3.

Figur 3. CTD-diver nedströms på mätplats 3.

I september registrerades konduktiviteten med YSI Professional Plus (Pro Plus) Multiparameter Instrument från Xylem, se Figur 4. YSI mäter flera parametrar såsom temperatur, pH, specifik konduktivitet, upplöst syre osv. Det som studerades i denna mätning var endast konduktiviteten och temperaturen.



Figur 4: Handhållna enheten av YSI Pro Plus

Resultatet av flödesmätningarna med saltinjektion beräknas efter genomförandet med avseende på principer om massbalans. Saltlösningen flödar i vattnet enligt en process som kallas longitudinell dispersion vilket syns på saltpulsens form. Saltmolnet når först givaren med en låg koncentration som övergår till maxkoncentration som sedan avtar långsamt. För grafer över respektive mätplats saltkurva se BILAGA A och BILAGA B.

Flödesberäkningarna har genomförts med *Formel 1*, tagen från (Moore, 2005):

Formel 1

$$Q = \frac{V}{k * \Delta t * [\sum EC(t) - EC_{bg}]}$$

Där V, volymen av saltlösning i vattendraget; EC, den elektriska konduktiviteten nedström; EC_{bg}, bakgrundsvärdet av elektrisk konduktivitet uppströms samt k, kalibreringskonstanten.

Kalibrering av saltlösningen genomfördes efter varje saltinjektionstest. Kalibreringskonstanten, k, har tagits fram enligt beräkningsgången som presenteras i (Moore, 2004).

5.2 Hink och klocka

Hink och klocka-test har utförts med ett mått med uppmärkt volymmarkering samt en klocka för att mäta hur lång tid det tar att fylla en viss volym. Detta ger sedan flödet per tidsenhet.

5.3 Flödestest flytande objekt

Ett enklare test för att uppskatta flödet i ett vattendrag har utförts genom att mäta tiden det tar för ett flytande objekt att färdas en bestämd längd. Denna metodik benämns ofta apelsinmetoden, då apelsiner har ett bra vattenläge med en densitet väldigt nära vatten och dessutom syns bra. För de aktuella vattendragen var dock

vattendjupet för litet och/eller för mycket vegetation för att använda de limefrukter som medförts för ändamålet.

Vattendragets tvärsektion måste mätas med bredd och djup på en någorlunda representativ sektion för vattendraget. Tiden det tar för objektet att färdas den bestämda sträckan längst vattendraget tillsammans med tvärsektionen ger då en estimerad flödeshastighet.

6.0 RESULTAT

Flödesmätningar utfördes vid sex (6) punkter i april varav fem (5) utfördes med saltinjektion. I september utfördes mätningar i sju (7) punkter varav alla utfördes med saltinjektion.

Mätmetodiken med saltinjektion är den mest precisa i vattendrag med oregelbunden form och stor inverkan av friktion mot kant och botten. Nedan redovisade resultat under denna rubrik är därför studiens huvudsakliga resultat i de punkter där denna metod var möjlig att använda.

6.1 Saltinjektionstest

Resulterande flödet av saltinjektionstesterna i april respektive september visas i Tabell 1.

Tabell 1: Uppmätt vattenföring i de undersökta vattendragen.

	1	2	3	3B	4	5	6
Flöde april (l/s)	10,6	0,20*	19,3	-	31,4	21,5	9,5
Flöde september (l/s)	34,1	8,4	10,4	13,8	1,5	35,7	33,1

*Flödet i 2 är resultatet från hink och klocka-testet presenterad i avsnitt 6.2

6.1.1 Mätplats 1 (SMHI)

Mätningen av flödet i mätpunkt 1 (även kallad SMHI då den ligger strax nedströms SMHI:s mätstation Orgvätar) genomfördes i september ungefär 50 meter uppströms från den första mätningen. Anledningen till detta var att pooler hade bildats längre nedströms, vilket bör undvikas vid saltinjektionstest då saltet kan uppehålla sig i dessa. Flödet som uppmättes i september (se Figur 6) var cirka tre gånger så stort som i april, se Figur 5). Okulärt var det möjligt att se att flödet hade ökat, dock svårbestämt med vilken faktor.

Figur 5. Mätplats 1 (SMHI) i april

Figur 6. Mätplats 1 (SMHI) i september.

Resultatet som erhölls för vattendraget har jämförts med SMHI:s värden på vattenföringen vid SMHI:s mätstation Orgvätar cirka 75-100 meter uppströms. SMHI:s registrerade flöde den 1 april var 8,9 l/s och den 2 september var det 24,5 l/s (SMHI, u.d.) För flödet i stationen som sågs vid besöket den andra september 2020, se Figur 7.

Figur 7. SMHI:s mätstation Orgvätar i september

6.1.2 Mätplats 2 (VF1)

Vid besöket i april var det inte möjligt att genomföra ett saltinjektionstest vid mätplats 2 (VF 1) på grund av för lågt, nästintill obefintligt, flöde. I september flödade det på bra i vattendraget och saltinjektionstestet kunde genomföras. Saltlösningen hälldes i ovan överfallet och mättes på andra sidan den vägtrumma som ligger nedströms.

6.1.3 Mätplats 3

Mätningen av flödet i mätplats 3 genomfördes på samma ställe både i april och september. Okulärt bedömdes flödet vara aningen större i april jämfört med september.

6.1.4 Mätplats 3B

Vid mätning i april gjordes endast mätning på mätplats 3, i september kompletterades dock detta med en mätning i vattendrag vid Bojsvätar (mätplats 3B). Denna mätplats samlar upp det gemensamma flödet från mätplats 3 och 4. För foto på vattendraget, se Figur 8.

Figur 8. Mätplats 3B (Bojsvätar) i september

6.1.5 Mätplats 4

Vi mätning i mätplats 4 i april var det ett högt flöde i vattendraget, se Figur 9, samt ett större bedömt vattendjup.

Figur 9. Mätplats 4 i april

Mätningen i september genomfördes längre uppströms i vattendraget dock uppmättes ett väldigt litet flöde om endast 1,5 l/s denna gång. Anledningen till det lilla flödet kan delvis bero på att saltinjektionstestet tog för lång tid. Saltpulsen bör ha passerat på under 20 minuter, annars kan felaktiga flöden uppstå. I detta fall hade saltpulsen inte helt passerat efter att 20 min fortlöpt. Dock påvisade flödestestet med flytande objekt (se Tabell 3) ett flöde i samma storleksordning, vilket tyder på att saltinjektionstestet bör ha uppmätt flödet korrekt. Anledningen till de låga flödet kan bero på att vid flera ställen uppströms var vattendraget dämt med barr och pinnar, se exempel i Figur 10).

Figur 10. Uppströms mätplats 4 i september, hinder av barr och pinnar

6.1.6 Mätplats 5

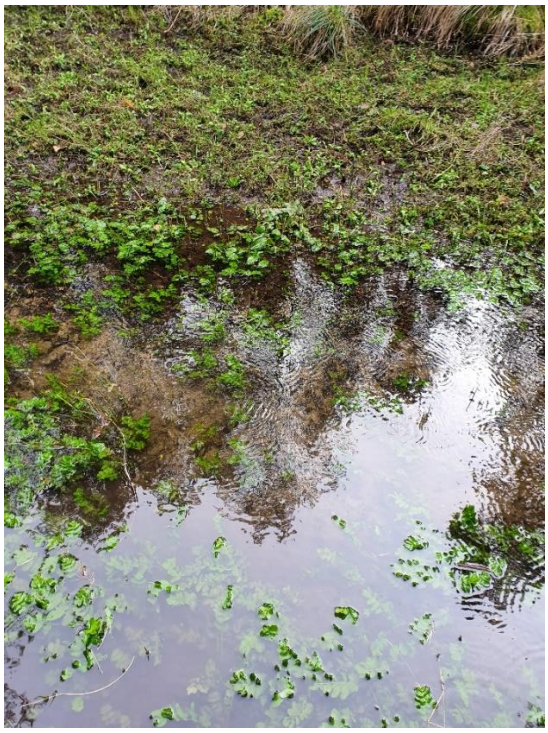
Mätningarna i mätplats 5 genomfördes på samma ställe i april och september. Flödet bedömdes okulärt ha ökat avsevärt (se Figur 11 och Figur 12) vilket också bekräftades av saltinjektionstestet.

Figur 11. Mätplats 5 i april

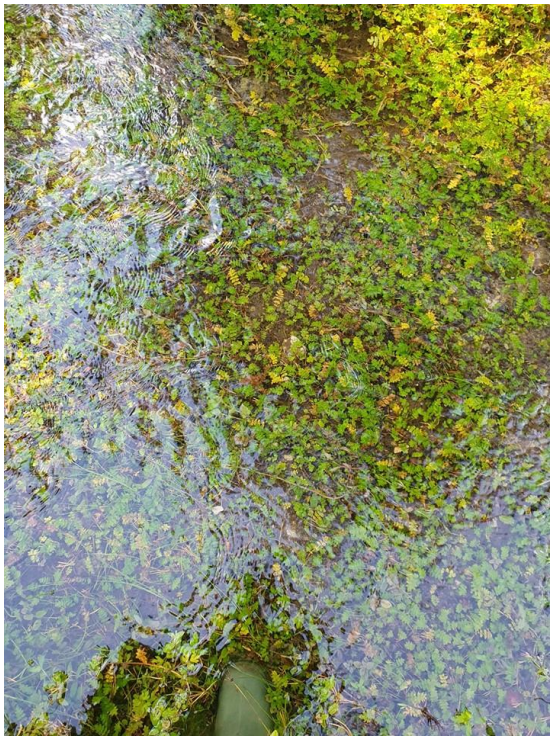
Figur 12. Mätplats 5 i september

6.1.7 Mätplats 6

Vid mätplats 6 (Prosthulet) är det mycket vegetation i vattendraget som leder till att flödet endast leds i en liten del av vattendraget och inte över hela tvärsnittsarean. För skillnaden på växtlighet mellan april och september se Figur 13 och Figur 14. Vid flödesmätningen med flytande objekt i september gjordes en bedömning av vilken del av bäckfårans tvärsnittsarea flöde sker med hänsyn till vegetation. Flödesberäkningen får dock anses som osäker.



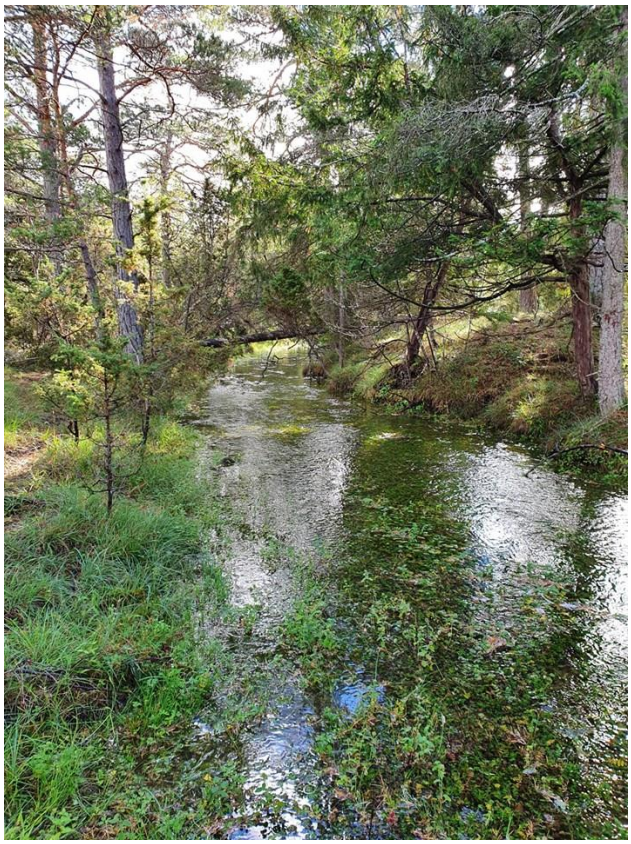
Figur 13. Växtlighet mätplats 6 i april



Figur 14. Växtlighet mätplats 6 i september

Flödet mättes i september ca 50 meter uppströms från aprils mätplats pga. vegetationen i vattendraget. Okulärt bedömdes vattendraget i april ha haft ett väldigt litet flöde och nu i september ansågs detta ha ökat avsevärt. För mätplatserna se Figur 15 och Figur 16.

Figur 15. Mätplats 6 i april (med en väldigt tydlig flödesfåra)



Figur 16. Mätplats 6 i september

6.2 Hink och klocka

Det låga flödet vid VF1, se Figur 17, var orsaken till att hink och klocka-test utfördes istället för saltinjektion.

Figur 17. Foto på vattendraget VF1.

Tio (10) test genomfördes och resultaten från dessa visas i Tabell 2.

Tabell 2. Resultaten från hink och klocka-testet.

Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volym (l)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tid (s)	5,60	5,71	5,05	5,45	4,86	4,63	4,65	5,23	4,98	5,15
Q (l/s)	0,18	0,18	0,20	0,18	0,21	0,22	0,22	0,19	0,20	0,19

Ett medelvärde på flödet beräknades utifrån de genomförda testerna och uppgick till 0,20 l/s.

6.3 Flödestest flytande objekt

Mätning med ett flytande objekt och genomförda beräkning tar ingen hänsyn till råheten för vattendragets botten och kanter och den lägre flödeshastighet dessa medför i en tvärsektions ytterdelar. I grunda vattendrag som dessa blir inverkan av botten stor och de uppmätta flödeshastigheterna vid vattenytan kommer därmed vara betydligt över medelhastigheten. Dessa resultat ska därför ses som en kontrollfunktion av

storleksordningar i saltinjektionsresultaten för att verifiera att inga enhetsfel eller liknande har gjorts vid beräkningarna.

På grund av att samtliga vattendrag var grunda användes ett objekt som flöt helt ovan ytan och lades i vattendragets mitt där flödet är som störst. Det var tidvis blåsigt vid genomförandet. Resulterande flödeshastigheter från test med flytande objekt finns i Tabell 3.

Tabell 3. Medelflödeshastigheten från flödestest med objekt

	1	2	3	3B	4	5	6
Flöde 1-2 april (l/s)	30,80	-	31,80	-	21,73	63,55	-
Flöde 1-2 september (l/s)	35,9	27,2	26,5	51,7	1,7	28,0	37,1
Flöde 11 september (l/s)					32,3/30,9*	29,1	

*Mättes som en kontroll även i en ytterligare punkt ett par hundra meter väster om 4

Vid mätningarna 1:a september var flödet anmärkningsvärt lågt vid mätpunkt 4. Intrycket i fält var att våtmarken fortfarande inte var mättad utan tog upp vatten trots att det var 3 dygn efter det kraftiga nederbördstillfälle då ca 40 mm regn föll över området. Med anledning av detta gjordes en kompletterande mätning 10 dagar senare. Vid detta tillfälle fanns inte utrustning för mätning med saltinjektion att tillgå utan mätningen gjordes endast med flytande objekt. Flödet hade vid denna mätning ökat markant vid mätpunkt 4,

7.0 OSÄKERHETER I MÄTNINGARNA OCH DISKUSION

Mätning av ytvattenflöden är alltid behäftad med relativt stora osäkerheter vilket belyses av jämförelsen mellan de bägge mätmetoderna ovan. Som tidigare nämnts är metodiken med saltinjektion den mest precisa för naturliga mindre vattendrag och därmed de resultat som är produkten av denna studie. Under gynnsamma förhållanden kan saltinjektion ge en mätnoggrannhet på ±5% (Moore, 2005). Utöver rent mättekniska osäkerheter som volymsbestämning av saltlösning, mätnoggrannhet för konduktivitet etc. utgör saltets löslighet i vattnet och antagandet om homogen omblandning naturliga osäkerhetsfaktorer.

Även mätning med mätöverfall så som SMHI:s mätstation inkluderar en likartad osäkerhet. Flera studier har gjorts över mätnoggrannheten för mätöverfall, som regel utförda under mycket kontrollerade förutsättningar. SASO (2019) beräknar mätosäkerheten till 6,7% med 95% konfidensintervall i ett naturligt vattendrag med gynnsamma förhållanden. Generellt ökar mätosäkerheten vid mycket låga och mycket höga flöden relativt medelvattenflödet. En problematik som gör sig påmind i flacka områden, så som det här aktuella, är att teorin för beräkning av flöde med överfall bygger på att ingen dämning sker nedströms samtidigt som uppströms vattenyta är stillastående. För detta krävs alltså en dämning av vattendraget vilket i ett flackt område i sig kan medföra en betydande hydrologisk påverkan och även utgöra ett vandringshinder för fisk. Installationerna blir därmed ofta en kompromiss mellan naturhänsyn och mätnoggrannhet. En för liten uppströms dämning medför en vattenhastighet fram till överfallet som kommer att innebära en underskattning av faktiskt flöde.

Genomförda mätningar är en ögonblicksbild giltig för den aktuella hydrologiska situationen. Mätningarna i april är gjorda vid en tidpunkt med hastigt sjunkande flöden. Vid mätningarna i början av september är flödena sjunkande i uppströmsmätpunkterna från områden med små jordtäcken, samtidigt som våtmarken ännu ej är ”fylld med vatten” så flödet har ännu inte fullt ut nått mätpunkt 4 nedströms våtmarken. Mätpunkt 3 och 5 däremot har flöden i samma storleksordning som uppströmspunkterna vilket antas bero på större andel dikade mer kanaliserade vattendrag som därmed reagerar snabbare på förändrat flöde. Avrinningsområdets

översta delar kommer att vara den del som torkar ut först. Det är därför troligt att framförallt förhållandena mellan uppströms och nedströmspunkterna förändrar sig med hydrologisk situation.

REFERENSER

Golder Associates AB. (2017-07-01). *Hydrogeologiska fältundersökningar på File Hajdar.* Cementa.

Moore, R. (2004). Introduction to Salt Dilution Gauging for Streamflow Measurement Part 2: Constant-rate Injection. *Streamline Watershed Management Bulletin*, s. Vol. 8/No. 1. .

Moore, R. (2005). Slug Injection Using Salt in Solution. . *Streamline Watershed Management Bulletin*, s. Vol. 8/No. 2. .

SMHI. (u.d.). *Vattenwebb*. Hämtat från SMHI: https://vattenwebb.smhi.se/station/#

Signatur sida

Golder Associates AB

Johanna Alexson Ahlberg, Linda Strajnar	Jakob Eng
Hydrogeolog	*Kvalitetsansvarig*

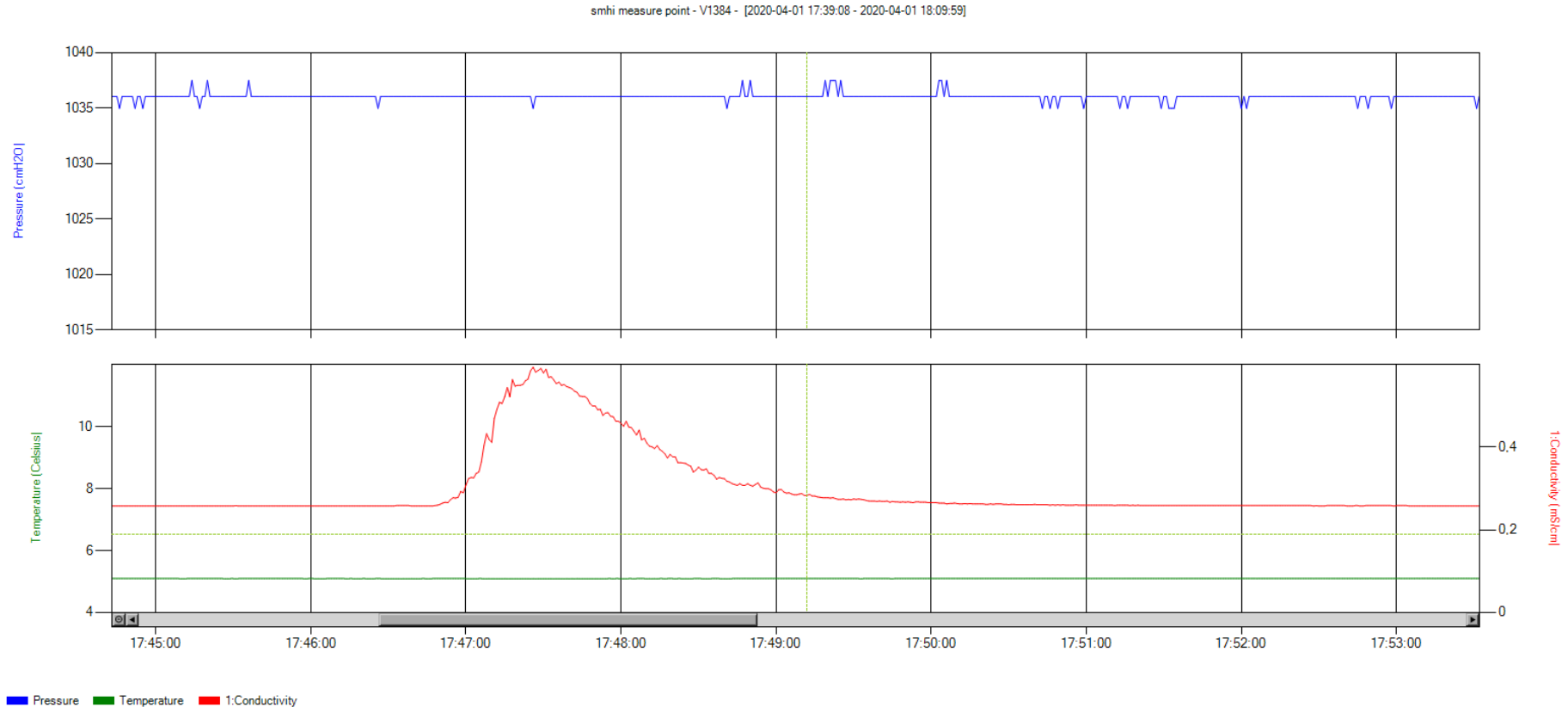
JAA, LS

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

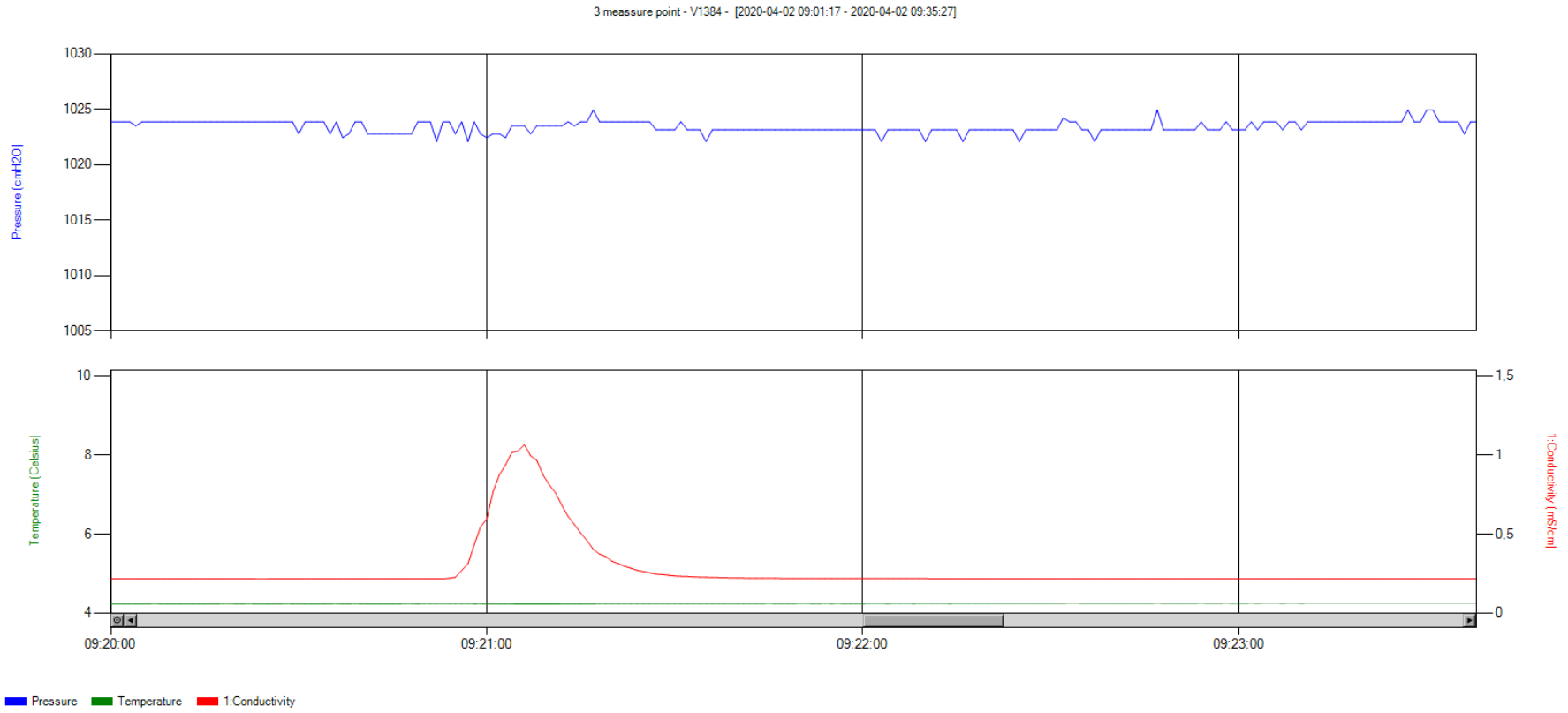
\\sto1-s-main01\i\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\8.rapporter\fältrapport saltinjektion\sept uppdate\fältrapport_200908_ls_qaje200914.docx

BILAGA A

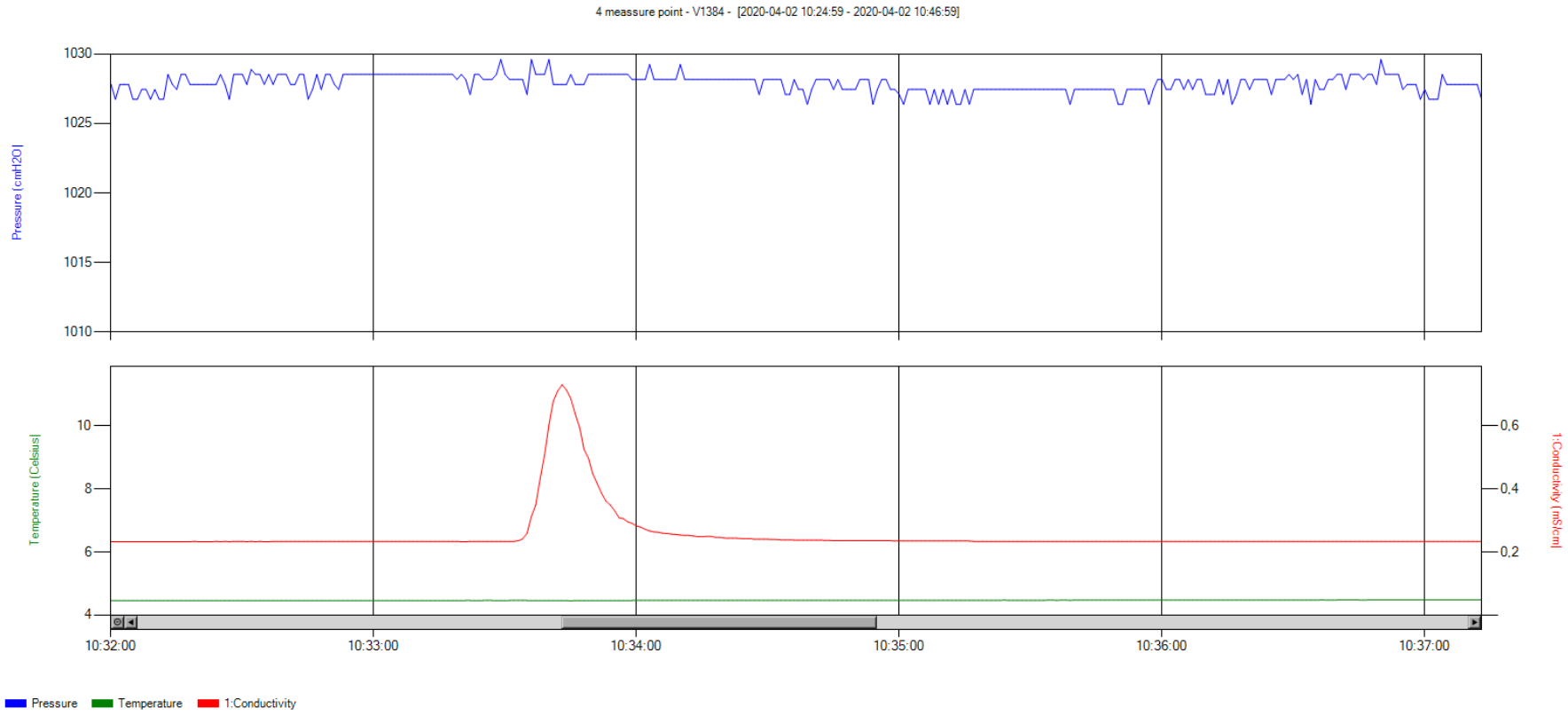
Registrerad konduktivitet 1-2 april 2020



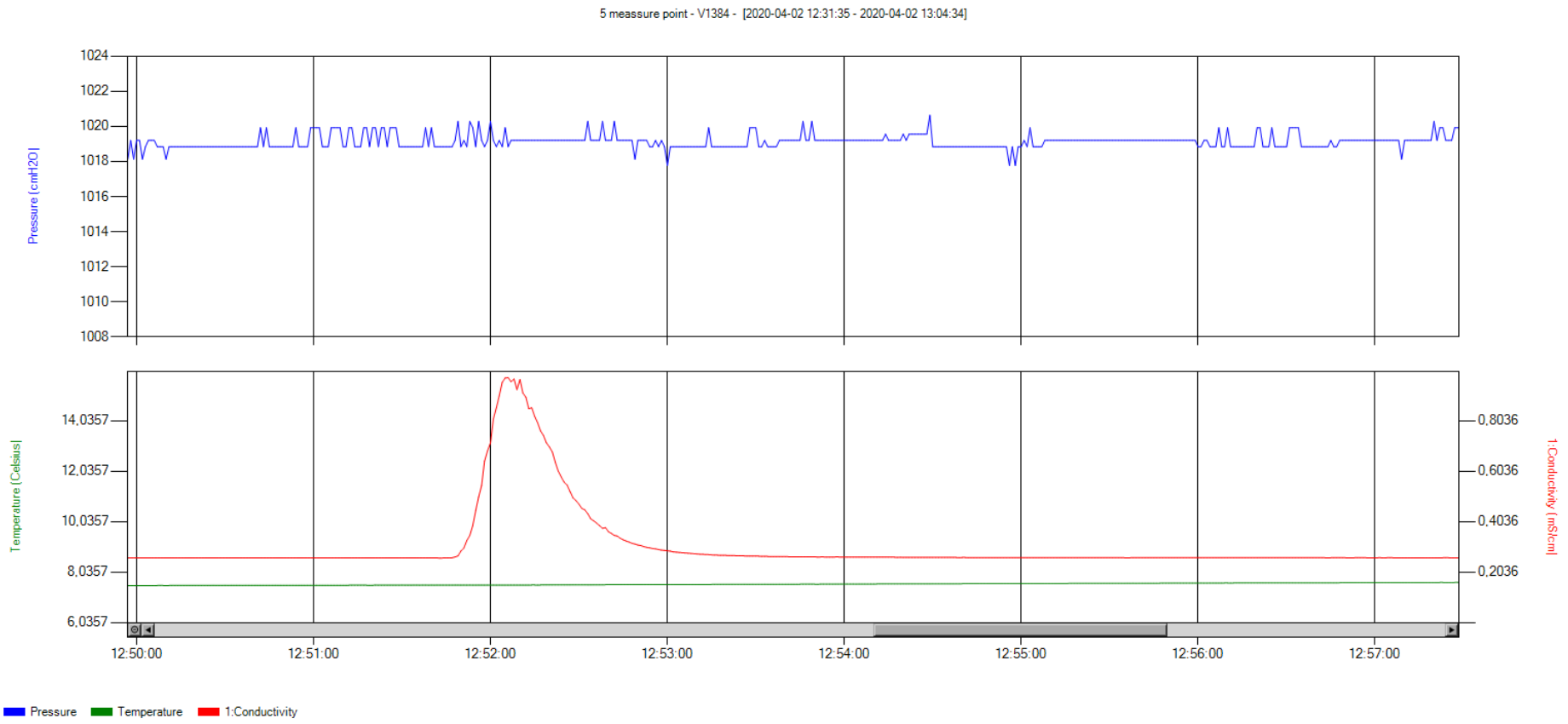
Figur 1. Saltkurva för SMHI.



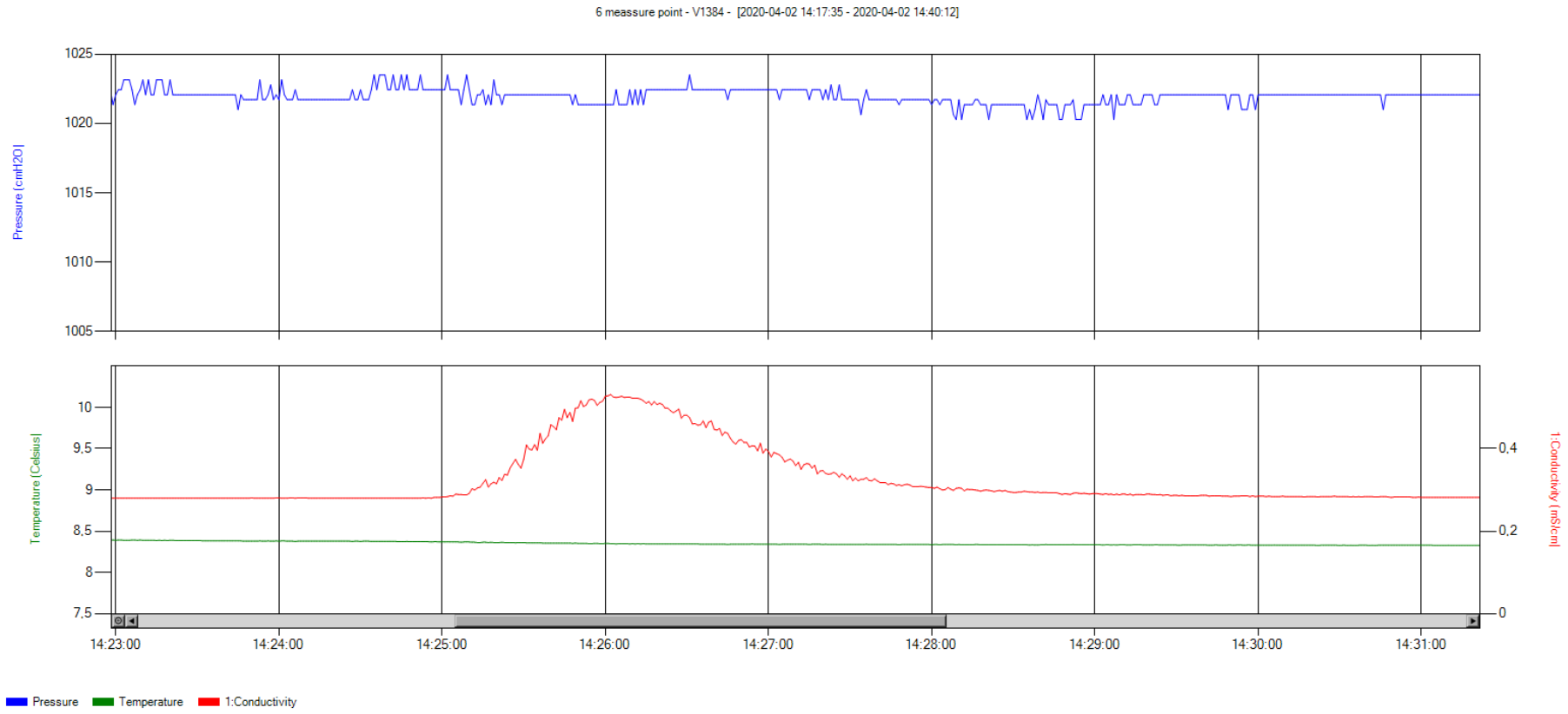
Figur 2. Saltkurva för mätplats 3.



Figur 3. Saltkurva för mätplats 4.



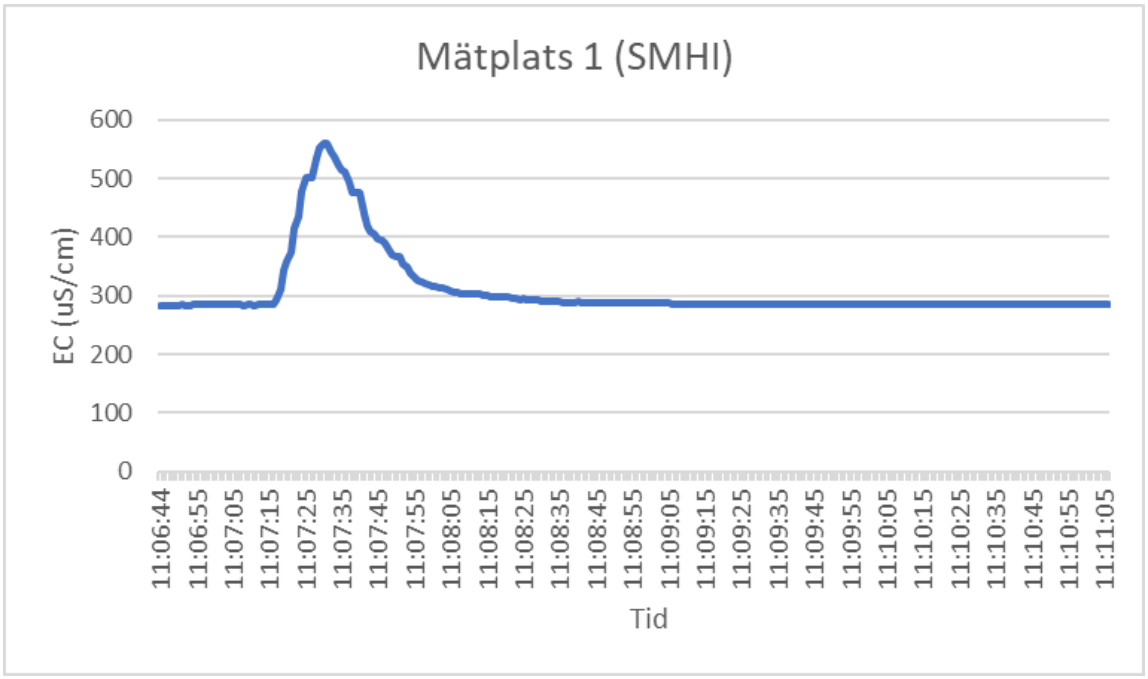
Figur 4. Saltkurva för mätplats 5.



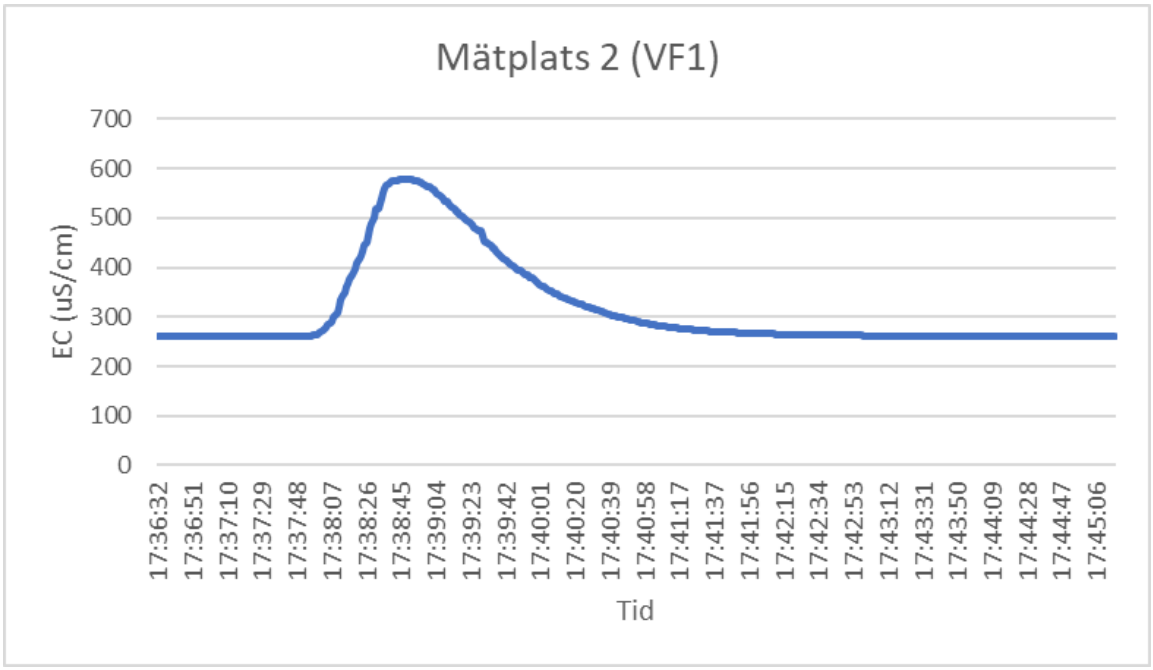
Figur 5. Saltkurva för mätplats 6.

BILAGA B

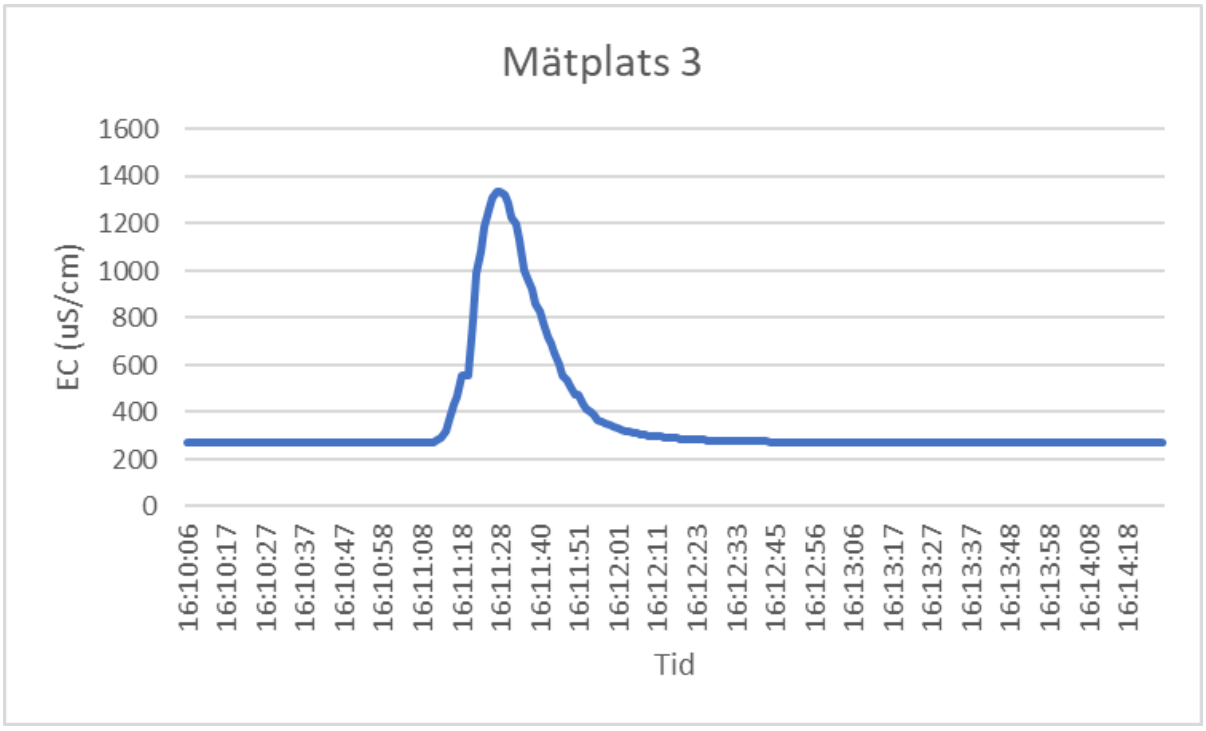
Registrerad konduktivitet 1-2 september 2020



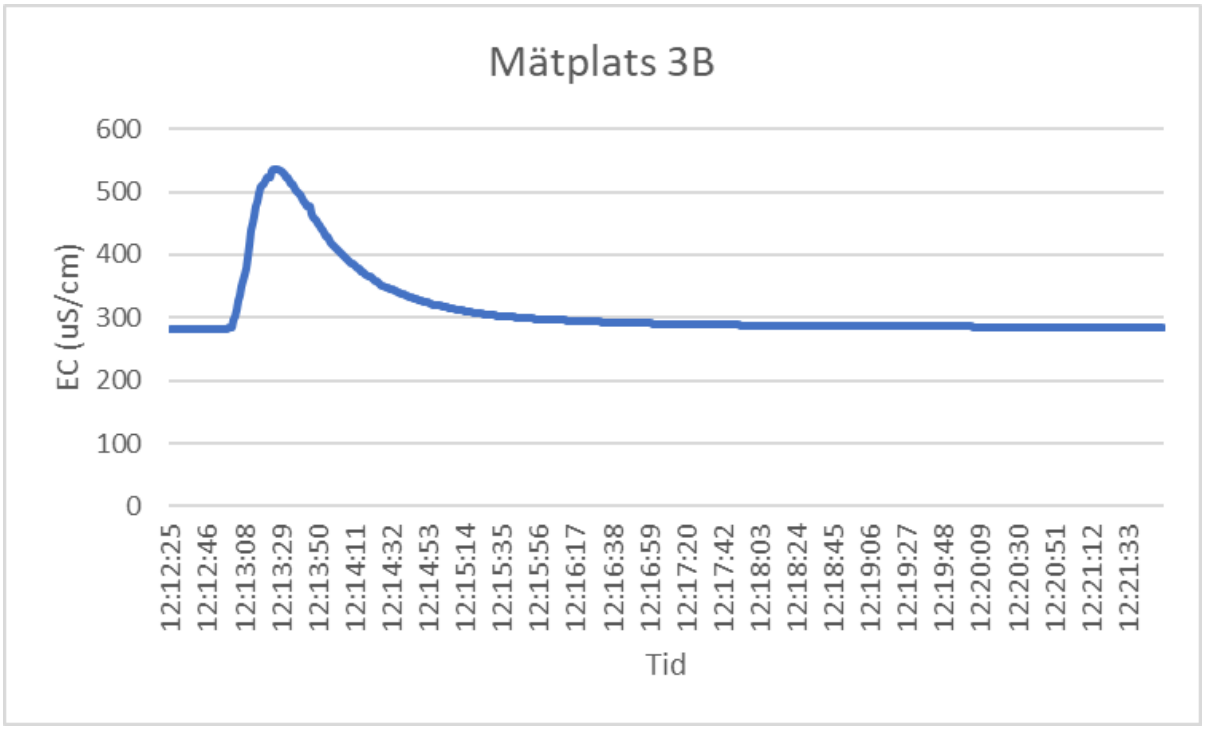
Figur 1. Saltkurva för Mätplats 1 (SMHI.



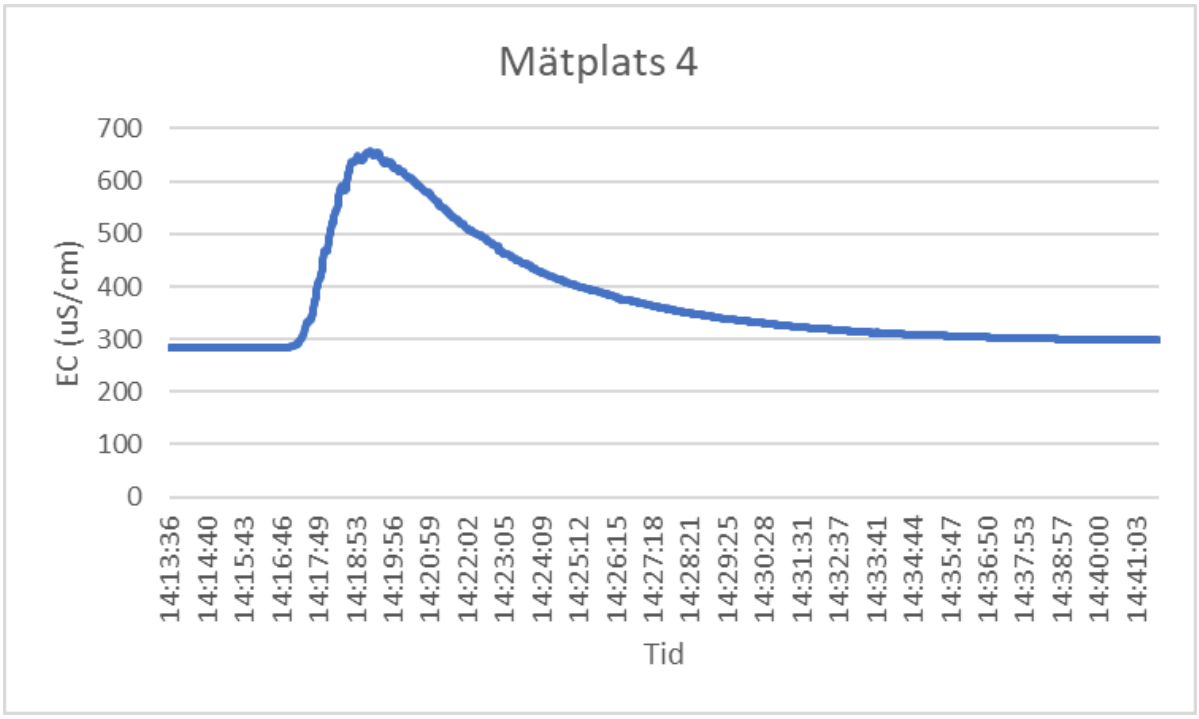
Figur 2. Saltkurva för mätplats 2 (VF 1).



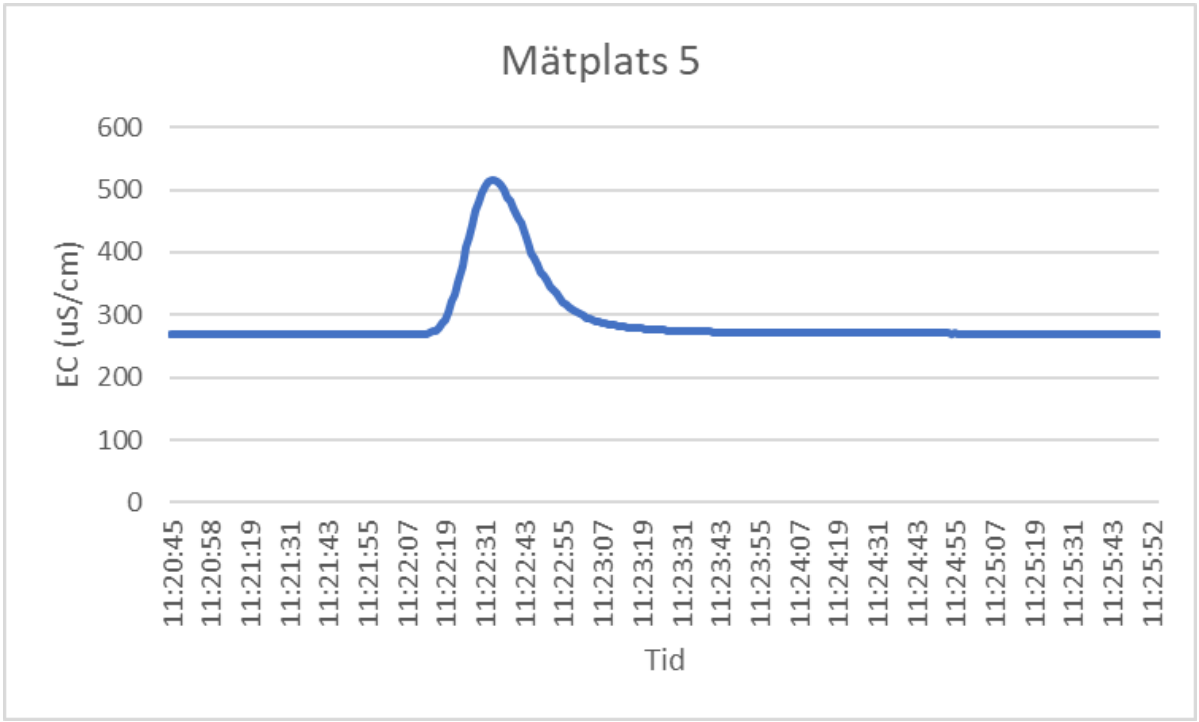
Figur 3. Saltkurva för mätplats 3.



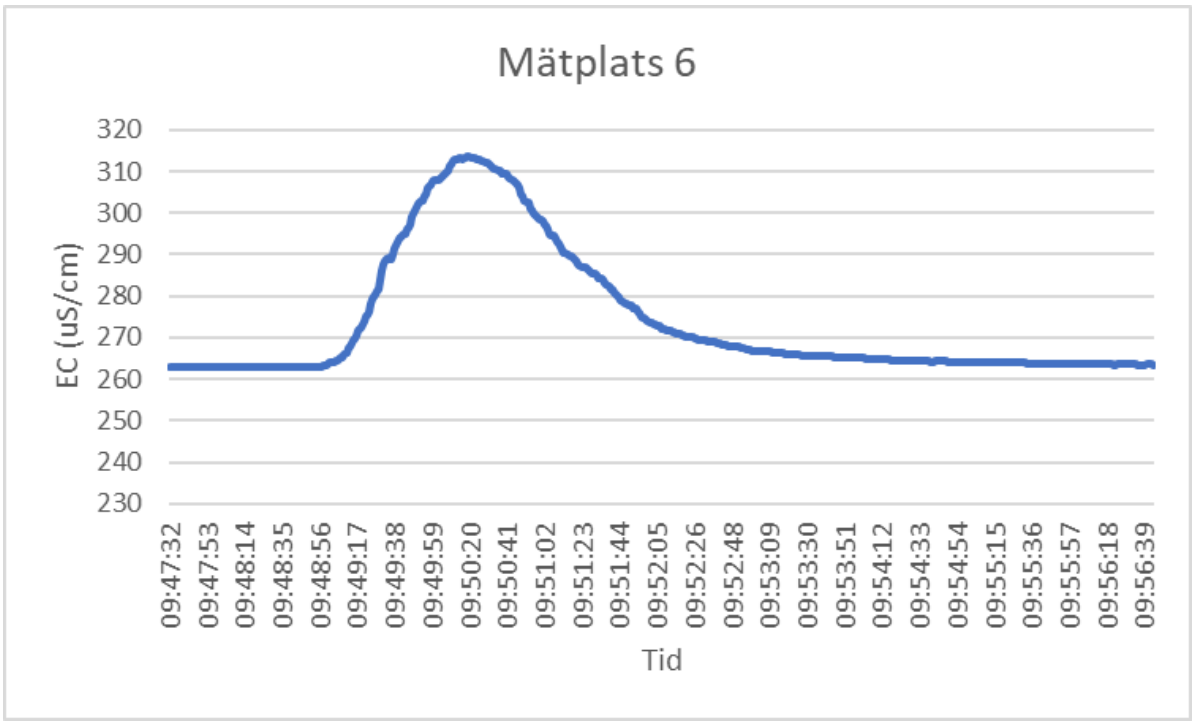
Figur 4. Saltkurva för mätplats 3B.



Figur 5. Saltkurva för mätplats 6.



Figur 6. Saltkurva för mätplats 5.



Figur 7. Saltkurva för mätplats 6.

golder.com

RAPPORT

Strukturgeologiska observationer Filehajdar

Framställd för:

Cementa AB

Insänd av:

Golder Associates AB

Box 20127

104 60, Stockholm, Sverige

08-506 306 00

2020-06-18

Distributionslista

Innehållsförteckning

1.0 BAKGRUND....1

2.0 SYFTE....1

3.0 PERSONAL....1

4.0 STRUKTURGEOLOGI NORRA GOTLAND....1

5.0 FÄLTOBSERVATIONER....2

6.0 SLUTSATSER....6

7.0 REFERENSER....7

1.0 BAKGRUND

Golder Associates AB (Golder) har på uppdrag av Cementa AB utfört en översiktlig strukturgeologisk bedömning av området kring File hajdar inom projektet ”Fältundersökningar Cementa Slite”. Bolaget bedriver täktverksamhet och har ansökt om och erhållit tillstånd enligt miljöbalken för fortsatt täktverksamhet samt bortledning av grund- och ytvatten från bolagets två kalkstenstäkter, ”Västra brottet” respektive ”File hajdar-täkten”, belägna inom fastigheten Österby 1:229 i Slite. Bolagets tillstånd har överklagats av bl.a. Länsstyrelsen på Gotland och Naturvårdsverket.

2.0 SYFTE

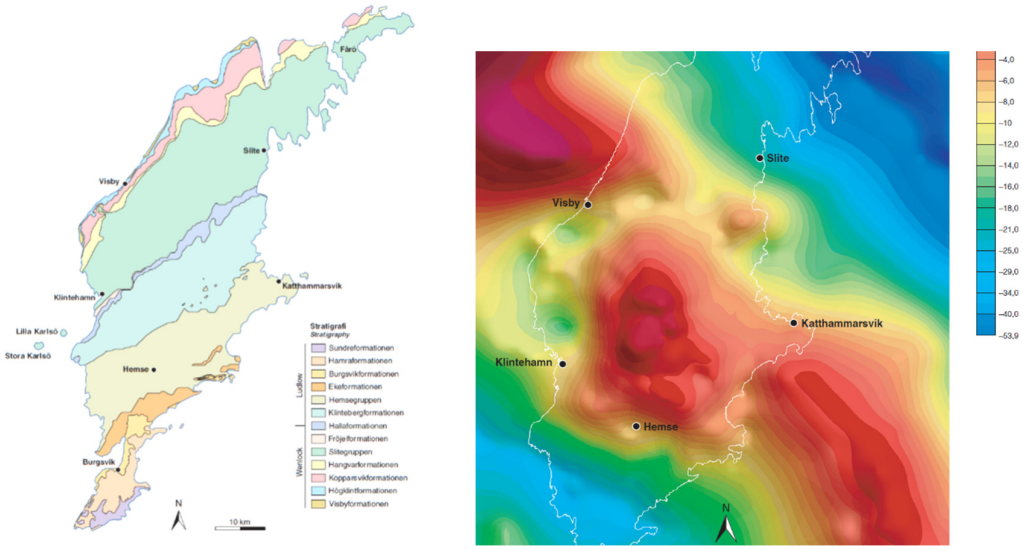
Frågeställningen för den strukturgeologiska bedömningen har varit att bedöma om det inom det sökta brytområdet på File hajdar dels finns potentiellt vattenförande vertikala strukturer eller karstbildningar med betydande storlek som riskerar att hamna inom eller i absolut närhet till planerat brytningsområde, dels om det finns en dominerande riktning på mindre sprickor och karststrukturer som tillsammans kan leda till påverkan av grundvattennivåer antingen vid Tingstäde träsk eller Natura 2000-områdena i söder.

3.0 PERSONAL

Från Golder utförde Jan Hermanson fältbesöket och avrapportering. Jan Hermanson är geolog med mer än 25 års erfarenhet av strukturgeologi och sprickigt berg i både kristallin och sedimentär berggrund i Sverige, Nordamerika och Mellanöstern.

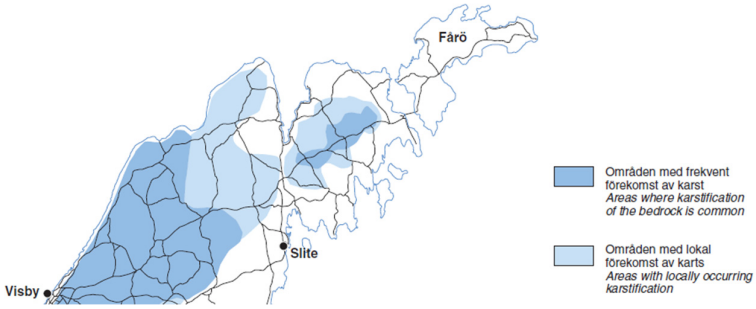
4.0 STRUKTURGEOLOGI NORRA GOTLAND

SGU utförde under åren 2006-2008 en uppdaterad geologisk och geofysisk kartläggning av Gotland (Erlström et al. 2009), se figur 1. Flygmagnetisk mätning tillsammans med tyngdkraftsmätningar över hela Gotland visar på ett underliggande nordvästligt mönster av deformationszoner i urberget under kalkstensformationerna. De två största identifierade nordvästliga zonerna är uppe vid Fårösund respektive nere vid Hemse där den senare sammanfaller med Linköping-Loftahammar deformationszonen. I anslutning till den norra zonen vid Fårösund anges att den äldre underliggande sedimentära berggrunden är breccierad vilket tyder på gamla deformationsrörelser under kambrisk tid. Området som idag utgör centrala-södra Östersjön karaktäriserades under kambrisk tid av en långsam nedsjunkning efter en svag riftbildning av den baltiska plattan. I huvudsak gav detta upphov till nordostliga sprickbildningar, men där Fårö och Hemse anomalierna visar att det även fanns nordvästliga strukturer som utbildades främst under kaledoniska orogenesen. Under silur ökade sedimentationshastigheten snabbt och skapade kalkstensformationerna vi ser idag. Den siluriska berggrunden är förhållandevis lite påverkad av tektoniska händelser. Mindre förkastningar, sprickzoner och lineament förekommer dock frekvent, främst i riktningarna 270°- 310° samt i 40°-60° enligt Erlström et al. I de lineamentsstudier som genomförts finns dessutom tydliga nordvästliga och nordostliga riktningar.



Figur 1. Kartan till vänster visar stratigrafisk indelning av Gotlands berggrund (Erlström et al. 2009). File hajdar ligger i Klintebergsformationen vilken innehåller betydande revformationer samt lagrad kalksten och märgel eller märgelsten. Till höger syns utklipp från Erlström et al. (2009) på de tyngdkraftsanomalier som tolkas vara stora nordvästliga deformationszoner.

Förekomst av småskalig karst är vanligast i kalkstenslagren och revkalkstenen på västra och nordvästra Gotland. Under gynnsamma betingelser kan urlakning leda till vidgning av sprickor, slukhål och underjordiska gångar, tex. den 1.3 km långa Lummelundagrottan (Engh, 1980). SGU har dock identifierat att karstförekomsten avtar betydligt öster om Tingstäde träsk, se figur 2.



Figur 2: Översiktlig karta som visar områden med karst på norra Gotland. Utklipp från Figur 14. i Erlström et al. (2009).

Karstifiering är vanligast förekommande i homogen kalksten med relativt hög karbonathalt. Karstsprickor har identifierats i Slitegruppens bergarter (Erlström et al. 2009) och även vid fältbesöket uppe på File hajdar (se Figur 3. Sprickvidden kan vara uppemot 20 cm på ytan men utbredningen mot djupet är osäker. Ofta syns sprickspåren som gräsbeväxta linjer i hällarna.

Enligt SGU's kartläggning finns större karststrukturer såsom slukhål endast i de markerade områdena i figur 2 och i huvudsak i terräng högre än 25 m.ö.h.

5.0 FÄLTOBSERVATIONER

Jan Hermanson genomförde ett endags fältbesök vid dagbrottet samt uppe på File hajdar under juni 2020. Fokus med besöket var dels att göra fältkontroller av linjära strukturer som kan identifieras på flygfoto, dels

översiktligt mäta in större sprickor och zoner som kunde observeras i eller i absolut närhet till planerat brytområde.

I efterhand har även nyttjats drönarbilder från dagbrottet för mycket översiktlig kartering av större sprickor. Karteringen har utförts på en sk. fotogrammetrisk 3D modell (se figur 6) för att identifiera de dominerande sprickriktningar som förekommer i dagbrottsväggen och deras uthållighet mot djupet.

Det planerade bryt och verksamhetsområdet för File hajdars dagbrott visas i figur 4.

Koordinatsystem – SWEREF 99 - TM

Hela verksamhetsområdet

	N	E
A	6404936.658	721044.709
B	6404605.718	720379.575
C	6403770.21	720413.351
D	6403337.333	721132.993
E	6403280.327	721230.798
F	6403234.162	721456.203
G	6403407.765	721706.591
H	6403718.444	721746.027
I	6403878.558	721961.152
J	6403912.616	721919.627
K	6403883.691	721604.433
L	6404325.909	721320.284
M	6404513.015	721245.667
N	6404691.373	721202.426
O	6404688.225	721144.876

Brytområde

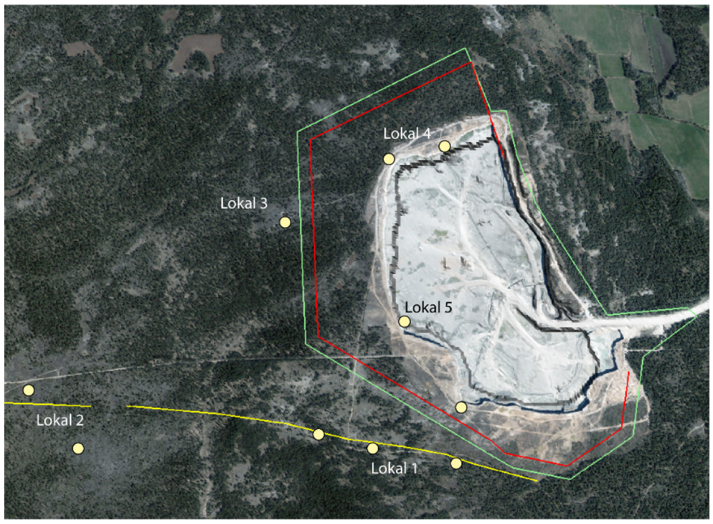
	N	E
1	6404504.052	721196.349
2	6404890.053	721063.294
3	6404575.221	720430.806
4	6403799.657	720462.521
5	6403386.127	721148.663
6	6403338.093	721198.037
7	6403287.345	721445.517
8	6403660.349	721689.976
9	6403434.320	721658.667

Inklusive södra delen av nuvarande tillstånd fram till 2021 (nr 6 – 9).

CEMENTA
HEIDELBERGCEMENTGroup

Figur 4: File hajdar bryt- och verksamhetsområde 2021-41 (av Cementa 2020-06-12)

De lokaler som besöktes är noterade i figur 5. Speciellt fokus var fältkontroll av det västnordvästliga lineamentet (gul linje vid Lokal 1) som går strax söder om verksamhetsområdet (grön linje) upp på File hajdar mot Tingstäde träsk. Lineamentet är tydligt i flygbild med markerad växtlighet längs en linje. Längs med lineamentet syns ingen marksänka av betydelse, endast tydlig växtlighet i lineamentets riktning. Vid lokal 1 är kalkstenslagren intill intakta och uppvisar ingen tektonisk påverkan. Vid lokal 2 befinner man sig stratigrafiskt högre upp i kalkstenen och lineamentsparallella sprickor med svag karstpåverkan syns spridda över närområdet, se figur 6, men det saknas ett tydligt läge för ett uthålligt lineament. Observationerna tyder på att lineamentet upphör eller fördelar ut sig på flertalet mindre, ej sammanhängande sprickor Längre västerut ändras markförhållanden så bergöverytan är täckt av jordlager eller växtlighet. Lokalt karstifierade sprickor med begränsad uthållighet vid lokal 2 domineras av brantstående västnordvästliga (ca 280°) riktningar följt av en mindre dominant grupp mot nordost (ca 70°).



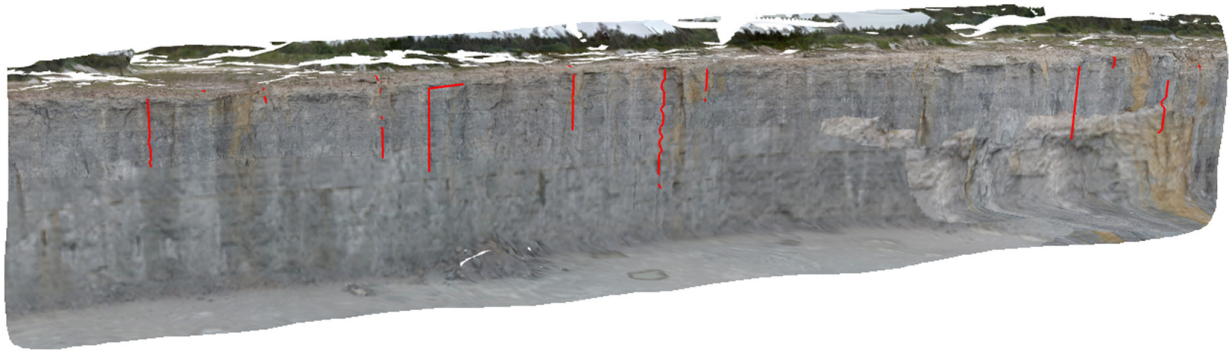
Figur 5: Besökta lokaler på File hajdar

Figur 6: Exempel på observationer av svagt karstifierade sprickor uppe på File hajdar vid lokal 2.

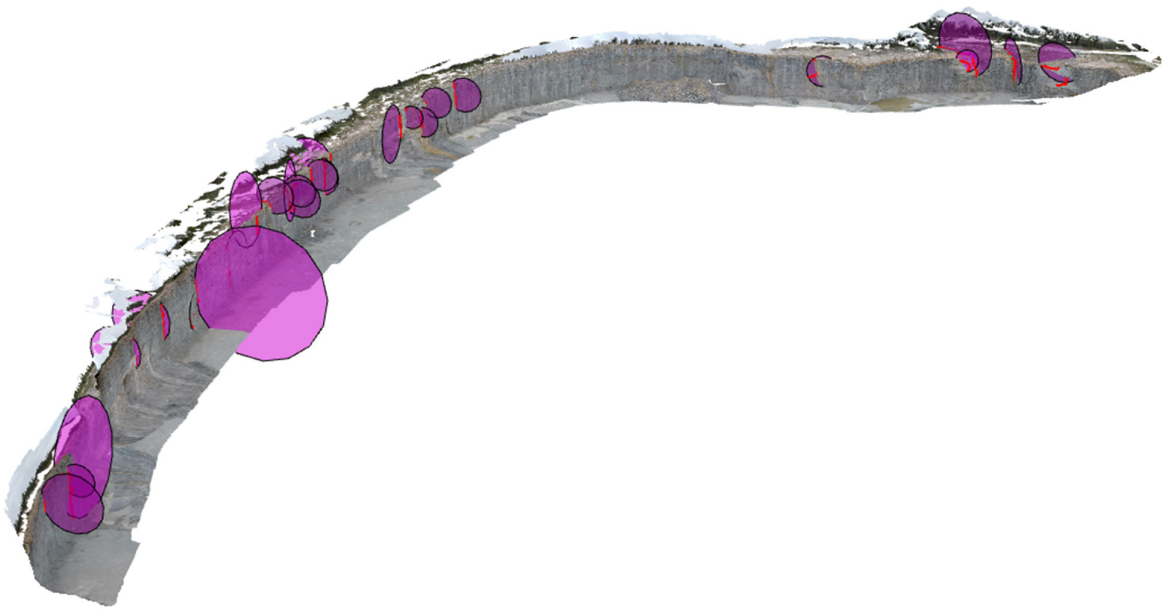
Rör man sig nordväst till norr om dagbrottet, vid lokalerna 3 och 4 domineras sprickriktningarna istället av den nordostliga sprickgruppen (ca 70°) samt en mindre dominant grupp med riktning mot nordväst (330°). Mycket svaga eller inga indikationer på karstifiering kunde observeras i detta område. Sprickor i öppna hällar vanligtvis med gräsväxtlighet eller enbart synliga sprickplan i kalkstenen. Vid avbaning för dagbrottet vid lokal 4 kan dessa sprickgrupper tydligt observeras i övre delen av kalkstenen. Dock varierar uthålligheten mot djupet mycket vid observationer i dagbrottet. Ett fåtal strukturer når botten av dagbrottet, men flertalet avstannar mot kalkstenslager mellan ca 2-10 m djup. Vid lokal 5 kan noteras att den övre delen av kalkstenen ibland är eroderad längs stråk där det ligger moränavlagringar alternativt svallsediment. Sådana topografiska sänkor kan ibland tolkas vara sprickzoner, men här saknas evidens av detta i dagbrottsväggen. På topografiska kartan syns tydligt dessa erosionsstrukturer uppe på File hajdar, se figur 7.

Figur 7: Erosionsstrukturer på File hajdar mellan över och underliggande kalkstenslager ger upphov till små långsträckta dalgångar. Samma fenomen kan observeras vid avbaningar längs dagbrottskanten vid lokal 5 (se figur 5.

Cementa genomförde fotografering av dagbrottets västra och norra del den 12 juni 2020. Golder bearbetade materialet och genererade fotogrammetrimodeller som mycket översiktligt karterades med avseende på dominerande sprickriktningar. En liten del av modellen illustreras i figur 8 och en större överblick i figur 9.

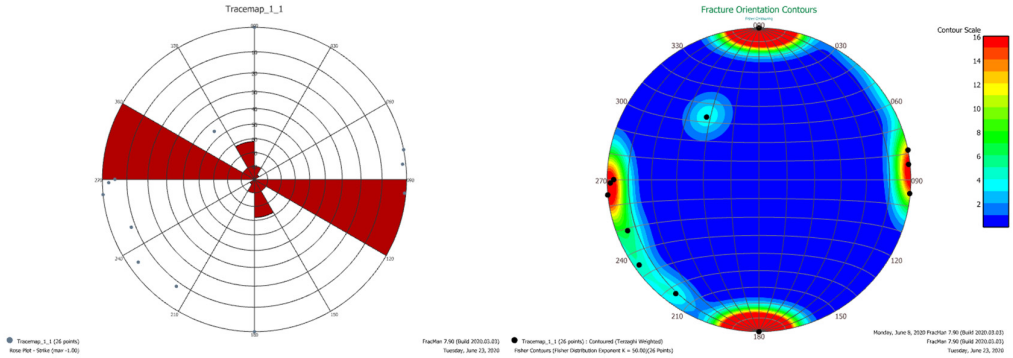


Figur 8: Illustration av en liten del av fotogrammetrimodellen för File hajdars dagbrott. En översiktlig kartering utfördes av dominerande sprickor (röda linjer). Vy mot väster.



Figur 9: Fotogrammetrimodell av västra och norra delen av File hajdars dagbrott. Cirklar illustrerar endast positionen för observerade sprickspår. Vy mot norr.

De dominerande sprickriktningarna kan ses i sprickrosen och stereonät i figur 10. I den västra delen av dagbrottet domineras riktningarna av nord-nordvästliga sprickor (330°). I den norra delen är den dominerande sprickgruppen ost-nordostlig (70°) och ger upphov till ganska stora brottytor. De ost-nordostliga sprickorna tenderar att nå djupare genom kalkstenslagren än den nord-nordvästliga.



Figur 10: Sprickros och stereonät (konturerad nedre hemisfärs projicerad sprickpolsplott) av de dominerande sprickriktningarna.

6.0 SLUTSATSER

De observationer som gjorts i dagbrottet och kring verksamhetsområdet visar två dominerande sprickriktningar; nord-nordvästliga och ost-nordostliga samt en nord-västlig lineamentsriktning som överensstämmer med det strörre tektoniska mönstret på Gotland. I västra delen av verksamhetsområdet är nord-nordvästliga riktningar dominerande och i norr ost-nordostliga. Sprickriktningar som sammanfaller med det raka lineamentet söder om verksamhetsområdet förekommer sparsamt nära dagbrottet men mer frekvent längre västerut uppe på File hajdar. Karstifiering är mycket svag eller obefintlig inom verksamhetsområdet.

Då det längre lineamentet går söder om verksamhetsområdet saknas en direkt koppling till den framtida utvidgningen av dagbrottet. Det finns inga indikationer på någon tydlig hydraulisk koppling av spricksystemet

som observeras inom verksamhetsområdet till just detta lineament. De få inläckage av grundvatten som kunde observeras i dagbrottet kan knytas delvis till enskilda kalkstenslager eller till några fåtal brantstående sprickor, då främst i nord-nordvästlig riktning. Djupgående på dessa sprickor tycks vara något mindre än de ost-nordostliga sprickorna i norra delen.

Slutsatsen är att en utvidgning av dagbrottet inom markerat område inte riskerar att gå in i det observerade lineamentet och att spricksystemet förefaller vara likartat det som kan observeras idag i dagbrottet. Noterbart är även att den norra dagbrottsväggen kan riskera att bli ställvis instabil vid berguttag då de ost-nordostliga sprickorna löper parallellt med brytningsriktningen.

7.0 REFERENSER

Engh, L., 1980: Lummelundagrottan med tillhörande karstområde. Svenska grottor 3, Sveriges peleologförbund, 290 s.

Erlström, M., Persson L., Siched, U., Wickström, L., 2009: Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län , K221. Sveriges Geologisk Undersökning.

Signatur sida

Golder Associates AB

Jan Hermanson
Principal

Peter Vikström

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

i:\projekt\2016\1650142 fältundersökningar cementa slite\9. fält\geologi_2020\strukturgeologiskt pm filehajdar.docx

golder.com

golder.com