

PM: Mälaren-Kalmarviken Vågbildning och erosion från Cementas fartyg



DGE Mark och Miljö AB

Rapport

augusti 2017

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningsystem
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 (kvalitetsledning) av Bureau Veritas

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



PM: Mälaren-Kalmarviken Vågbildning och erosion från Cementas fartyg

Framtagen för DGE Mark och Miljö AB
Kontaktperson Monika Walfisz



Projektleddare	Christin Eriksson
Kvalitetsansvarig	Martin Johnsson
Handläggare	Martin Johnsson

Projektnummer	12803806
Godkänd datum	2017-08-18
Version	2.0
Klassificering	Begränsad

© DHI. All rights reserved. No parts of this document may be reproduced, transmitted or otherwise disseminated in any form or by any means outside the recipient's organisation without the prior written permission of DHI.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	6
2	Metod	7
2.1	Modellering av svallvågor från empiriska (vedertagna) formler	7
2.2	Uppskattning av propellerströmmar bakom ett fartyg under gång.....	10
3	Resultat	11
3.1	Fartygssvall	11
3.2	Propellerströmmar.....	12
4	Slutsatser	13
5	Referenser	15

FIGURER

Figur 1-1. Den sträckning i Kalmarviken som är undersökta för svallvågsgenerering och bottenströmmar från propeller under fartygets gång (röd heldragen linje).....	6
Figur 2-1. Illustration av sekundära vågor (svall) från ett fartyg	8
Figur 2-2. Initial vågbildning från containerskepp som passerar över bestämt djup och för 9 och 12 knop. Ur den blå kurvan utläses vågbildningen på olika djup för 9 knop och i den röda kurvan för 12 knop.	9
Figur 2-3. Exempel på avklingning av en 1m svallvåg på olika avstånd från fartyget.	10
Figur 2-4. Illustration av propellerström bakom ett skepp	11
Figur 3-1. Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 110m långt tankfartyg som färdas med 12 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 15m djup.....	12
Figur 3-2. Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 110m långt tankfartyg som färdas med 12 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 20m djup.....	12
Figur 3-3. Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 110m långt tankfartyg som färdas med 12 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 25m djup.....	13

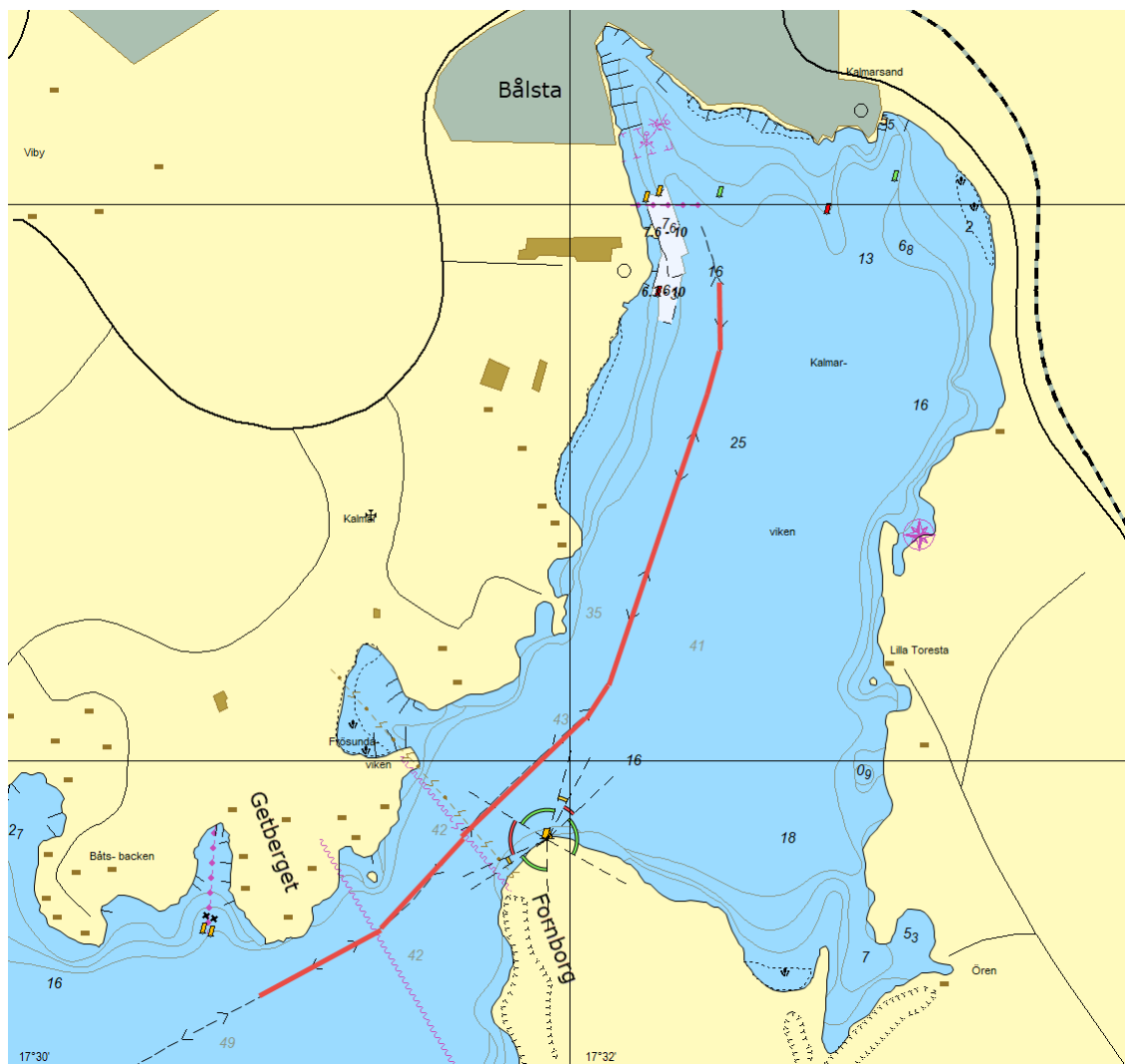
TABELLER

Tabell 2-1. Fartygsegenskaper som använts vid beräkning av svallvågor och propellerströmmar vid botten	7
Tabell 3-1. Svallvågornas höjd, i meter, med avseende på fartygets fart och det djup det förddas över	11
Tabell 4-1. Svallvågens reducering i % med avseende på avstånd från farleden.	13

1 Inledning

DHI har uppdrag att uppskatta storleken på svallvågor och propellerströmmar från Cementas fartyg, under gång, som trafikerar Kalmarviken i farleden från Getberget in till Bålsta hamn. Undersökningen ingår som en del i ett föreläggande från Länsstyrelsen i Uppsala Län till Cementa Ab rörande hamn- och depåverksamhet på fastigheten Bista 4:28 i Håbo kommun.

I Figur 1-1 visas den sträckning (röd linje ca. 1.7 nm) längs farleden som tagits i beaktande, då fartygen är under gång, och som svallvågor och propellerströmmar vid botten uppskattats på.



Figur 1-1. Den sträckning i Kalmarviken som är undersökta för svallvåggenerering och bottenströmmar från propeller under fartygets gång (röd heldragen linje).

Vid ruttens start vid Getberget i sydväst är vattendjupet ca. 40 m och vid ruttens slut utanför Bålsta hamn ca 15 m. Avstånd till land är som minst vid Getberget (100m). Annars är typiska avstånd 200-400 till västra stranden om farleden och 700-1000m till östra stranden, förutom vid Förnborg dit det är ca. 200m.

2 Metod

De antaganden som gjorts är att enligt noteringarna i sjökortet att maximalt djupgående för fartygen är 7.6m och att det kan hålla en hastighet mellan 7 till 12 knop läng sträckningen i Figur 1-1. Tre olika fartyg har initialt jämförts (M/V Envik, M/V Cyprus Cement och M/V Greenland) och resultaten från dem avviker inte dramatiskt men vi har valt använda M/V Greenland som typiskt fartyg. Nedan Tabell 2-1 visar de egenskaper som använts

Tabell 2-1. Fartygsegenskaper som använts vid beräkning av svallvågor och propellerströmmar vid botten

Symbol	Egenskap	Cementfartyg
L [m]	Längd	110
L_e [m]	<i>Bow entry length (avståndet från bog till fartygsbredd)</i>	15
B [m]	Fartygsbredd	15
D [m]	Djupgående	7.6
C_b [-]	<i>Ship block coefficient (skeppets displacement dividerat med $LxBxD$)</i>	0.70
H_p [m]	Propellerns höjd över kölen	2.0
D_p [m]	Propellerdiameter	4.0
K_p [m]	<i>Propeller thrust coefficient (propellerns förmåga att trycka fartyget framåt)</i>	0.35

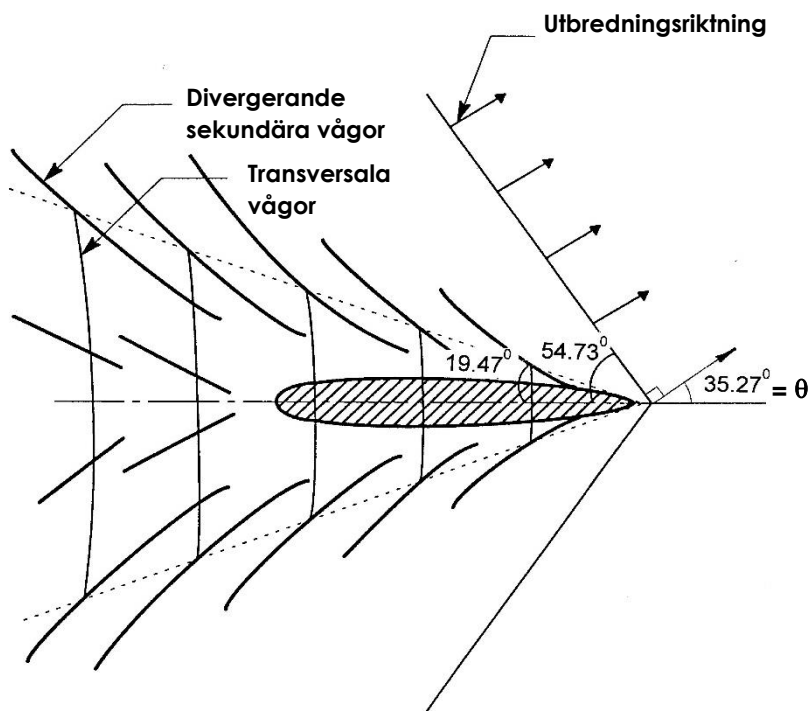
2.1 Modellering av svallvågor från empiriska (vedertagna) formler

När ett fartyg rör sig genom vattnet bildas vågor, vilka kan ge upphov till erosion när de ger upphov till höga strömhastigheter på botten eller bryter mot strandlinjen. Det finns i huvudsak två typer av vågor från fartyg: primära och sekundära. De primära vågorna beror på att fartyget tränger undan en vattenvolym (s.k. nedsänkningseffekt). Detta ger upphov till tillfälliga långperiodiska vågor och utgör ofta det dominerande problemet i smala sund och fartygsleder. De sekundära vågorna skapas av tryckgradienter runt fartygsskrovet och benämns svallvågor. De är ofta kortare vågor som utgår från bogen och aktern och de kan påverka på längre avstånd från fartyget. I det aktuella fallet rör sig fartyget med subkritisk hastighet, d.v.s. långsammare än fashastigheten för en lång våg \sqrt{gh} (där g är accelerationen på grund av gravitationen och h är djupet). Då uppstår de sekundära vågorna i ett mönster enligt Figur 2-1 nedan. De divergerande vågorna rör sig i en vinkel om ca 35° relativt rörelseriktningen. De transversella vågorna är inte relevanta när det gäller påverkan på strandlinjen och kommer inte att beaktas i den fortsatta analysen.

För att uppskatta de primära och sekundära svallvågornas våghöjd utgår vi ifrån den modell som beskrivs i ref. /3/. Denna empiriska modell bygger på data från försök med ett stort antal

fartygstyper av olika storlek. Den maximala våghöjden för de sekundära vågorna beräknas utifrån:

1. Fartygets dimensioner: längd (L), djupgående (D), *ship block coefficient* (C_b) samt avståndet från bogen till där fartygsskrovet når sin maximala bredd (L_e)
2. Vattendjupet (h) i farleden
3. Fartygets hastighet V i knop
4. Avståndet vinkelrätt ut från fartyget, y



Figur 2-1. Illustration av sekundära vågor (svall) från ett fartyg

För de sekundära vågorna föreslås följande formel för den maximala modifieringen av vattenytan H som sker nära skeppet (ref. /3/):

$$H = \frac{V^2 \beta}{g} (F^* - 0.1) \left(\frac{y}{L}\right)^{-1/3}$$

Här är F^* det modifierade Froude-talet

$$F^* = \frac{V}{\sqrt{gL}} e^{\alpha \frac{D}{h}}$$

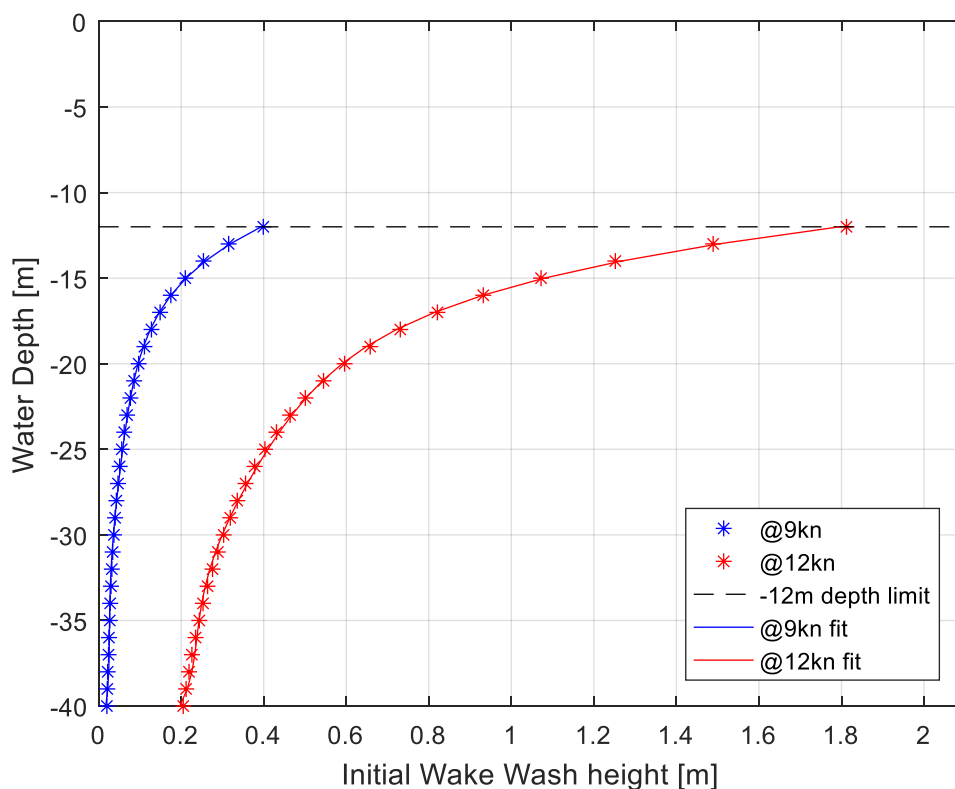
Där α och β är dimensionslösa koefficienter och är beroende av C_b , L och L_e .

De sekundära vågornas period T kan uppskattas med formeln

$$T = \frac{2\pi V \cos \theta}{g}$$

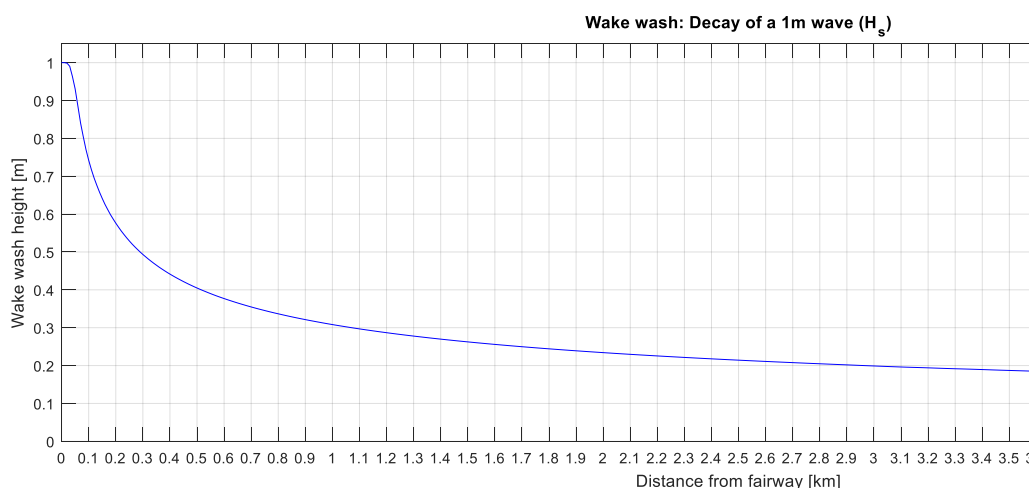
där θ är vågornas utbredningsriktning relativt fartygets rörelseriktning (se Figur 2-1 ovan). Resultatet blir att $T \approx 0.27V$.

Då ett fartyg rör sig över ett varierande vattendjup kommer den svallvåg som genereras inte att ha en konstant våghöjd. Likaså kommer svallvågen som genereras direkt att svara mot den hastighet varmed fartyget framförs. För att illustrera beroendet av såväl vattendjup som hastighet hos fartyget har följande graf tagits fram för att beskriva dessa samband. Observera att detta är ett generiskt exempel som exakt endast gäller för en viss fartygstyp, i detta fall ett containerskepp. Ur denna illustration är det dock tydligt att en sänkt fart ger väsentligt mindre vågbildning.



Figur 2-2. Initial vågbildning från containerskepp som passerar över bestämt djup och för 9 och 12 knop. Ur den blå kurvan utläses vågbildningen på olika djup för 9 knop och i den röda kurvan för 12 knop.

När den fartygsgenererade svallvågen rör sig bort från skeppet kommer den att avklinga och våghöjden minskar betydligt. För att visualisera detta förlopp illustreras i nästkommande figur hur en våg med våghöjden 1 meter avklingar på sin väg bort från fartyget (Figur 2-3). Ur denna graf kan man förutsäga vilken våghöjd som kommer att träffa stranden förutsatt att inga andra effekter, såsom interaktion med botten t.ex. sker, som gör att vågen förlorar energi. Detta är ett konservativt antagande och därmed den maximala våghöjden som kan uppstå vid olika avstånd till fartyget.



Figur 2-3. Exempel på avklingning av en 1m svallvåg på olika avstånd från fartyget.

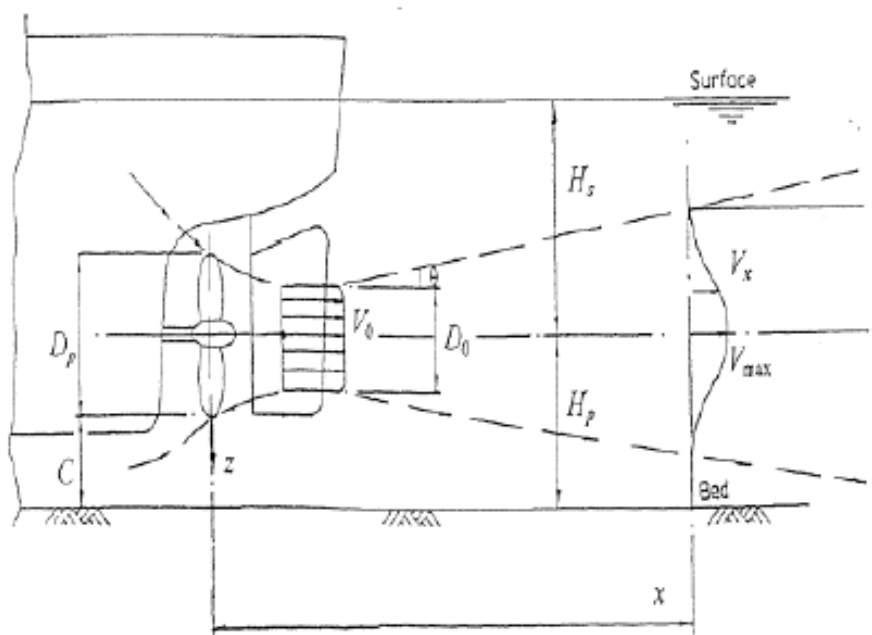
2.2 Uppskattning av propellerströmmar bakom ett fartyg under gång

För att bedöma om de fartyg som trafikerar farleden kan ge upphov till erosion på grund av kraftigare propellerströmmar, har propellerströmmarnas hastighet nära botten uppskattats.

För att göra detta krävs ytterligare information om fartygets egenskaper utöver de som tillhandahållits i Tabell 2-1:

- Fartygets hastighet: 7 och 12 knop
- Minsta djup i farleden 15 m
- Propellerns varvtal vid given fart: 53 och 91 RPM

Denna analys fokuserar på erosionseffekterna i farleden under fartygets gång. Här använder vi den analysmetod som redovisas i ref. /2/ och som schematiskt visas i Figur 2-4 för en propellerström bakom ett fartyg. Notera att analysen inte tar hänsyn till de propellerhastigheter som kan uppstå i samband med manövrering nära kaj vid låga skeppshastigheter. Det finns metoder för att uppskatta den denna effekt (se t.ex. ref. /1/).



Figur 2-4. Illustration av propellerström bakom ett skepp

3 Resultat

3.1 Fartygssvall

Utifrån den metod som presenterats i kapitel 2.1 fås följande matris för höjden på de genererade svallvågorna i meter med avseende på djup och hastighet på fartyget (Tabell 3-1).

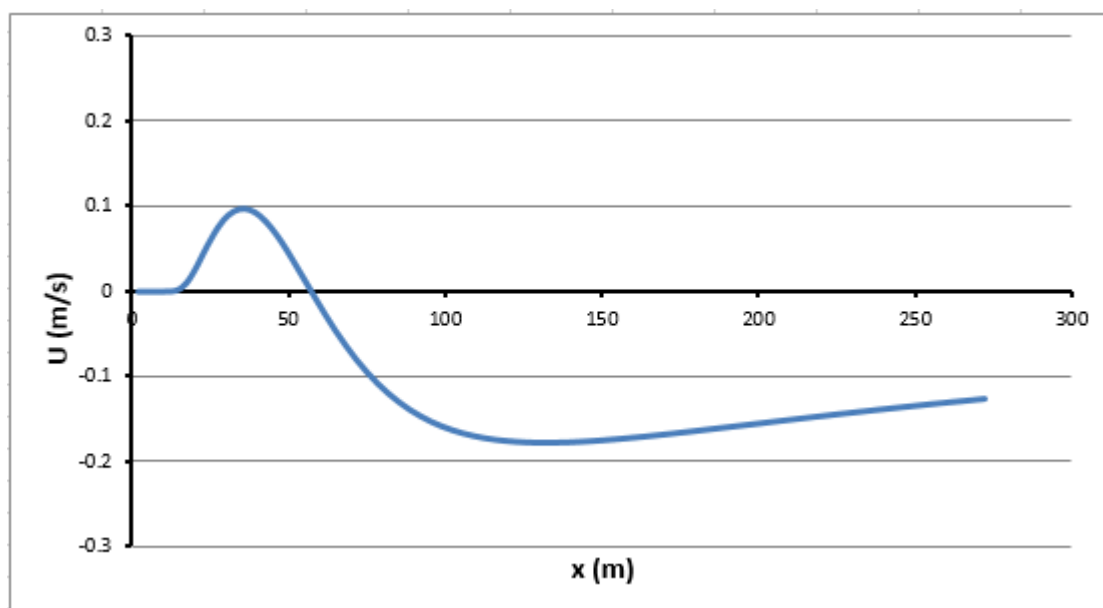
Tabell 3-1. Svallvågornas höjd, i meter, med avseende på fartygets fart och det djup det fördas över

Djup/Fart	7kn	8kn	9kn	10kn	11kn	12kn
15m	<0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0
20m	<0.05	0.1	0.1	0.3	0.5	0.8
25m	<0.05	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6
30m	<0.05	<0.05	0.1	0.2	0.3	0.6
35m	<0.05	<0.05	0.1	0.2	0.3	0.5
40m	<0.05	<0.05	0.1	0.2	0.3	0.5

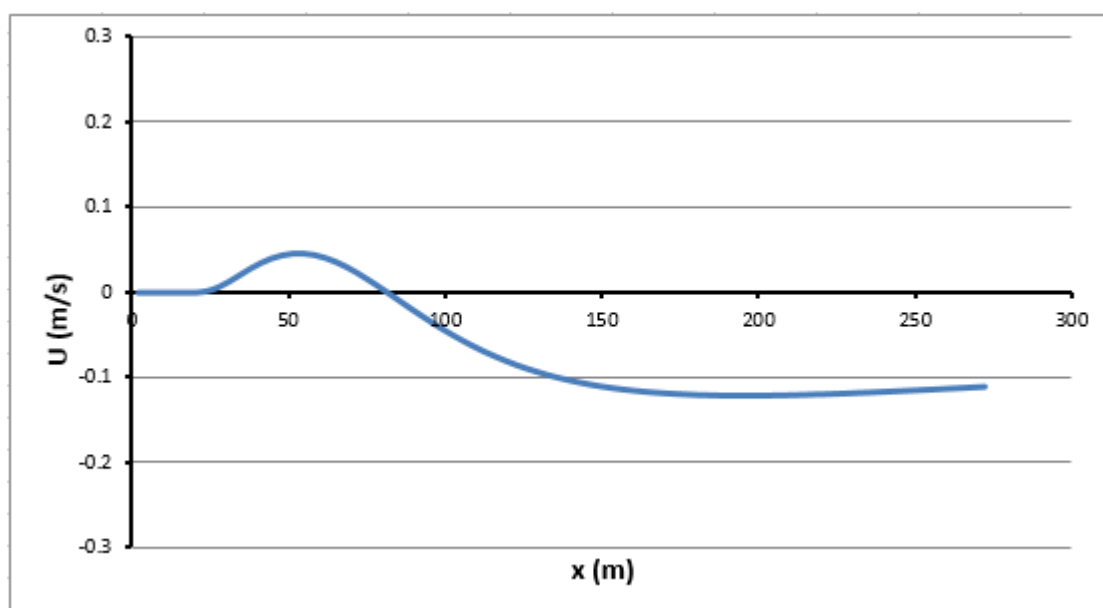
Avståndet från fartyget där våghöjden representerad är typiskt 1 skeppslängd (110m) från farleden. För att uppskatta hur vågen klingar av med avståndet från farleden kan Figur 2-3 i kapitel 2.1 användas. Med utgångspunkt från detta visas även ett förtydligande i Tabell 4-1 den procentuella reduceringen av våghöjden med avstånd från farleden.

3.2 Propellerströmmar

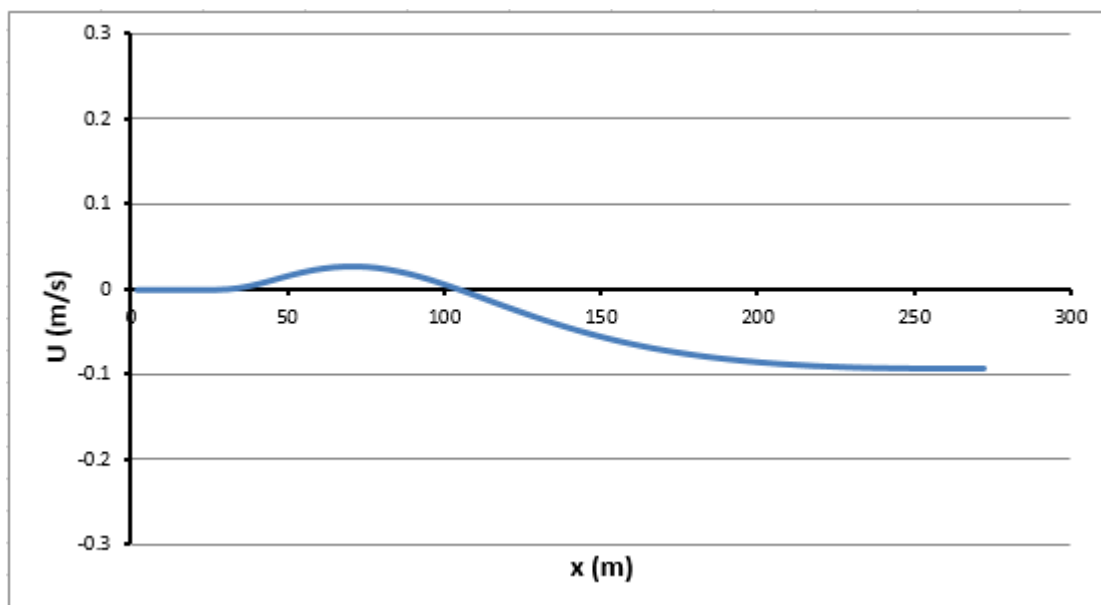
Propellerströmmarnas effekt på havsbotten på ett djup av 15, 20 och 25 m vid 12 knops fart har undersökts för ett typiskt fartyg som trafikerar farleden idag och vars egenskaper presenteras i Tabell 2-1. En strömshastighet på 0.2 m/s bedöms vara den undre gränsen för när propellerströmmen börjar påverka bottensediment av typen nyligen avsatta sediment. Som kan utläsas i Figur 3-1 till Figur 3-3 nedan nås aldrig denna undre gräns för de förhållanden som undersökts.



Figur 3-1. Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 110m långt tankfartyg som färdas med 12 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 15m djup.



Figur 3-2. Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 110m långt tankfartyg som färdas med 12 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 20m djup.



Figur 3-3. Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 110m långt tankfartyg som färdas med 12 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 25m djup.

För ett djup av 30 m så är strömmarna försvagade till mindre än 0.05 m/s.

4 Slutsatser

I rapporten har ett antal hastigheter (7-12 knop) och djup (15-40m) använts för att uppskatta genererade propellerströmmar och svallvågor. Vi kan notera att om fartygen skulle färdas med de lägre hastigheterna, upp till 8-9 knop, anser vi det inte troligt att någon påverkan från dessa är sannolik för något av djupen.

Den höjd på svallvågorna som presenteras i Tabell 3-1 är uppskattad vid 1 skeppslängs avstånd från farleden, i detta fall ca. 110m. Beroende på det djup och den hastighet som fartyget rör sig med kan den genererade svallvågens höjd variera från knappt detekterbar upp till en meters höjd. Som exempel skulle en våg reduceras på detta vis om friktion mot botten inte är medtagen:

Tabell 4-1. Svallvågens reduktion i % med avseende på avstånd från farleden.

Avstånd från farled [m]	Våghöjdens reduktion [%]
100	0
200	25
400	40
600	50
800	56
1000	60

När fartyget passerar sundet mellan Getberget och Fornborg är det omkring 40 m djupt. Om hastigheten, som ett värsta scenario, är 12 knop så bildas en svallvåg på 0.5 m. Denna våg skulle vara klart märkbar vid kusten på båda sidor om farleden då det är 100 till 200m till strandlinjen. Med tanke på att fartygen enligt uppgift kan anlöpa ca. 40ggr per år kan detta ändå ses som ett lågt påverkanstryck ur ett erosionsperspektiv.

Vid de passager som sker närmast land kan det på satellitbilder urskiljas att strandlinjen till största del består av berg och sten som gör att erosionskänsligheten för vågor låg. Detta är i området mellan Fornborg och Getberget/Notholmen. För områden längre in i Kalmarviken är det längre avstånd till strandlinjen och det är mer sannolikt att fartygen går med reducerad fart relativt 12 knop. Speciellt reducerad fart ger signifikant lägre våghöjder (jfr. Tabell 3-1). För strandlinjer inne i Kalmarviken, öster om farleden, är längst från fartygen och där förväntas även våghöjden reduceras markant på grund av avståndet.

Vad gäller påverkan från propellerströmmar så ger ett värsta scenario med en fartygshastighet på 12 knop och 15m djup en propellerström på under 0.2 m/s som räknas som den undre gränsen för möjlig erosion av sediment av typen lermaterial (Figur 3-1).

För samma hastighet som ovan men över 25m djup så blir aldrig propellerströmmarna starkare än 0.1 m/s vid botten (Figur 3-3).

5 Referenser

- /1/ PIANC: *Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships*. PIANC report No. 180. 129 pp. plus appendices, 2015.
- /2/ Verhey, H.: *The Stability of Bottom and Banks Subjected to the Velocities in the Propeller Jet behind Ships*. Proc. 8th Int. Harbour Congress, Antwerp, Belgium, 11 pp., 1983.
- /3/ Kriebel, D.L. och Seeling, W.N.: *An empirical model for ship-generated waves*. I Proceedings of the Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis - WAVES 2005, 3-7 July 2005, Madrid, Spanien.



The expert in **WATER ENVIRONMENTS**