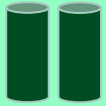




Cementens tillverkningssteg - Del II

Cement i Betong 2026.05.20
Emma Jönsson

Cementmalningslinjen



Klinkersilos



Material – gips, kalksten, FA, VPI, CKD, MHM, Cr-reducerare



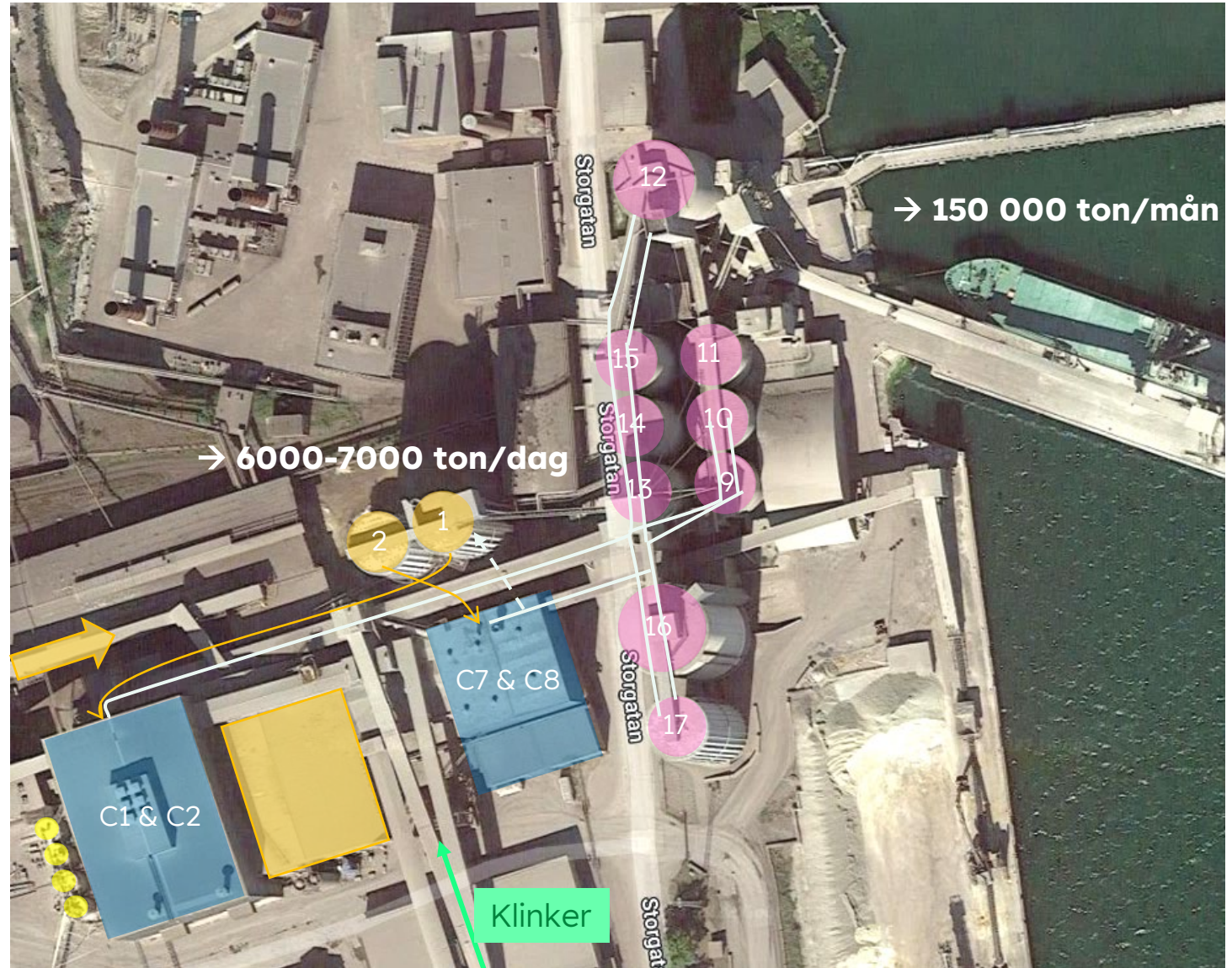
4 Cementkvarnar



9 Cementsilos – 5 cementsorter



Logistik





Varför mal vi?

Uppnå specifik finhet/yta på cementet som ska verka som bindemedel i betongen
→ Påverkar hållfasthetsutveckling, bindetid, vattenbehov, värmeutveckling mm → olika för olika cementsorter

Homogen (jämn) blandning av klinker och andra material som tillsätts i malningsprocessen



Portland
cement
klinker

- **Huvudingrediensen i cement**
65-85%

Olika
mineraler

- **Olika halter av alit, belit, aluminat och ferrit**

Mineralernas
egenskaper

- **Påverkar produkt och malbarhet t.ex. genom mineralernas storlek**
Bra mineral → ”reaktiv klinker” → minskad klinkerandel och CO₂-avtryck



Kulkvarnar

- Kulkvarnar mal material genom att stålkulor i en roterande trumma utsätter partiklar för slag, tryck, skjuvning och abrasion
- Detta är en energimässigt ineffektiv process, och större delen av den tillförda energin förloras som värme, buller, vibration och slitage i kvarnen, max 20% av den tillförda energin omvandlas till malarbete
- Trots dessa nackdelar används kulkvarnar ofta inom cementproduktion eftersom de är driftsäkra och förhållandevis enkla att underhålla
- Samt att dom producerar en mycket fin produkt med hög kontroll i styrningen

CKV1 och CKV2 (-1978)

Längd: 15 m
Kapacitet: 100 ton/h BAS-cement

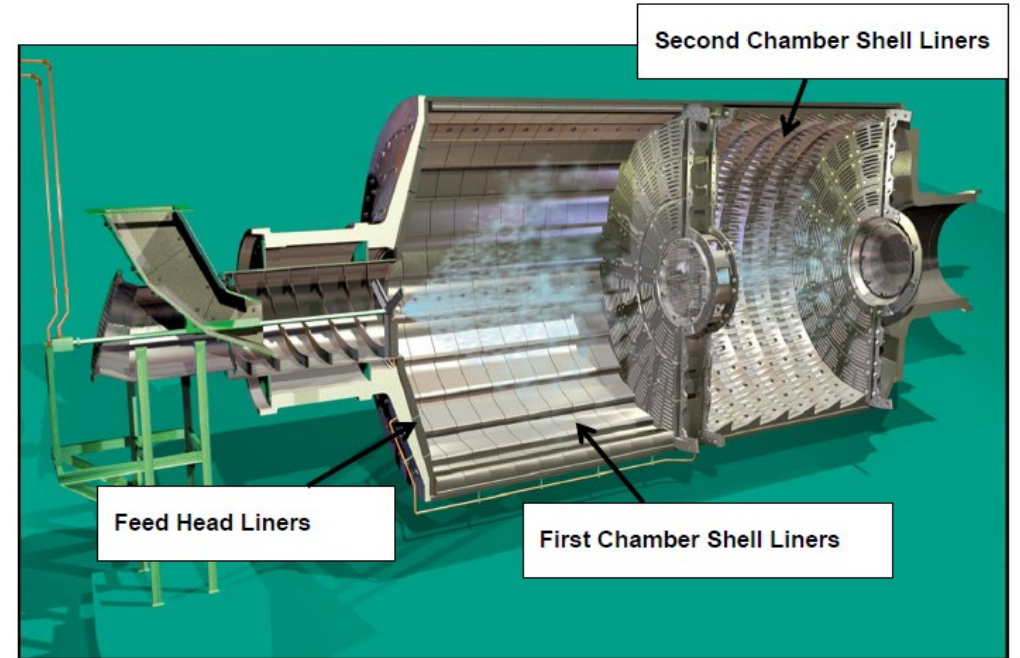
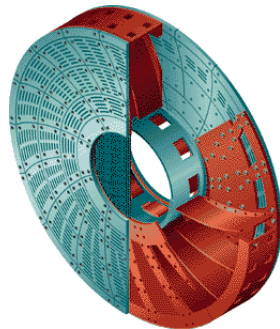
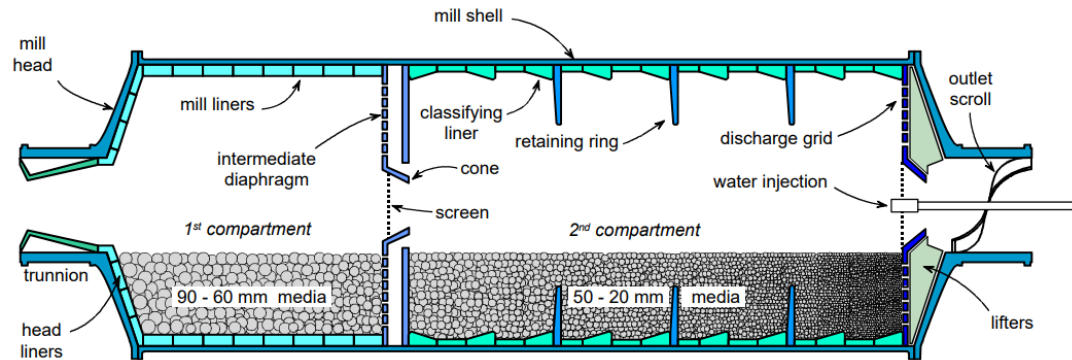
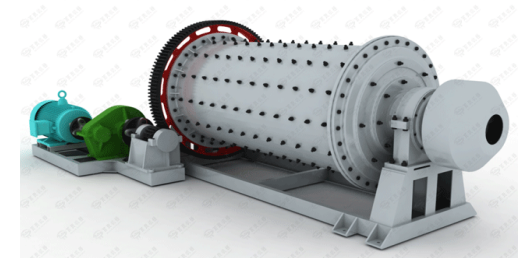
CKV7 och CKV8 (-1963/1969)

Längd: 12 m
Kapacitet: 60 ton/h Anläggningscement



Principskiss på cementkvarnen – 2-kammartyp

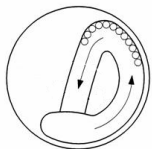
- 300 ton stålkulor i en roterande trumma
- Våra kvarnar har två kammare med lyftande foder i kammare 1 och klassificerande foder i kammare 2
- Foderna skyddar kvarnmanteln men faciliterar också malningen
- Mellanväggen har slitsar som reglerar passage till nästa kammare, utloppsväggen fungerar liknande men är enkelsidig
- Fläkten skapar ett stort luftdrag genom kvarn



Malkulor

I cementkvarnen sker dels ett krossarbete (i kammare 1) och dels ett malarbete (i kammare 2)

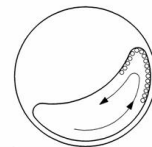
a) Cataracing of grinding media (Chamber 1)



Kammare 1: 60-90 mm i diameter

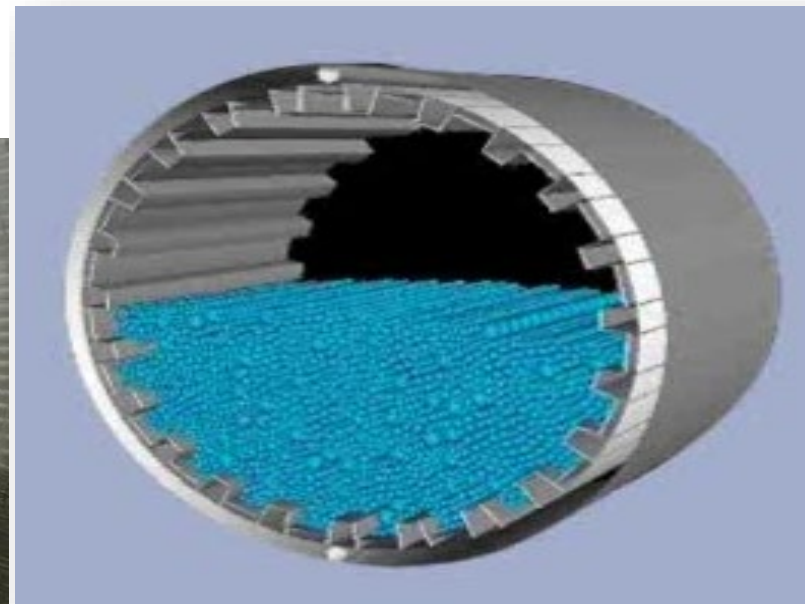
Bra på att mala större partiklar –
krossar materialet

b) Cascading of grinding media (Chamber 2)



Kammare 2: 20-50 mm i diameter

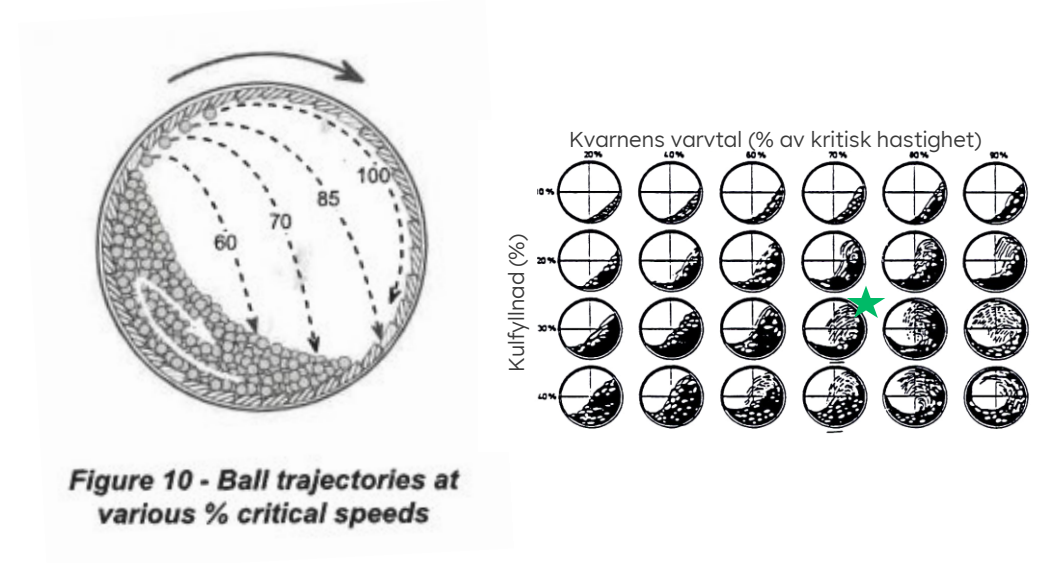
Större kontaktyta och ger
effektivare malning till finare
fraktioner



Vad påverkar kulkvarnens effektivitet?

Det finns en antal parametrar som har inverkan på en kulkvarns effektivitet, som är mer eller mindre enkla att påverka,

- L/D-förhållandet (längd/diameter)
- **Typ av kvarnfoder (design) och dess skick, inkluderat mellanväggsdesign**
- **Materialnivå**
- **Godsets malbarhet**
- **Malhjälpmedel**
- **Kvarnens kritiska varvtal:** är varvtalet, där centrifugalkraften och tyngdkraften på kulorna är lika stora. Kulorna faller inte längre, och slutar därför utföra ett malarbete. Bör vara 65-80% av kritiskt varvtal. Talet beräknas och beror på:
 - **Kulornas vikt och sort**
 - **Inre diameter**
 - Varvtal per minut
 - Centrifugalkraft i kg



Hur mycket kulor ska man ha? – en avvägning mellan energiförbrukning och output – en nivå på ~30% är en kompromiss mellan effektiv energianvändning och kapacitet.



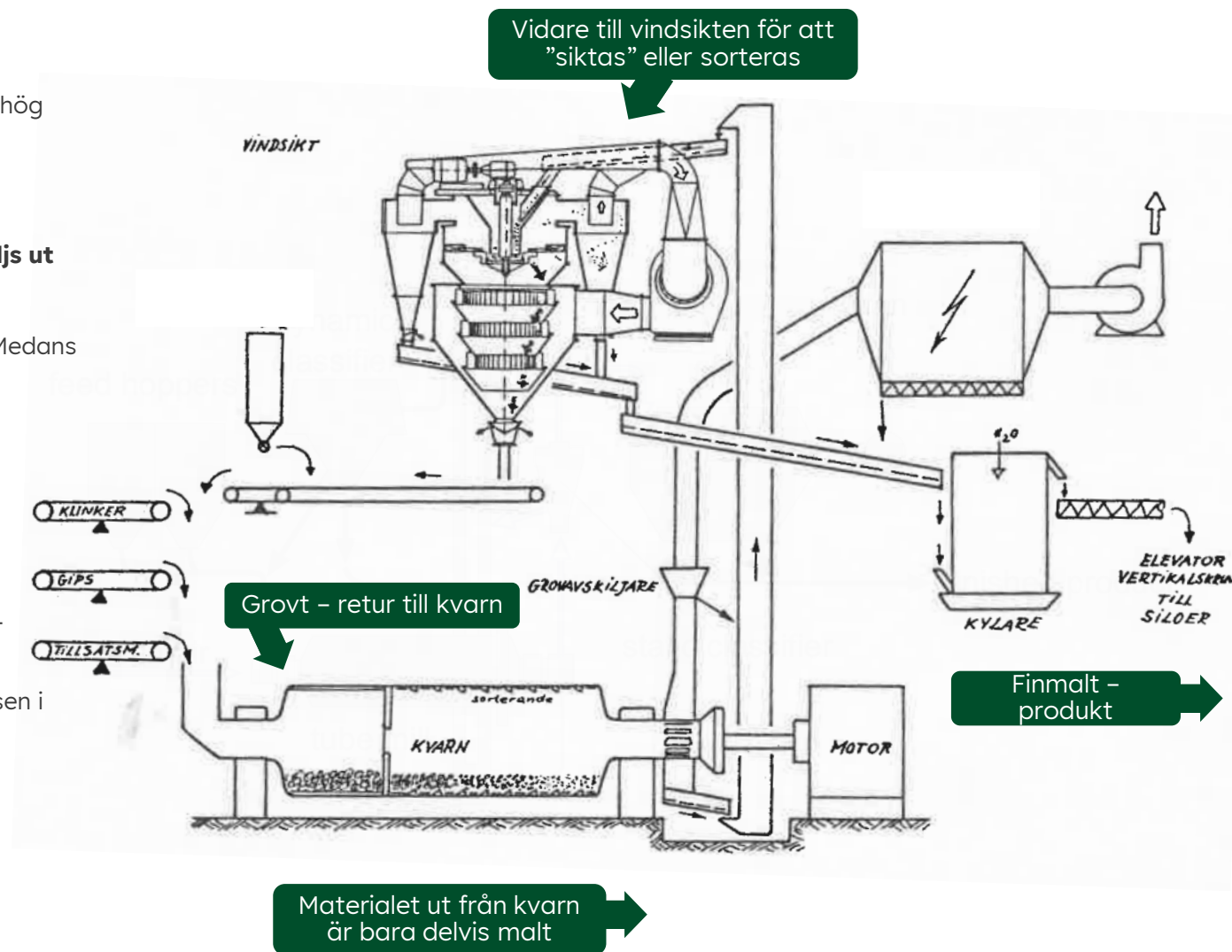
Principskiss av malningsprocessen

- **Kvarn: Malning**
- **Vindsikt: Sortering**

- I ett **'slutet system'** recirkuleras material med hjälp av vindsikten – vilket ger hög kontroll av finheten och brant kornkurva
- **Färskt material (klinker, gips, kalk) matas kontinuerligt till kvarnen**
- **Materialiet från kvarnen transporteras till vindsikten där finmaterialiet skiljs ut och grovmaterialet returneras för ny malning**
- **Cirkulationstal:** 2,5 cykler genom kretsen är typiskt för medium fin cement. Medans 5 cykler är mer typiskt för en fin snabbcement
- Luftdraget renas från damm med ett **filter** innan det släpps till atmosfären

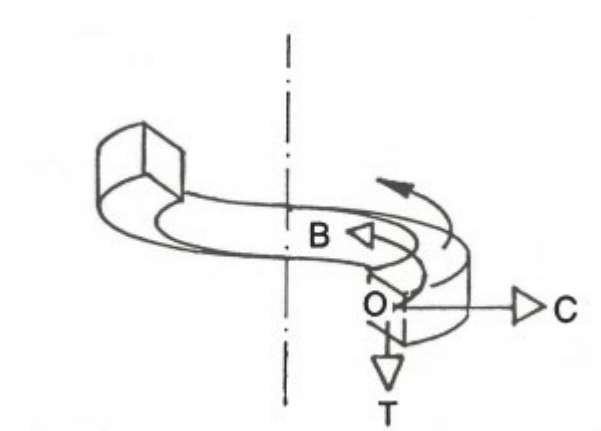
Styrning

- Cementens finhet justeras i regel genom vindsiktens hastighet
- Proportionen av material styrs med vågarna, baserat på XRD/XRF-analyser från automatiska prover
- Totalmatningen optimeras av ett automatisk system som kör kretsen i autopilot, med input från vågar/elektroniskt öra/mm



Vindsiktens separationsmekanism

- **Vindsikten används för att separera ut det färdigmalda materialet**
 - Det förbättrar kvarnkretsens effektivitet
 - Produkten har inte någon finsvans som annars stjäl mycket energi, utan att göra någon större nytta för cements hållfasthet
- **Olika typer av vindsiktar arbetar efter samma princip: materialpartiklarna utsättes för växelverkan mellan**
 - Tyngdkraften T
 - Ett luftflödes bärkraft B
 - Och centrifugalkraften C

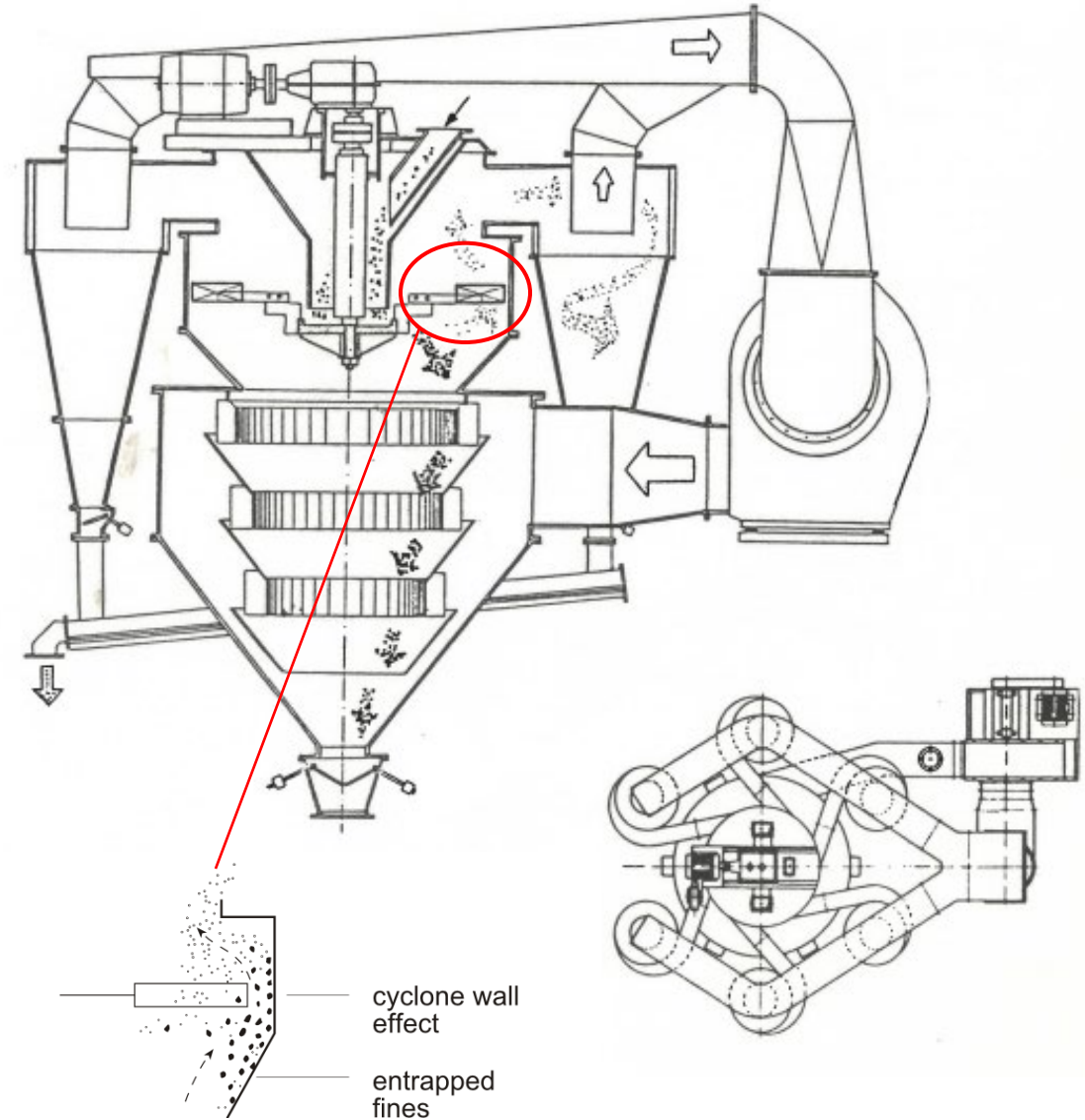


Ka stskovel



Vindsiktens separationsmekanism

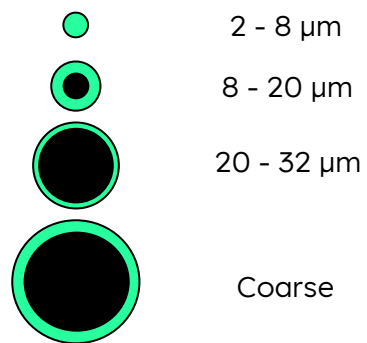
- Materialet matas via nedkast från toppen i en kanal ner till distributionstallriken
- Det sprids sedan med den roterande distributionstallriken som sitter under vindsiktstallriken
- Fläkten skapar ett drag av återcirkulerande luft som går genom huset och ut i cyklonerna (6st), sedan åter till fläkten
- Mindre lättare partiklar lyfts med luftdraget och tar sig förbi vingarna på tallriken, och sedan ut i cyklonerna
- Större och tyngre partiklar påverkas av centrifugalkraften från vindsiktstallriken, slungas mot väggarna, och faller till följd av gravitationen ner i botten på vindsikten
- Det fina materialet separeras sedan från luften i cyklonerna
- Mängden bärluft styrs av en fläkt
- Hastigheten på tallriken reglerar hur tunga partiklar som kan passera vingarna



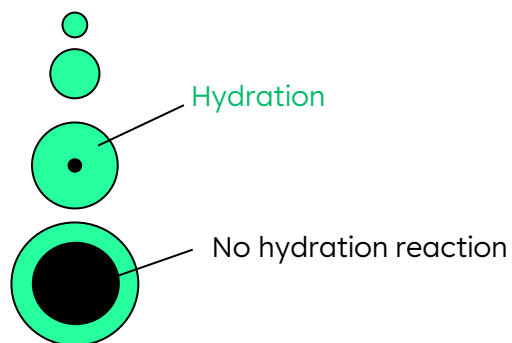
Vilken betydelse har cements finhet?

Partikel storlek ↔ Tryckhållfasthet (1, 2, 7 & 28 dagar)

Short term



Long term



< 2 μm	Only ultrafine cements, here no effect
2 – 8 μm	Short term strength
8 – 32 μm	Short- and long-term strength
Coarse	Low effect, incomplete hydration

1 μm (mikrometer)= 0,001 mm

För fint; mindre än 3 μm

- Klinkern blir för reaktiv
- Utgör ca 15 % av cementet

Idealisk fraktion; 3-32 μm

- Ger hållfasthet upp till 28 dygn
- Utgör ca 70 % av cementet

Grov fraktion; 32-80 μm

- Ger hållfasthet på sikt, ej hunnit reagera efter 28 dygn

För grovt; större än 80 μm

- Betecknas som ballast – bortkastad klinker





Delmaterial som används



Klinker
65-85%



Gips
(sulfattillsatts)
3-5%



Malhjälpmedel
250-600 ppm



Kalksten –
tillsattsmaterial
4-17%



Flygaska &
Puzzolan –
tillsattsmaterial
0-20%



Antimontrioxid
kromreducerare
~300 ppm



Sulfattillsatts (gips) påverkar flera egenskaper hos betongen

Påverkar bindetid, hållfasthet, vattenbehov, konsistens/flyt (reologi) i betong mm – **från naturgips och gipsslurry (från skrubbern)**

Olika typer av sulfat med olika antal vattenmolekyler bundna → **avvattningsgraden påverkas av temperatur och uppehållstid i kvarnen**

Olika typer av sulfat

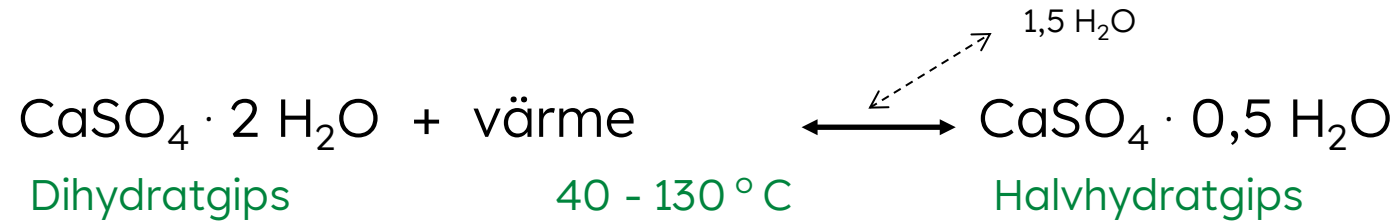
- Dihydrat $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- Halvhydrat $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$
- Anhydrit CaSO_4
- Naturlig anhydrit CaSO_4
- Klinkersulfat
 - Alkali sulfater (ex K_2SO_4 , Na_2SO_4)

→ Samverkar med aluminat





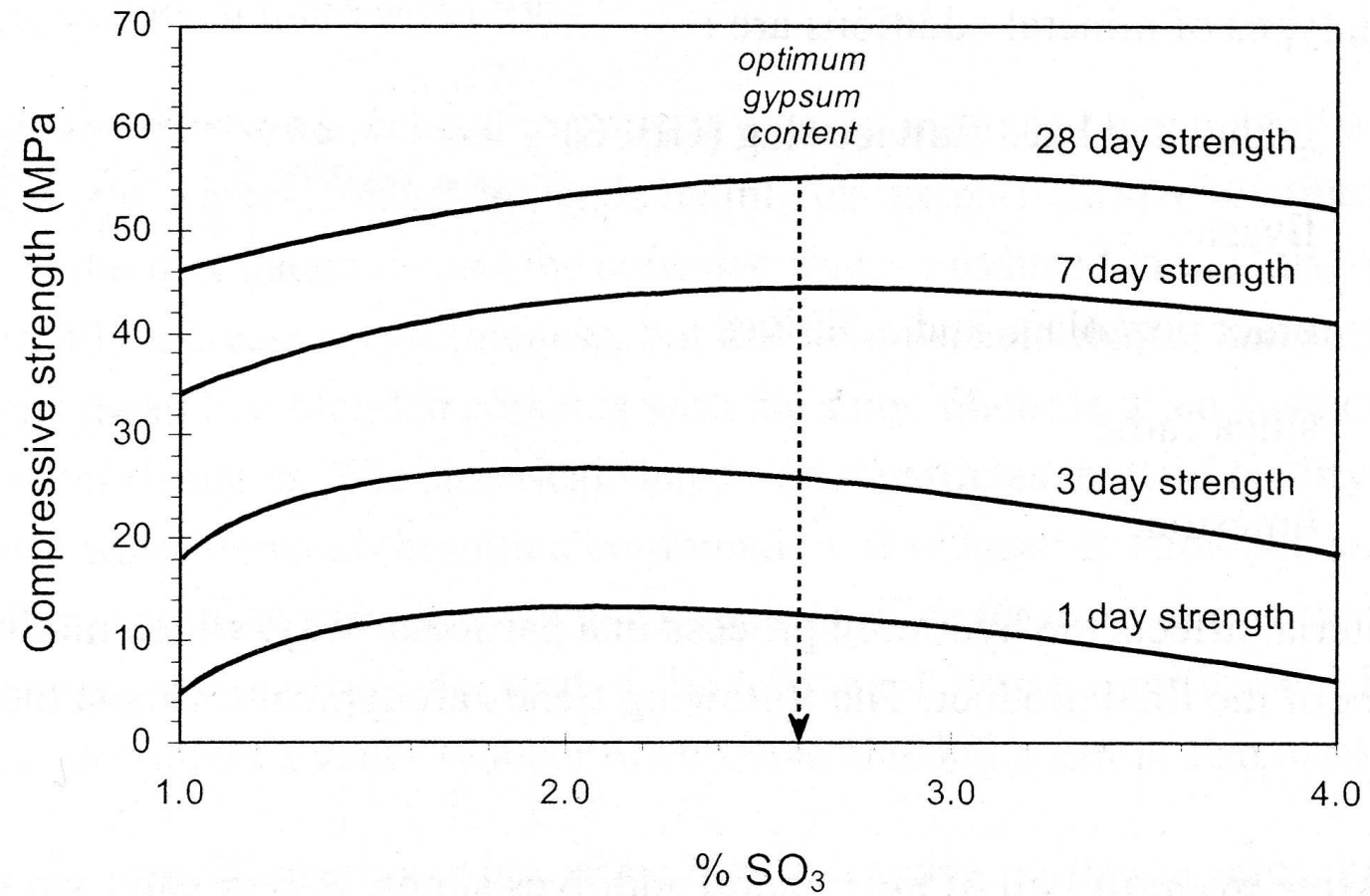
Gipsens avvattning



Naturgips + värme \longleftrightarrow modell - / stuckgips och vatten



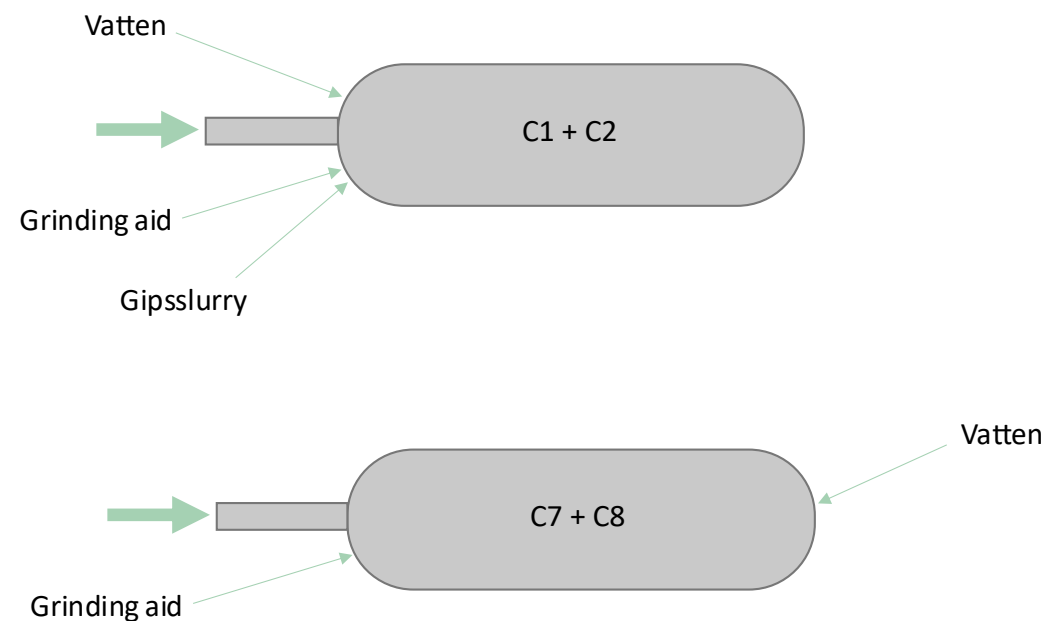
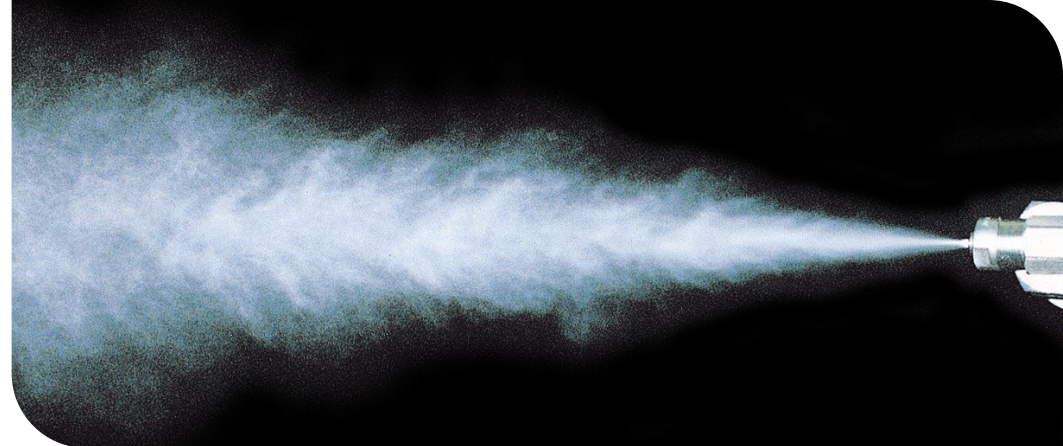
”Rätt” gipshalt gynnar hållfastheten



Kylning i kvarn

Vid malningen frigörs stora mängder värme som påverkar cementet på olika sätt

- Processen kyls genom vatteninsprutning (och gipsslurry), vattnet avdunstar momentant i kontakt med de höga temperaturerna
- Temperaturen i kvarnen bör hållas under 120°C,
 - För att hålla rätt avvattning på gipsen, vilket senare påverkar härdningen i betongen
 - För att undvika påbakningar



Kylning av färdigmald cement

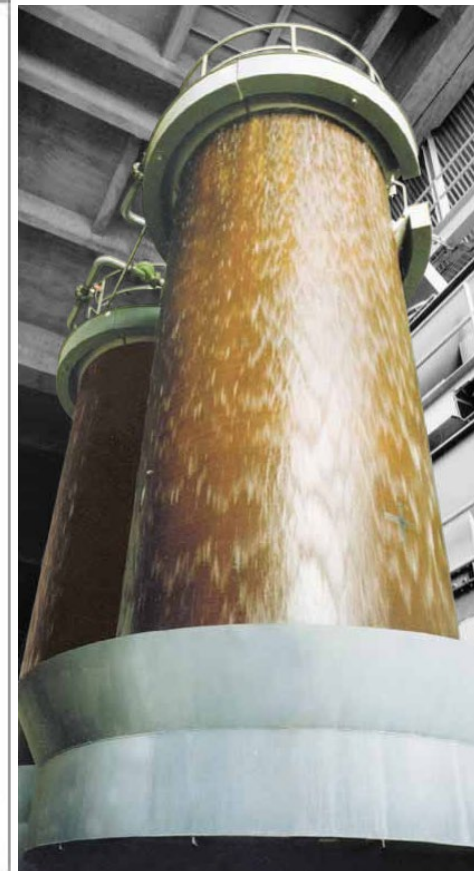
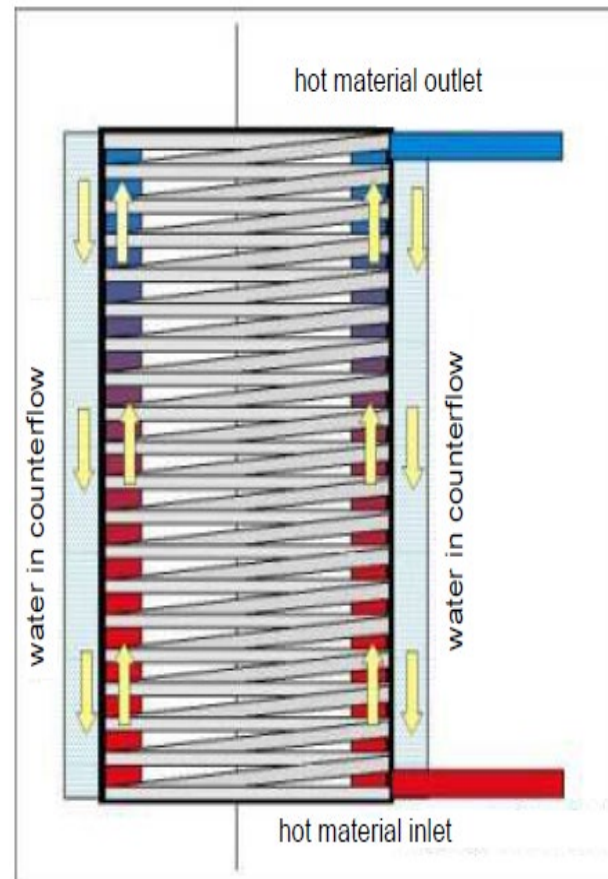
Det färdiga cementet har en temperatur av ca 120°C när det lämnar vindsikten

Måste kylas till temperatur under 65°C

Gipsen i det varma cementet kan tillsammans med alkali bilda *syngenit*. Syngeniten orsakar hanterbarhetsproblem i transporter och lagring

Cementkylaren är en värmeväxlare

- Materialet transporteras från botten med en spiralformad skena
- Medans havsvatten kyler det från utsidan av manteln





Fillermaterial och

SCMer

Kalksten (4-17%)

Flygaska (0-20%)

Vulkanisk puzzolan (20%)

(Oljeskifferaska)

(Slagg)

(Kalcinerad lera)



SCMerna har bättre klimatprofil än OPC, samtidigt som de är reaktiva – då de redan är kalcinerade antingen naturligt eller som restmaterial från annan process

De har hydrualiska/ cementliknande egenskaper som ger hållfasthet då de kombineras med klinker



Antimon -
trioxid
~300 ppm

Kromreduktion

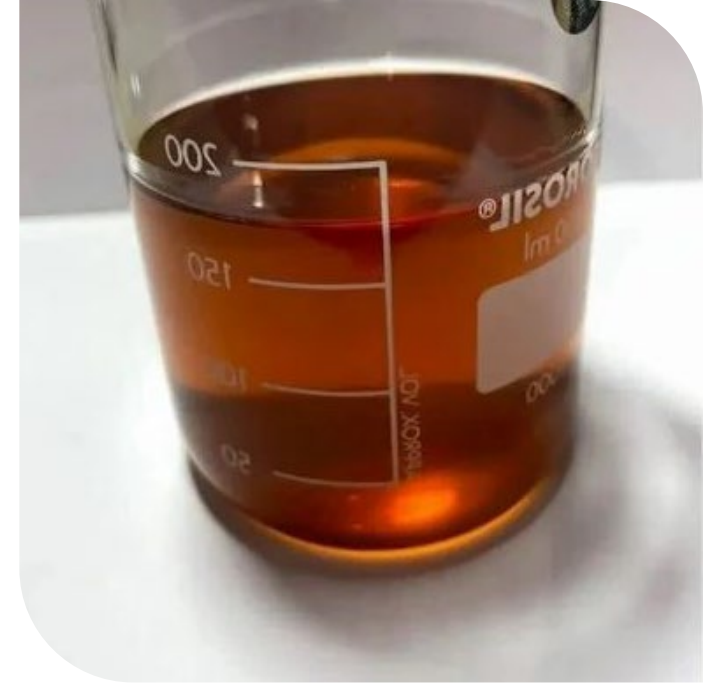
Tillsättning av antimontrioxid, Sb_2O_3 , för att åstadkomma ”kromatreduktion”

- Cr^{6+} är cancerogent och allergent
- Cr^{3+} kommer från råmaterial och från högtemperatur-stål
- I ugnens heta zon oxideras Cr^{3+} till Cr^{6+}
- Antimontrioxid tillsätts för att reducera Cr^{6+} till Cr^{3+}



Mal - hjälpmedel 250-600 ppm

- **Malhjälpmedlet är främst till för att effektivisera malningsprocessen**, men används även som 'performance enhancer', som kan öka 1d med 5+%
- Malhjälpmedlet förhindrar att cementkornen klumpar ihop sig pga elektrostatiska krafter som skapas under malningen, samt förhindrar att cementen bakar fast på kullor och foder
- I och med det så förbättras avskiljningen i vindsikten och man kan minska energiförbrukningen
- Mängden som tillsätts är en avvägning mellan **produktionskapacitet/energiförbrukning, hållfasthet, flytegenskaper på det torra pulvret, samt pris.**



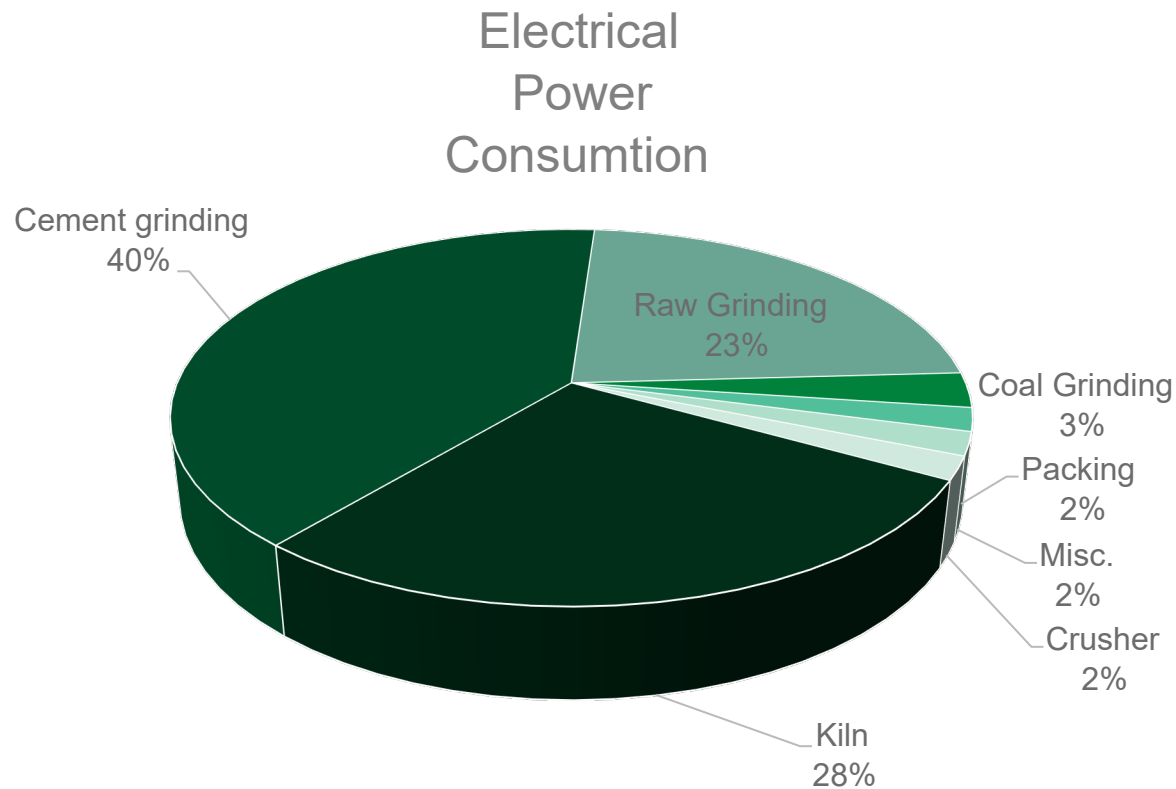
Det går åt mycket energi för att producera cement

Total elenergi Slite-fabriken: 40 MW/h

Slites cementkvarnar: 17 MW → ~40%

Cementverket står alltså för en stor del av vår elenergiåtgång!

Visar på vikten av att optimera processen, utvinna maximal potential ur materialen kvalitetsmässigt – och föra utvecklingen framåt!





Heidelberg
Materials