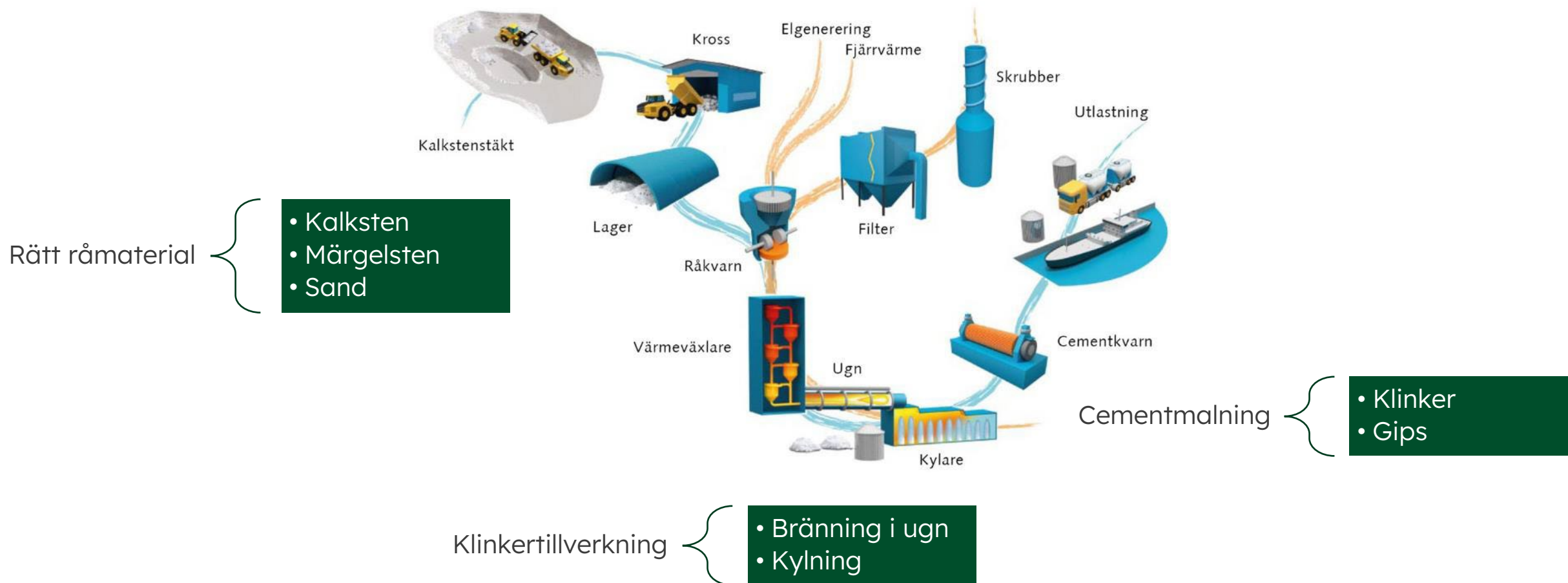




Cement- tillverkning Del II

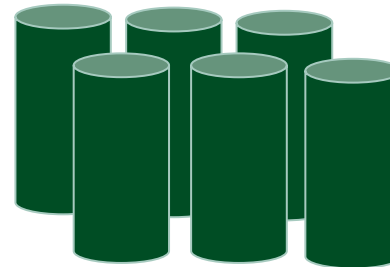
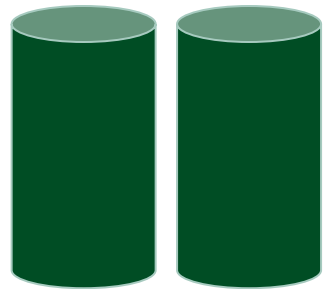
Cement i Betong 2024
15.05.2025 | Emma Jönsson

Malning är sista steget i tillverkningsprocessen





Cementmalning



Klinkersilos

Gips- och
tillsatslager

Cementkvarnar

Cementsilos

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



Delmaterial som används



Klinker
70-90%



Gips
(sulfattillsatts)
3-5%



Malhjälpmedel
250-600 ppm



Kalksten –
tillsattsmaterial
4-17%



Flygaska –
tillsattsmaterial
0-20%



Antimontrioxid –
kromreducerare
~250 ppm



Klinker



Portland
cement
klinker

- Huvudingrediensen i cement
70-90%

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





4 Cementkvarnar i Slite

CKV1 och CKV2

Längd: 15 m

Kapacitet: 100 ton/h BAS-cement

CKV7 och CKV8

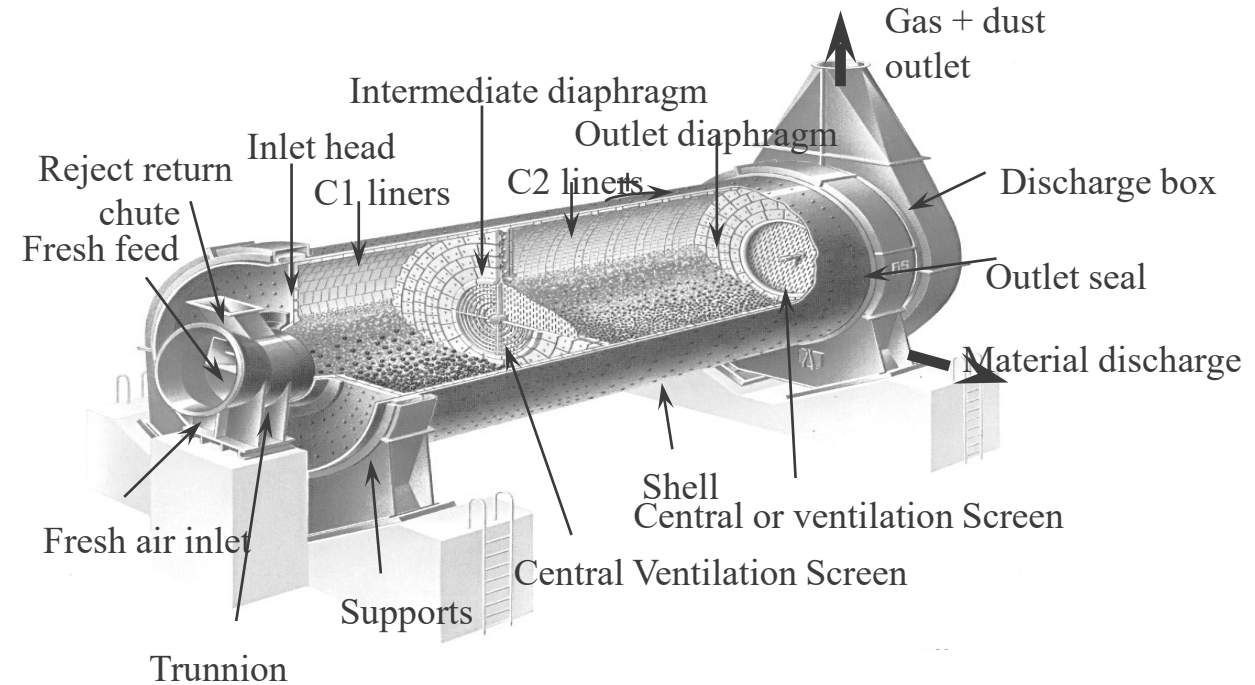
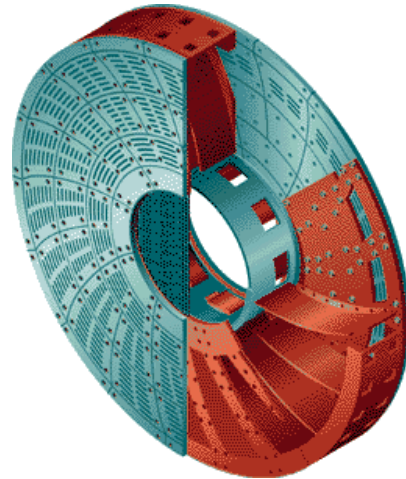
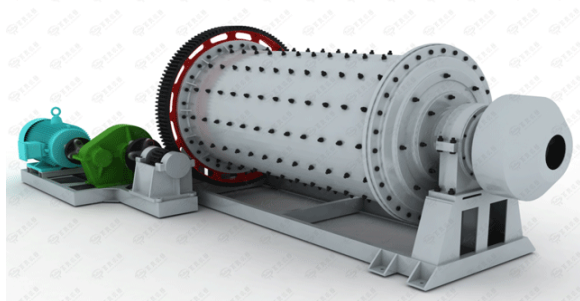
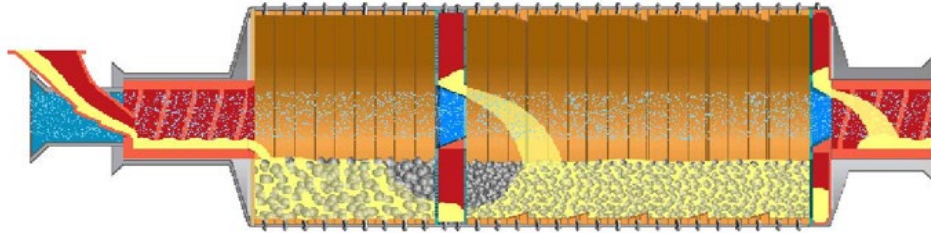
Längd: 12 m

Kapacitet: 60 ton/h Anläggningscement





Principskiss på cementkvarnen – kulkvarnar med 2 kammare



Vad händer i kvarnsystemet?

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



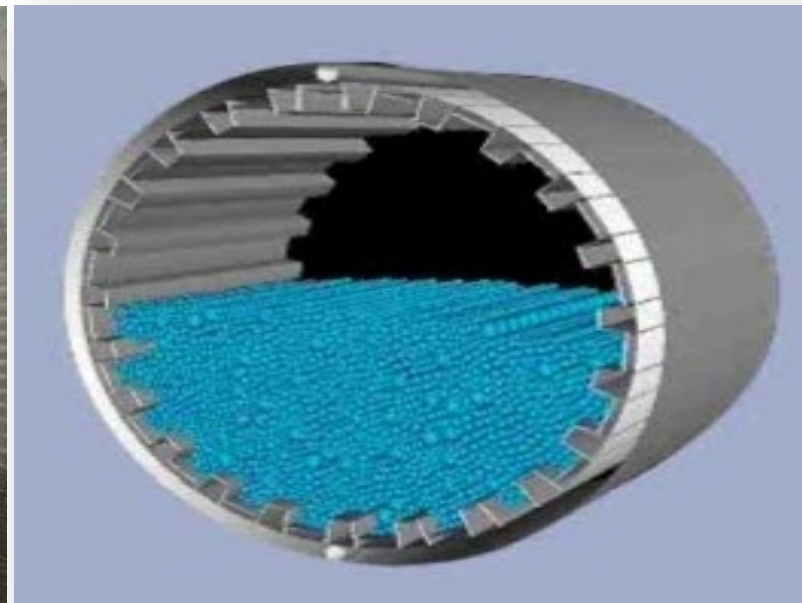
Kammare 1: 60-90 mm i diameter

Bra på att mala större partiklar –
krossar materialet



Kammare 2: 20-50 mm i diameter

Större kontaktyta och ger effektivare
malning till finare fraktioner

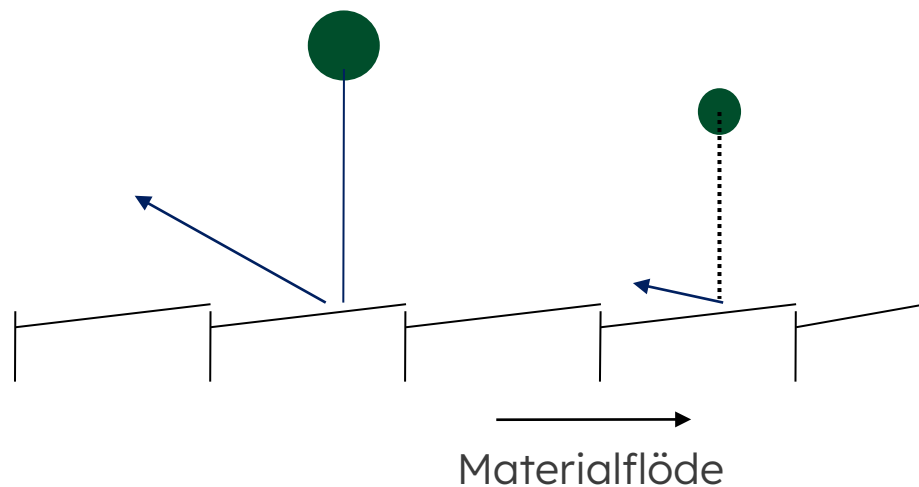




Sortering av malkulor, kammare 2

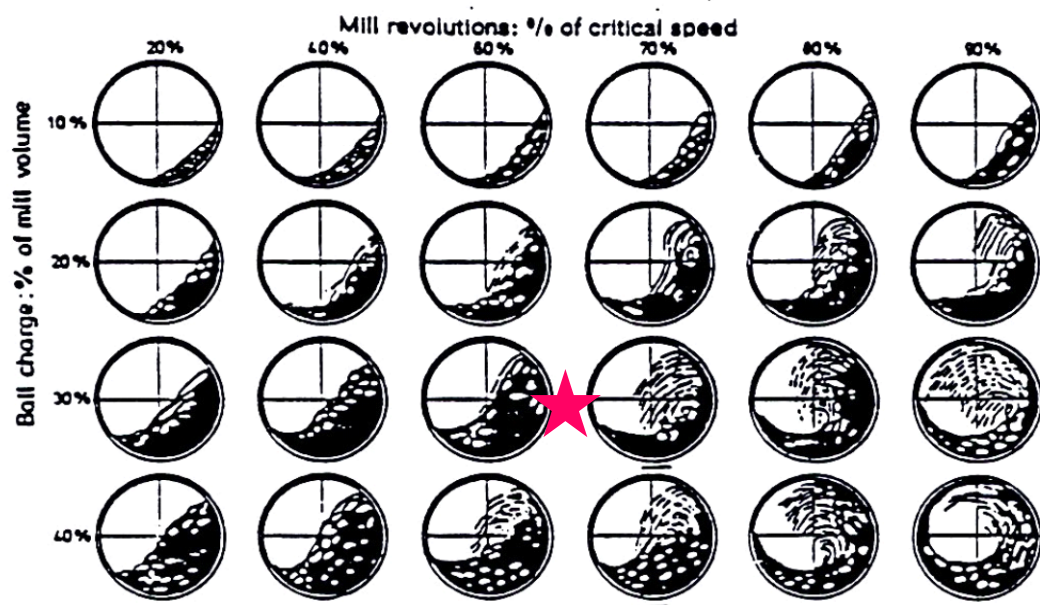
Små malkulor har inte tillräckligt med energi att “hoppa” bakåt

Därför sorteras malkulorna efter storlek

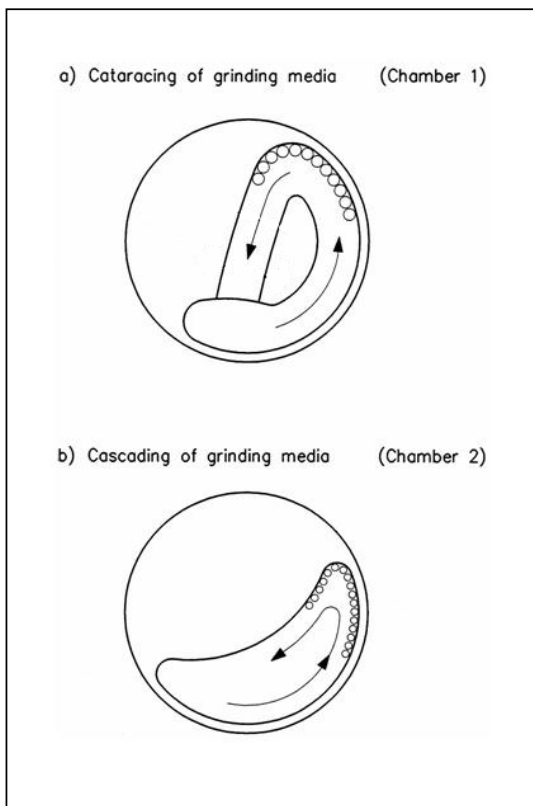




Fyllnadsgrad mot kritisk hastighet



Movement of the grinding media during rotation



Impacts + Pressure Compression
Lifting Liners
90mm to 60mm balls

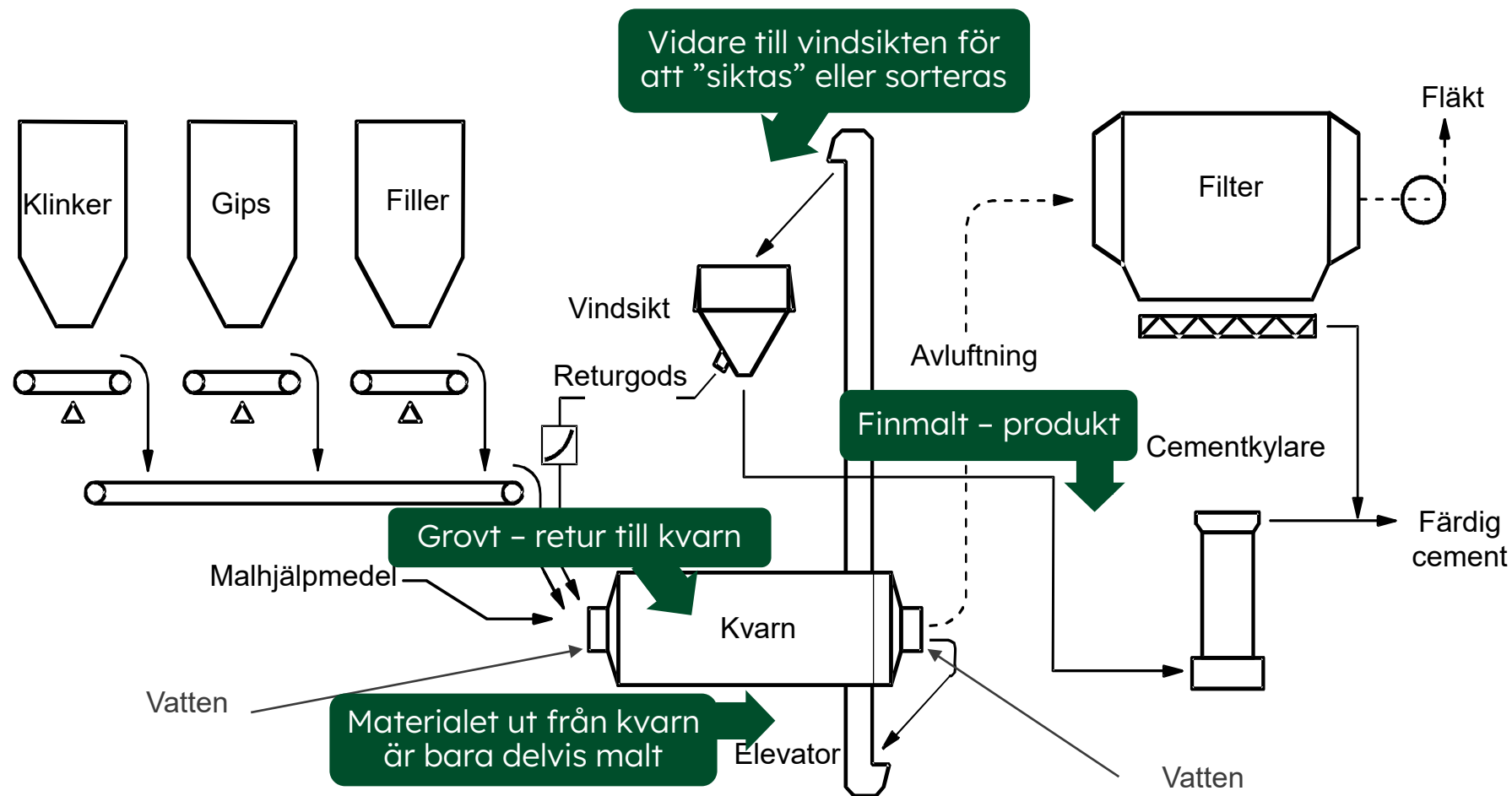


Pressure Compression + Friction Shear
Classifying Liners
60mm to 15mm balls



Cementverket - principskiss

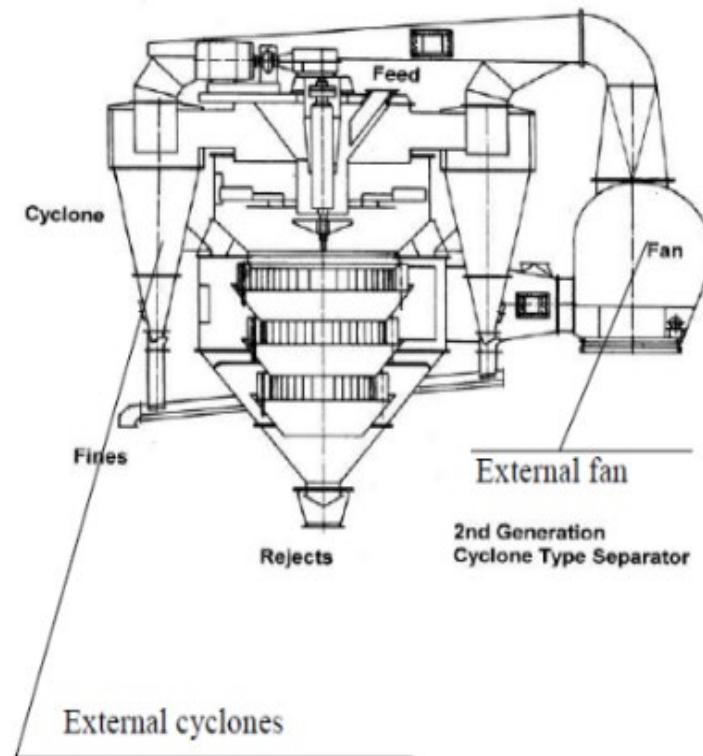
- Kvarn: Malning
- Vindsikt: Sortering





Vindsikten

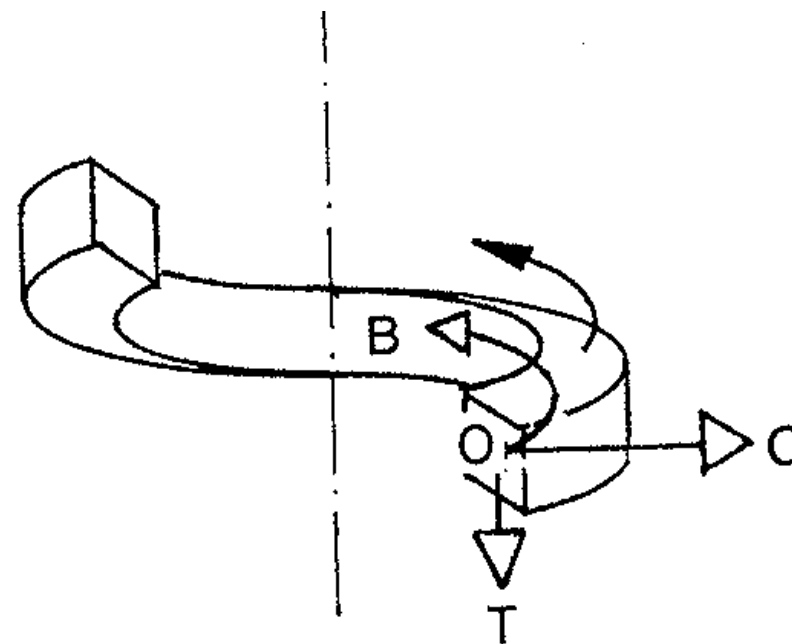
Kastskovel



T = tyngdkraft

B = luftflödets bärkraft

C = centrifugalkraft (eller centripetalacceleration)

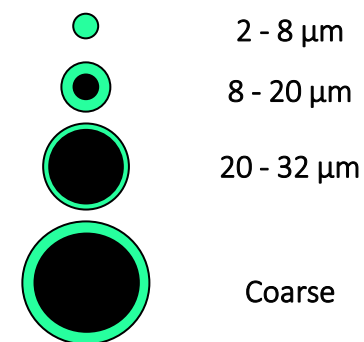




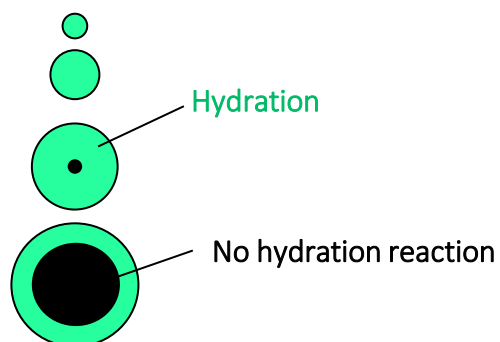
Vilken betydelse har cements finhet?

Partikel storlek ⇔ Tryckhållfasthet (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

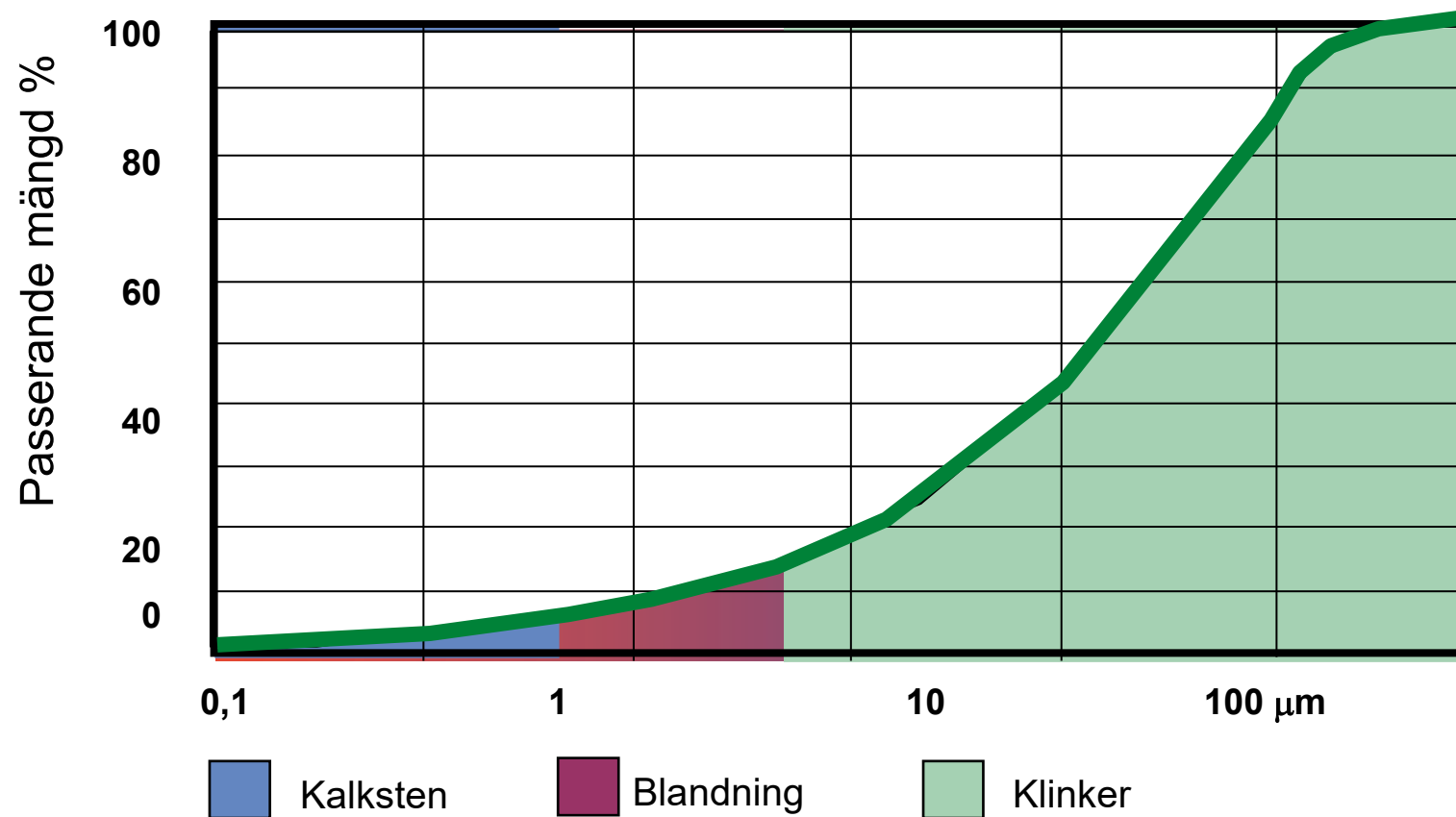
För grovt; större än 80 μm

- Betecknas som ballast – bortkastad klinker



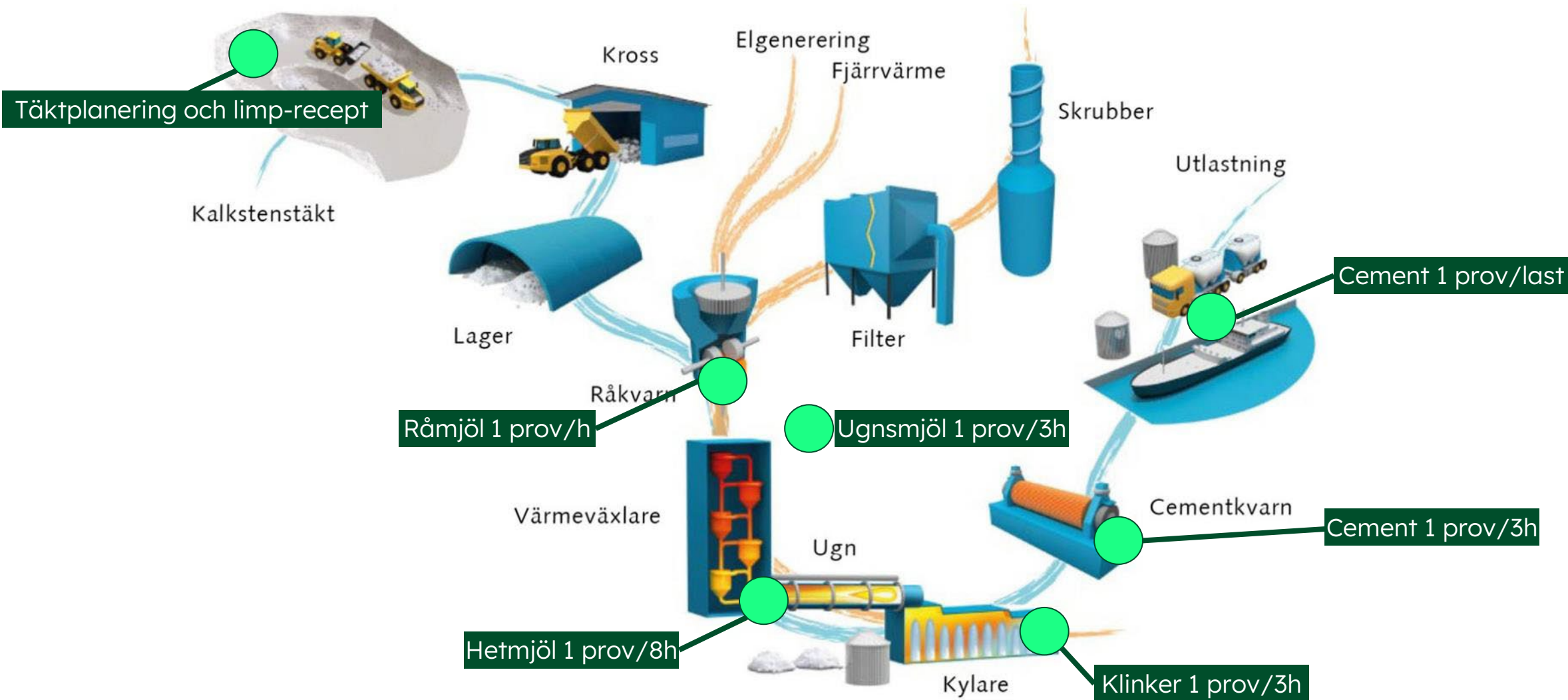


Kornfördelning - Byggcement





Kvalitetskontroll



Sulfattillsatts (gips) påverkar flera egenskaper hos betongen

- Bindetidsreglerande
- Kan optimeras för hållfasthet
- Påverkar reologin dvs konsistensen/flytegenskaperna
- Vattenbehovet

Exempel

- Naturgips används i Slite och Skövde.
- Slite använder också gipsslurry från skrubbern

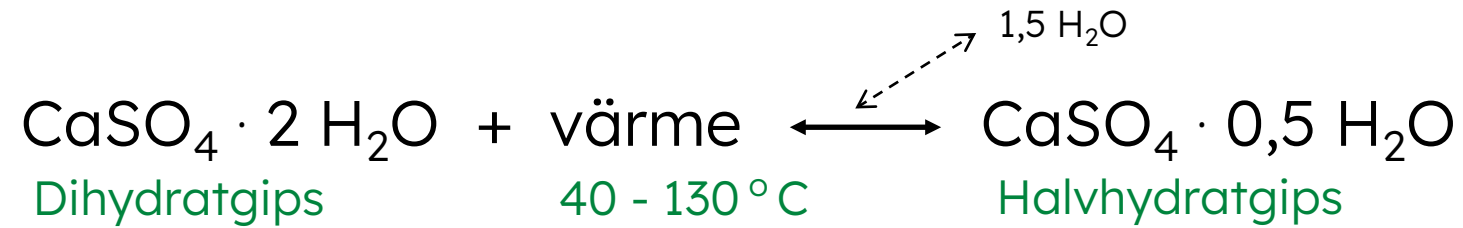
Olika typer av sulfat

- 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)





Gips



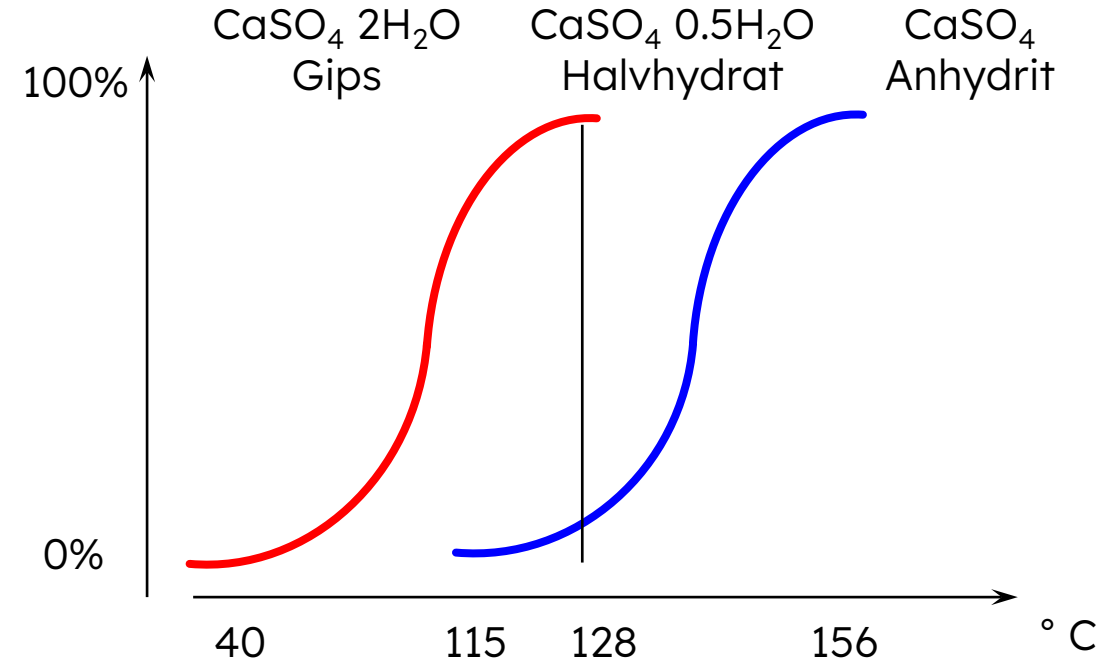
Naturgips + värme $\longleftrightarrow$ modell - / stuckgips och vatten





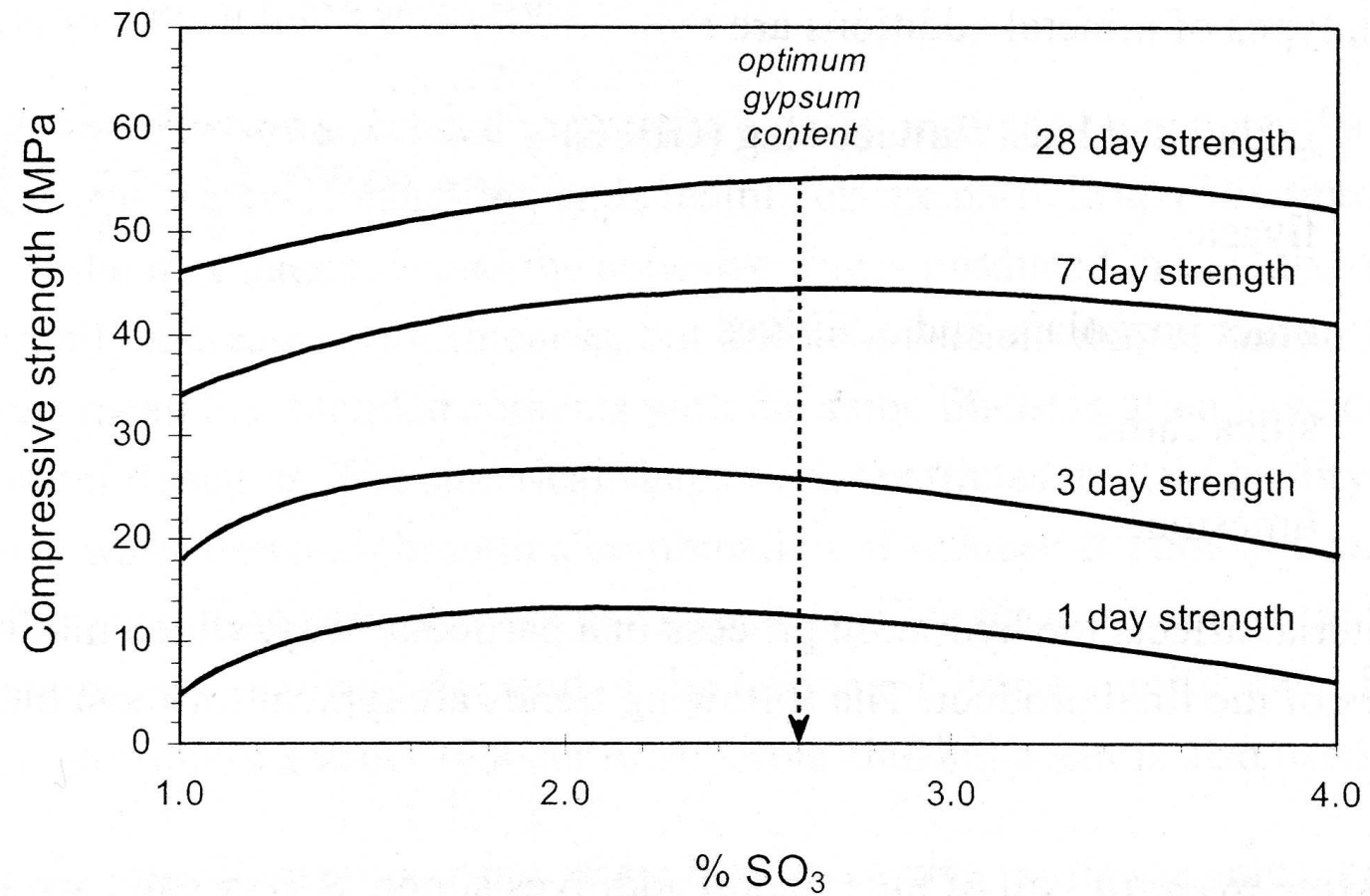
Gipsens avvattning

- För hög temp -> för mycket halvhydratgips
- För låg temp -> för mycket dihydratgips kvar
- 50/50 di-/halvhydrat en klassisk fördelning som ger bra egenskaper
 - Numera ligger vi ofta på andra nivåer





”Rätt” gipshalt gynnar hållfastheten

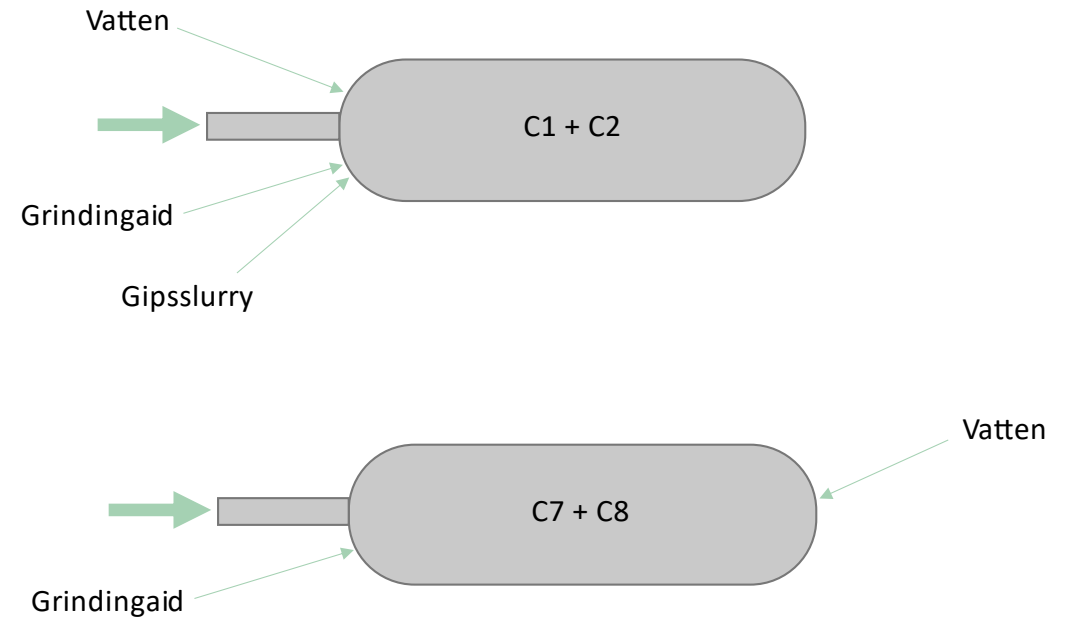




Kylning i kvarnen

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

- Processen kylv genom vatteninsprutning (och gipsslurry)
- Temperaturen i kvarnen bör hållas under 120°C



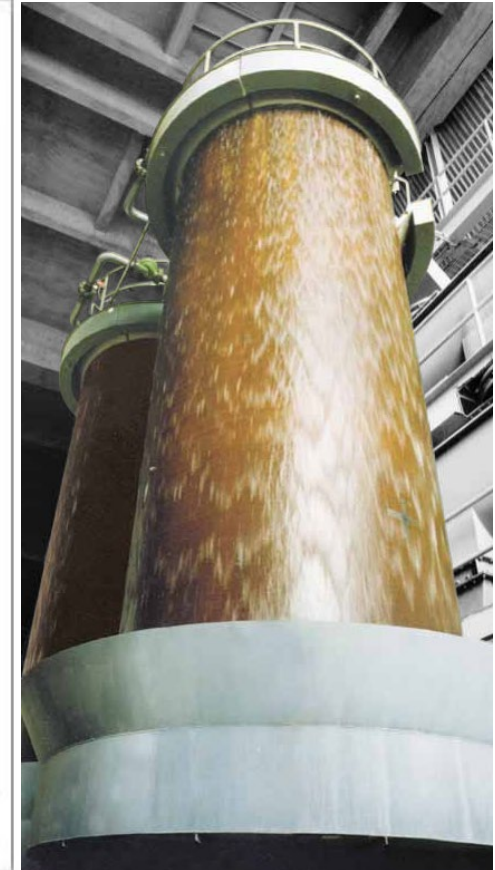
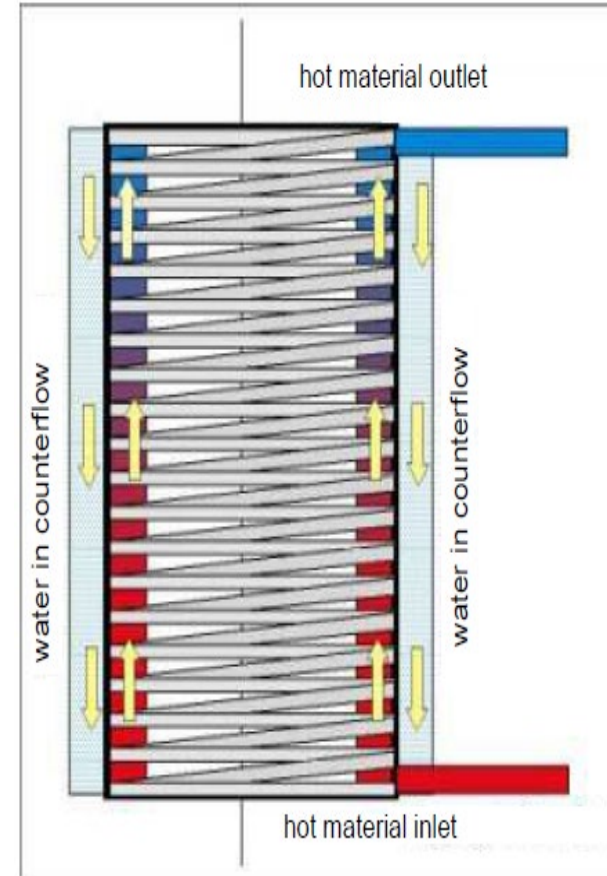
Kylning av färdigmald cement

Det färdiga cementet har en temperatur av ca 100-115°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





Fillermaterial/tillsatsmaterial

Kalksten (4-17%)

Flygaska (0-20%)

Vulkanaska

(Oljeskifferaska)

(Slagg)

(Kalcinerad lera)



Flyg- och vulkanaska ger bidrag till hållfasthet i samverkan med klinker

Förbättrar klimatprofilen



Antimon- trioxid

~250 ppm

Kromreduktion

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

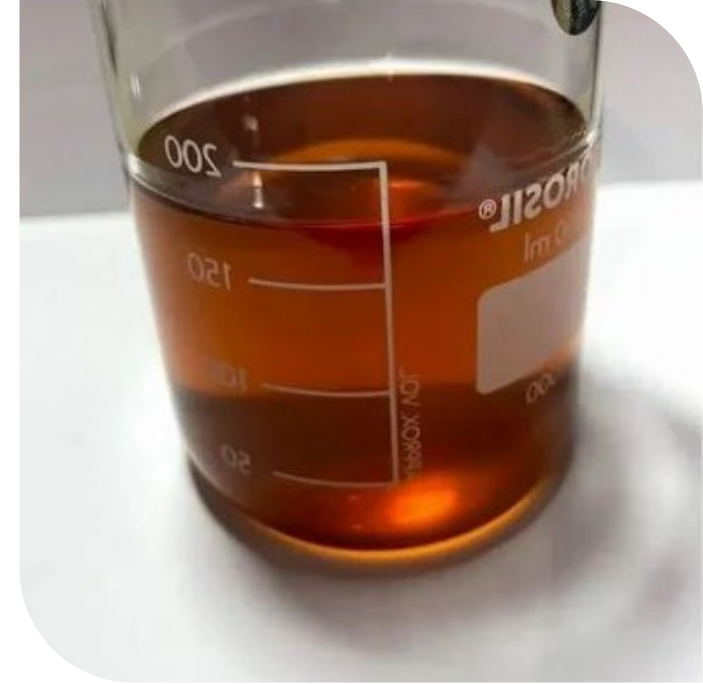
- I ugnens heta zon oxideras Cr^{3+} till Cr^{6+}
- Cr^{3+} kommer från råmaterial och från högtemperatur-stål
- Cr^{6+} är cancerogent och allergent
- Antimontrioxid tillsätts för att reducera Cr^{6+} till Cr^{3+}



Mal- hjälpmedel

250-600 ppm

- **Förhindrar**
 - Att cementkornen klumpar ihop sig till små aggregat pga elektrostatiska krafter
 - Att cementen bakar fast på malkulor och väggar
- **Förbättrar avskiljningen i vindsikten**
- **Minskar energiförbrukning**
- **Förbättrar cementets hanterbarhet**
- **Optimeras utifrån**
 - Produktionskapacitet/pris
 - Tryckhållfasthet
 - Bindetid
 - Flytegenskaper
 - Energiförbrukning





Det går åt mycket energi för att producera cement

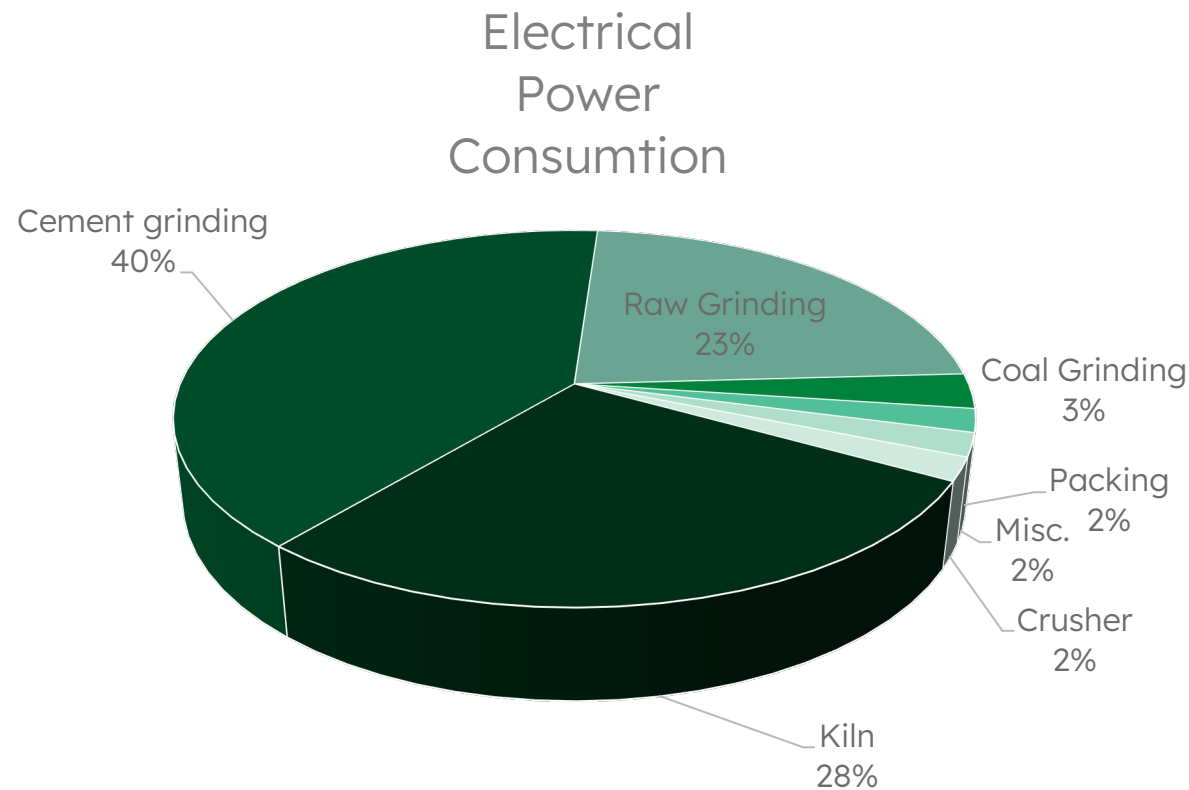
Total elenergi Slite-fabriken: 40 MW/h

Slites cementkvarnar: 17 MW → 43%

Cementverket står alltså för en stor del av vår elenergiåtgång!

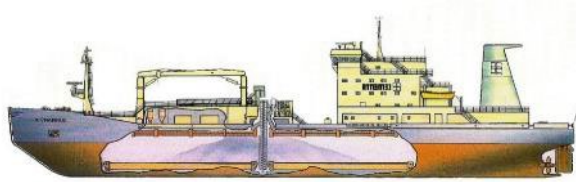
Fabriken står för 25-35% av Gotlands elkonsumtion.

Spillvärme återvinns som fjärrvärme till Slite samhälle

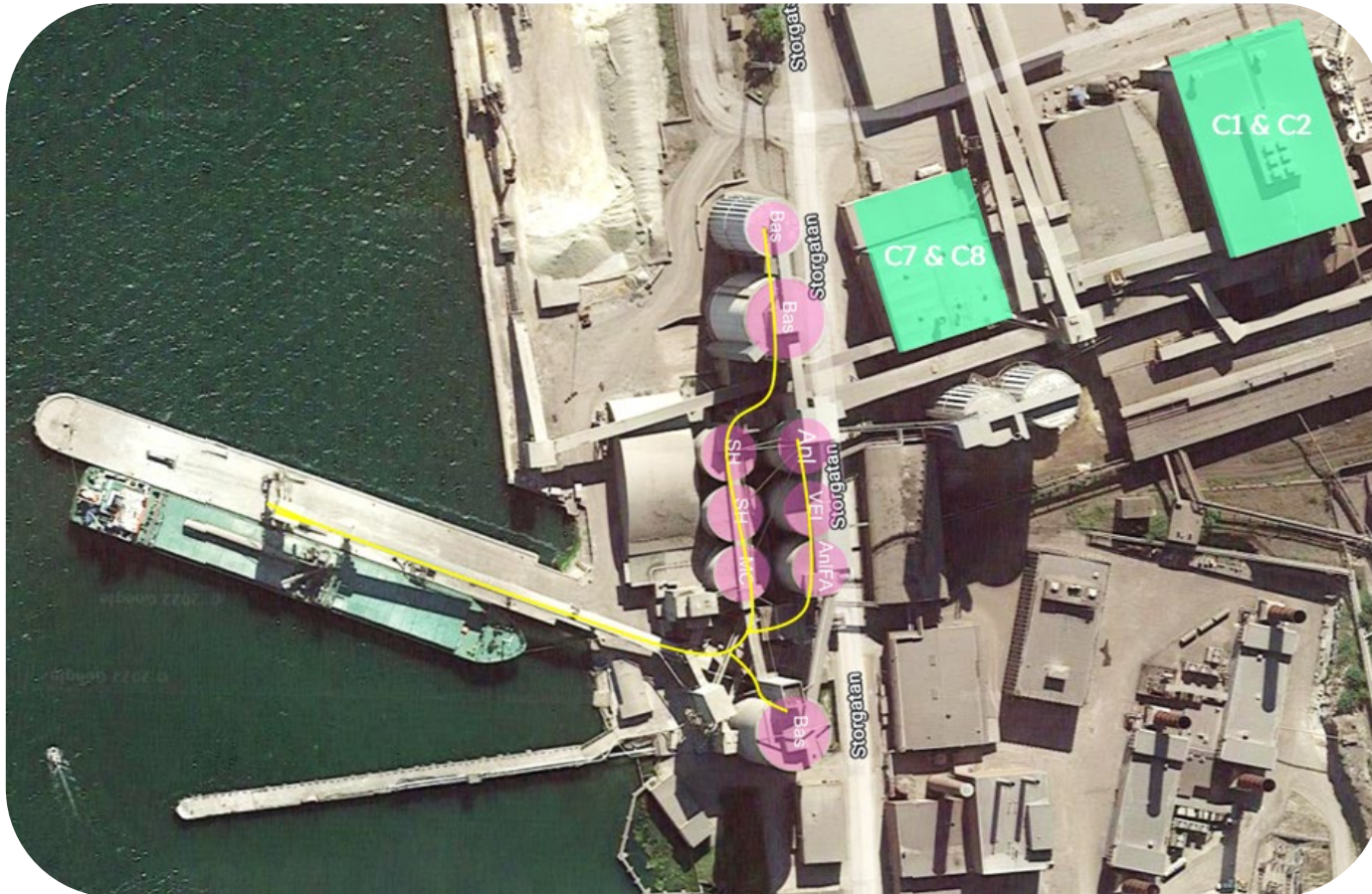




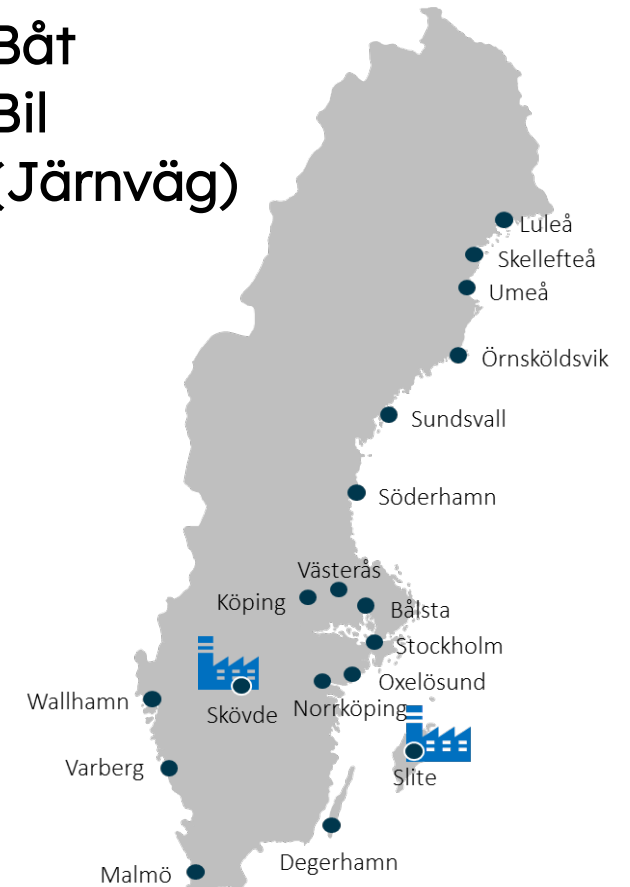
Distribution



- Slite levererar 2 miljoner ton cement per år
- Lagerkapacitet 63 kton
- 18 depåer



- Båt
- Bil
- (Järnväg)



Tack!

