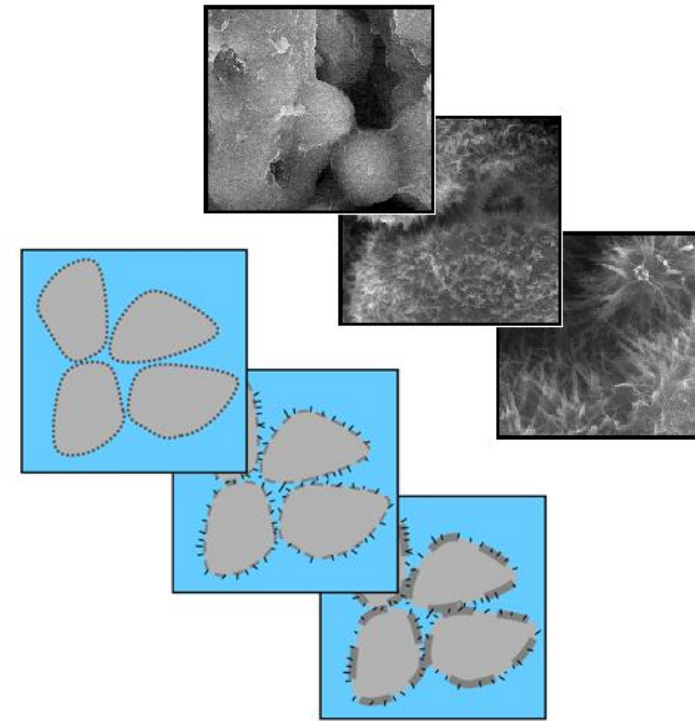


Cementhydration

Maj 2023

José Aguirre C.



Överblick

■ Hydratation

- Vad är hydratation?

■ Hydratation av klinkermineraler

- Vad bildas från klinker?

■ Tidsförlopp

- Värmeutveckling
- Bindetid

■ Fysikaliska egenskaper

- Porstruktur
- Reologi

■ Tillsatsmaterial typ II

- Skillnaden mellan cement samt latent hydrauliska och puzzolanska tillsatsmaterial?
- Hur reagerar dessa material med vatten?



Hydratation

■ Kemiska definitionen

- Reaktion av ett ohydratiserat material med vatten som genererar ett nytt material, en hydrat

■ Cement definitionen

- Cement är ett hydrauliskt bindemedel, dvs. ett finmalet oorganiskt material som vid blandning med vatten bildar en pasta som binder och hårdnar på grund av hydratation och som efter hårdnandet behåller sin hållfasthet och stabilitet också i vatten (SS-EN 197-1:2011).



Ohydratiserat material

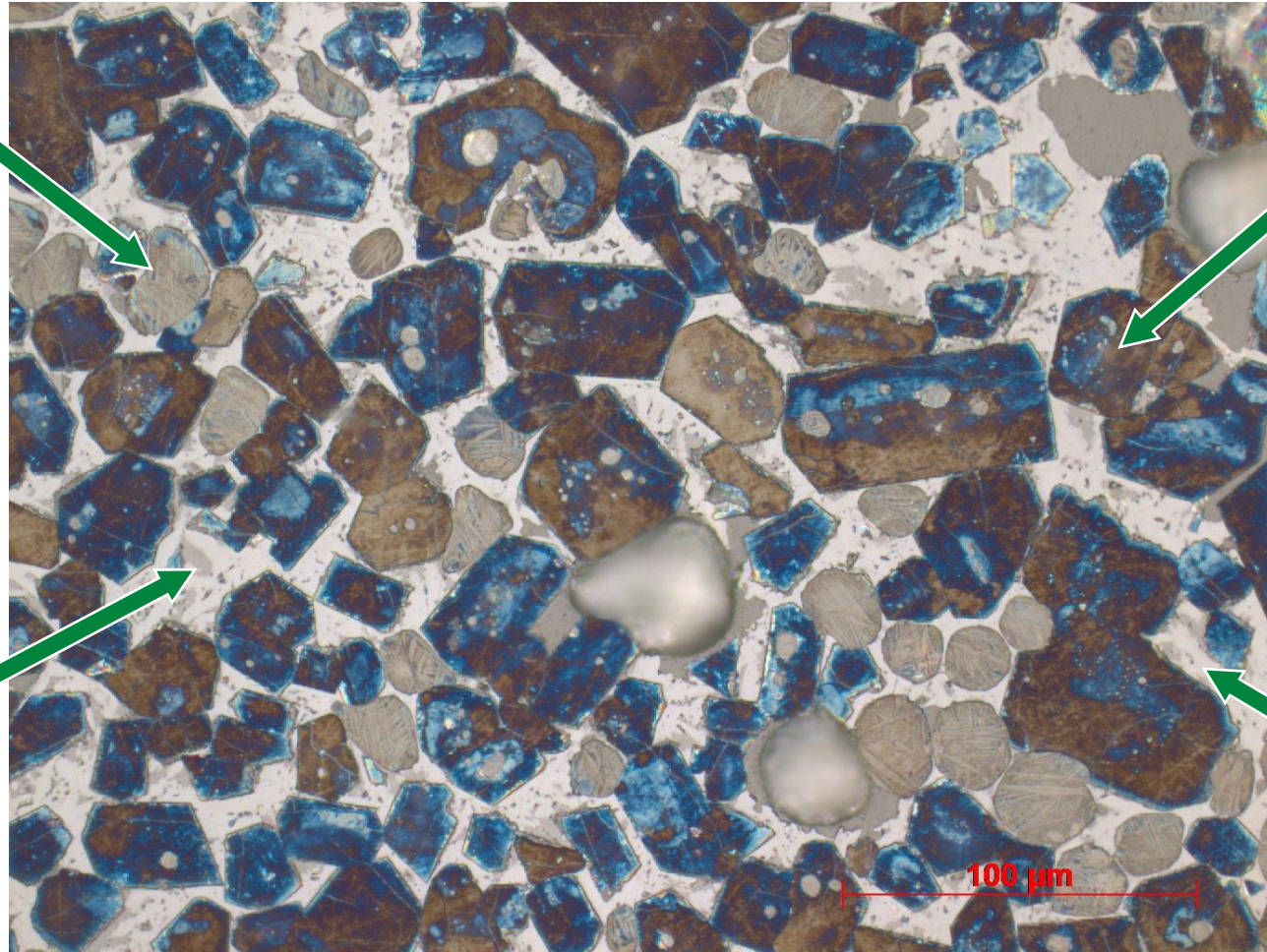
■ Klinker

"Belit" C_2S
 $2CaO \cdot SiO_2$

"Alit" C_3S
 $3CaO \cdot SiO_2$

"Alumina" C_3A
 $3CaO \cdot Al_2O_3$

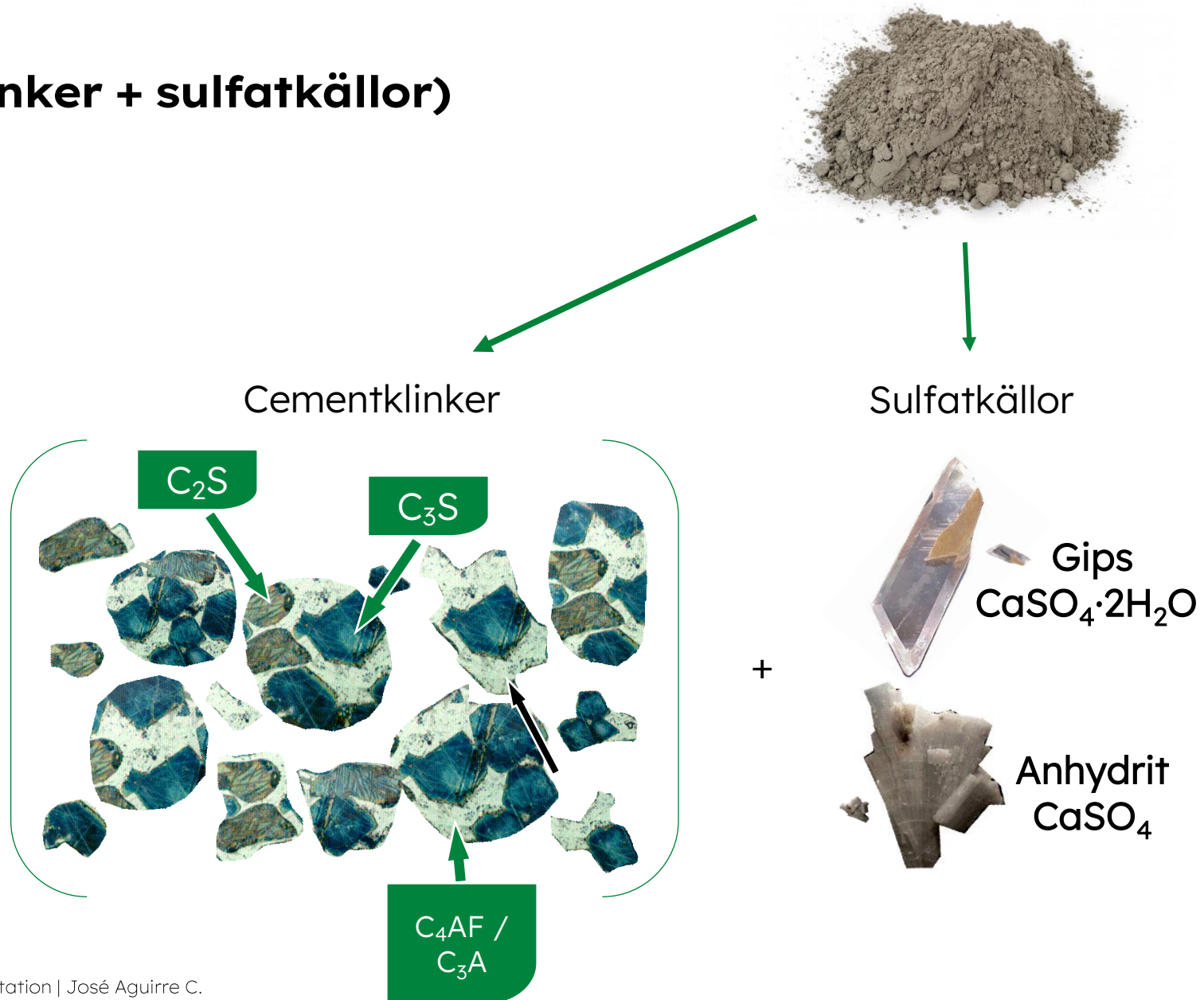
"Ferrit" C_4AF
 $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$



Degerhamn Ugn 3, x500

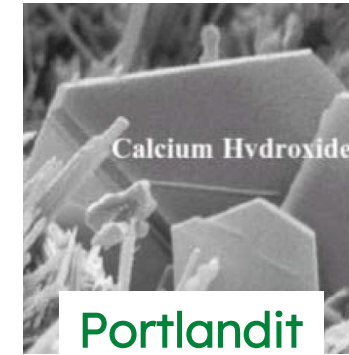
Ohydratiserat material

■ Cement (klinker + sulfatkällor)

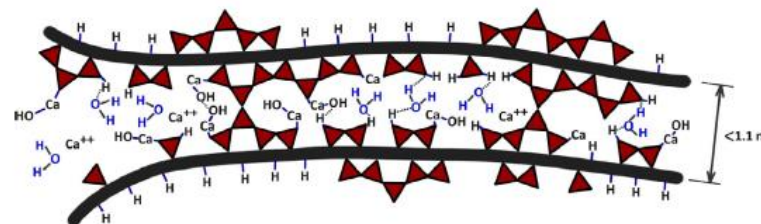
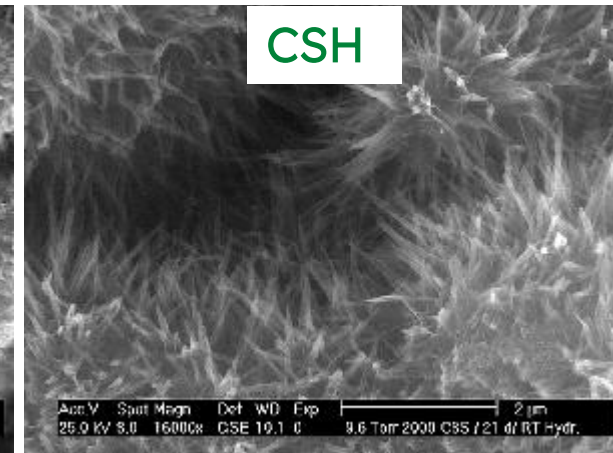
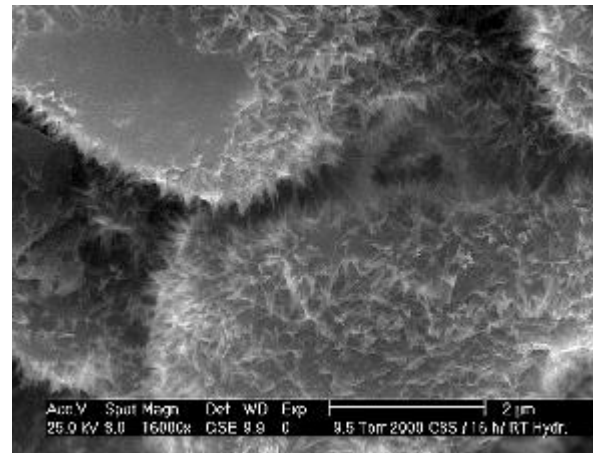
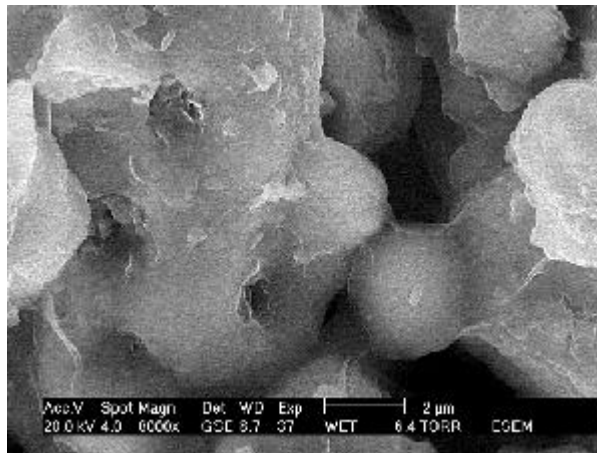


Hydratation - Silikaterna

- Alit (C_3S) + $H_2O \rightarrow 1,7 \text{ CSH} + 1,3 \text{ Portlandit (Ca(OH)}_2\text{)}$
- Belit (C_2S) + $H_2O \rightarrow 1,7 \text{ CSH} + 0,3 \text{ Portlandit}$

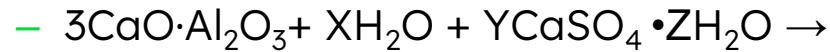


Högre hållfasthet
→

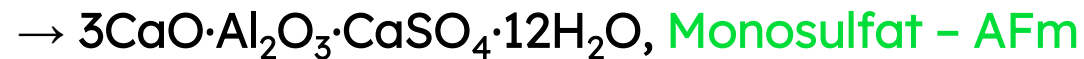
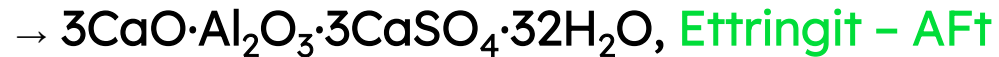


Hydratation - Aluminaterna

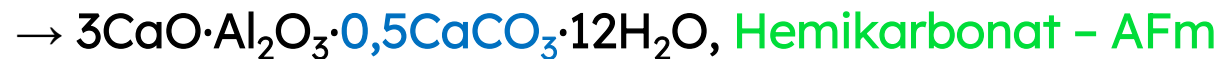
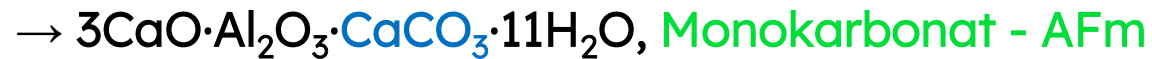
■ Hydratation av aluminat (ferrit) faser



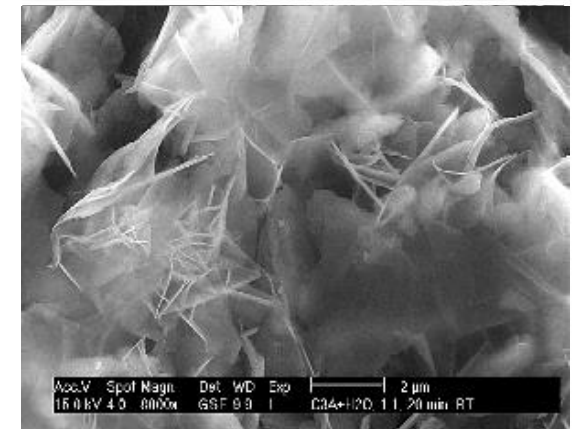
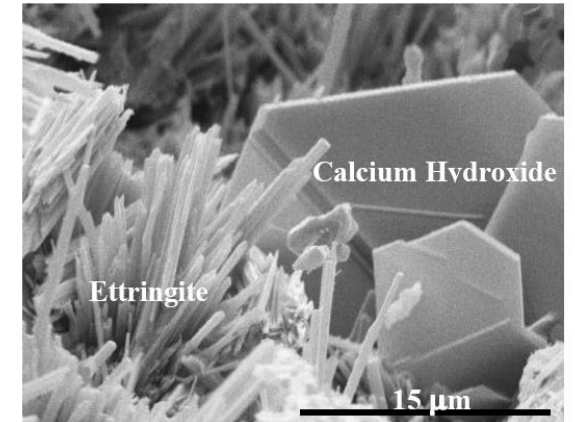
Gipsinnehåll



Kalkfiller



Sulfit



Hydratation - SO₃

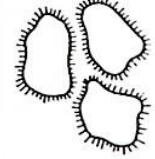
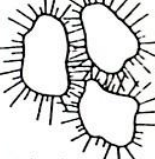
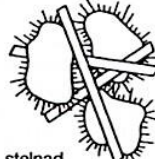
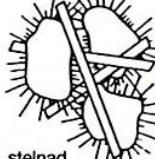
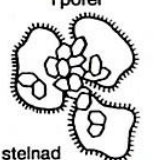
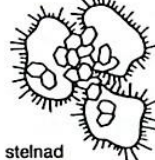
■ Falskbindning & snabbbindning

-Falsk bindning

Överreaktivitet hos sulfat i förhållande till aluminaten (C₃A)
Låter sig lösas upp vid fortsatt blandning

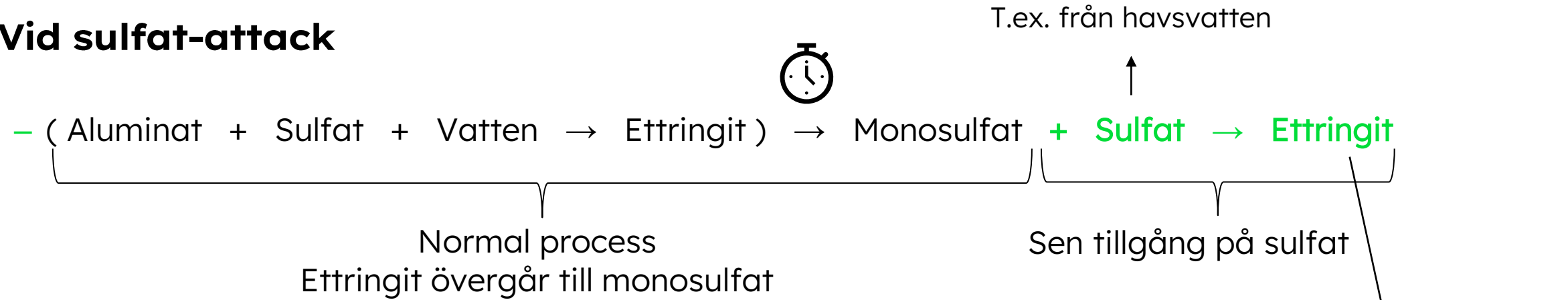
-Snabbbindning

kan eventuellt inträffa på grund av överreaktivitet hos aluminaten i förhållande till sulfaten.
Bindningen låter sig inte upphävas utan är permanent.

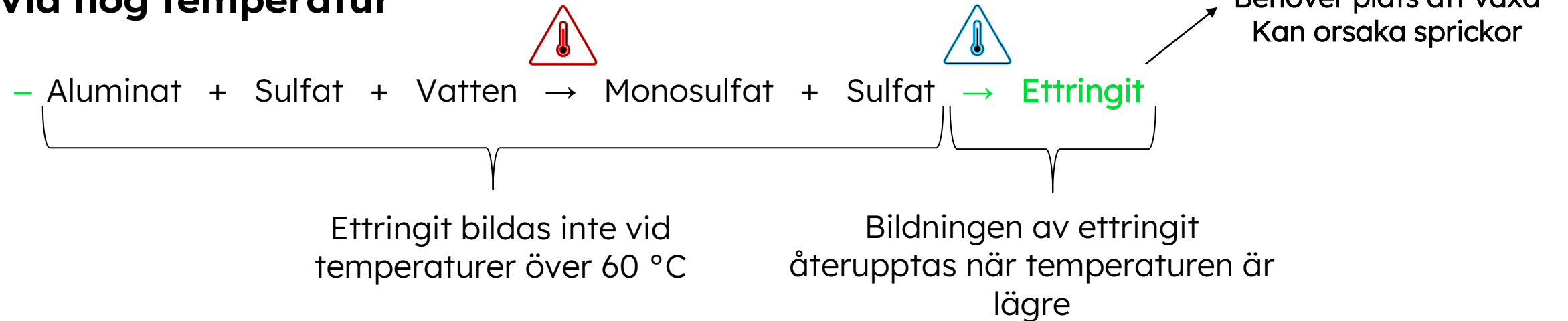
Sulfat i lösning C ₃ A:s reaktivitet	Hydratationstid		
	10 min	1 h	3 h
Balans	Ettringitskal  plastisk	 plastisk	 stelnad
För hög	Ettringitskal Utfäld gips i porer  stelnad	 stelnad	 stelnad
För låg	Ettringitskal CAH och monosulfat i porer  stelnad	 stelnad	 stelnad

Sen ettringit-bildning (DEF)

■ Vid sulfat-attack



■ Vid hög temperatur



Hydratation - Tidsförlopp

1. För-induktionsperiod (minuter)

- Upplösning
- Utfällning
- Första värmeutveckling

2. Induktionsperiod / dormant-perioden (< 3 h)

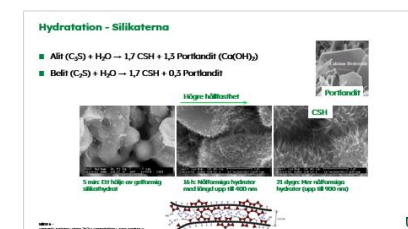
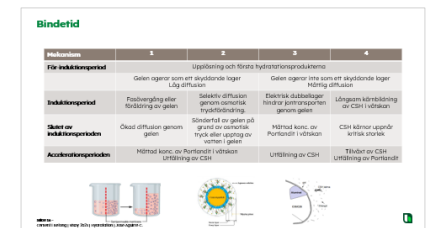
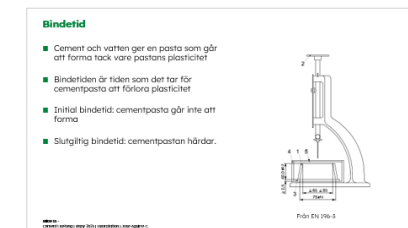
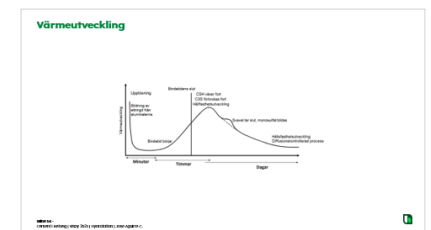
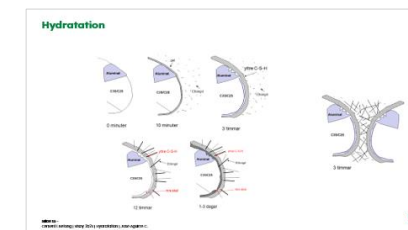
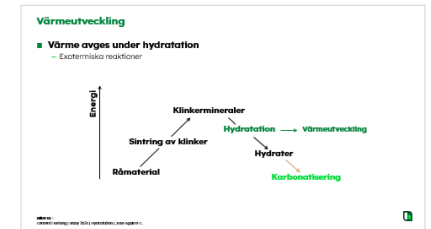
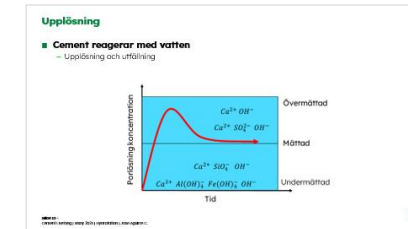
- Långsam reaktion
- Diffusion

3. Accelerationsperiod (3 – 12 h efter blandning)

- Bindetidens början och slut
- Snabb CSH bildning
- Hög värmeutveckling

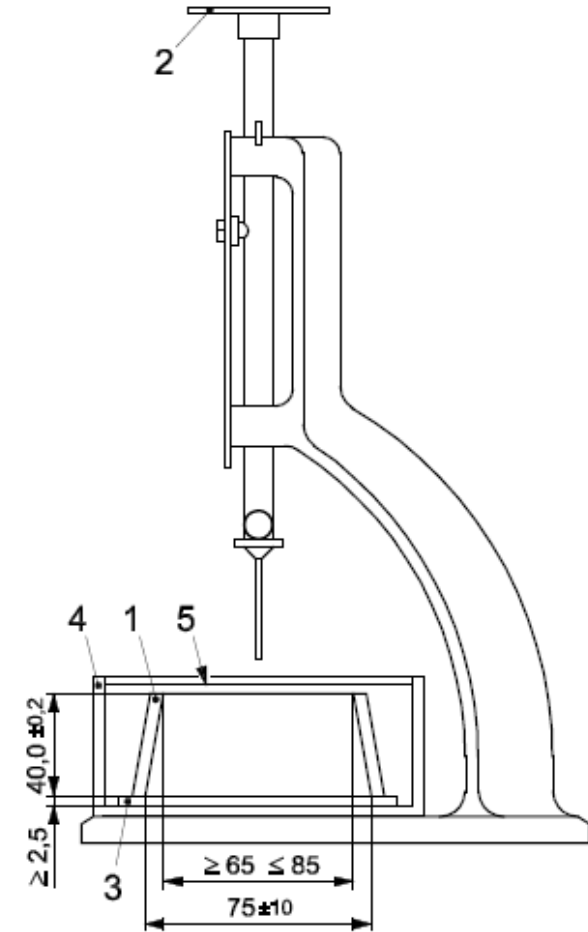
4. Decelerationsperiod

- Långsamma reaktioner
- Hållfasthetstillväxt



Bindetid

- Cement och vatten ger en pasta som går att forma tack vare pastans plasticitet
- Bindetiden är tiden som det tar för cementpasta att förlora plasticitet
- Initial bindetid: cementpasta går inte att forma
- Slutgiltig bindetid: cementpastan härdar.



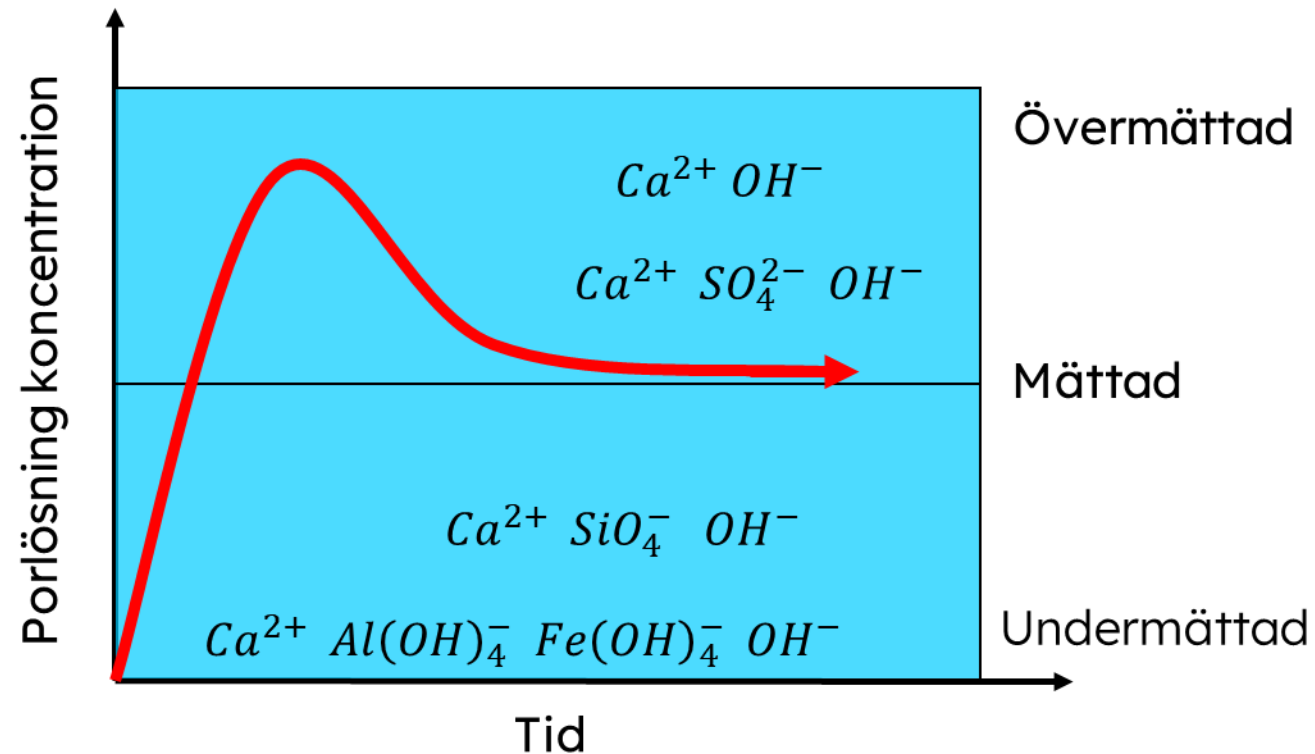
Från EN 196-3



Upplösning

■ Cement reagerar med vatten

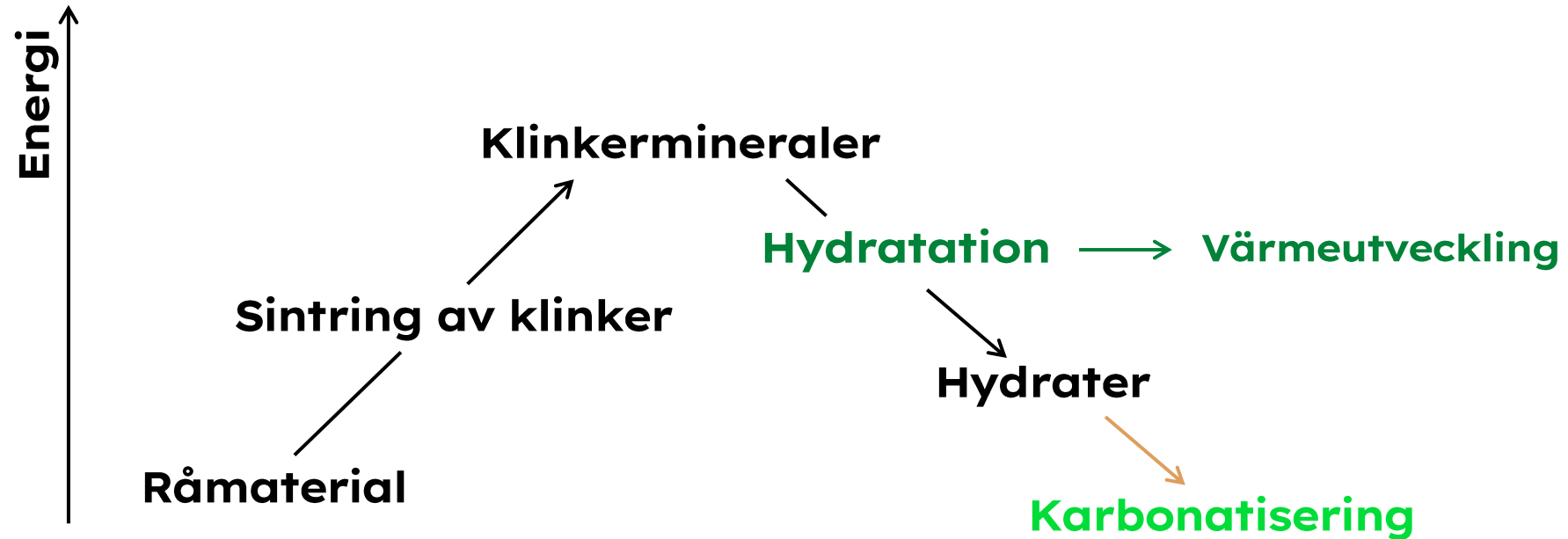
- Upplösning och utfällning



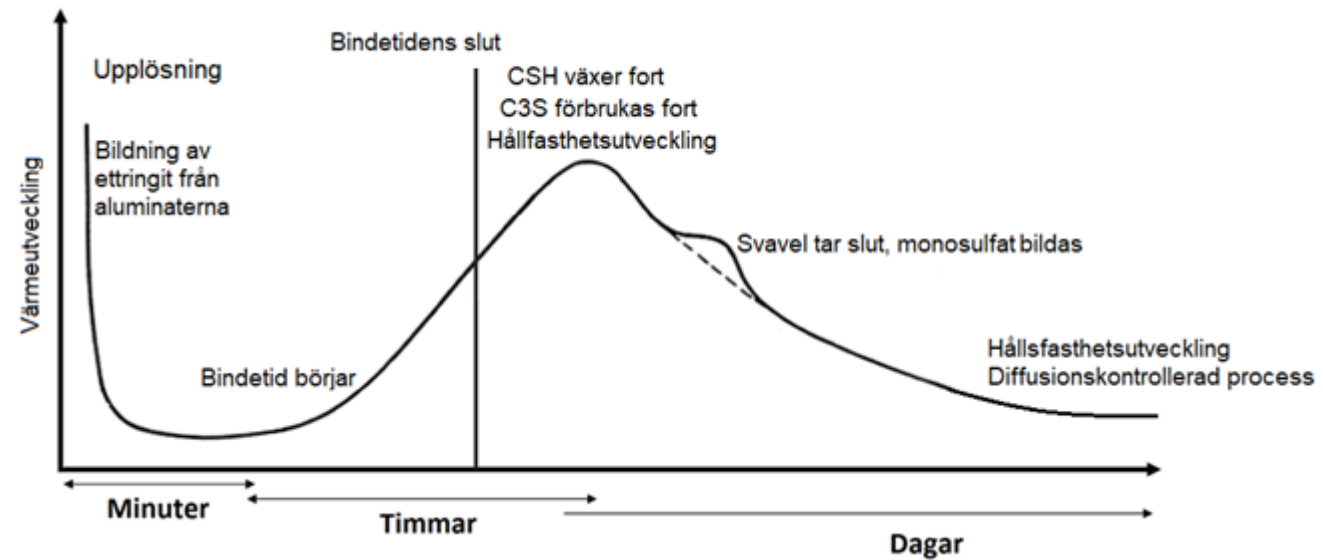
Värmeutveckling

■ Värme avges under hydratation

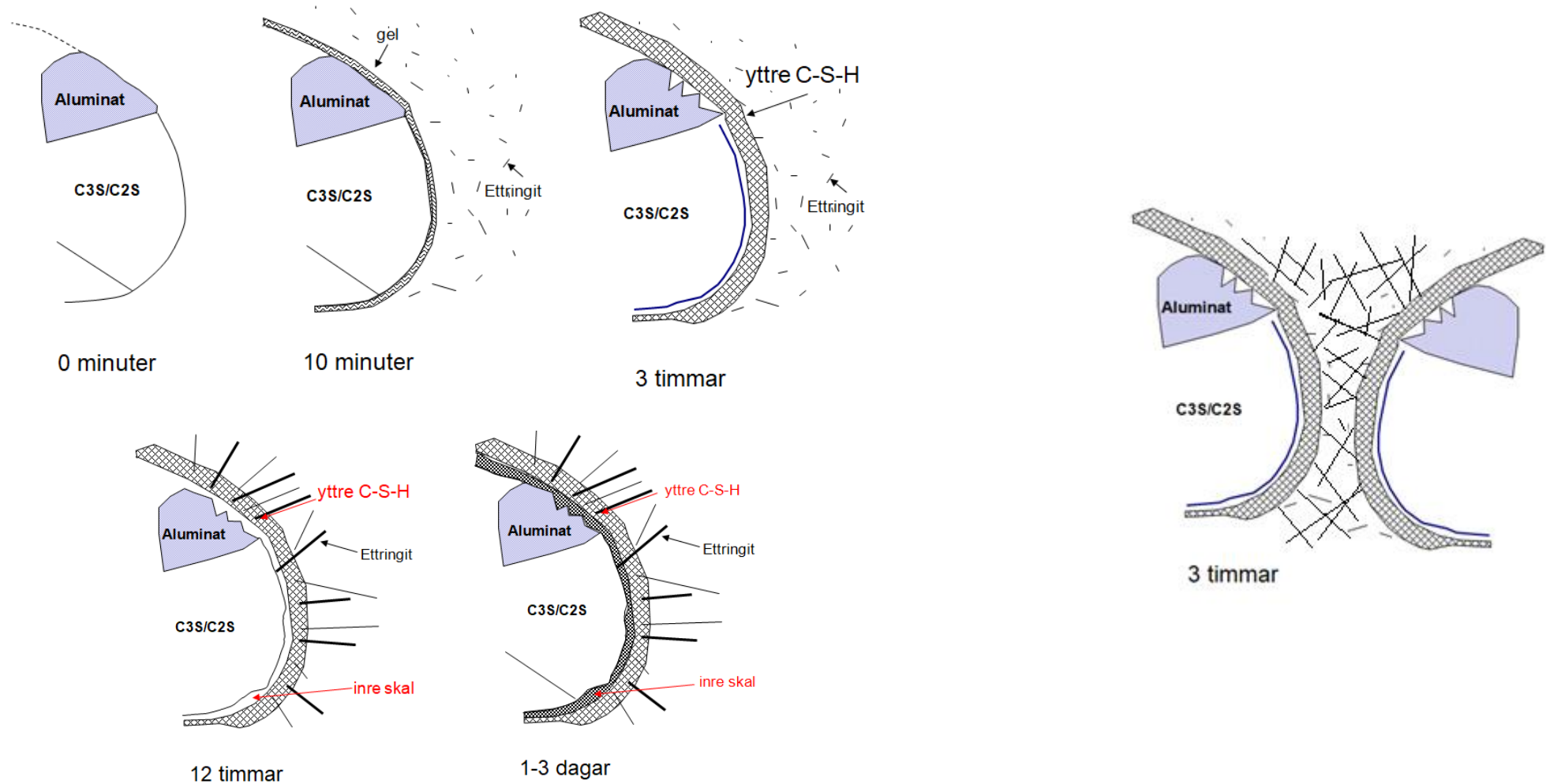
- Exotermiska reaktioner



Värmeutveckling

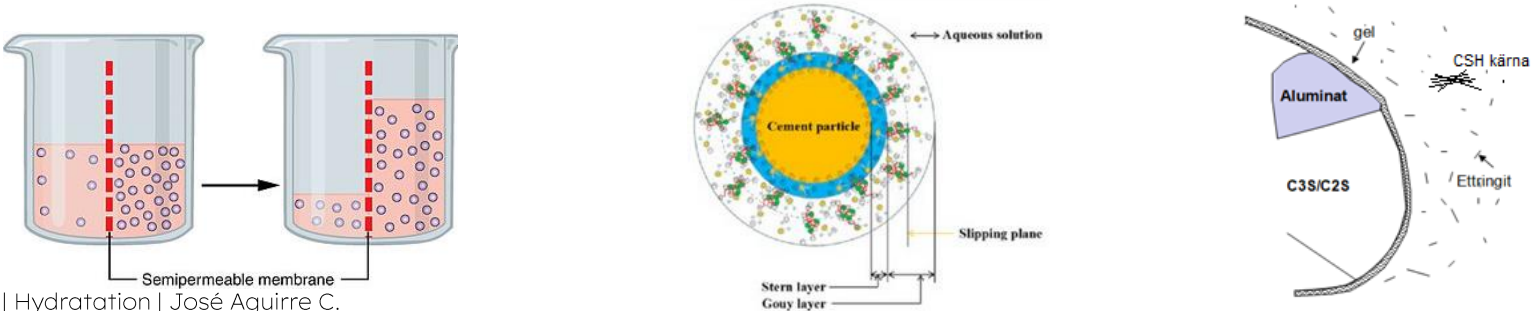


Hydratation



Bindetid

Mekanism	1	2	3	4
För-induktionsperiod	Upplösning och första hydratationsprodukterna			
	Gelen agerar som ett skyddande lager Låg diffusion		Gelen agerar inte som ett skyddande lager Måttlig diffusion	
Induktionsperiod	Fasövergång eller föråldring av gelen	Selektiv diffusion genom osmotisk tryckförändring.	Elektrisk dubbellager hindrar jontransporten genom gelen	Långsam kärnbildning av CSH i vätskan
Slutet av induktionsperioden	Ökad diffusion genom gelen	Sönderfall av gelen på grund av osmotisk tryck eller upptag av vatten i gelen	Mättad konc. av Portlandit i vätskan	CSH kärnor uppnår kritisk storlek
Accelerationsperioden	Mättad konc. av Portlandit i vätskan Utfällning av CSH		Utfällning av CSH	Tillväxt av CSH Utfällning av Portlandit



Krav på cementet i betongen

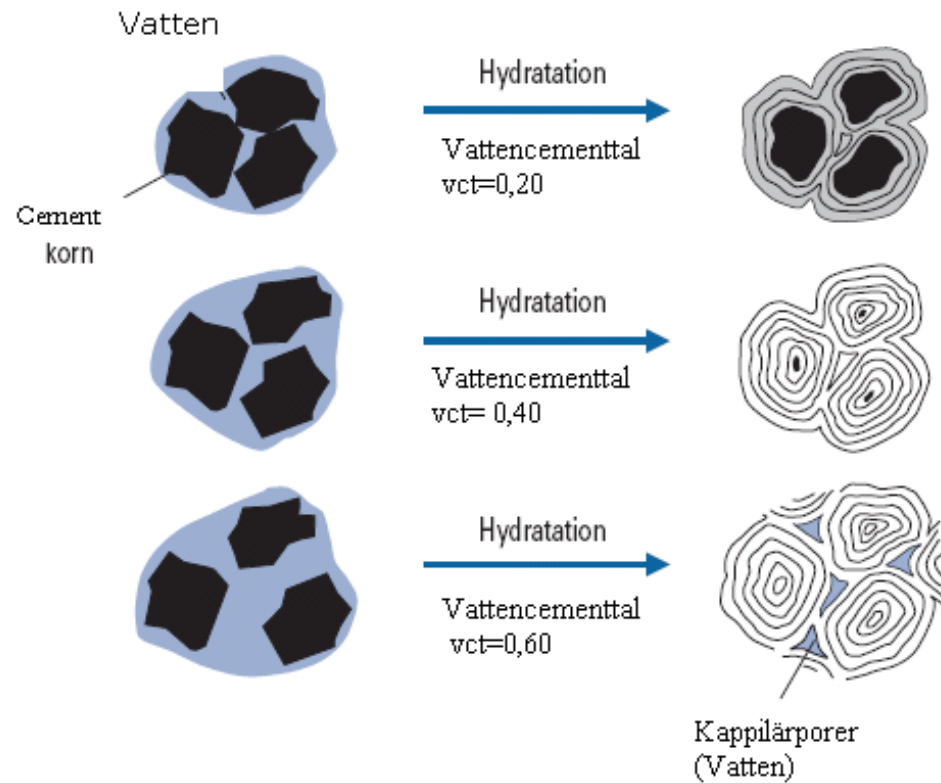
- Få rätt reologiska egenskaper före bindetiden
- Binda i rätt tid
- Hållfasthetstillväxt för form-rivning
- Få rätt hållfasthet
- Lagom krympning/svällning
- Ge en porstruktur som skapar beständig betong



Porstruktur

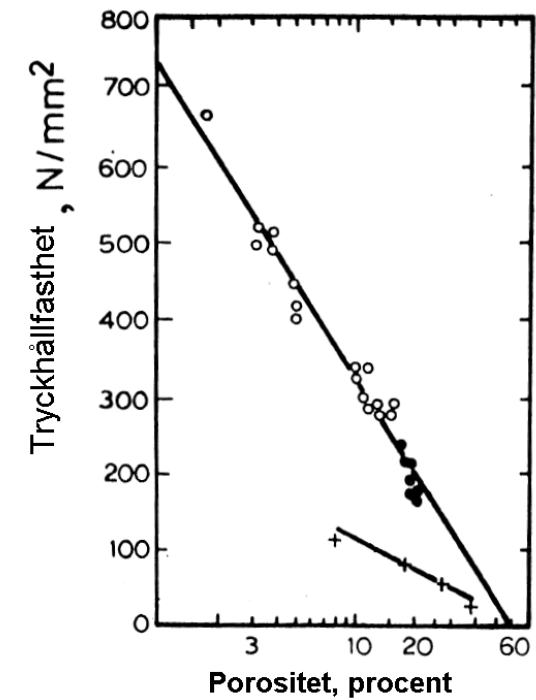
■ Vattencementtal, vct

- Hydratationsgrad

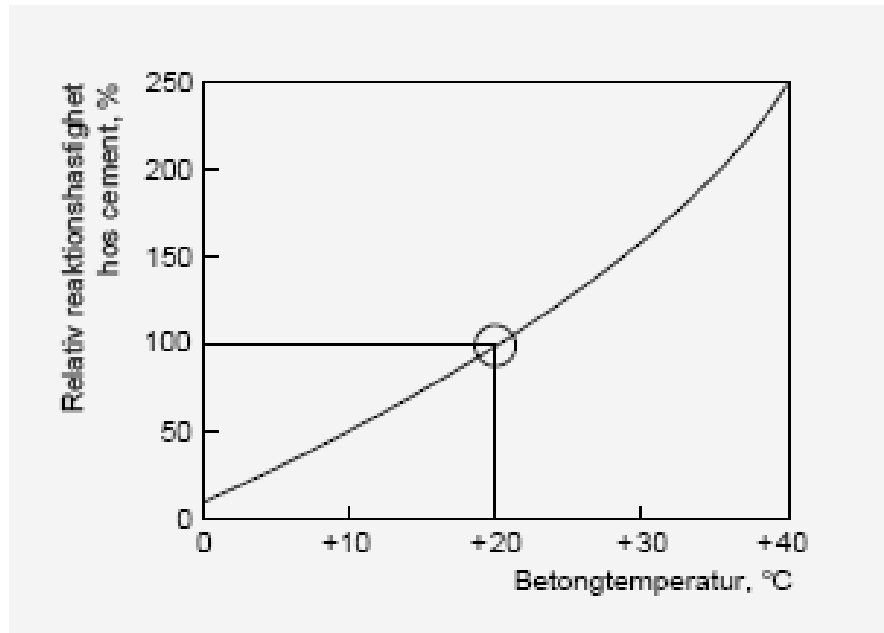


■ Samband mellan porositet och hållfasthet

Hållfasthet hos härdad pasta

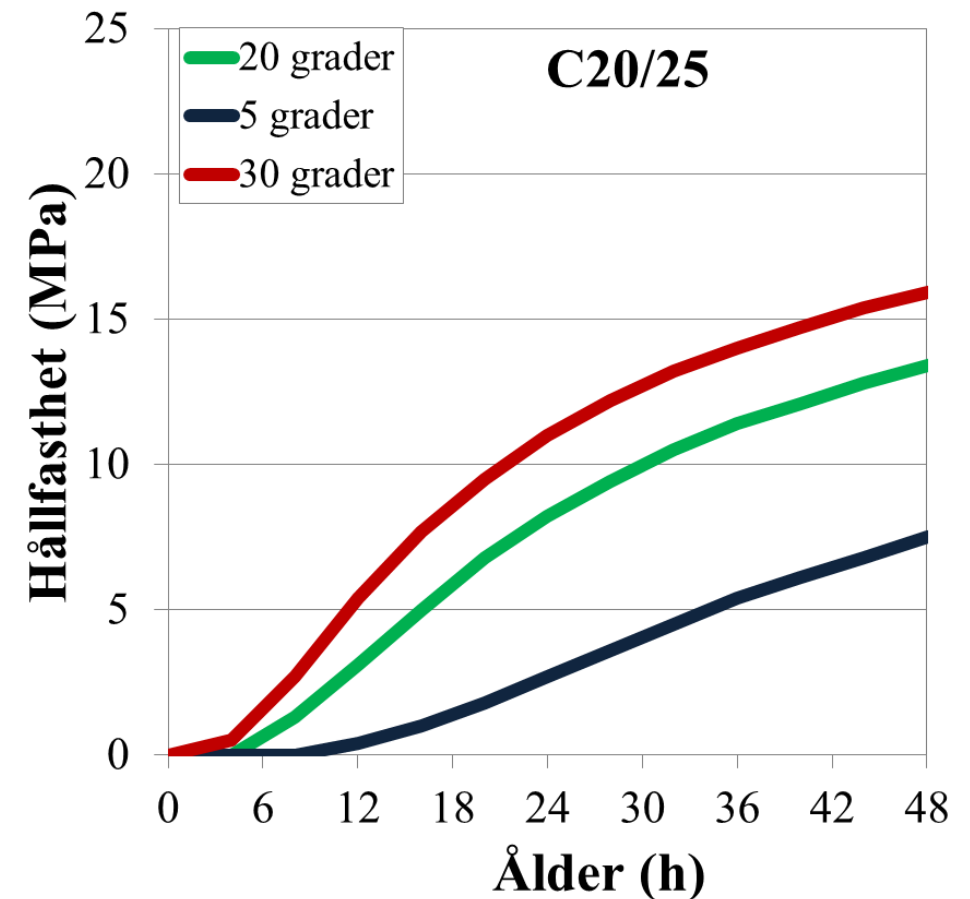


Temperaturens inverkan

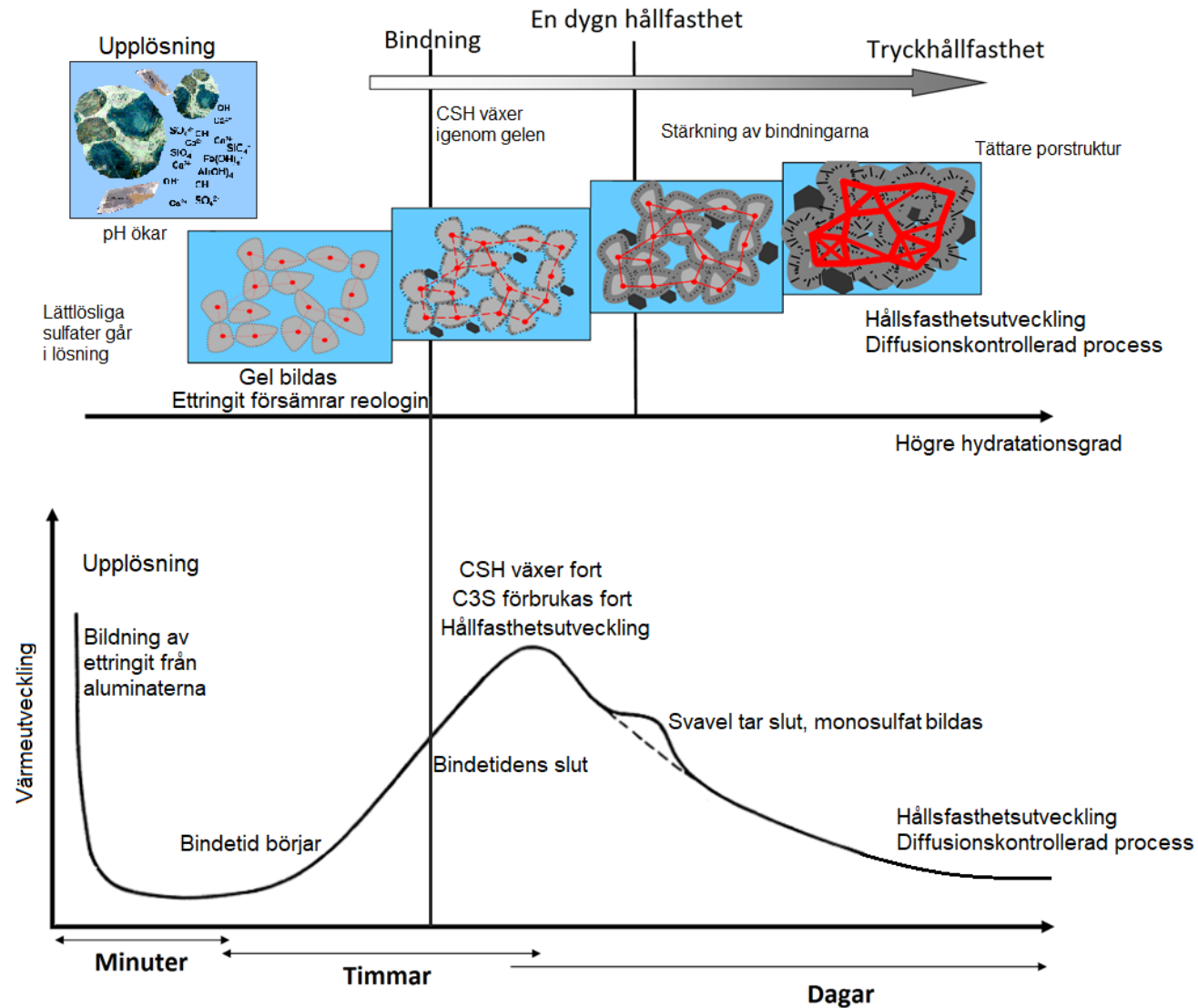


Figur 5. Reaktionshastigheten hos cement vid olika temperaturer. Kan användas för Std, SH, Bygg och Anl. Referenstemperaturen är 20°C.

Mätning vid Luleå Tekniska Universitet.

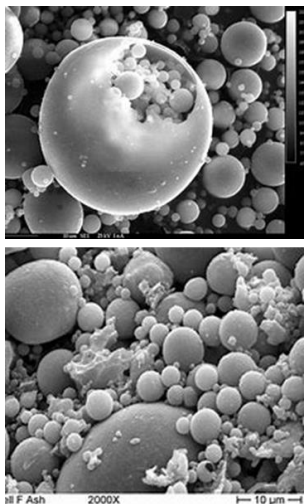


Sammanfattning

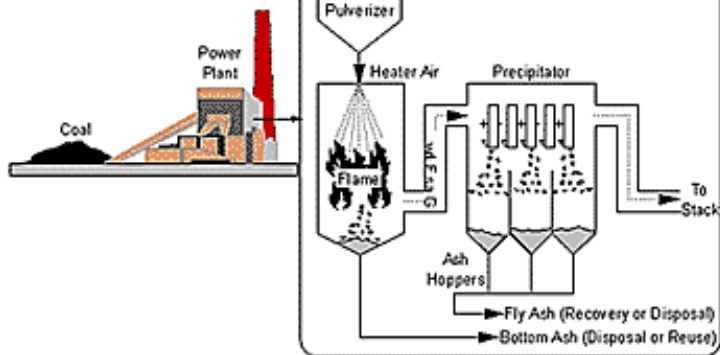


Tillsatsmaterial typ II

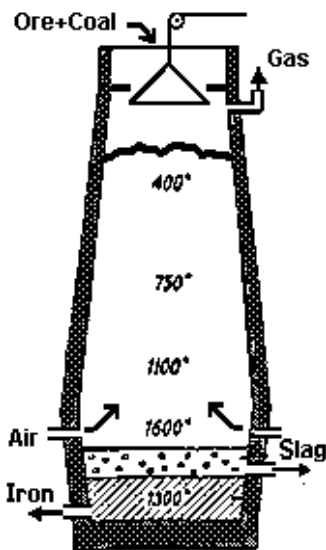
■ Supplementary cementitious materials (SCM)



Flygaska



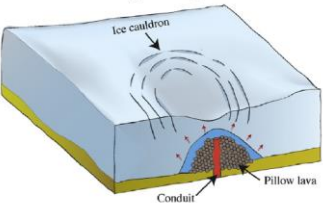
Slagg
(GGBS)



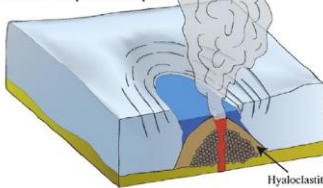
Vulkanaska



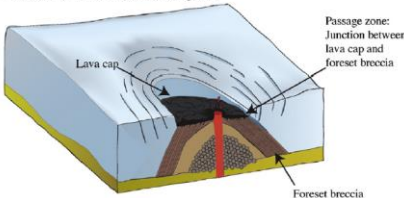
Phase 1: Effusive subglacial eruption



Phase 2: Explosive eruption



Phase 3: Effusive subaerial eruption



Tillsatsmaterial typ II

■ Pozzolanskt material

- Ett kiselhaltigt eller aluminium-kiselhaltigt material som i finfördelad form och i närvaro av fukt, reagerar kemiskt med kalcium hydroxiden (Ca(OH)_2) som frigörs vid hydratation av Portland-cement och tillsammans bildar föreningar som besitter cement egenskaper
- Producerar CSH och andra hydratationsprodukter
- Exempel på material:
 - Flygaska
 - Vulkan aska
 - Kalcinerad lera

■ Latent hydrauliska material

- Reagerar kemisk med vatten och bildar föreningar (hydrater) som har cementbaserande egenskaper (bildar CSH)
- Behöver en alkalisk aktivator. Denna kan vara en annan än Ca(OH)_2
- Exempel på material:
 - Snabb kyld masugnsslagg (GGBS)



Tillsatsmaterial typ II

■ Hydratation av tillsattsmaterial typ II

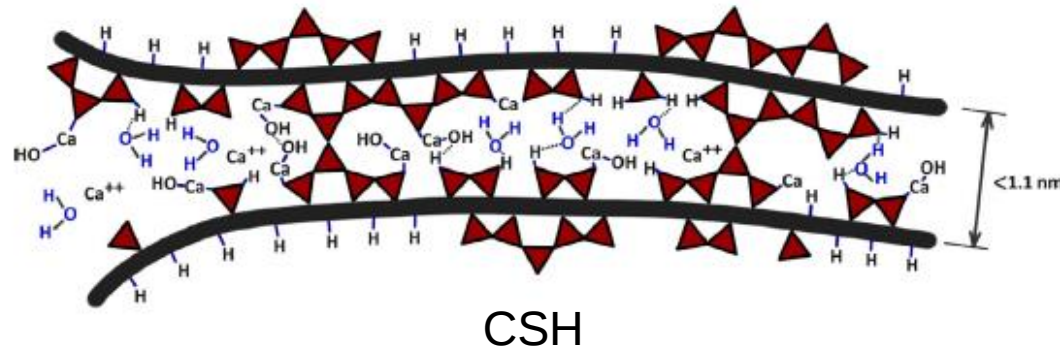
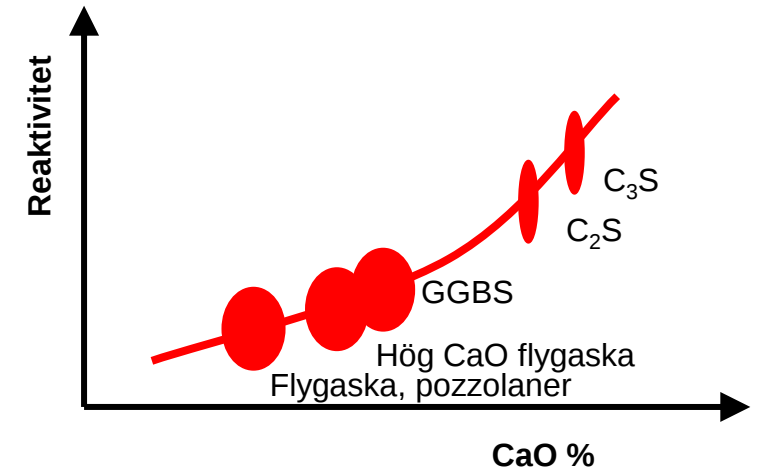
- Hydratation av cement (hydraulisk reaktion)



- Hydratation av flygaska i cement (pozzolansk reaktion)

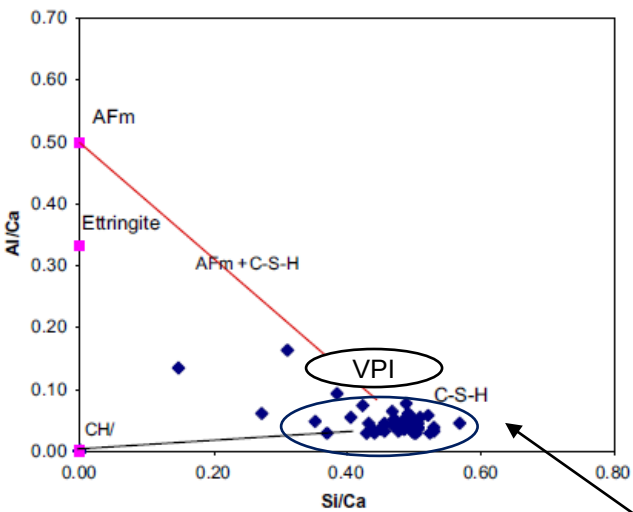
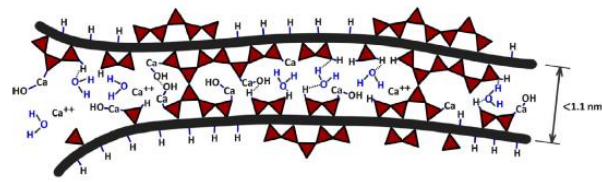


- Hydratation av slagg i cement (latent - hydraulisk reaktion)



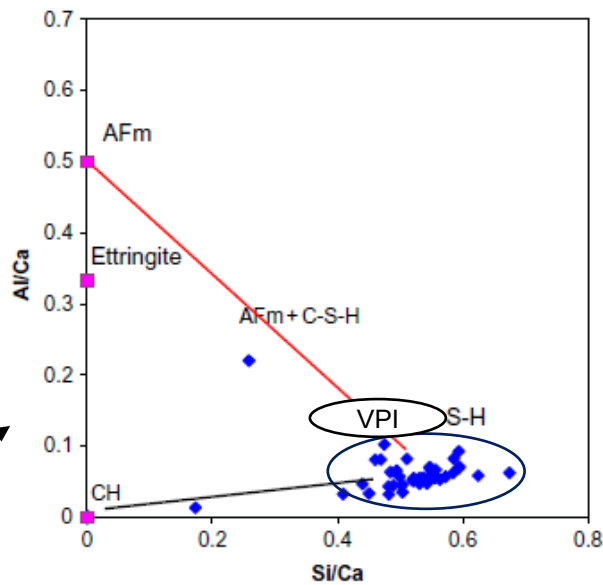
Tillsattematerial typ II

Hydraulisk reaktivitet

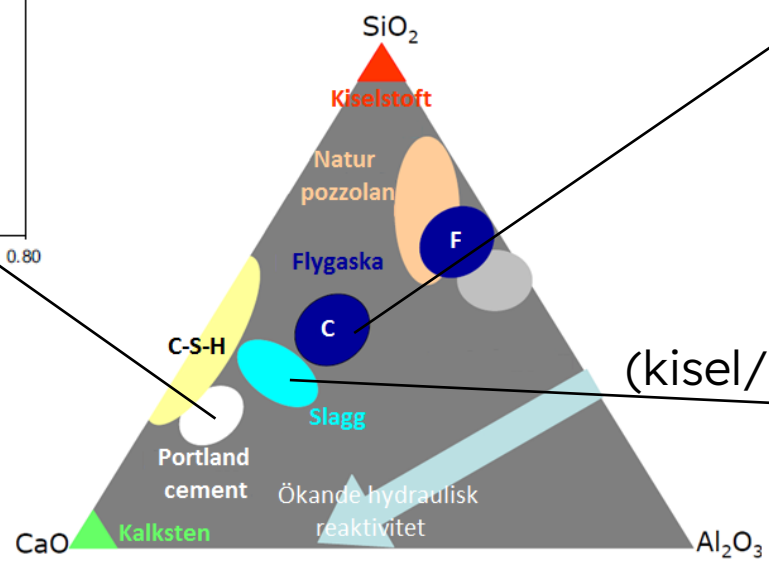
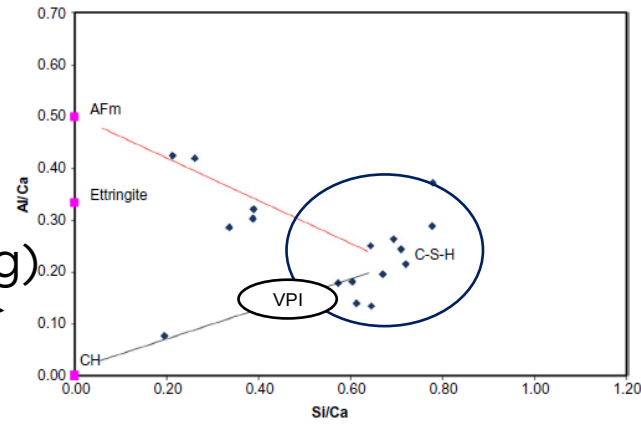


Portland cement
(kalciumrik)

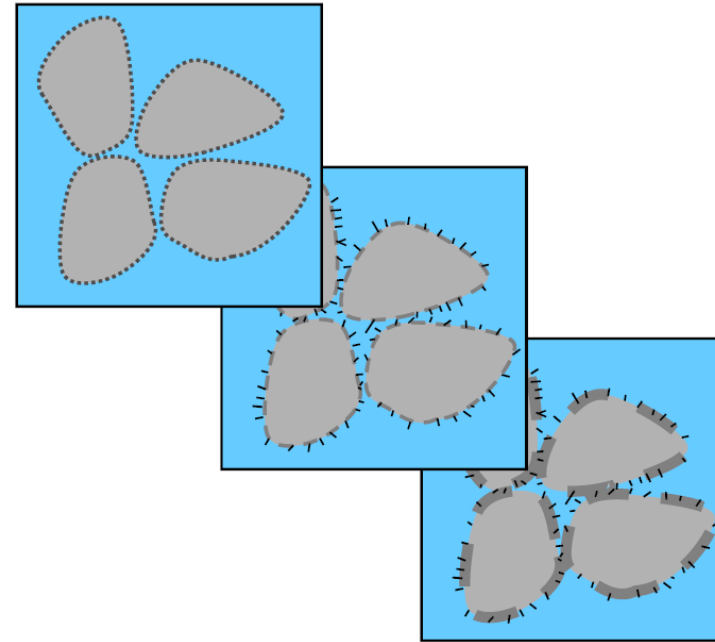
Flygaska
(kiselhaltig)



Slagg
(kisel/aluminumhaltig)



Frågestund



Frågor och funderingar kan skickas till:
jose_aguirre@heidelbergmaterials.com