

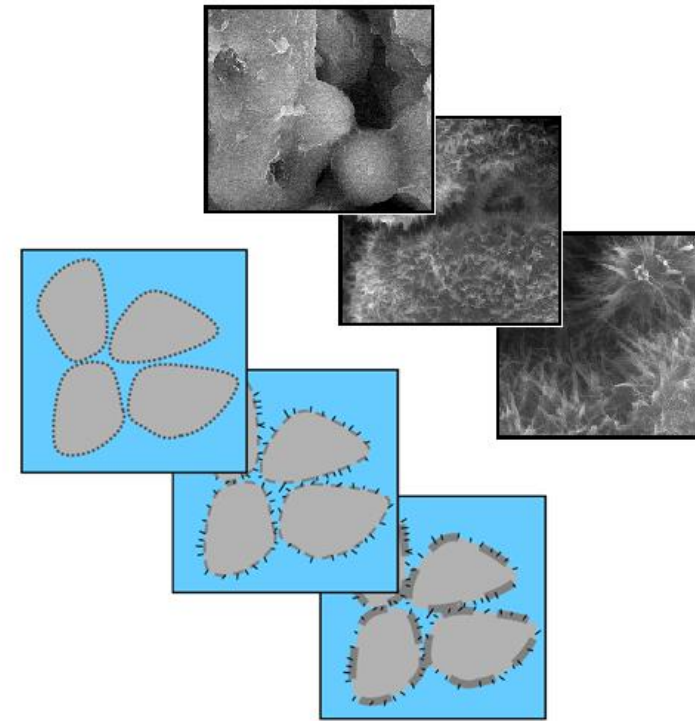
Cementhydration

2024

José Aguirre Castillo

Processingenjör, Heidelberg Materials Cement

Doktorand i termisk processkemi, Umeå Universitet



Överblick

■ Hydratation

- Vad är hydratation?

■ Hydratation av klinkermineraler

- Vad bildas från klinker?

■ Tidsförlopp

- Värmeutveckling
- Bindetid

■ Fysikaliska egenskaper

- Porstruktur
- Vattencementtal

■ Tillsattsmaterial typ II (SCM)

- Skillnaden mellan cement samt latent hydrauliska och pozzolansk tillsattsmaterial?
- 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

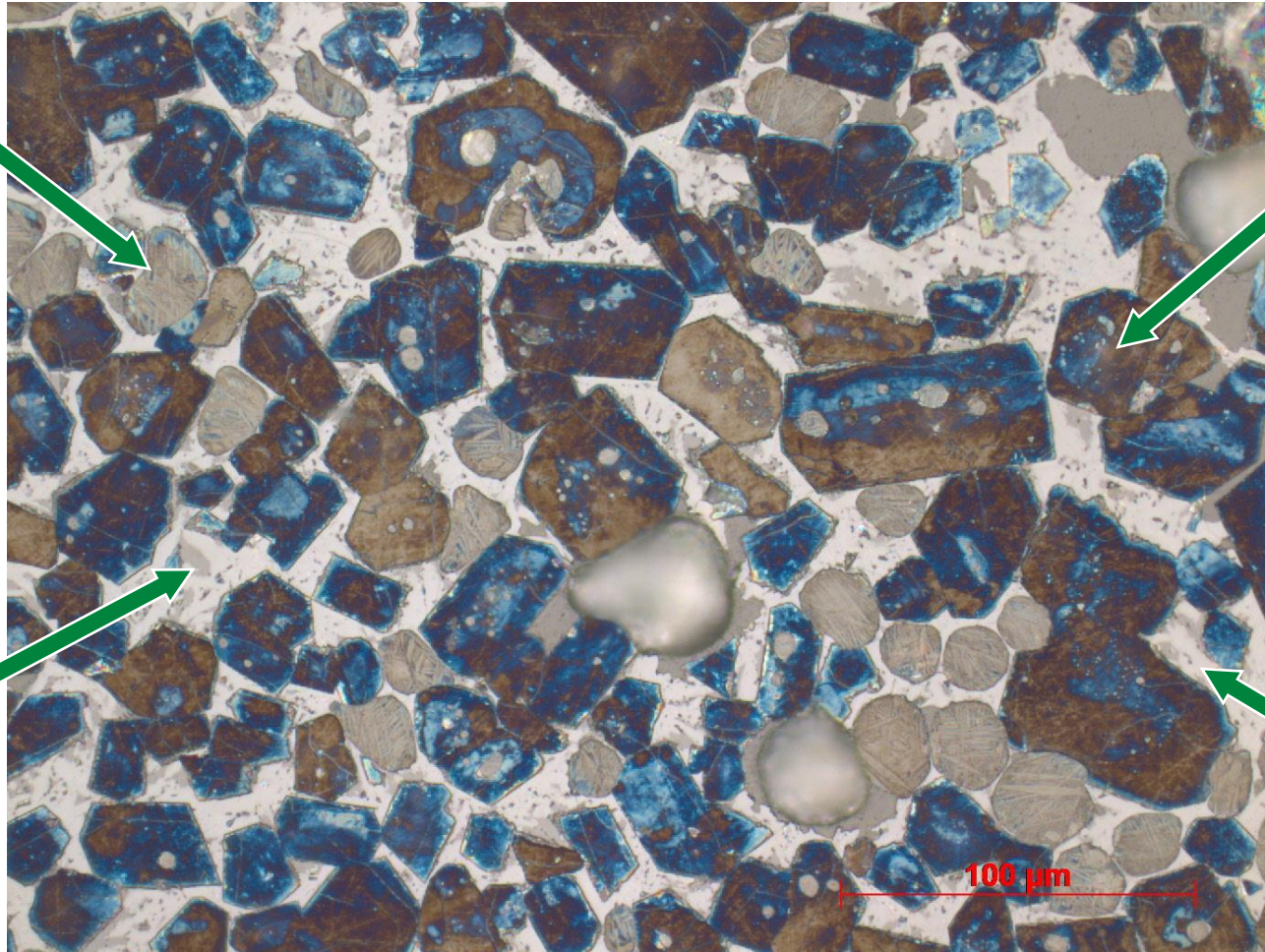
■ Klinker

"Belit" C_2S
 $2CaO \cdot SiO_2$

"Alit" C_3S
 $3CaO \cdot SiO_2$

"Alumina" C_3A
 $3CaO \cdot Al_2O_3$

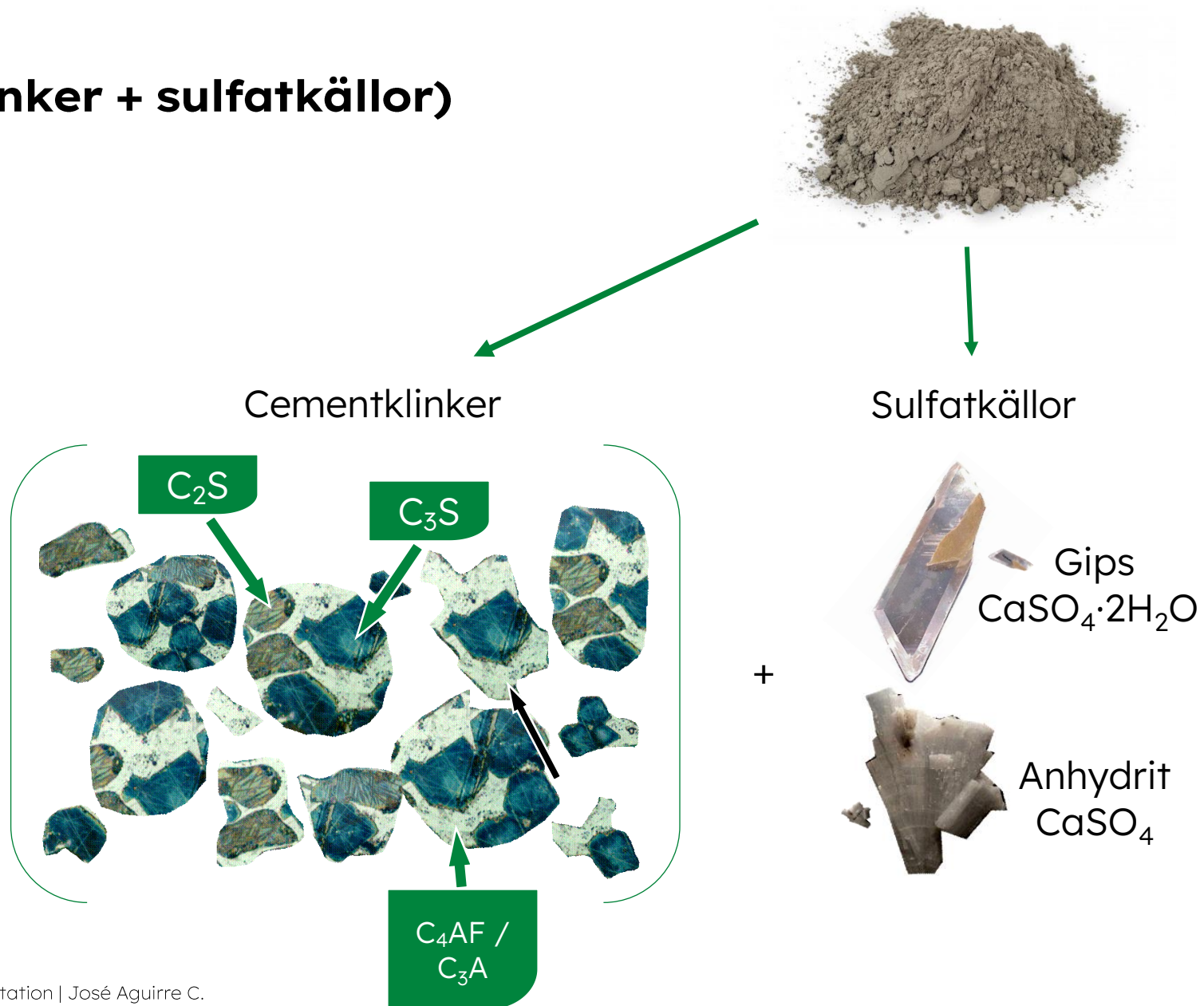
"Ferrit" C_4AF
 $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$



Degerhamn Ugn 3, x500

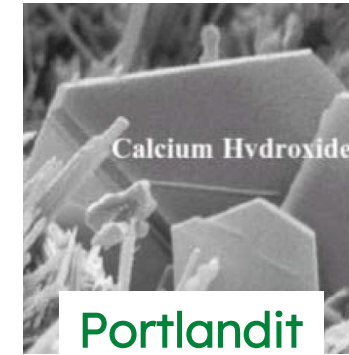
Ohydratiserat material

■ Cement (klinker + sulfatkällor)

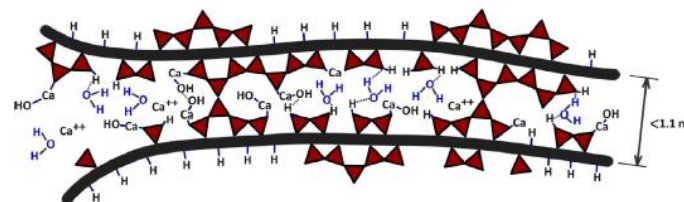
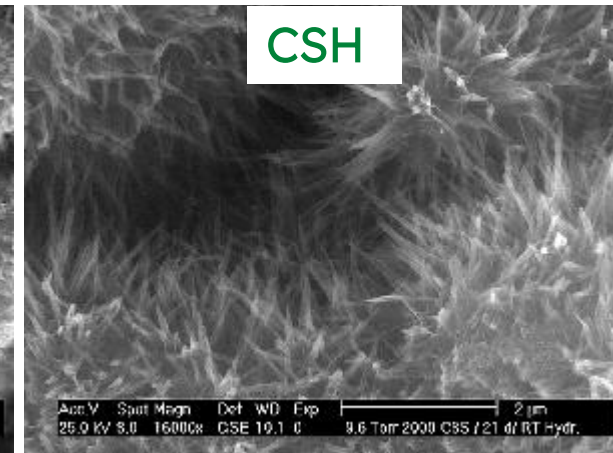
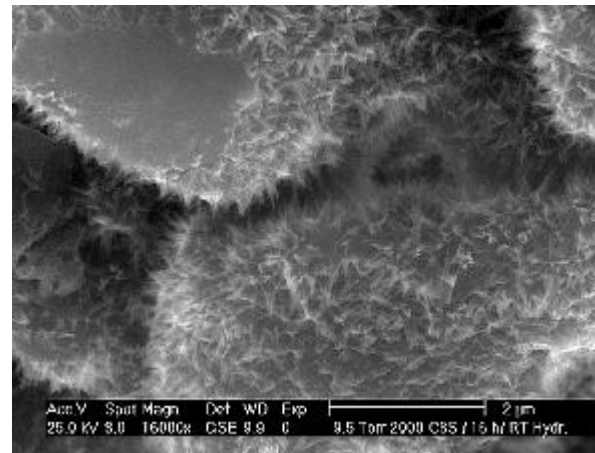
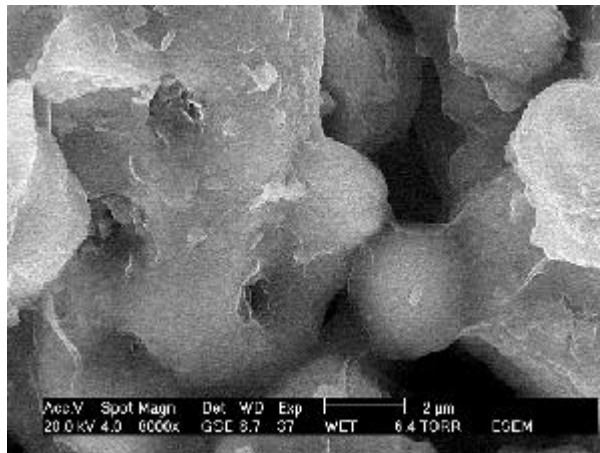


Hydratation - Silikaterna

- Alit (C_3S) + 5,3 H_2O → $C_{1,7}-S-H_4$ + 1,3 Portlandit ($Ca(OH)_2$)
- Belit (C_2S) + 4,3 H_2O → $C_{1,7}-S-H_4$ + 0,3 Portlandit



Högre hållfasthet →



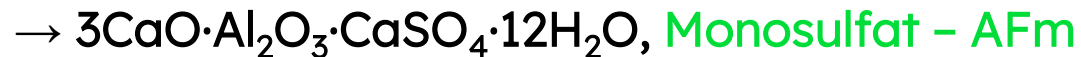
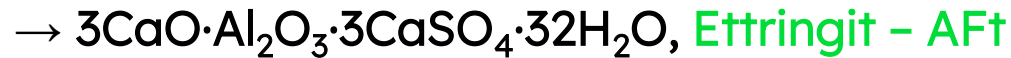
C-S-H
Calcium silicate hydrate

Hydratation - Aluminaterna

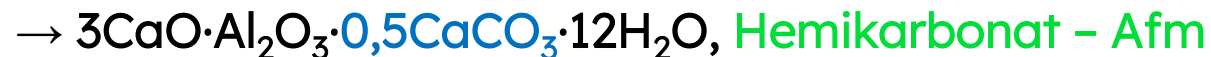
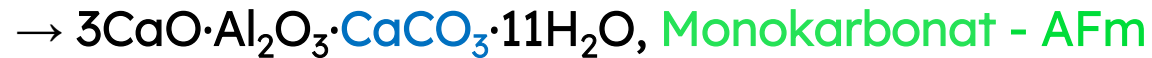
■ Hydratation av aluminat (ferrit) fasar



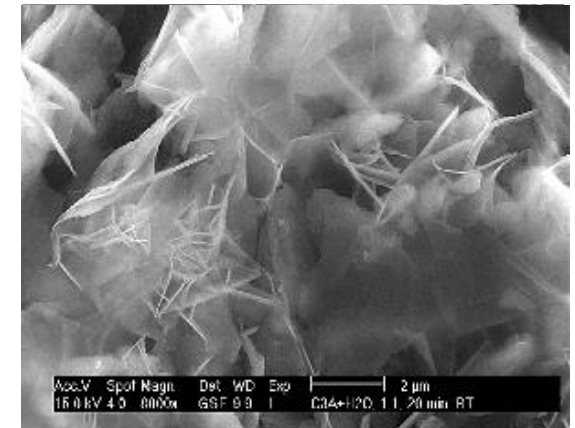
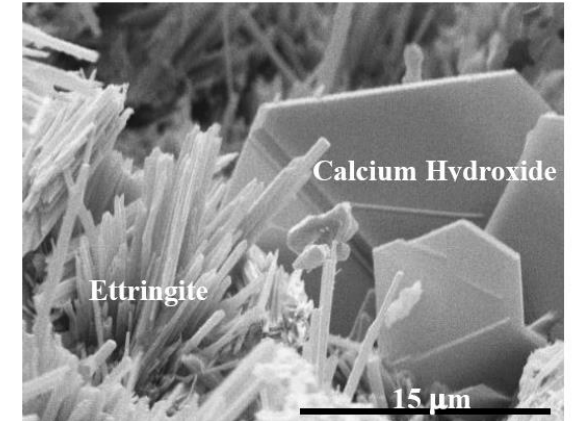
Sulfatinnehåll



Kalkfiller



Sekundära reaktioner



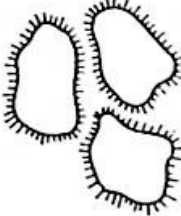
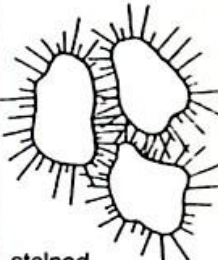
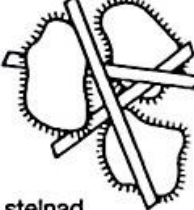
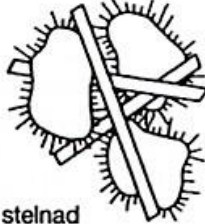
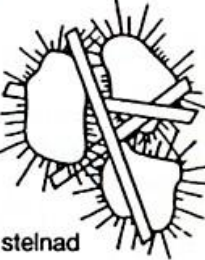
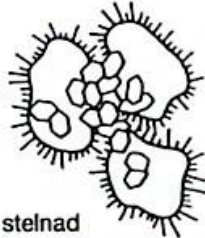
Hydratation - SO₃

Falsk bindning

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

Snabbbindning

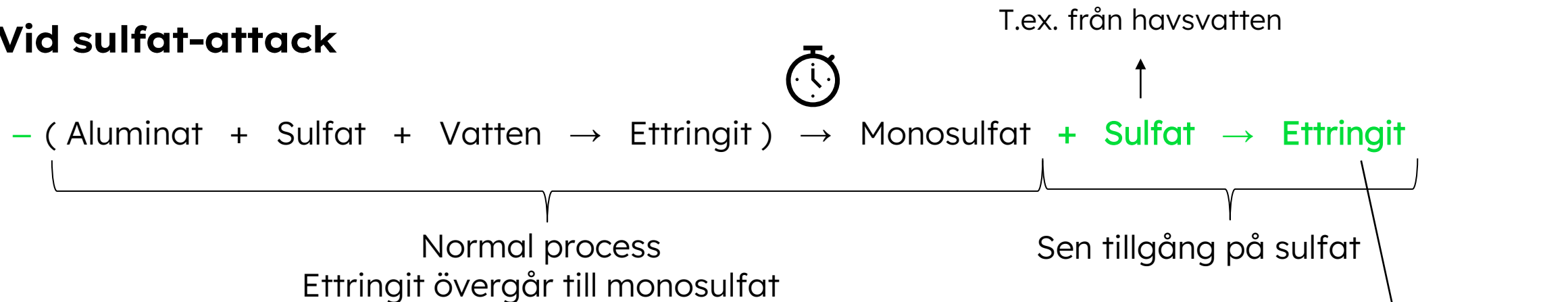
- Kan inträffa pga. överreaktivitet hos aluminaten i förhållande till sulfaten
- Bindningen låter sig inte upphävas utan är permanent

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

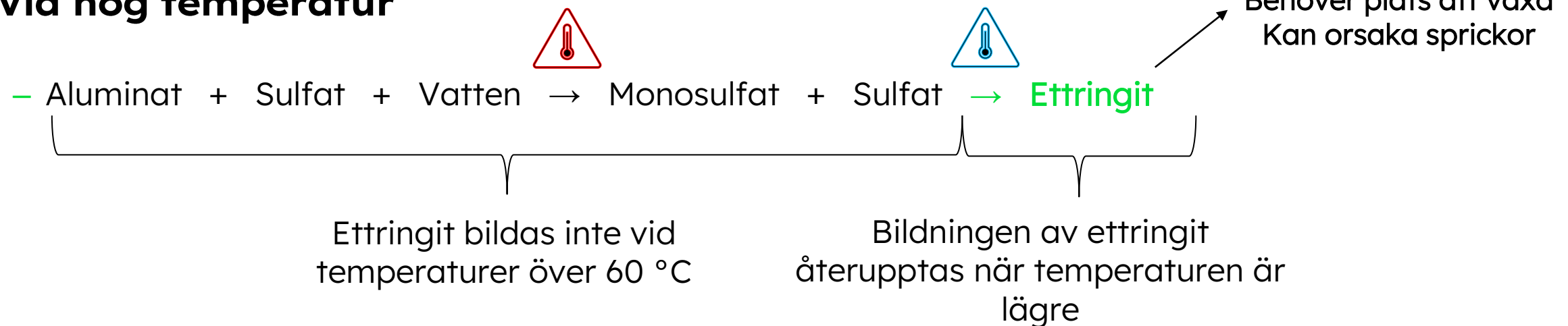


Sen ettringit-bildning (DEF)

■ Vid sulfat-attack



■ Vid hög temperatur



Hydratation - Tidsförlopp

1. För-induktionsperiod (minuter)

- Upplösning
- Utfällning
- Första värmeutveckling

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

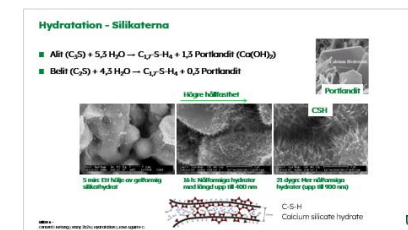
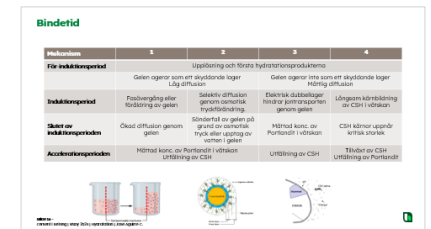
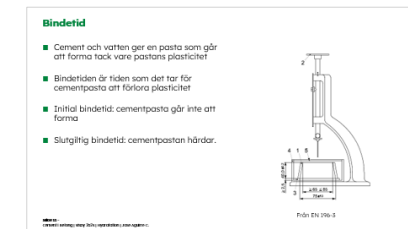
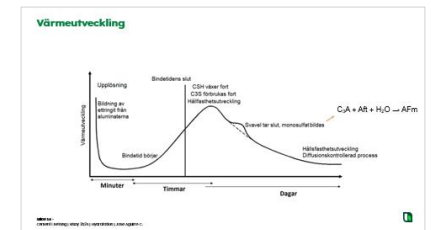
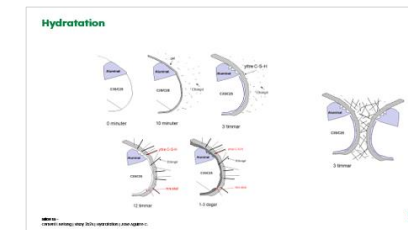
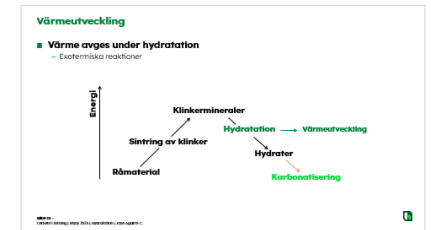
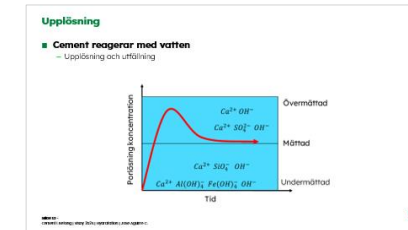
- Långsam reaktion
- Diffusion

3. Accelerationsperiod (3 – 12 h efter blandning)

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

4. Decelerationsperiod

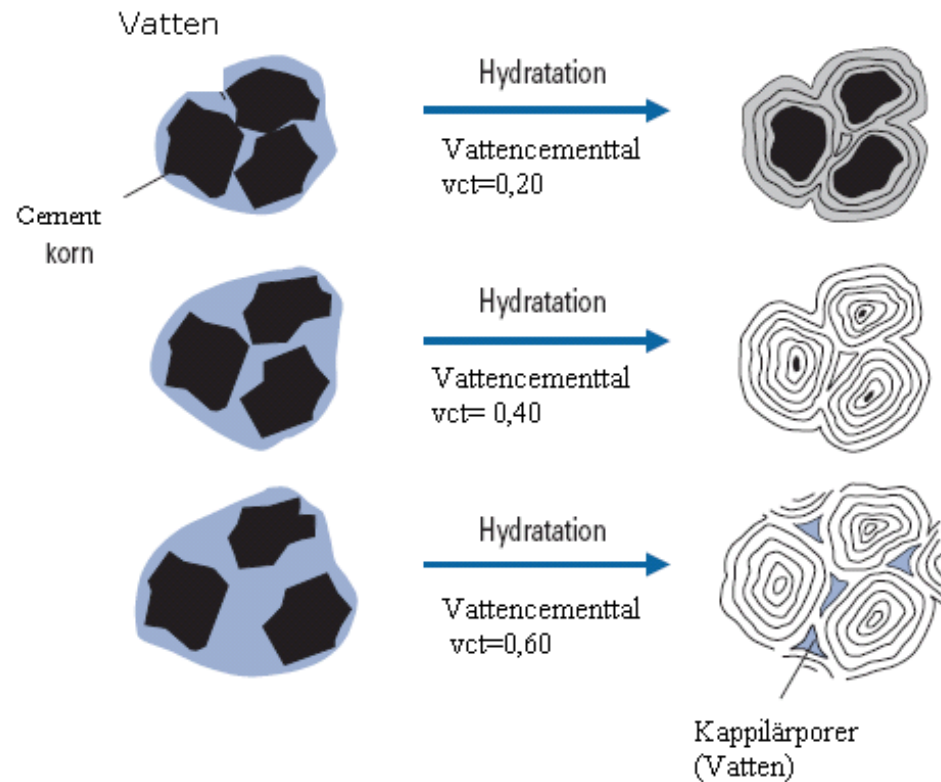
- Långsamma reaktioner
- Hållfasthetstillväxt



Porstruktur

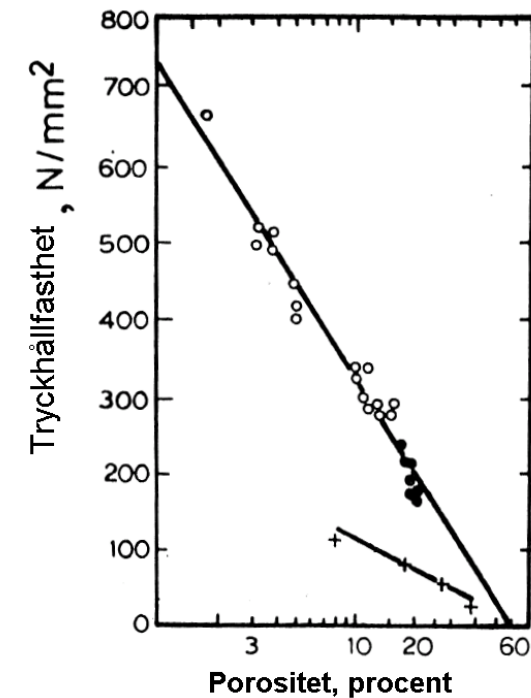
■ Vattencementtal, vct

- Hydratationsgrad

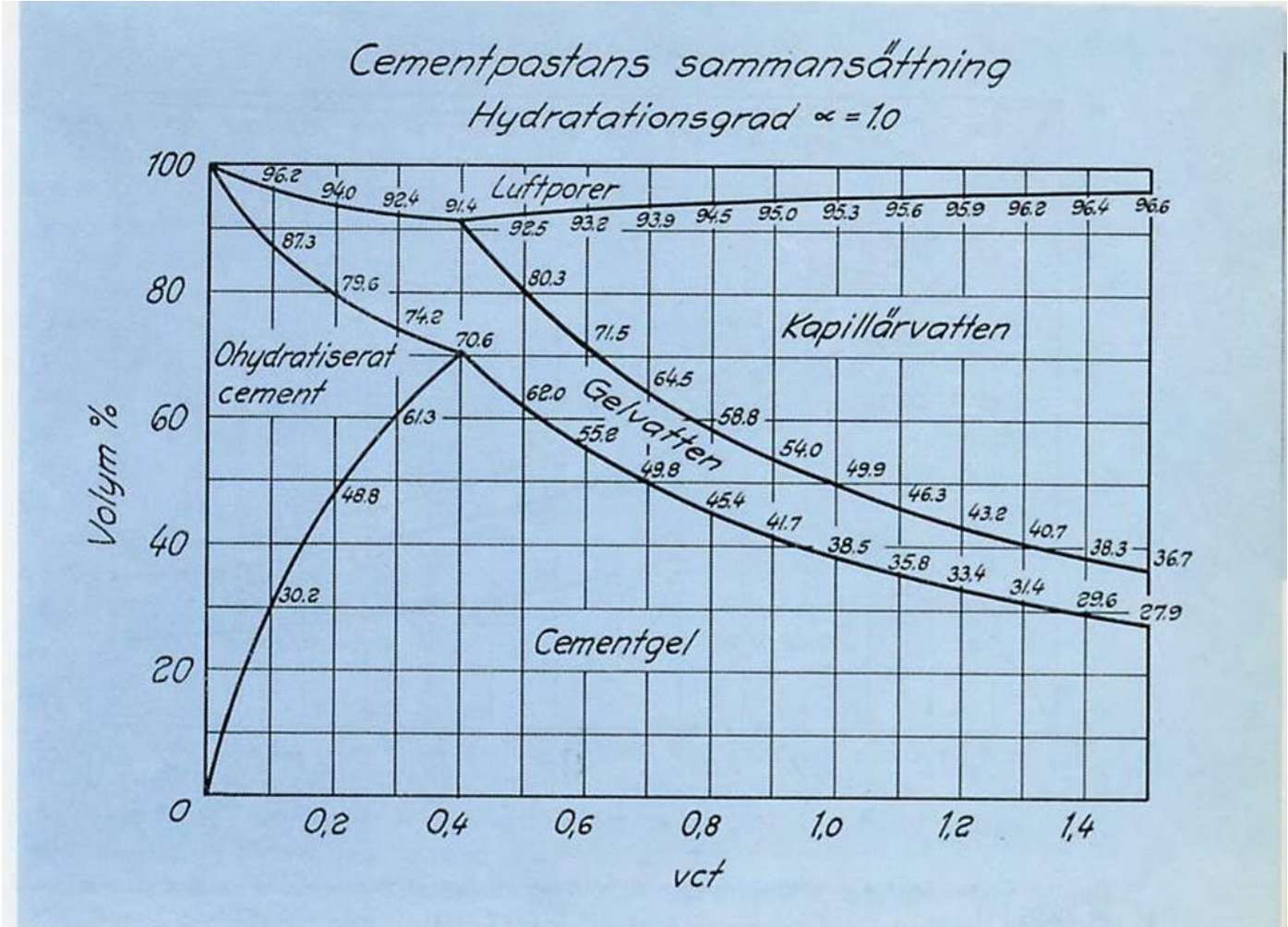


■ Samband mellan porositet och hållfasthet

Hållfasthet hos härdad pasta



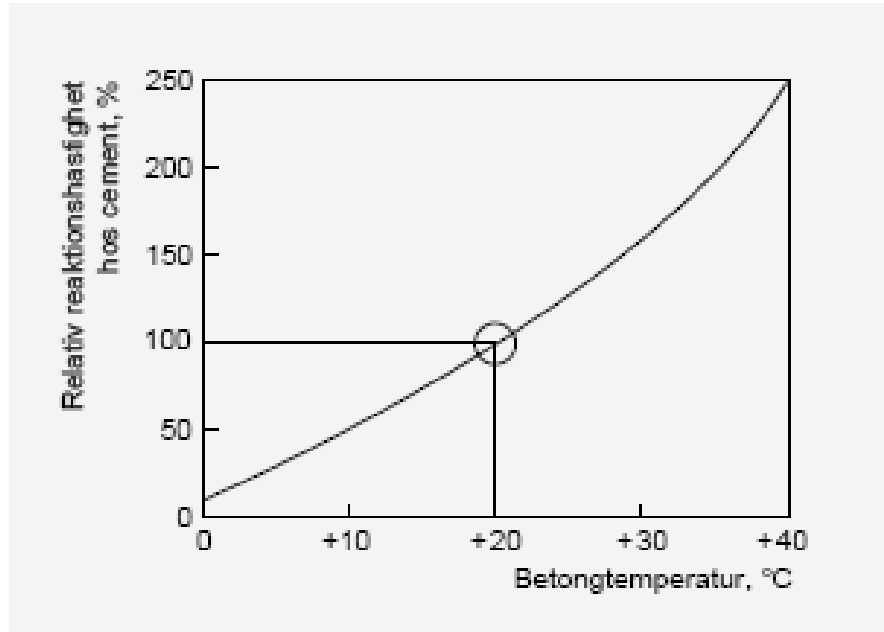
Cementpastans sammansättning och hydratationsgrad



Treval Clifford Powers

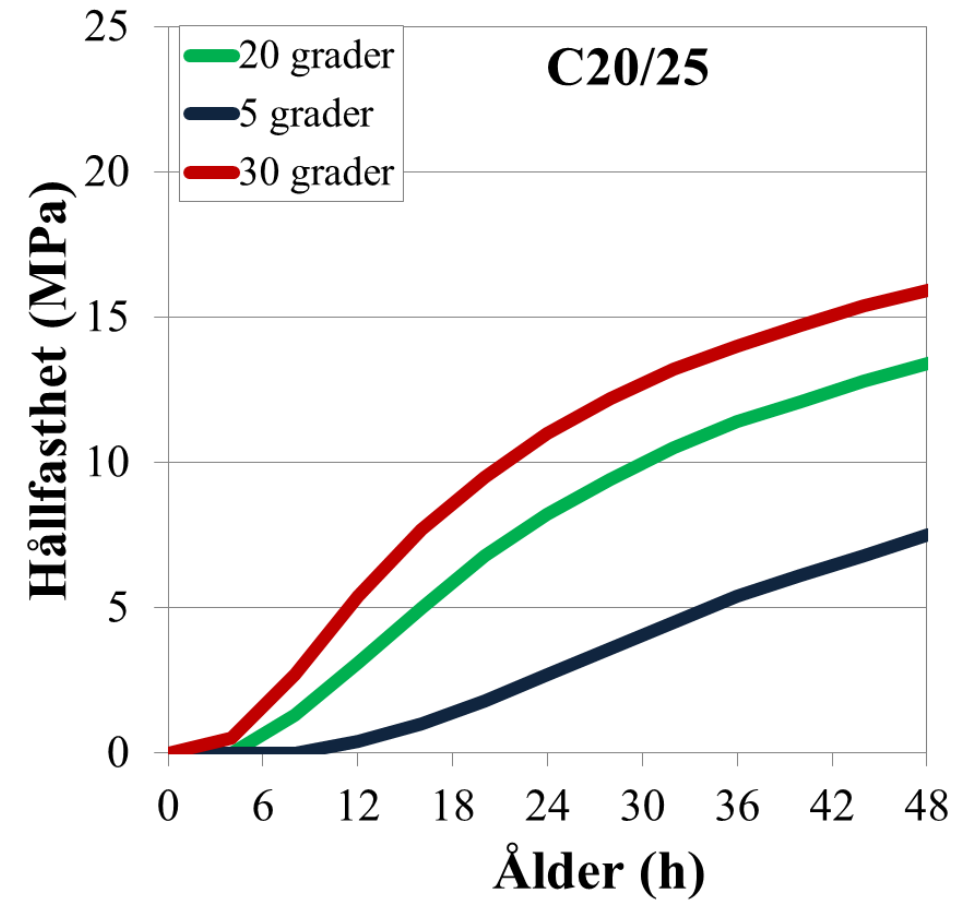


Temperaturens inverkan

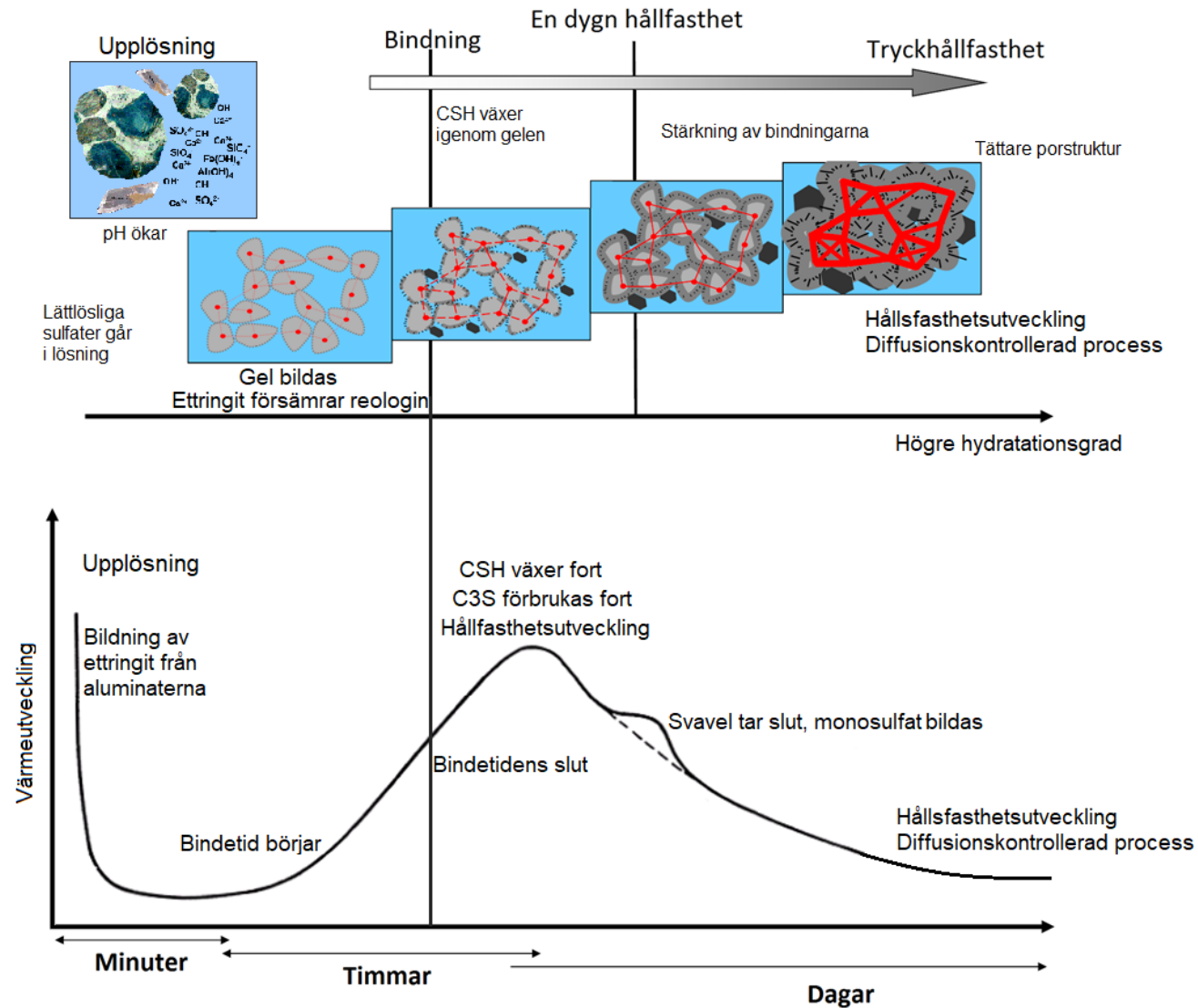


Figur 5. Reaktionshastigheten hos cement vid olika temperaturer. Kan användas för Std, SH, Bygg och Anl. Referenstemperaturen är 20°C.

Mätning vid Luleå Tekniska Universitet.



Sammanfattning

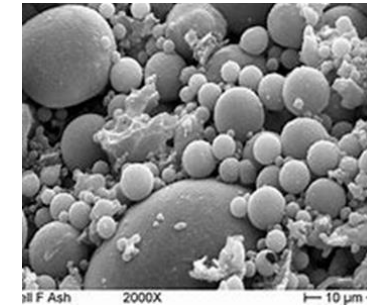


Tillsatsmaterial typ II

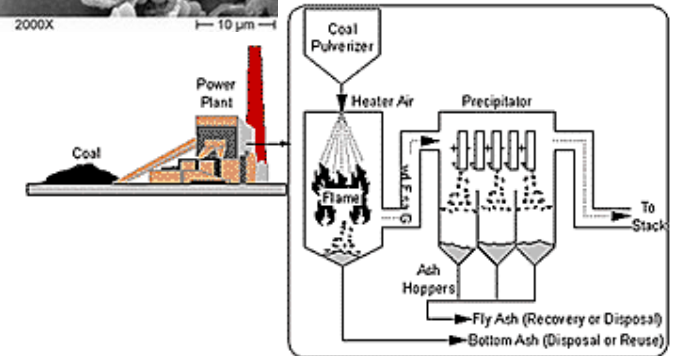
■ Supplementary cementitious materials (SCM)

■ Pozzolanskt material

- Kisel eller aluminium-kisel haltig
- Reagerar tillsammans med Ca(OH)_2 och vatten
- Bildar C-S-H och andra hydratationsprodukter
- Exempel på material:
 - Flygaska
 - Vulkan aska
 - Kalcinerad lera

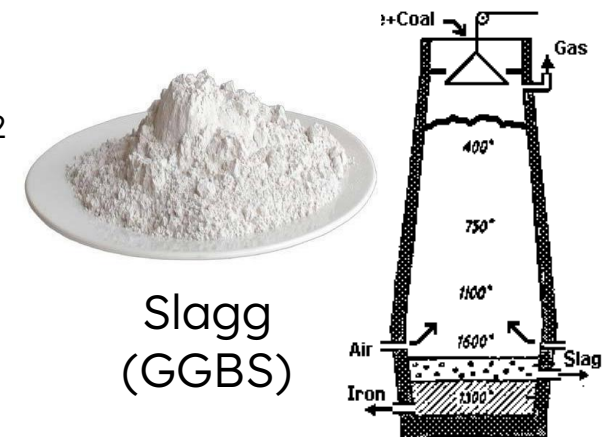


Flygaska



■ Latent hydrauliska material

- Aluminium-kisel haltig
- Behöver en alkalisk aktivator, som kan vara en annan än Ca(OH)_2
- Bildar C-S-H och andra hydratationsprodukter
- Exempel på material:
 - Snabb kylt masugnsslagg (GGBS)



Tillsatsmaterial typ II

■ Hydratation av tillsattsmaterial typ II

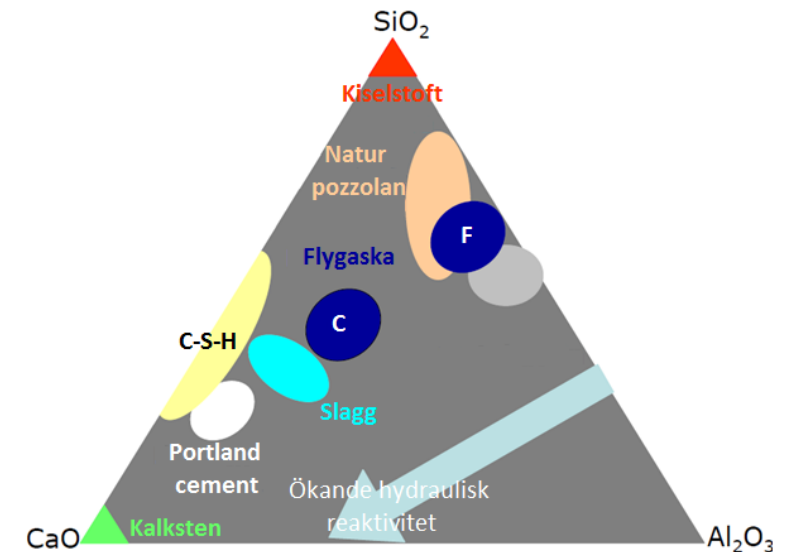
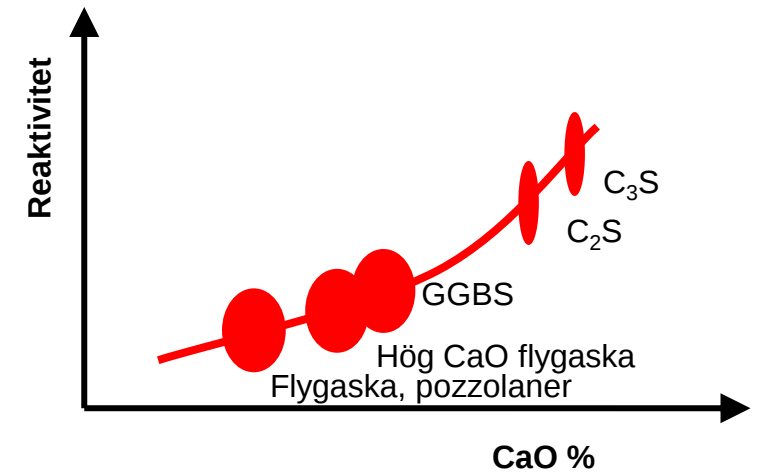
- Hydratation av cement (**hydraulisk reaktion**)



- Hydratation av flygaska i cement (**pozzolansk reaktion**)



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

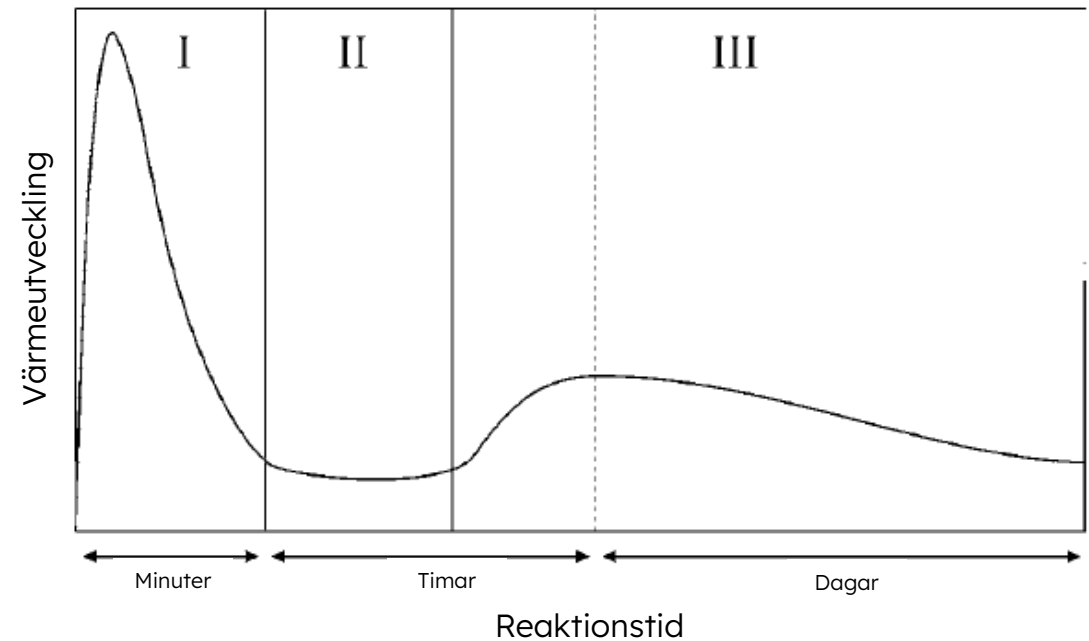


Tillsattsmaterial typ II - Reaktivitet

Snellings, 2012

- I: Upplösningsperiod
 - pH och Kinetik
 - Upplösning av silika och silikater
- II: Induktionsperiod
 - Teori 1: Bildning av amorf lager av Si och Al på SCM ytan som bromsar. Si och Al binder Ca långsamt tills att C-S-H och C-A-H fälls ut.
 - Teori 2: metastabil C-S-H och C-A-H bildas på ytan
- III: Accelerationsperiod
 - Kortlivad acceleration som bromsas av bland annat SCM partiklarnas morfologi, storlek, porstruktur hos cementpastan och tillgång på vatten

System med Ca(OH)_2 och amorf silika



Bonus - Syntetisk SCM från återanvänd betong

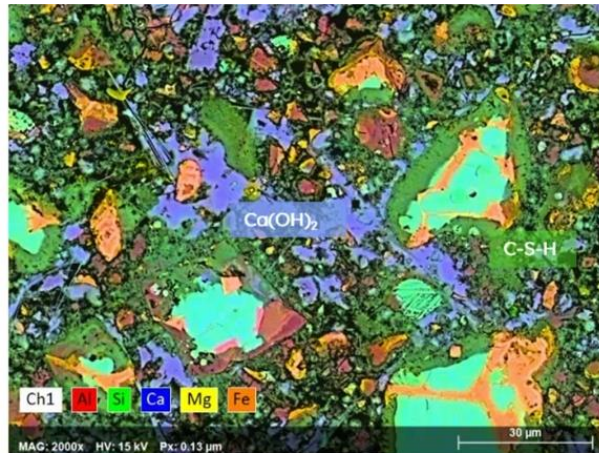
Förbehandling

- Krossad och siktad betong, <4 mm
- Klassificerade partiklar
- 30 % hydratiserat cement pasta
- Spår av klinker mineraler

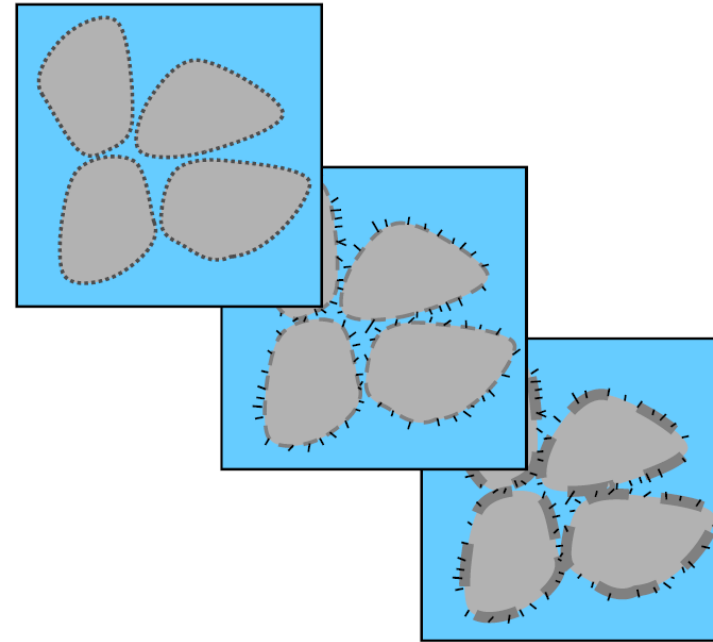
Aktivering

- $\text{C-S-H} + \text{Ca(OH)}_2 + \text{AFt} + \text{Afm} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-gel} + \text{H}_2\text{O}$

Pozzolanisk aktivitet



Frågestund



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