



Cement#hýdratation

Cement i Betong | Visby | Cemenhydratation | José Aguirre C.
2025.05.06



- 1; **Hýdratation**
Vad är hydratation?
- 2; **Hýdratation av klinkermineraler**
Vad bildas från klinker?
- 3; **Tidsförlopp**
Värmeutveckling, bindetid, mm
- 4; **Gysislika egenskaper**
Porstruktur, vattencementtal, mm
- 5; **Tillsattematerial typ IJSN—**
Latent hydrauliska och pozzolansk tillsattsmaterial



Hýdratation

Kemiska definitionen

- Reaktion av ett ohydratiserat material med vatten som genererar ett nytt material, en hydrat
 - $\text{Fri CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$

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)



Cementkemi

Kemiska förkortningar

- $\text{CaO} = \text{C}$
- $\text{SiO}_2 = \text{S}$
- $\text{H}_2\text{O} = \text{H}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$
- $\text{H}_2\text{O} = \text{H}$
- $\text{SO}_3 = \bar{\text{S}}$
- $\text{CO}_2 = \bar{\text{C}}$

Namn	Förkortning	Kemisk formel
Alit	C_3S	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Belit	C_2S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Aluminat	C_3A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
Ferrit	C_4AF	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
kalciumsulfatdihydrat / gips	$\text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
kalciumpkarbonat	$\text{C}\bar{\text{C}}$	CaCO_3
Kalciumsilikathydrat	C-S-H	$(\text{CaO})_x \cdot \text{SiO}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_y$
Portlandit	CH	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Ettringit / AFt	$\text{C}_6\text{A}\bar{\text{S}}_3\text{H}_{32}$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$
Monosulfat / AFm	$\text{C}_3\text{A}\bar{\text{S}}\text{H}_{11}$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$



Öhýdratiserat material

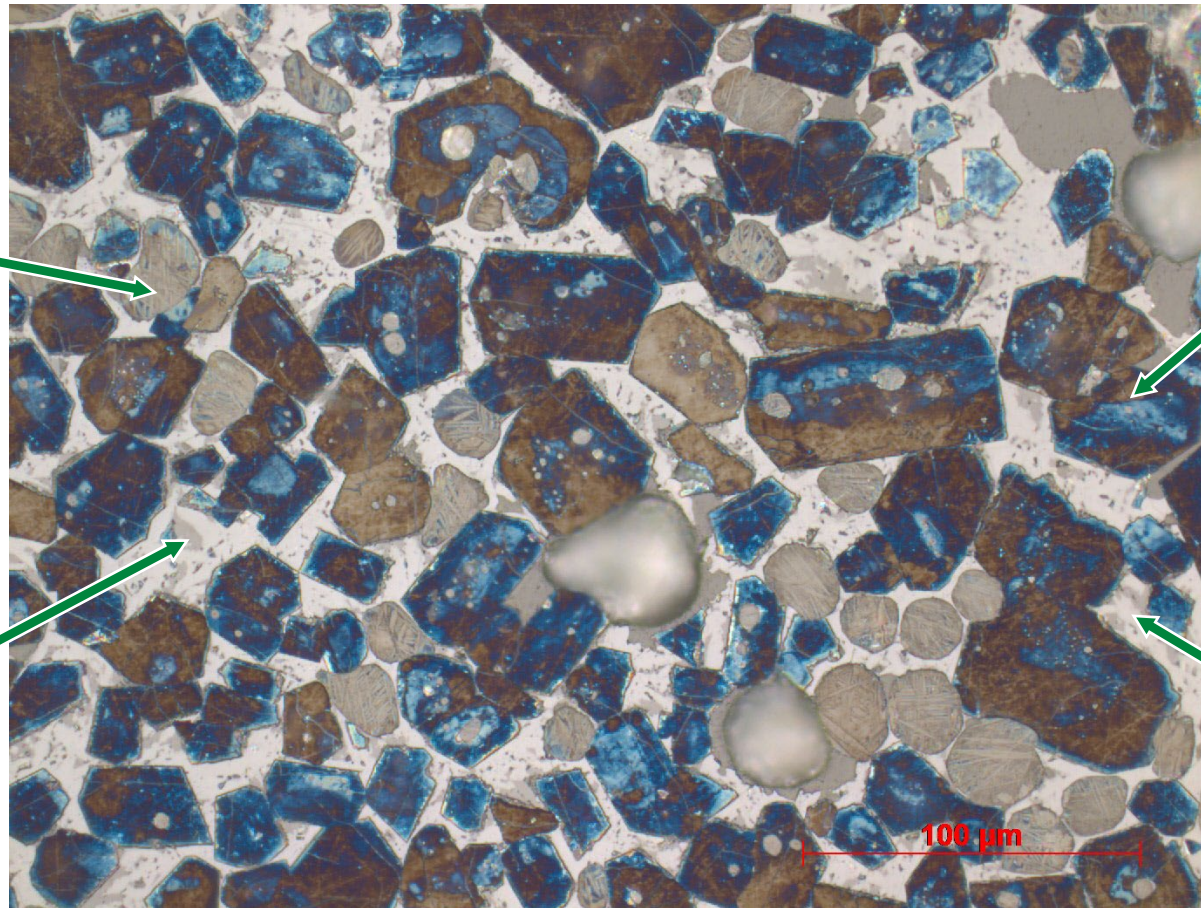
Klinker

Belit / C_2S

Alit / C_3S

Aluminat / C_3A

Ferrit / C_4AF



Degerhamn Ugn 3

Öhýdratísefat mataría

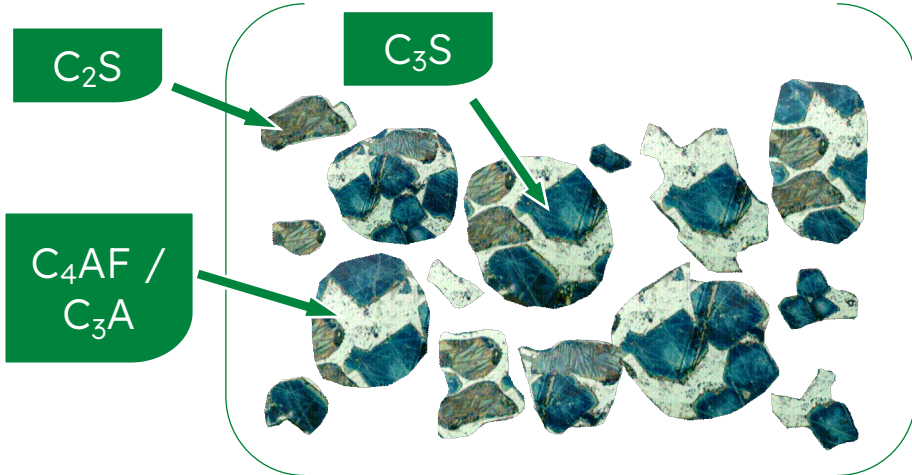
Cementets bestandsdelar

- Klinker + Sulfat + Tillsattsmaterial + Filler

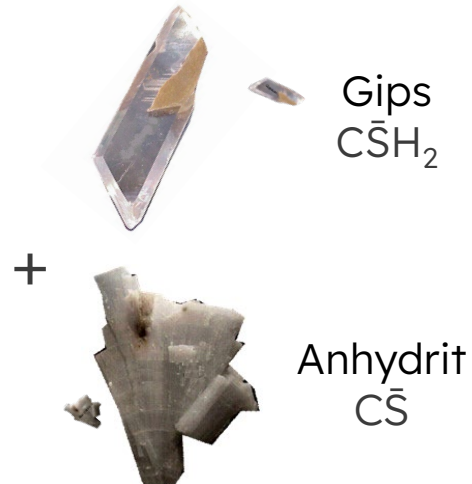


Cement

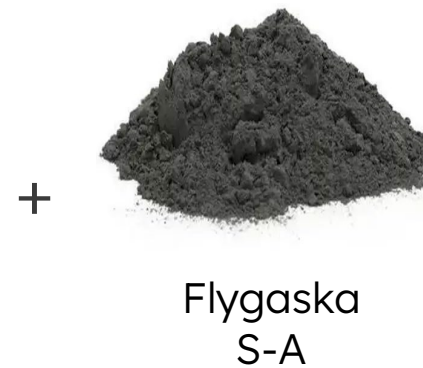
Cementklinker



Sulfat



Tillsattsmaterial typ II



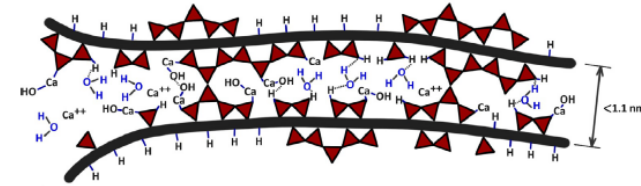
Tillsatsfiller



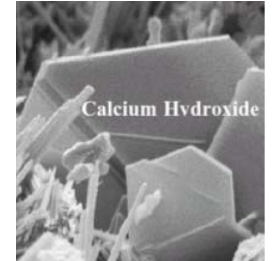
Hýdratation] Šilikaterna

Silikaternas reaktion med vatten

- $C_3S + 5,3 H \rightarrow C_{1,7}S-H_4 + 1,3CH$
- $C_2S + 4,3 H \rightarrow C_{1,7}S-H_4 + 0,3CH$

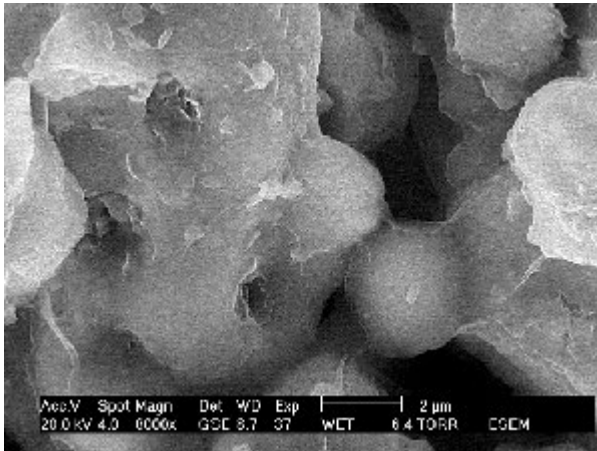


C-S-H - Kalcium-silikat-hydrat

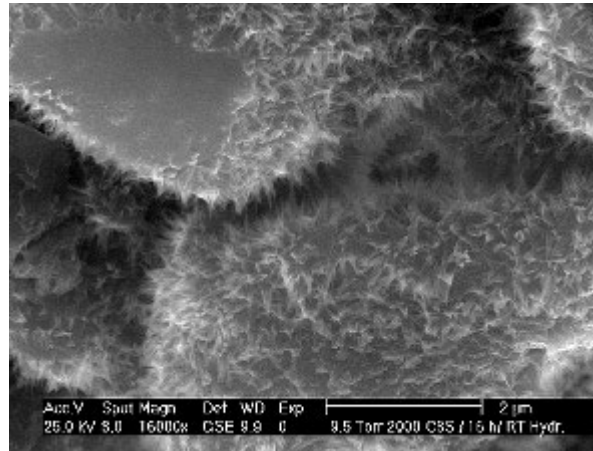


Portlandit – CH

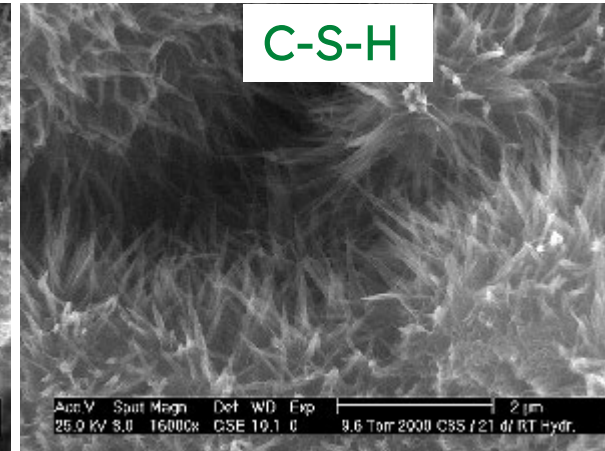
Högre hållfasthet



5 min: Ett hölje av gelformig silikathydrat



16 h: Nålformiga hydrater med längd upp till 400 nm



21 dygn: Mer nålformiga hydrater (upp till 900 nm)

Hýdratation] Alúminatérna

Hydratation av aluminat (ferrit) faser

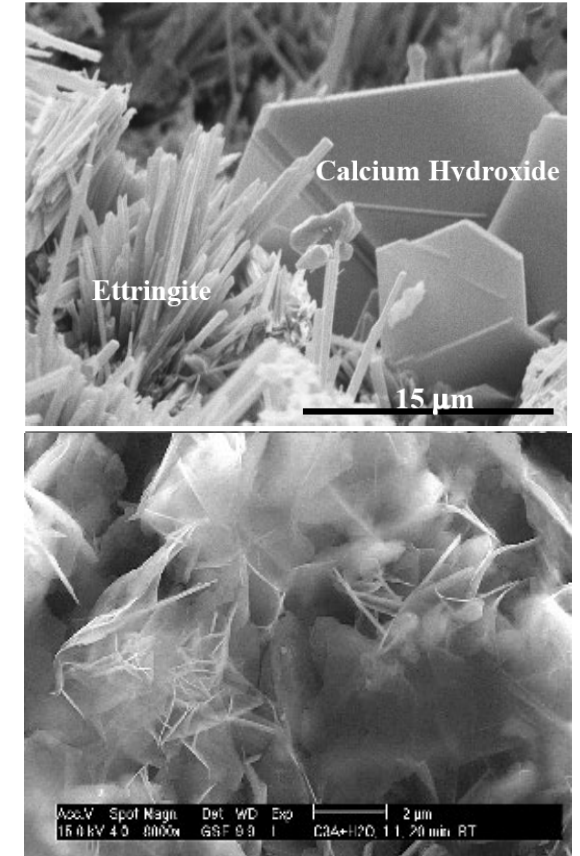
Sulfatinnehåll



- $C_3A + 3\bar{C}\bar{S}H_2 + 26H \rightarrow C_6\bar{A}\bar{S}_3H_{32}$ (**ettringit / AFt**)
- $2C_3A + C_6\bar{A}\bar{S}_3H_{32} + 4H \rightarrow 3C_3\bar{A}\bar{S}H_{12}$ (**monosulfat / AFm**)
- $C_3A + CH + 11H \rightarrow C_4AH_{12}$

Kalkfiller

- $C_3A + C\bar{C} + 11H \rightarrow 2C_4\bar{A}\bar{C}H_{11}$ (**monokarbonat / AFm**)
- $C_3A + 0.5C\bar{C} + 11H \rightarrow 2C_4\bar{A}\bar{C}_{0.5}H_{11}$ (**hemikarbonat / AFm**)



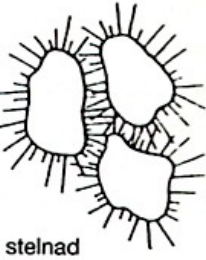
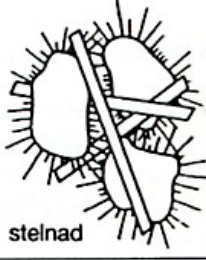
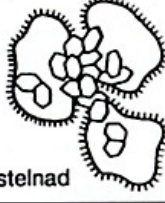
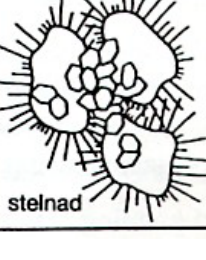
Hýdratation) Iðverkan av ŠÖ₃

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 Utfäld gips i porer  stelnad	 stelnad	 stelnad
För låg	Ettringitskal CAH och monosulfat i porer  stelnad	 stelnad	 stelnad



Šeń e#rĩngi#bĩldńĩng –DEG–

Vid sulfat-attack



- (Aluminat + Sulfat + Vatten → Ettringit) → Monosulfat .
| Normal process - Ettringit övergår till monosulfat |

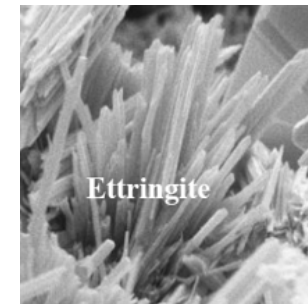
Vid hög temperatur



- Aluminat + Sulfat + Vatten → Monosulfat + Sulfat
| Ettringit bildas inte vid temperaturer över 60 °C |
eller vid hög fukthalt

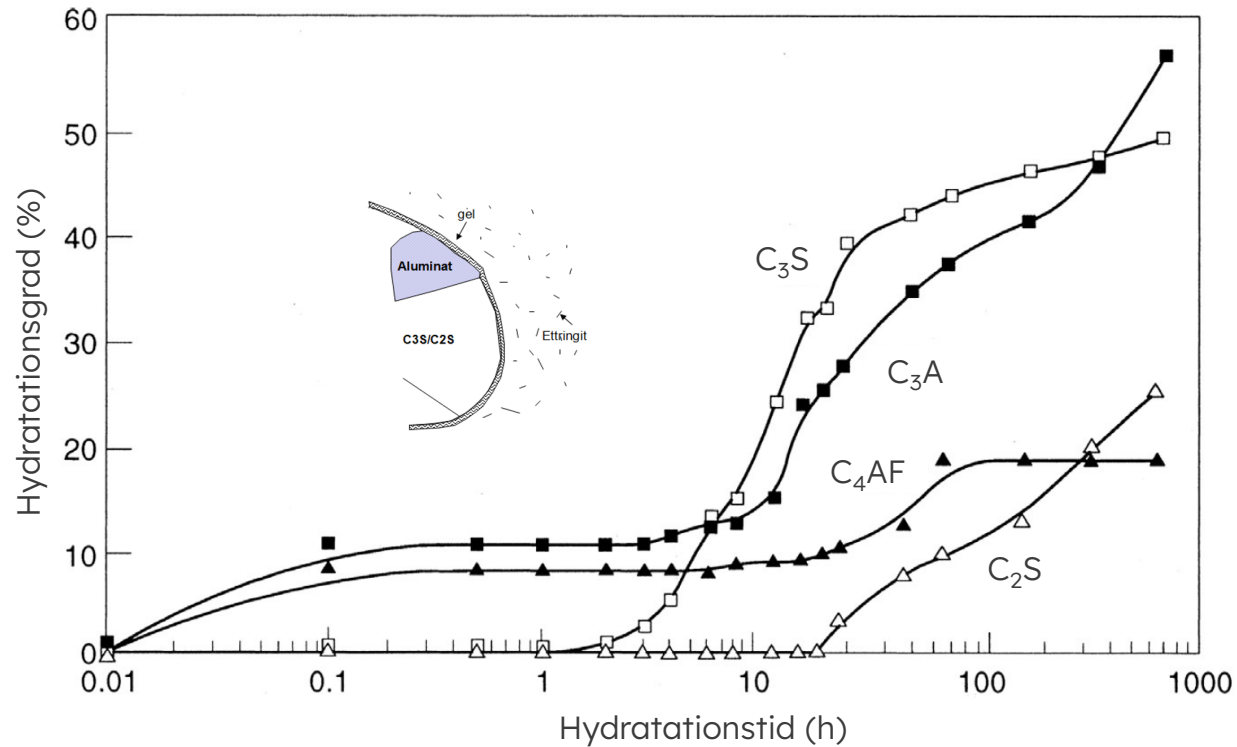
Sen/sekundär Ettringit-AFt

- AFt behöver plats att växa vid kristallisering
- Kristallisering av AFt genererar inre spänningar i betongen som kan leda till sprickor

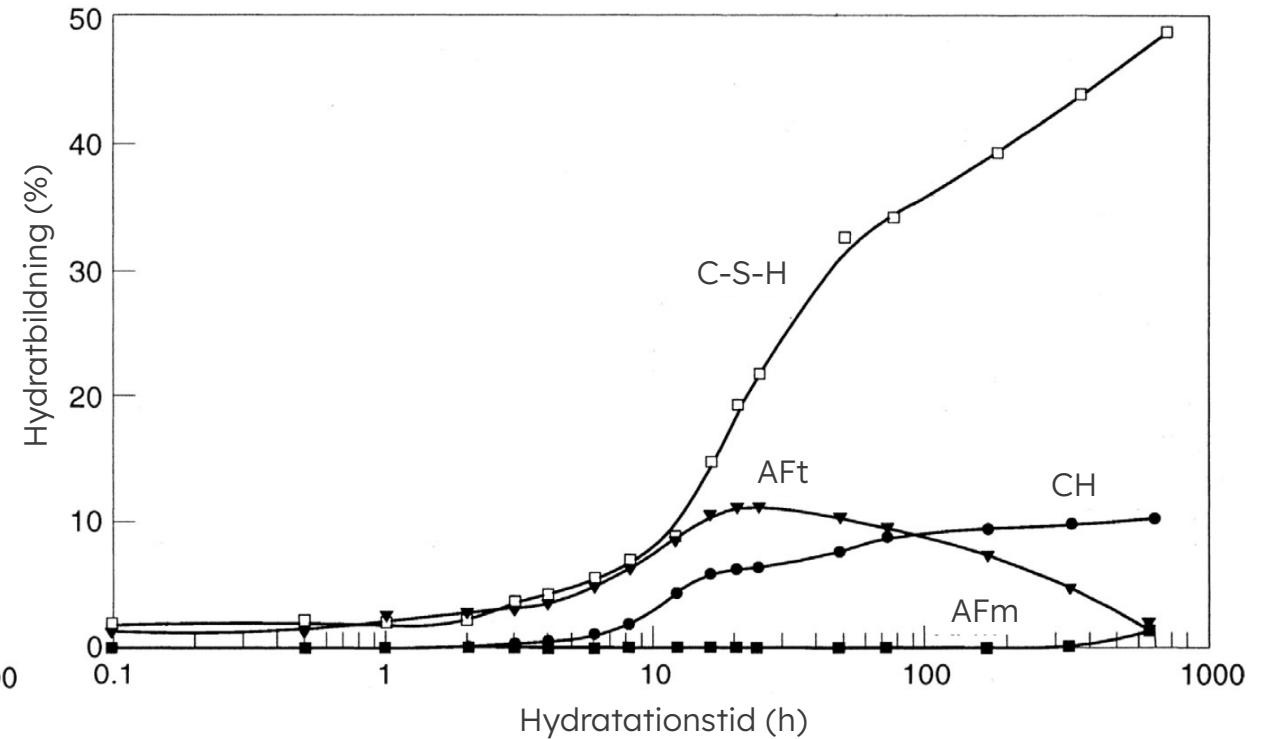


Hýdratationsskema

Klinkermineraler

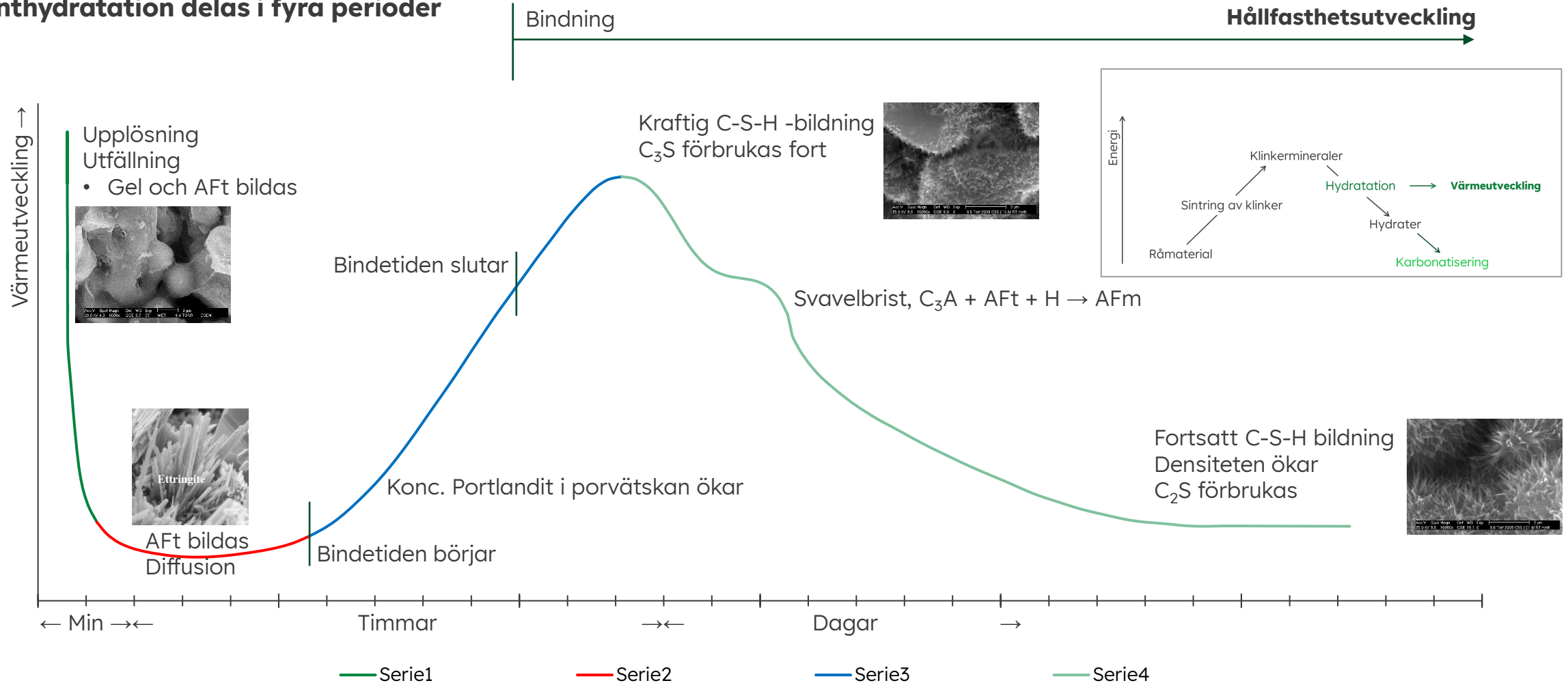


Hydrater



Hydration] Tidslöpp

Cementhydration delas i fyra perioder



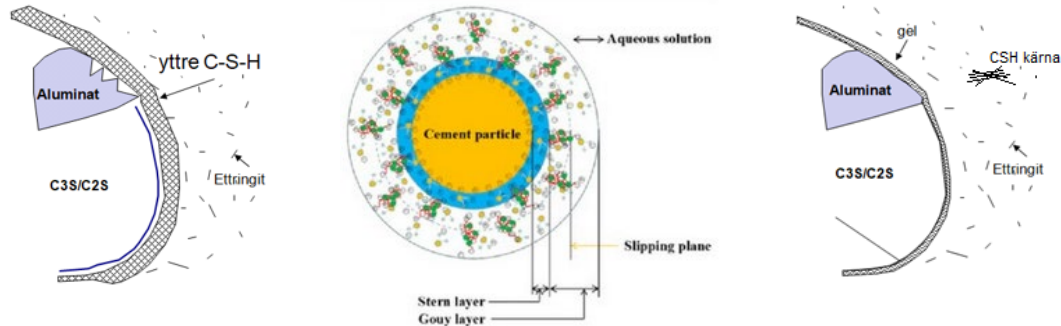
Processer under dörman#perioden

1. Bildning av ett gellager

- Gellager med låg diffusion
- Elektriskt dubbellager

2. Gelvattnets sammansättning ändras

- CH fälls ut i vätskan
- CH löser sig i vätskan utan att fällas ut initialt
- Ett "andrastegs" C-S-H bildas långsamt i vätskan



3. Skyddslagret sönderfaller

- Fasförändringar
- Osmotisk tryckskillnad
- Elektriskt dubbellager bryts upp
- CH i gelvattnet uppnår kritisk koncentration
- Andrastegs C-S-H uppnår kritisk storlek

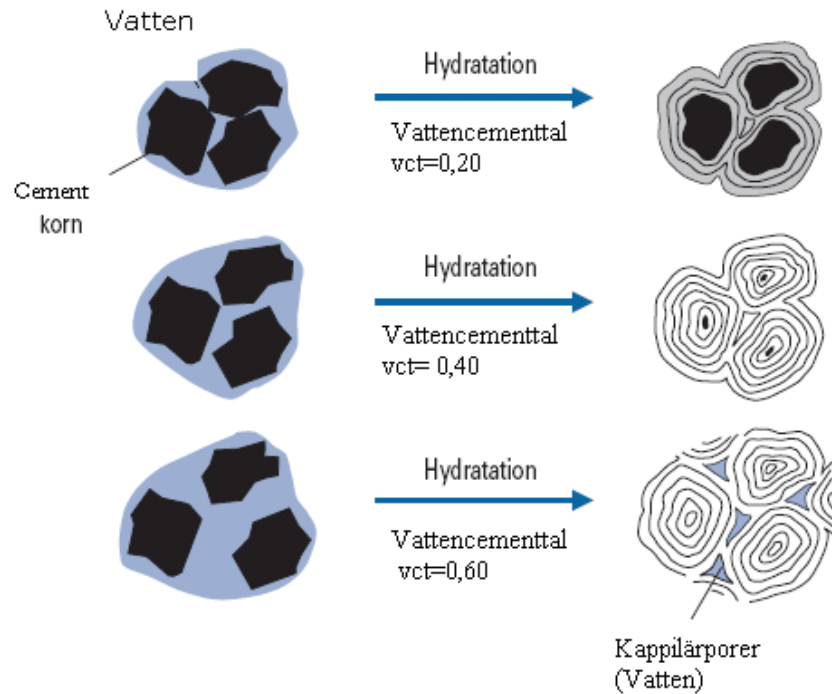
4. Hydratation fortsätter

- C_3S förbrukas fort → Kraftig C-S-H bildning → Bindning

Qórsþrúktúr

Vattencementtal, vct

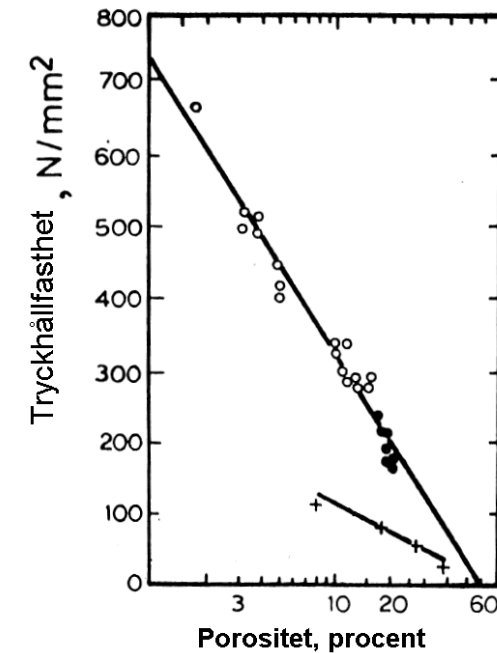
- Hydratationsgrad – andel cement som har reagerat
- Reologi



Samband mellan porositet och hållfasthet

- Högre porositet ger en minskad densitet och styrka
- Porositeten påverkar materialets beständighet

Hållfasthet hos härdad pasta



Cementpastans sammansättning

100% Hydratationsgrad vid olika vct

Ohydratiserat cement

- C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF , $CaSO_4 \cdot (H_2O)_x$
- Cementgel
- C-S-H, Portlandit, Aft, Afm

Gelvatten

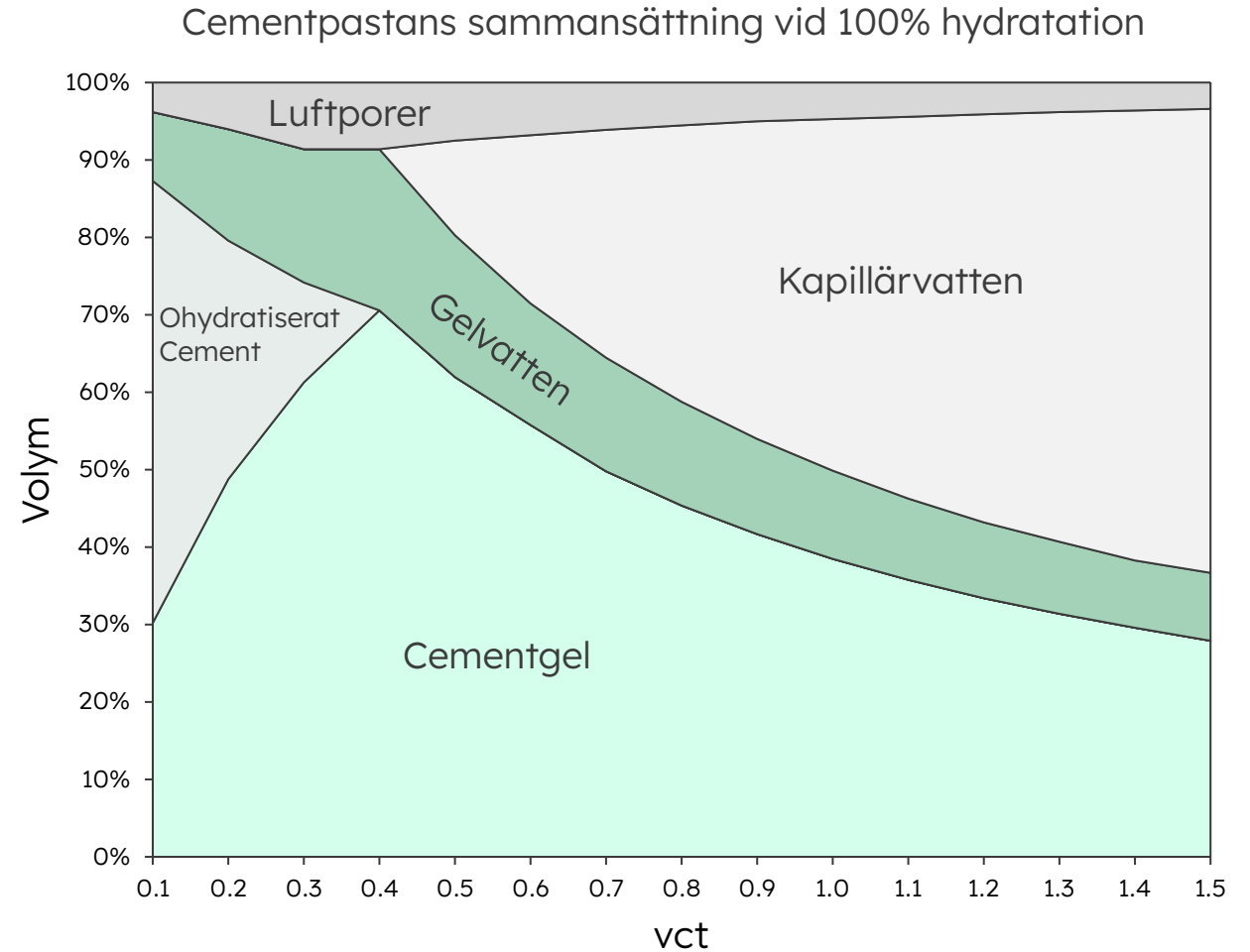
- Adsorberad H_2O i små gelporerna

Kapillärvatten

- H_2O i större kapillärporer

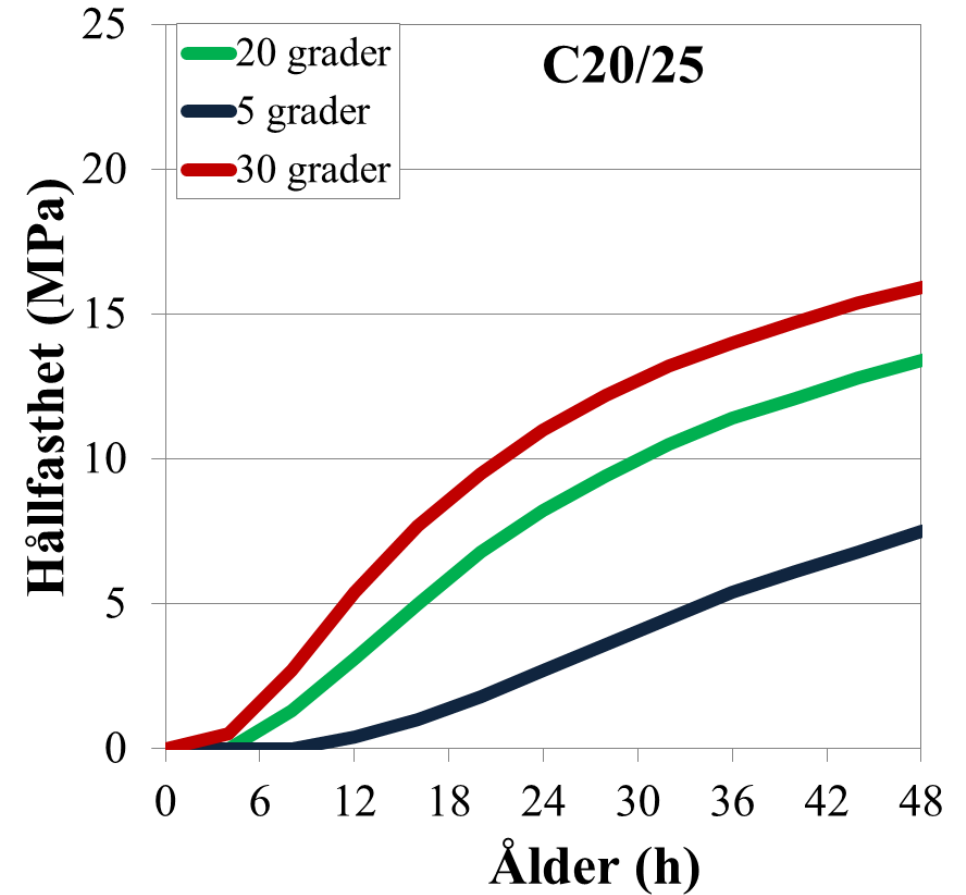
Luftporer

- Hålrum fyllda med luft



Temperaturéns inverkán

- Hydratationsgraden ökar med temperaturen, särskilt i de tidiga stadierna, men effekten minskar med tiden
- Vid högre temperaturer bildas C-S-H med högre CaO/SiO₂-kvot
- Sulfatkoncentrationer minskar, vilket leder till mer AFm och mindre AFt
- En högre temperatur kan leda till en grövre porstruktur och högre porositet, vilket kan minska hållfastheten
- Snabb uppvärmning kan orsaka sprickor på grund av termisk expansion av porvattnet

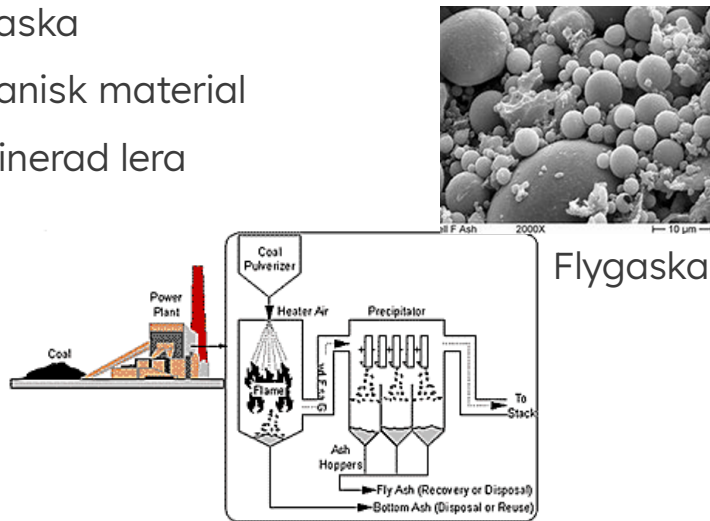


Tíllsaðsmæðial tþp III

Supplementary cementitious materials (SCM)

Puzzolan material

- Kisel eller aluminium-kisel haltig
- Reagerar tillsammans med CH och vatten
- Bildar C-S-H och andra hydratationsprodukter
- Exempel på material:
 - Flygaska
 - Vulkanisk material
 - Kalcinerad lera

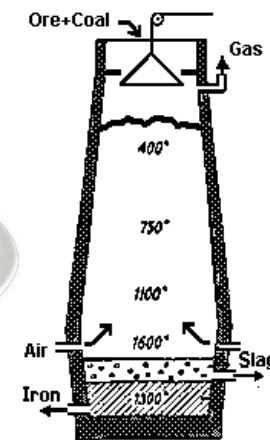


Latent hydrauliska material

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



Slagg
(GGBS)



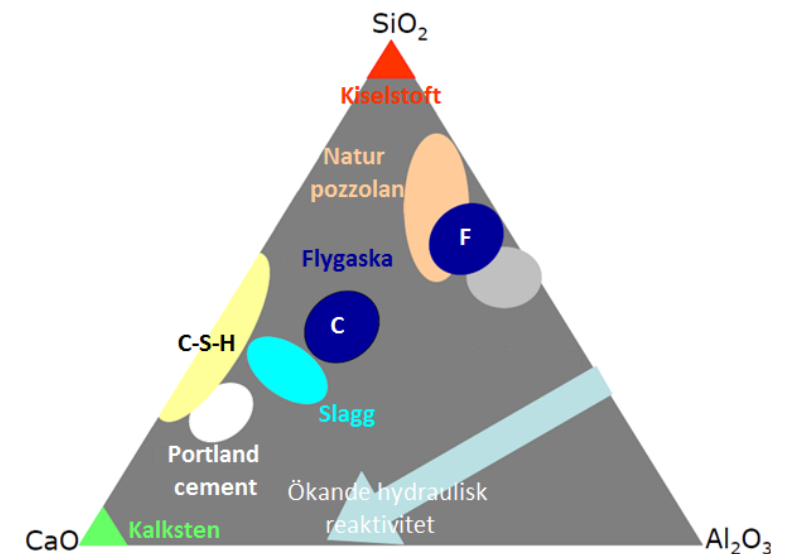
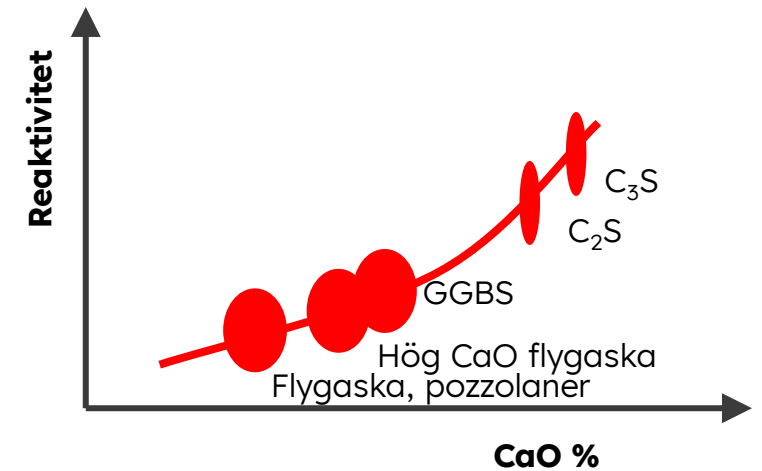
Tillsattsmaterial typ II Hydratation

Hydratation av tillsattsmaterial typ II

- Hydratation av cement (**hydraulisk reaktion**)
 $\text{Klinker} + \text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2 + \text{H} \rightarrow \text{C-S-H} + \text{CH} + \text{AFt} + \text{AFm}$
- Hydratation av flygaska i cement (**pozzolansk reaktion**)
 $\text{S-A} + \text{CH} + \text{H} \rightarrow \text{C-S-H}$
- Hydratation av slagg i cement (**latent-hydraulisk reaktion**)
 $\text{S-A-C} + \text{H} \rightarrow \text{C-S-H}$
 $\rightarrow \text{C-A-S-H} / \text{C-A-H}$ (ökar betongens bindningskapacitet)

Amorfa material

- Oordnad och ostabil atomstruktur → mottagliga för kemiska reaktioner
 - Flygaska och vulkanaska: 50-60% amorf
 - Slagg (GGBS): >85% amorf
- Högre amorf halt → Reaktivare



Tíllsattsmærial týp III Hydratation

Snellings, 2012

• I: Upplösningsperiod

- pH och Kinetik
- Upplösning av silika och silikater

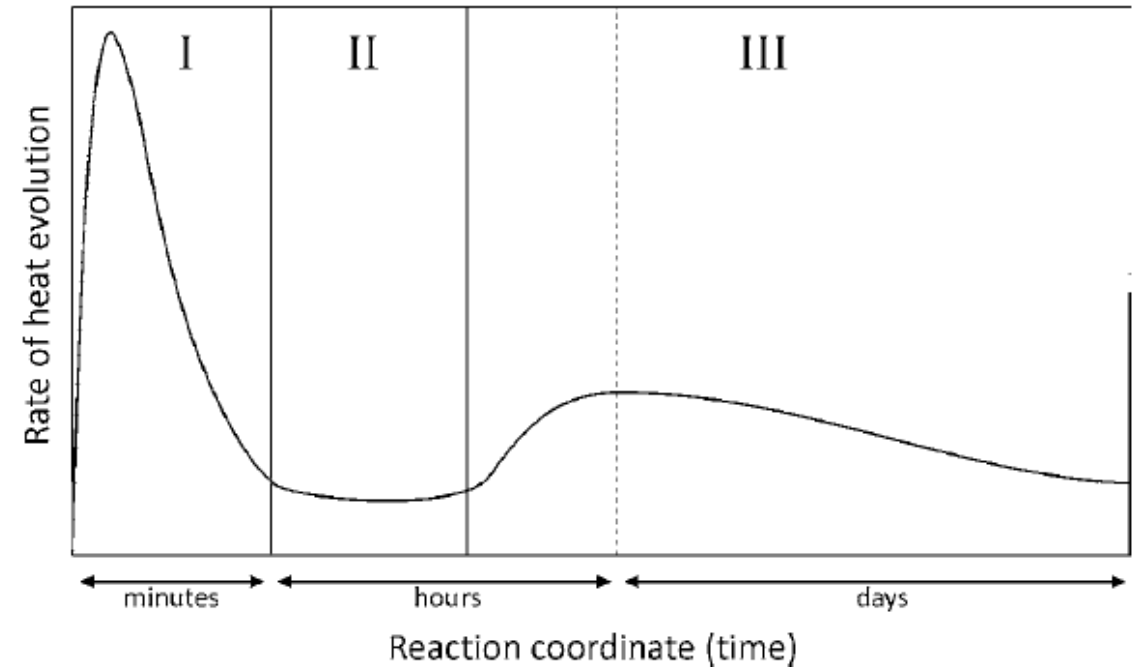
• II: Induktionsperiod

- 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ och amorf silika



Bónús] Šýntetišk ŠCN fráń áterwúnnet betóng

Komponent F

- Innehåller S-A-gel

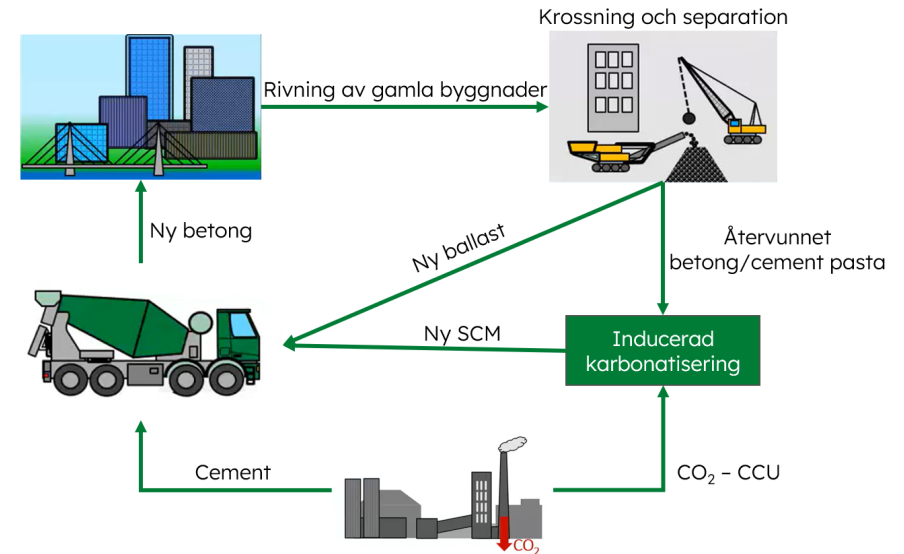
Förbehandling

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

Aktivering

- $C-S-H + CH + AFt + AFm + \bar{C} \rightarrow C\bar{C} + S-A-gel + H_2O$

Pozzolansk aktivitet



Grågeštúnd

