

# Betongens egenskaper

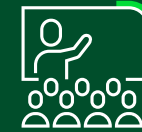
Cement i Betong | Visby | Betongens engenskaper | Amith Adhikari  
21.05.2026





# Innehåll

## 1. Varför betong?



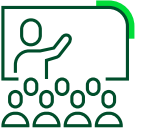
## 2. Vad är reologi?



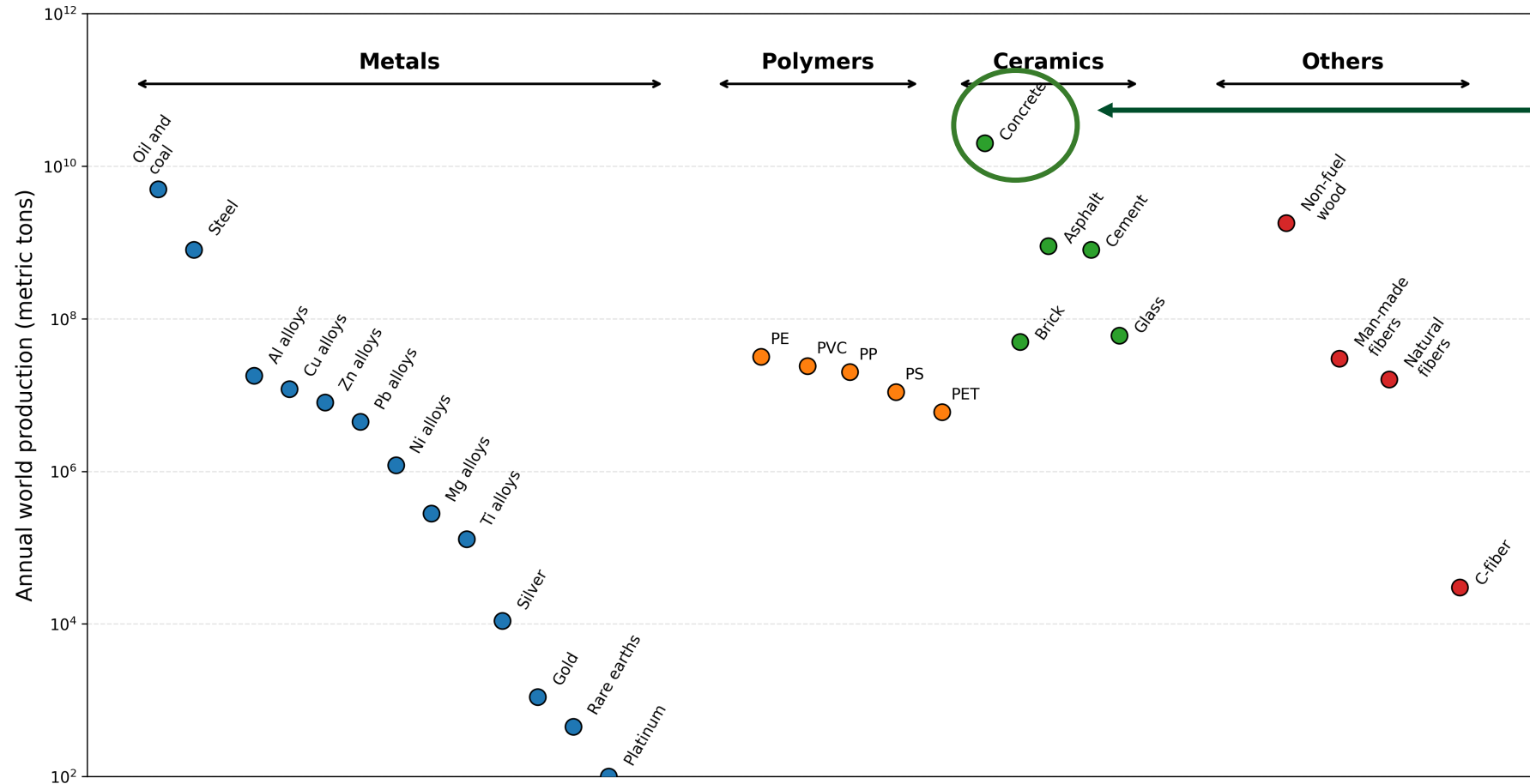
## 3. Betongens Hållbarhet



# BETONG ÄR DET MEST ANVÄNDA INDUSTRIMATERIALET



Årlig världsproduktion av olika industrimaterial



Betong

Adapted from Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice* (2012).



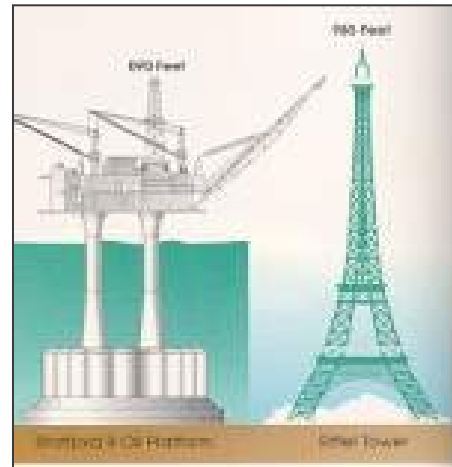
# Betongkonstruktioner



Idag är de högsta, djupaste och tyngsta strukturerna och även den längsta havsinfrastrukturen i världen betongkonstruktioner.



Burj Khalifa - + 800m



Nord sea offshore platform  
-350 m / ~1 Mio t



Jiaozhou bay bridge - 40 km



# VARFÖR ÄR BETONG BRA...???



- Kompositmaterialblandning
- Det är ett mångsidigt material
- Hållbart material
- Överlägsen livscykelkostnad
- Låg underhåll
- Altern

“Betong är det mest använda och mest missbrukade konstgjorda materialet i världen.”

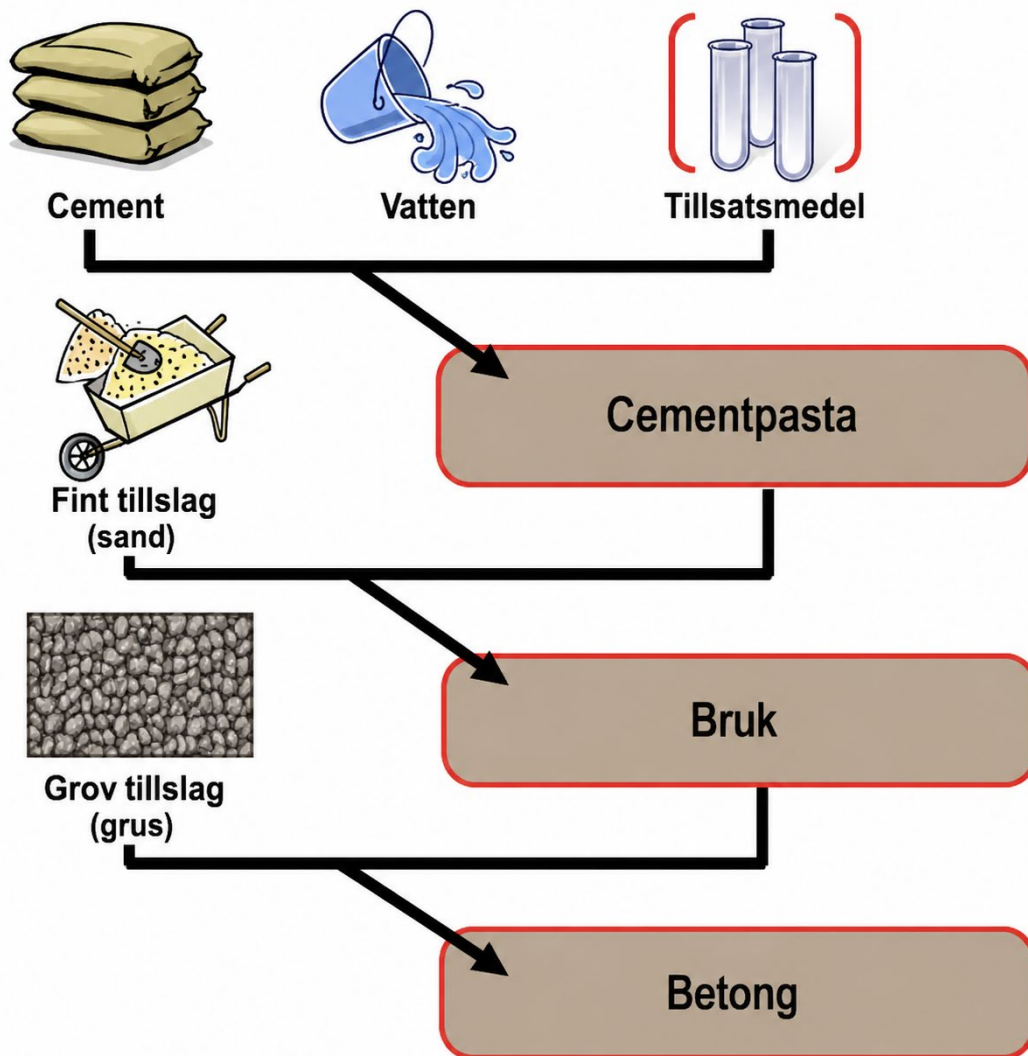
- Svåra att hitta
- Svåra att använda
- De är inte ekonomiska



Betong – ett material med många fördelaktiga egenskaper



# CEMENTPASTA, BRUK OCH BETONG



Det här är tre olika saker

- Olika kombinationer
- Olika egenskaper
- Olika tillämpningar



# BETONGTILLSTÅND



## Färsk betong

- Bearbetbarhet
- Flytbarhet
- Pumpbarhet

## Ung betong (*mellanstadium*)

- Blödning
- Indunstning
- Miljö
- Temperatur

## Härdad

- Styrka
- Styvhet
- Beständighet



Betongens viktigaste egenskaper är

- Färsk betong: bearbetbarhet och konsistens
- Ung betong: (mellanstadium)-härdningstid
- Härdad betong: styrka och hållbarhet





# Vad är reologi ?

- Reologi är läran om materials deformations- och flytegenskaper
- Från grekiska rheos, som betyder att flyta eller strömma
- Reologi – en tvärvetenskap

## Viskös



Vätskor, fluider

**Newton´s lag**

$$\sigma = \eta \dot{\gamma}$$

## Viskoelastisk



**Viskoelastiska  
vätskor**



**Viskoelastiska  
solider, geler  
elastomerer**

## Elastisk



Solider

**Hooke´s lag**

$$\sigma = E \varepsilon \text{ (drag, tryck)}$$

$$\sigma = G \gamma \text{ (skjuv för reo)}$$





# Reologi – varför är det relevant för betong?

Från enkel konsistens till styrd bearbetbarhet, pumpbarhet och stabilitet

## Reologi är läran om materials deformations- och flytegenskaper.

För färsk betong beskriver reologi hur materialet börjar flyta, hur lätt det fortsätter flyta och hur stabilt det är under hantering.



### I praktiken styr reologin

- Blandning
- Transport
- Pumpning
- Gjutning
- Vibration / kompaktering

### Viktiga färska egenskaper

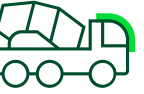
- Styvhet
- Seghet
- Stabilitet
- Separation
- Kletighet / kärvhet

### Kundnytta

Rätt reologi ger jämnare kvalitet, bättre utförande och lägre risk för defekter.



# Grundbegrepp och Bingham-modellen



Färsk betong beskrivs bäst med två parametrar: flytgräns och plastisk viskositet

## Skjuvhastighet

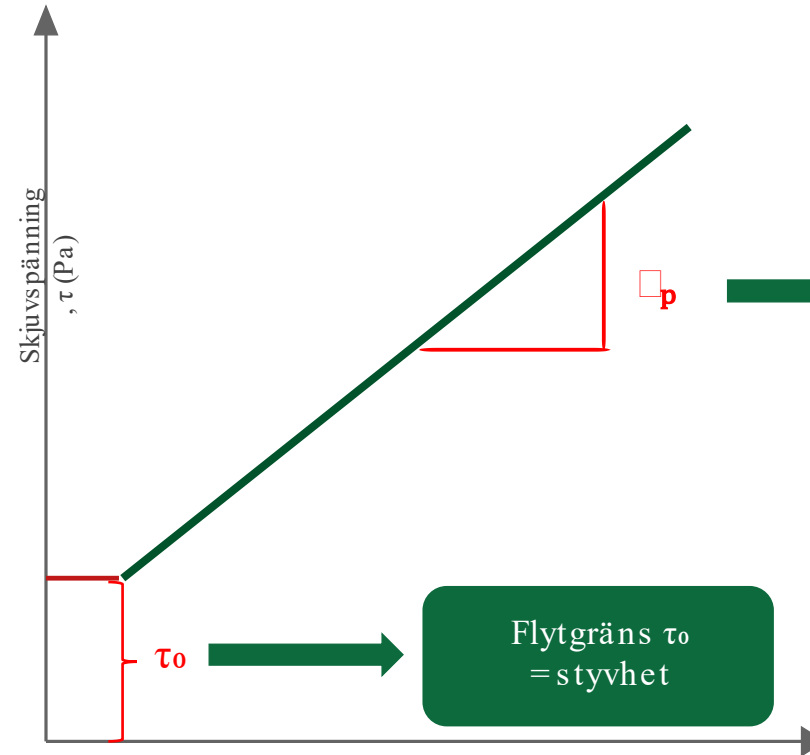
Hur snabbt materialet deformerar eller flyter.  
Enhet:  $s^{-1}$

## Skjuvspänning

Kraft per area som driver deformationen.  
Enhet: Pa

## Viskositet

$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$   
Enhet:  $\frac{N}{m^2} \cdot s$



Plastisk viskositet  $\mu_p$   
= seghet

Flytgräns  $\tau_0$   
= styvhet

## Tolkning för betong

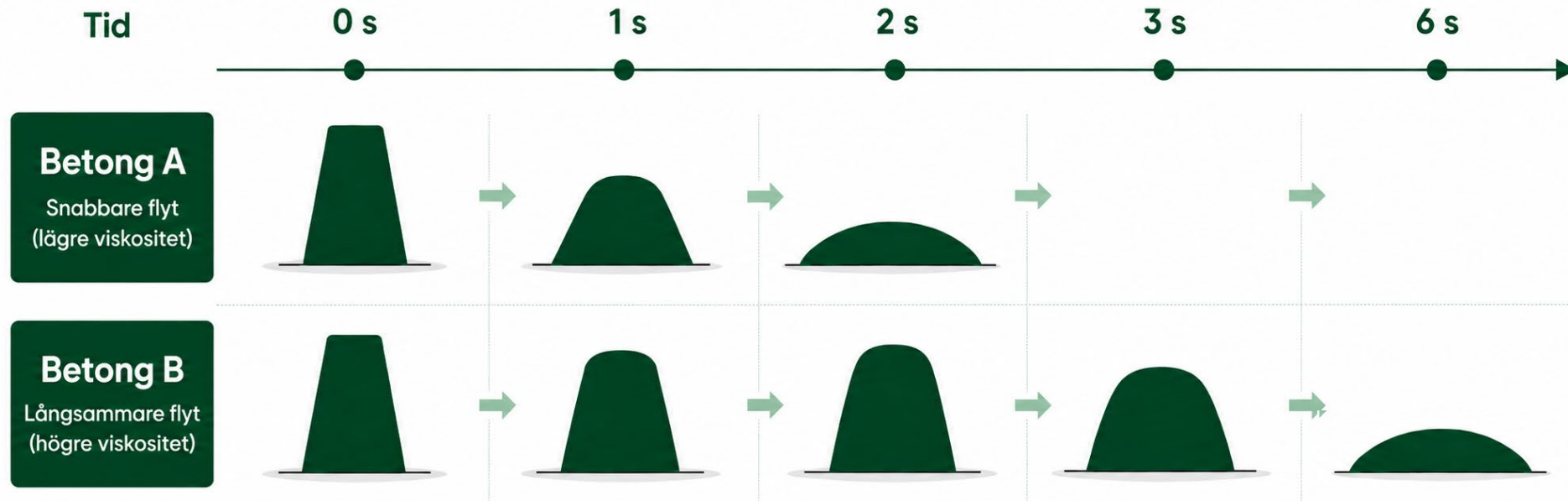
- $\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma}$
- $\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma}^n$
- $\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma}^n$





# Varför mäter vi två parametrar?

Betong A och B har samma sättmått men olika viskositet. Sättmättet kan inte karakterisera viskositeten eller segheten.



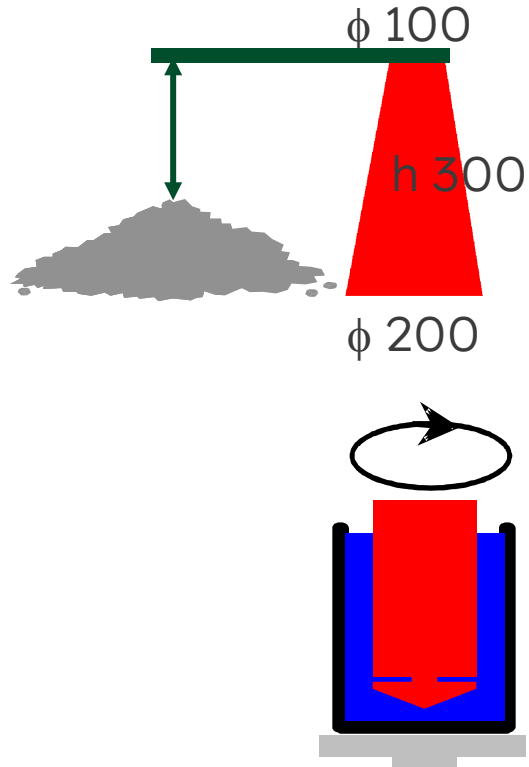
**Sättmättet ensamt beskriver inte viskositeten.**

- **Betong A:** snabbare deformation (lägre viskositet)
- **Betong B:** långsammare deformation (högre viskositet)





# Metoder för att mäta betongens reologi



**Sättmått** (Abrams) 1913 - en parameter  
Otilräcklig ibland, speciellt för modern betong  
Operatörsberoende  
Lämplig för enkel kvalitetskontroll

**Betongviskosimeter** 80-talet - två parametrar  
Helautomatisk, datorstyrd  
Bästa teoretiska mätmetoden

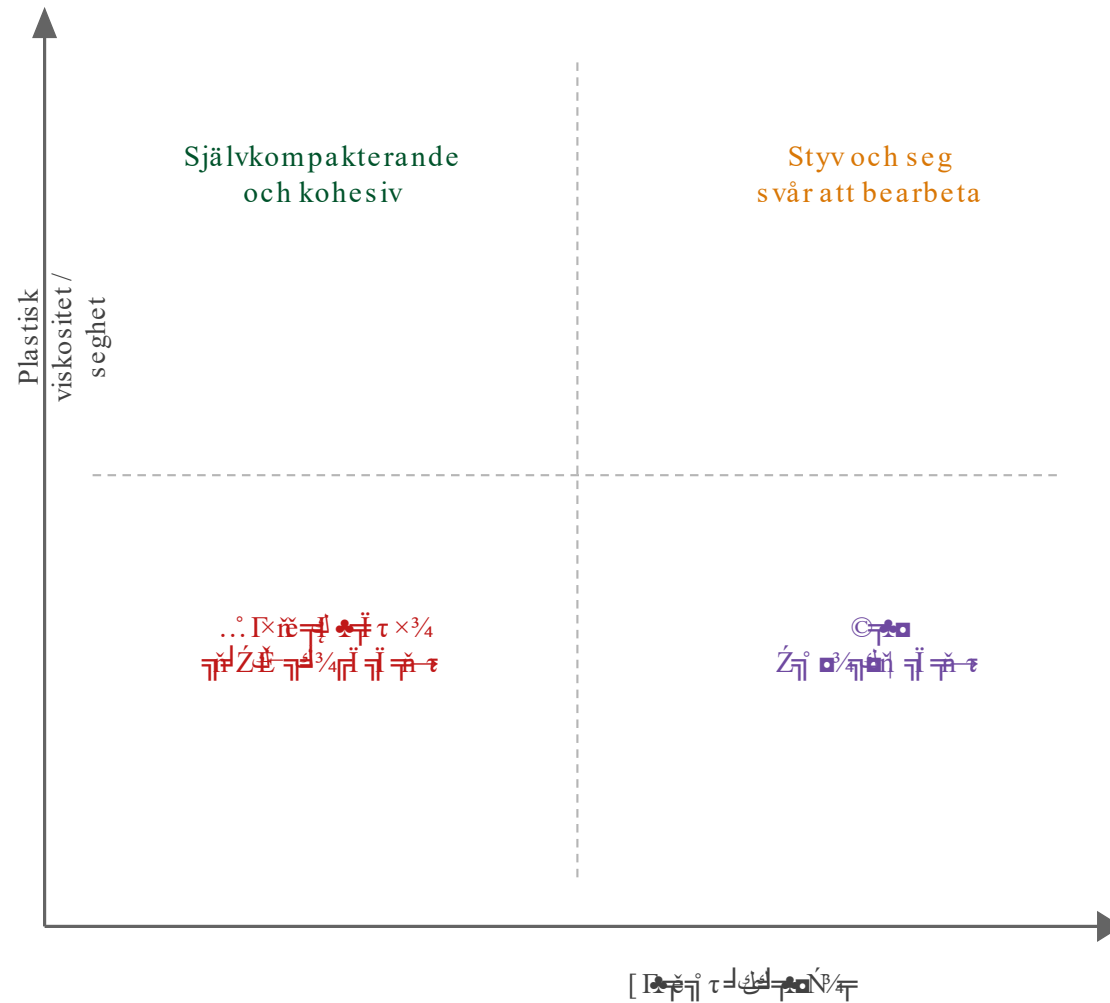




# Praktisk tolkning – från reologi till utförande



Målet är inte bara “hög flytbarhet”, utan rätt balans mellan flytgräns och viskositet



## Pumpning

För låg viskositet kan ge separation; för hög viskositet kan ge högt pumpmotstånd.

## Rätt flytgräns

Rätt flytgräns ger god fyllning utan överdriven vibration.

## Ytkvalitet

Stabilitet minskar blödning, separation och ojämn yta.

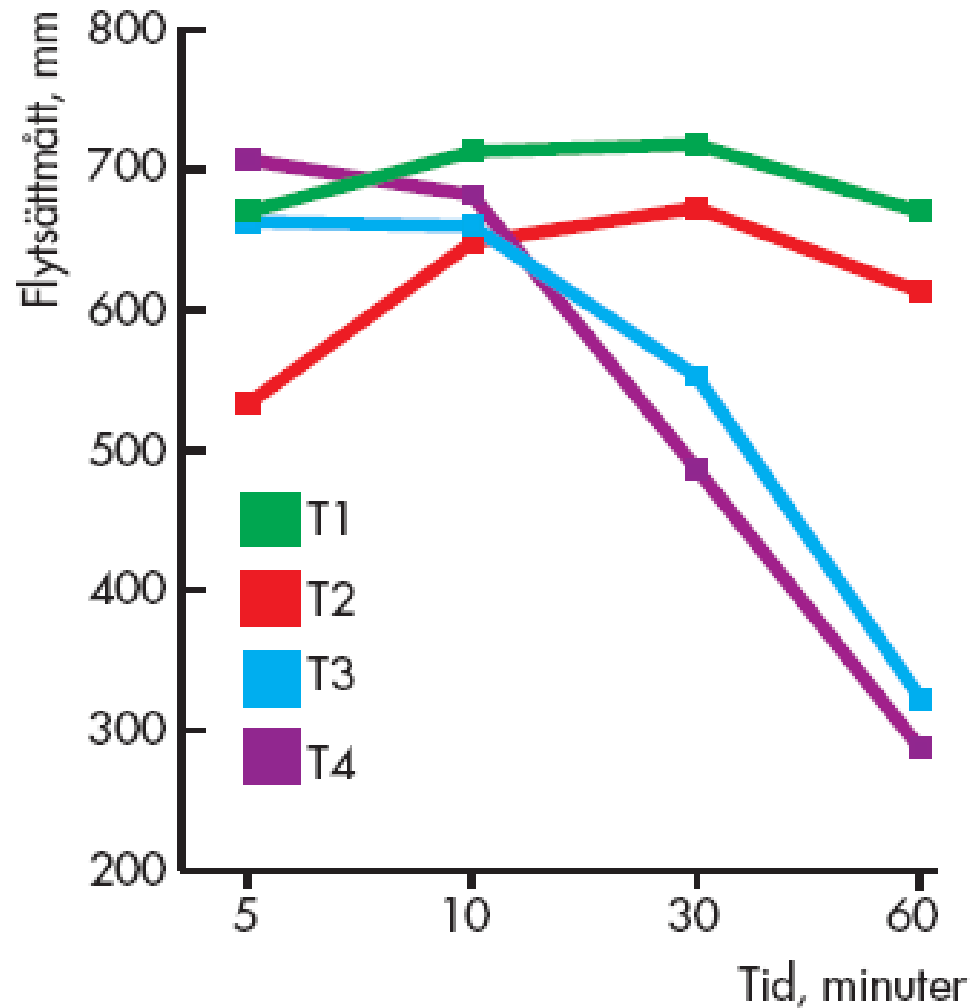
## Stabilitet

Stabilitet minskar blödning, separation och ojämn yta.

Sammanfattning: reologi hjälper oss välja rätt betong för rätt utförande och rätt miljö.



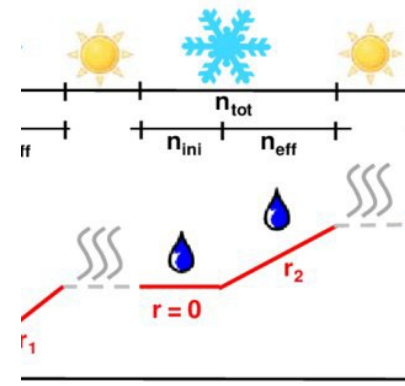
# Olika flyttillsatsmedel i SKB med Anl cement



**Välj lämpligt flytmedel till det cement du använder**



# Exponeringsklasser enligt EN 206 / SS 137003

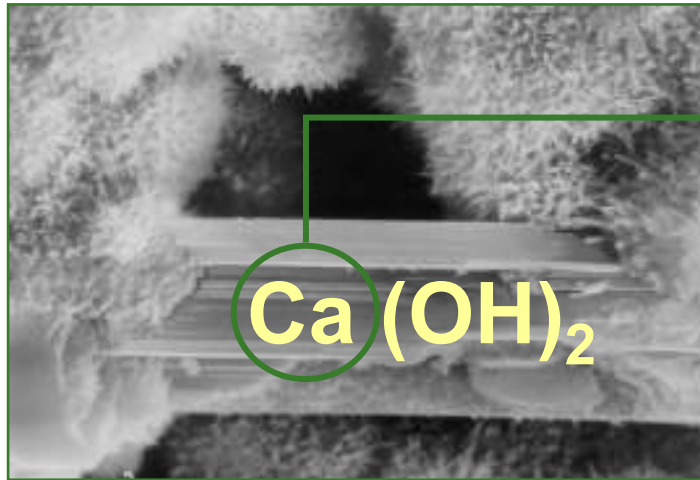


Korrosion föranledd av karbonatisering	Kloridangrepp från andra källor än havsvatten	Kloridangrepp från havsvatten	Angrepp av frysning/upptining	Kemiskt angrepp
XC 1	XD 1	XS 1	XF 1	XA 1
XC 2	XD 2	XS 2	XF 2	XA 2
XC 3	XD 3	XS 3	XF 3	XA 3
XC 4			XF 4	

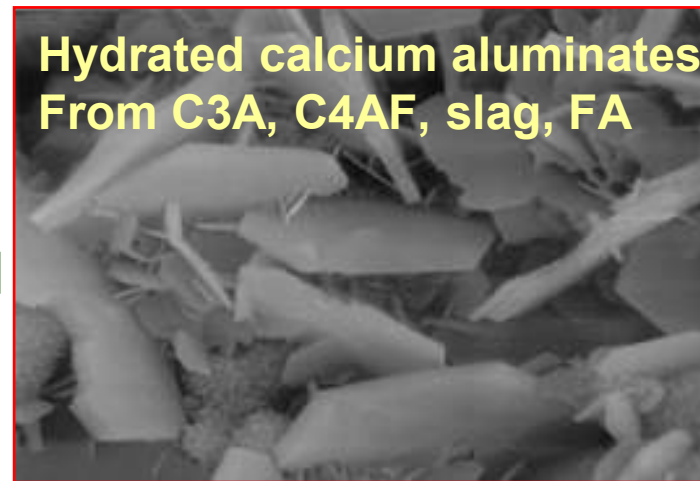
*“Sverige har striktare krav p.g.a. frost och tösalter”*



# Kloridresistens – Nedbrytningsmekanism

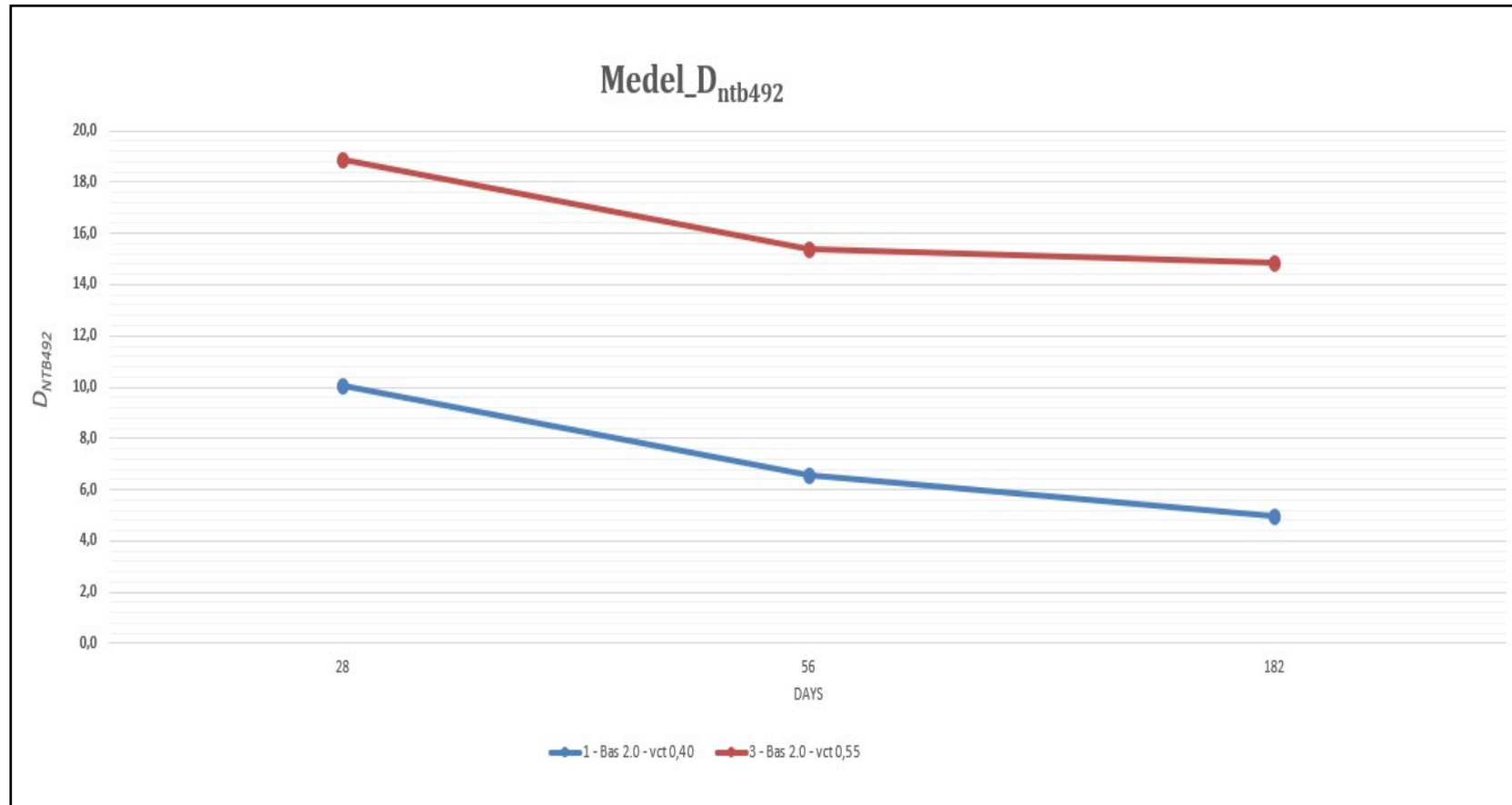


+





# Kloridmigration testa (NT Build 492:1999)



$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left( x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)L x_d}{U - 2}} \right) \quad (4)$$

where:

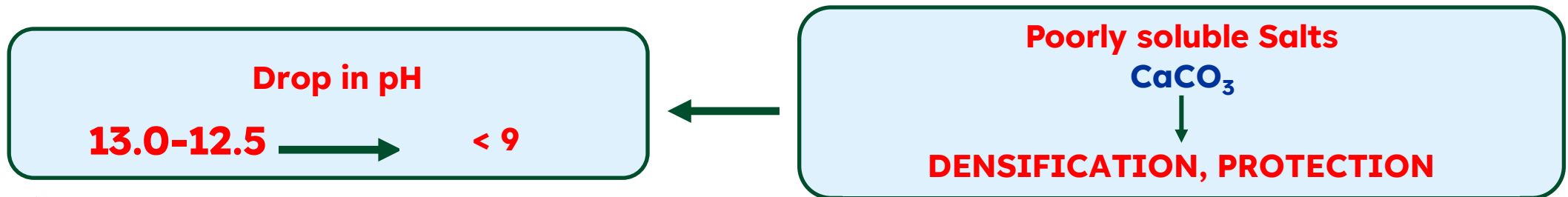
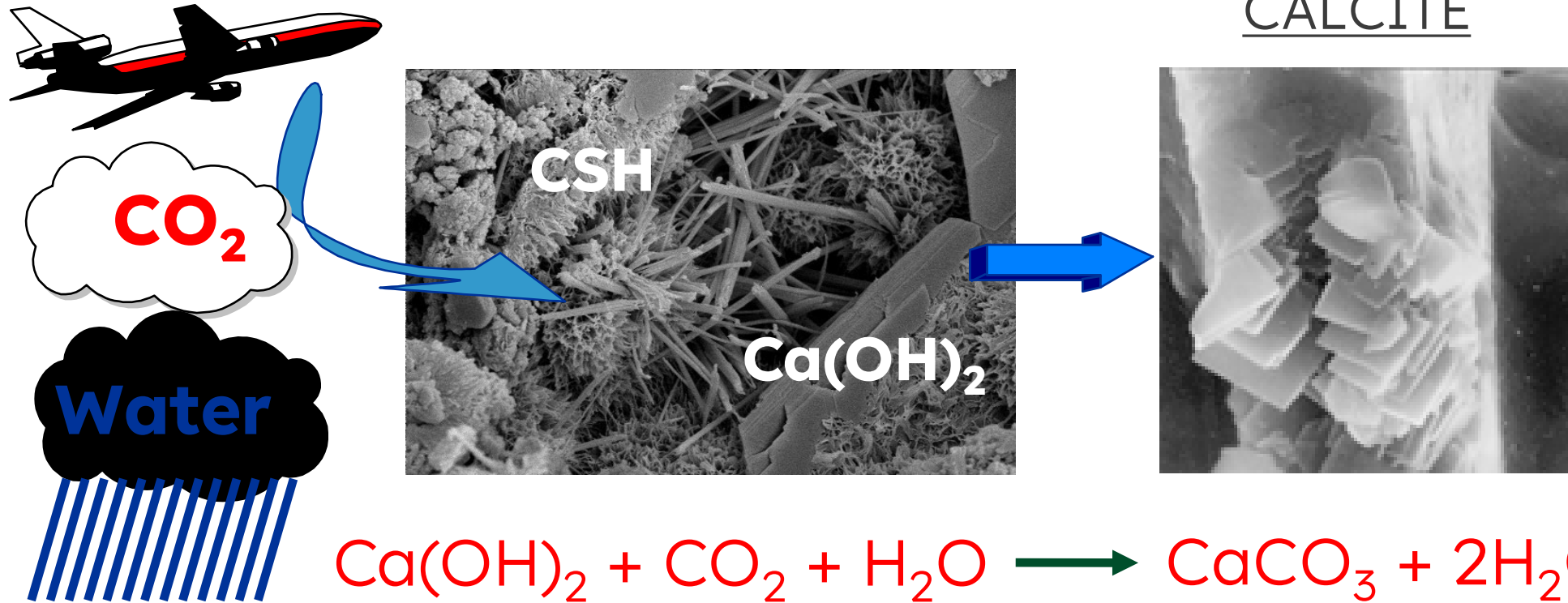
- $D_{nssm}$ : non-steady-state migration coefficient,  $\times 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s;
- $U$ : absolute value of the applied voltage, V;
- $T$ : average value of the initial and final temperatures in the analyte solution, °C;
- $L$ : thickness of the specimen, mm;
- $x_d$ : average value of the penetration depths, mm;
- $t$ : test duration, hour.

*”..lägre vct ökar betongens motstånd mot kloridinträngning och förbättrar beständigheten hos betongkonstruktionen..”*

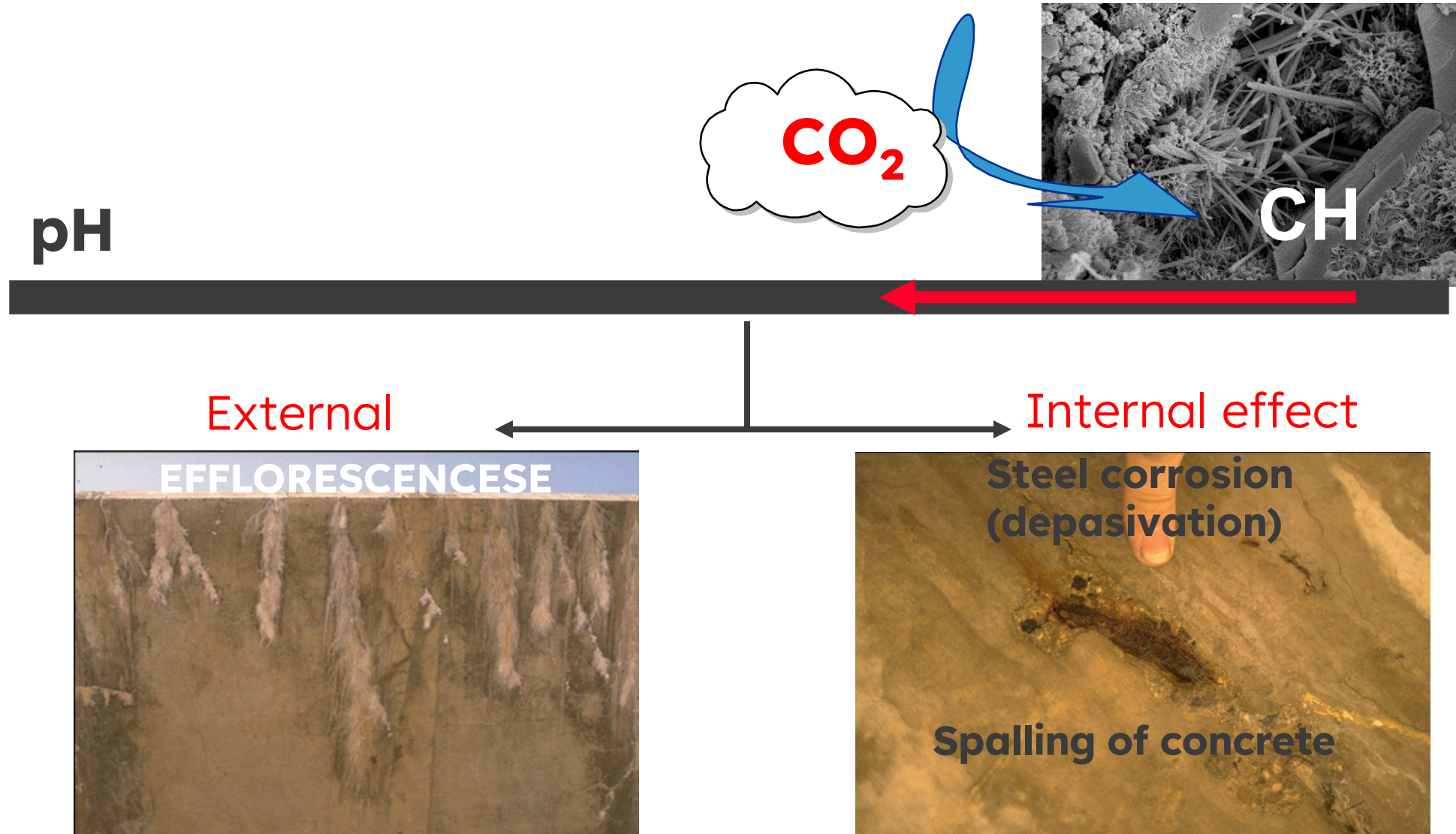




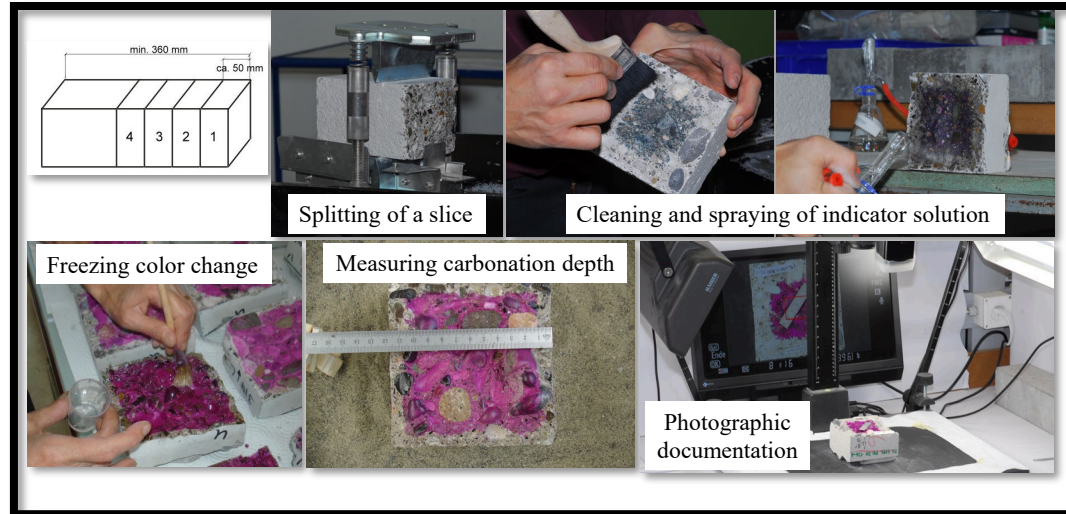
# Carbonation- Degradation mechanism



# Carbonation - effects

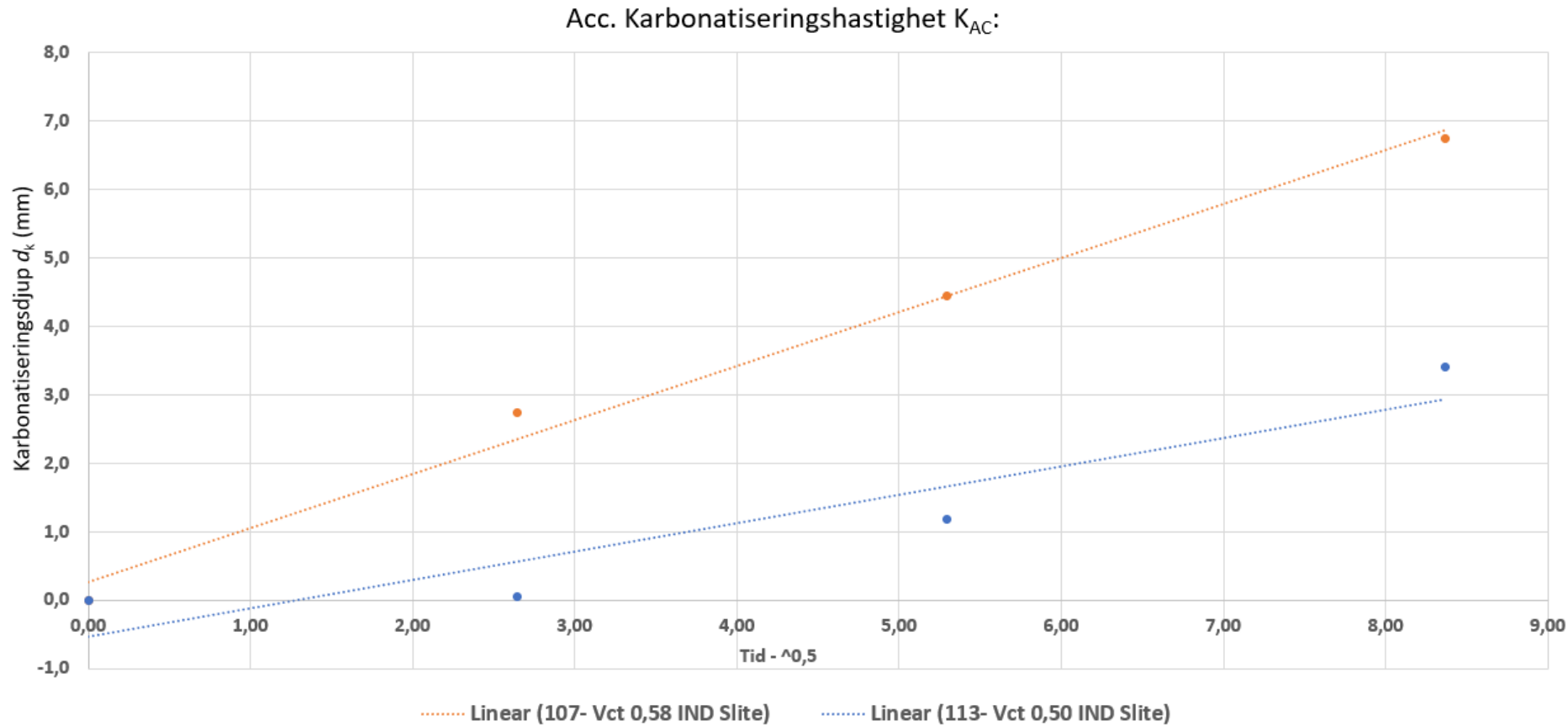


# Accelerated Karbonatisering (SS-EN 12390-12:2020)





# Accelerated Karbonatisering (SS-EN 12390-12:2020)



$$dk = a + K_{AC} \cdot \sqrt{t}$$

Where:

- $dk$  = mean carbonation depth (mm)
- $a$  = calculated intercept at  $t = 0$
- $a$  = measured carbonation depth at zero measurement
- $K_{AC}$  = carbonation rate
- $t$  = exposure time (days)

*"...lägre vct ökar betongens motstånd mot karbonatisering och förbättrar betongkonstruktionens beständighet..."*





# Frostskador och luftporbildning

## Mekanism, riskmiljöer och skydd



### 1. Mekanism

- Upprepad frysning och upptining kan skada betong
- Vatten ökar sin volym med ca 9 % vid frysning
- Hydrauliskt tryck kan orsaka sprickor och ytavskalning



### 2. Riskmiljöer

- Hög fuktnivå
- Tösalter eller saltlösningar
- Särskilt utsatta: broar, vägar, kajer och skvalpzoner



### 3. Skydd

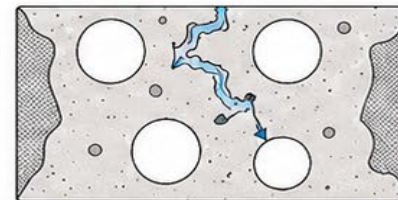
- Luftporbildare skapar många små, jämnt fördelade luftporer
- Luftporerna fungerar som expansionsutrymme
- Tryckutjämning underlättas och frostbeständigheten ökar



Skvalpzonen är ofta utsatt för salt-frostskador

#### Utan luftporbildare

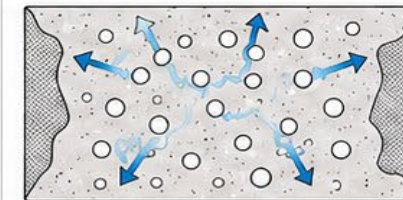
Få, grova porer



➔ Sämre tryckutjämning – högre risk för sprickor och skador

#### Med luftporbildare

Många små, jämnt fördelade porer



➔ Bättre tryckutjämning – högre frostbeständighet



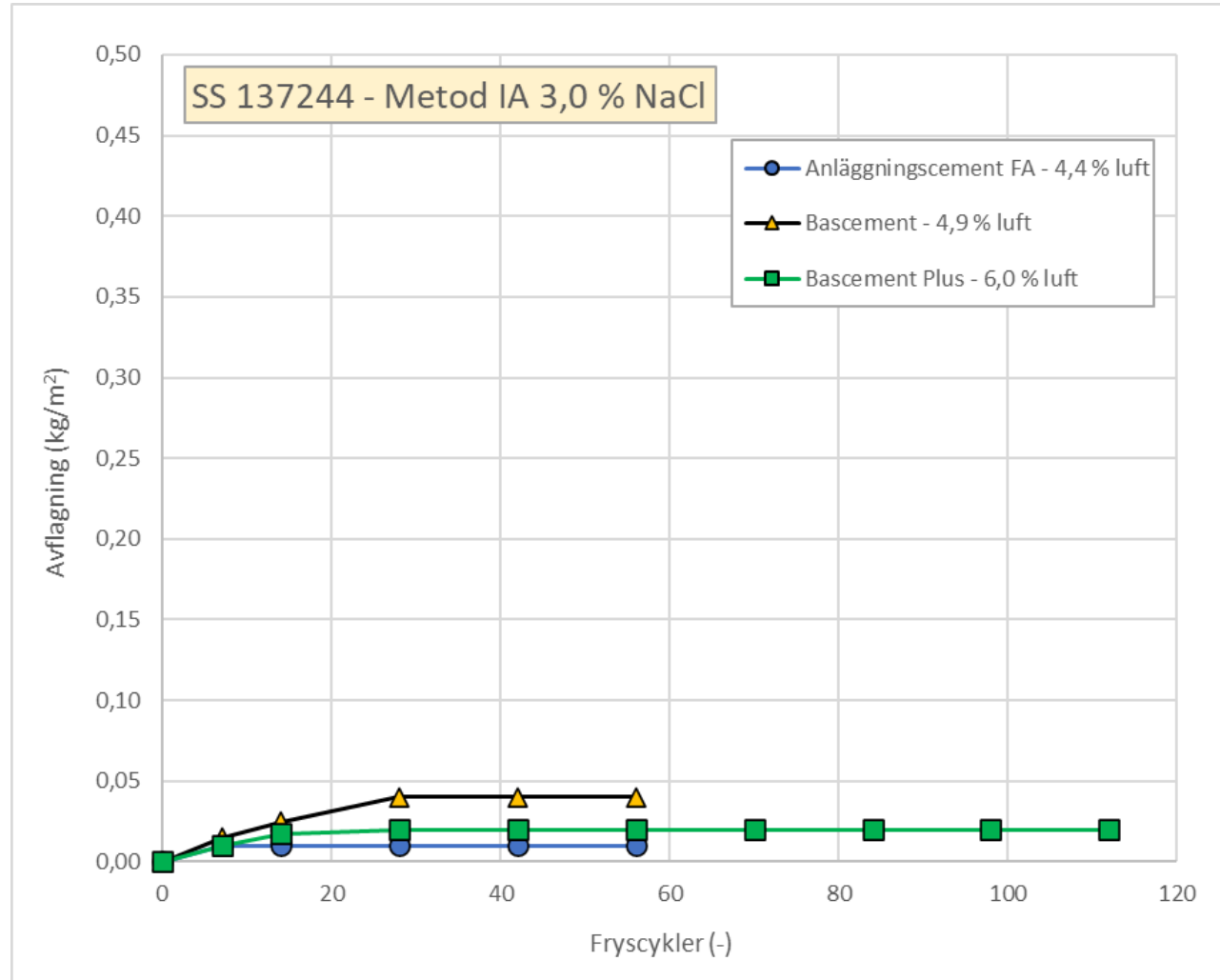
Salt-frost kan ge ytavskalning



**Nyckelbudskap:** Frostbeständig betong kräver både tät betong och ett fungerande luftporsystem.



# Frost beständighet (SS 137244)



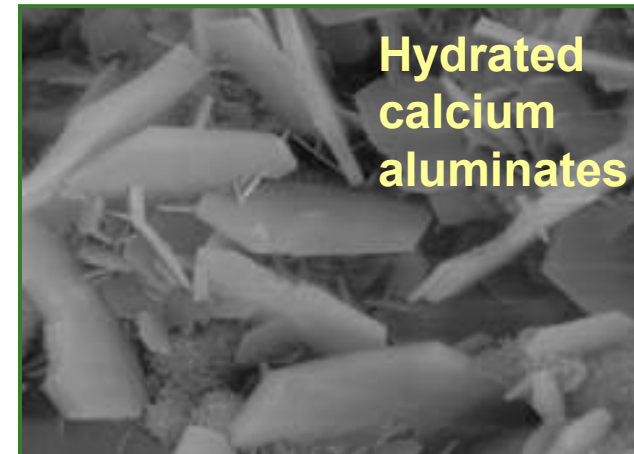
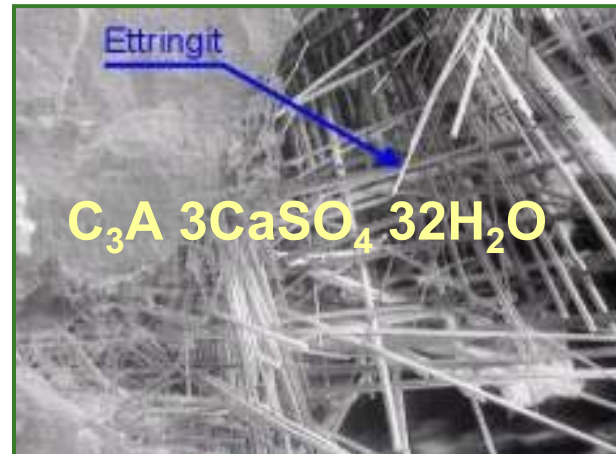
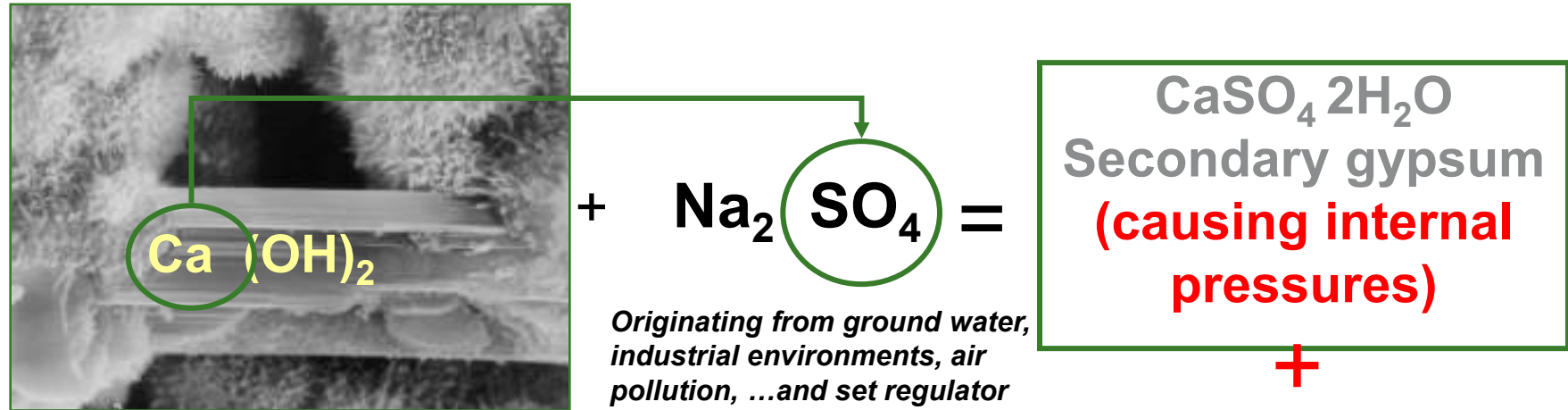
## Slutsats

- Låg avflagning = god frostsaltbeständighet
- Luftporbildning Ett bra luftporsystem förbättrar motståndet mot frostsador
- Både cementtyp och luftporsystem påverkar resultatet





# Sulphate resistance – Degradation mechanism

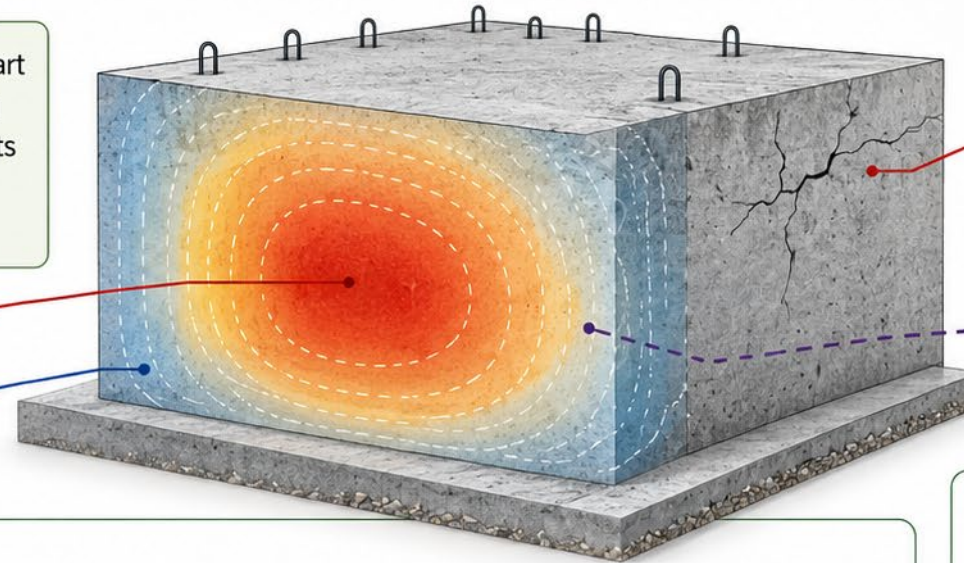




# Massiv betong och temperaturkontroll



Massiv betong definieras inte enbart av dimensioner. Det viktiga är om värmeutvecklingen från cementets hydratisering kan skapa risk för skador.



Hög intern temperatur

Temperaturgradient



Temperatursprickor



Risk för DEF

## Exempel på konstruktioner



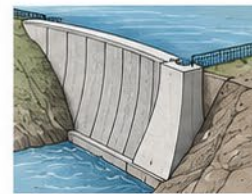
Tjocka bottenplattor



Pålplintar och fundament



Brostöd och landfästen



Dammar och vattenbyggnader



Massiva väggar och tunneldelar

## Svensk praxis



Materialval



Gjuttemperatur



Kylning / isolering



Härdning



Projektspecifika krav



Temperatur- och sprickrisk hanteras genom materialval, utförande och projektspecifik temperaturkontroll.

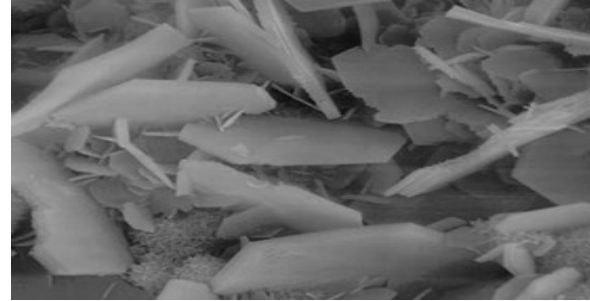




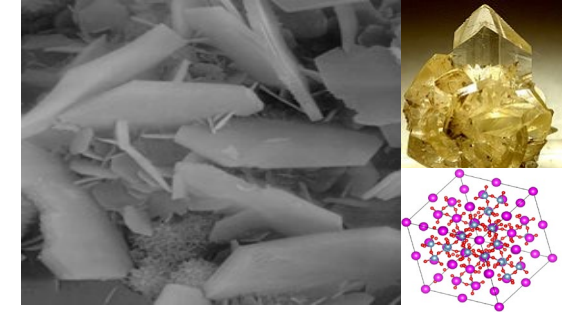
# Varför begränsas T<sub>max</sub>? – Försenad ettringitbildning (DEF)



Betonggjutning



Bildning av C-S-H och ettringit

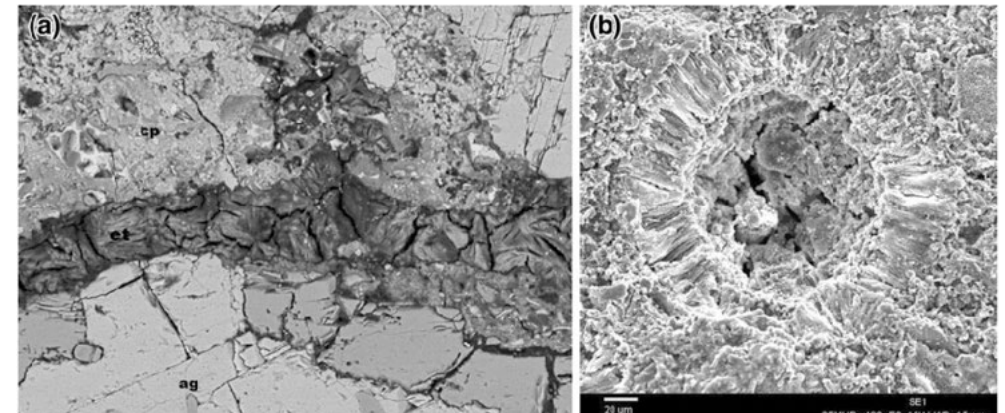


Ettringit bryts ned /  
omvandlas till gips och C<sub>3</sub>A

 **Fukt tränger in**



Irreversibla sprickor



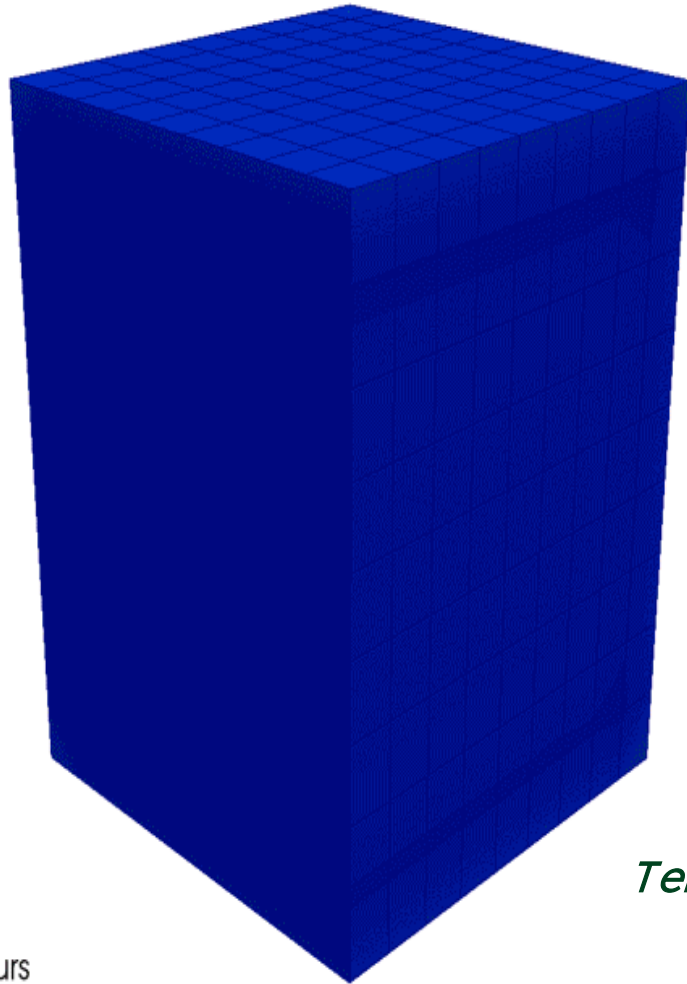
Ettringit återbildas i mikrosprickor och orsakar  
expansion



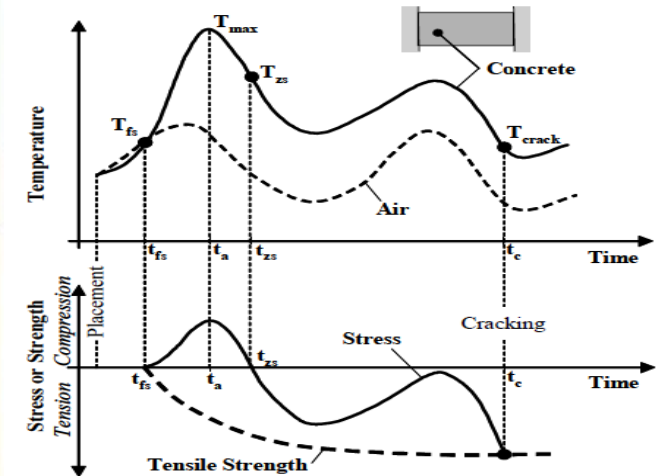
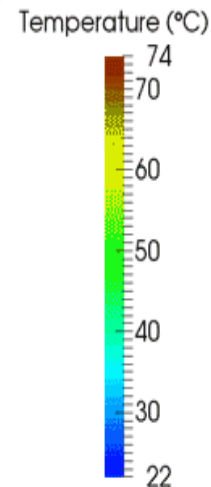


# Varför begränsas $\Delta T_{max}$ ? – Hur temperatursprickor uppstår

Ref: Prof. Ryoichi Sato (Measures for hot weather concreting in Asian countries, 2017 – Bkk, Thailand) & Uni Texas report FHWA/TX-05/0-1700-2 (2001)



-1.6 hours



*Temperatursprickor uppstår när temperaturgradienter och tvång skapar dragspänningar som överstiger betongens draghållfasthet.*





# Vad påverkar temperaturutvecklingen i betong? (HoH)

**Temperaturökning**  
betong på grund av  
cementets  
**hydratisering**



Mängd  
utvecklad  
värme

Hastighet för  
värmeutveckling

Värmeavgivning



# EXPOSURE CONDITION



Table F.1 - Recommended limiting values for composition and properties of concrete

	Exposure classes																	
	No risk of corrosion or attack	Carbonation-induced corrosion				Chloride-induced corrosion						Freeze/thaw attack				Aggressive chemical environments		
						Sea water			Chloride other than from sea water									
X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3	
Maximum w/c	---	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minimum strength class	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimum cement content (kg/m <sup>3</sup> )	---	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minimum air content (%)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	---	---	---
Other requirements												Aggregate in accordance with prEN 12620:2000 with sufficient freeze/thaw resistance				Sulfate-resisting cement <sup>b</sup>		





# Sprickbildning i betong – orsaker



## Färskt skede

- Plastisk krympning
- Plastisk sättning
- Hög vct
- Temperatur

Nyckel:  
Snabb uttorkning

## Utförandeskede

- Otillräcklig härdning
- För tidig glättning
- Övervibrering
- Exponering

Nyckel:  
Fel utförande

## Hårdnat skede

- Torkkrympning
- Termiska sprickor
- Frost/tö (XF)
- Korrosion
- ASR

Nyckel:  
Miljöpåverkan



# Tack

