

Den färska betongens reologiska egenskaper



Pentti Koski
Cementa AB - Research

■ Presentation - innehåll

- Vad är reologi?
- Mätmetoder för reologiska egenskaper
- Vad påverkar betongens reologi?
- Exempel på tillämpningar

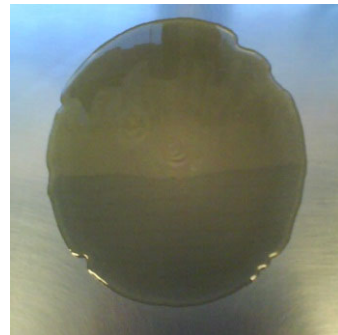
Vad är reologi ?

■ Reologi tillämpas inom vitt skilda områden - exempel

- **Hygienprodukter:** Flytande tvål, Handkräm
- **Matvaror:** Såser, dressing, choklad mm
- **Garaget:** Oljor, Fetter, Målarfärg
- **Färsk betong och cementbundna material**

Vad är reologi ?

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



**Viskoelastiska
vätskor**



**Viskoelastiska
solider, geler
elastomerer**



■ Reologiska grundbegrepp

- Skjuvhastighet
- Skjuvspänning
- Viskositet

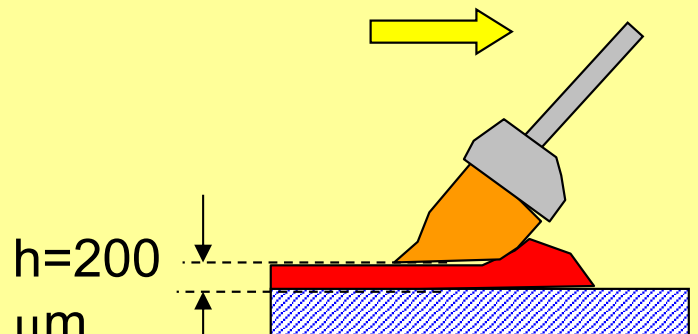
Skjuvhastighet

Skjuvhastighet är hur fort ett material flyter i förhållande till dess lagertjocklek. Sort 1/s eller S^{-1}

Förlopp	Skjuvhastighet
Sedimentation av pulver i vätska	$10^{-6} - 10^{-4}$
Rinning av färg	$10^{-1} - 10$
Tugga, svälja	$10 - 10^2$
Omrörning	$10 - 10^3$
Sprutmålning	$10^3 - 10^4$
Smörjning av motorer	$10^3 - 10^7$

Skjuvhastighet ex.
Penselmålning

$v = 0.5 \text{ m/s}$

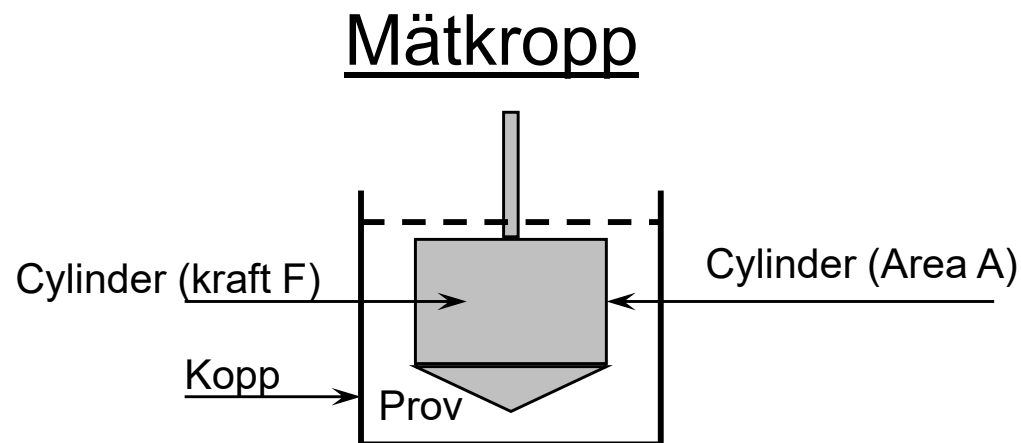


$h = 200 \mu\text{m}$

$$\text{Shearrate} = \frac{0.5 \text{ m/s}}{2 * 10^{-4} \text{ m}} = 2500 \text{ s}^{-1}$$

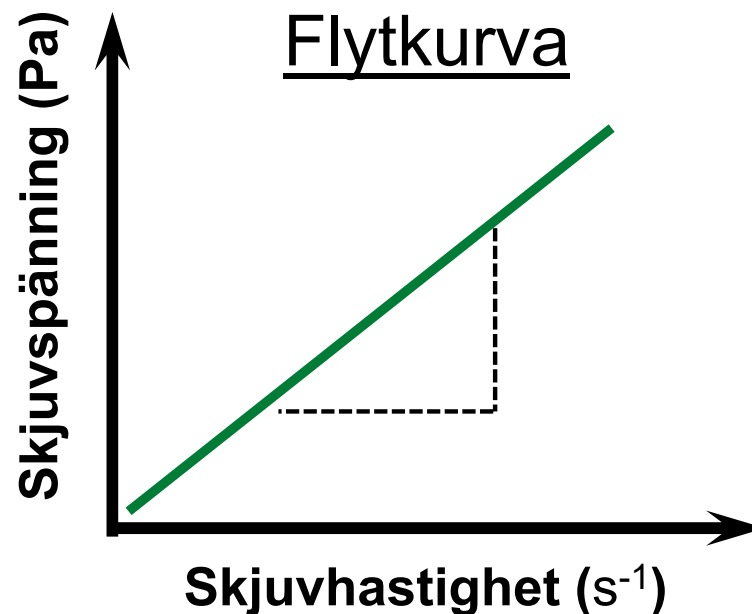
Skjuvspänning

- Skjuvspänning är kvoten av kraften (F) som verkar på mätkroppen (cylindern) och dess area (A). Således F/A
- Sorten är Pascal, (Pa)



■ Viskositet

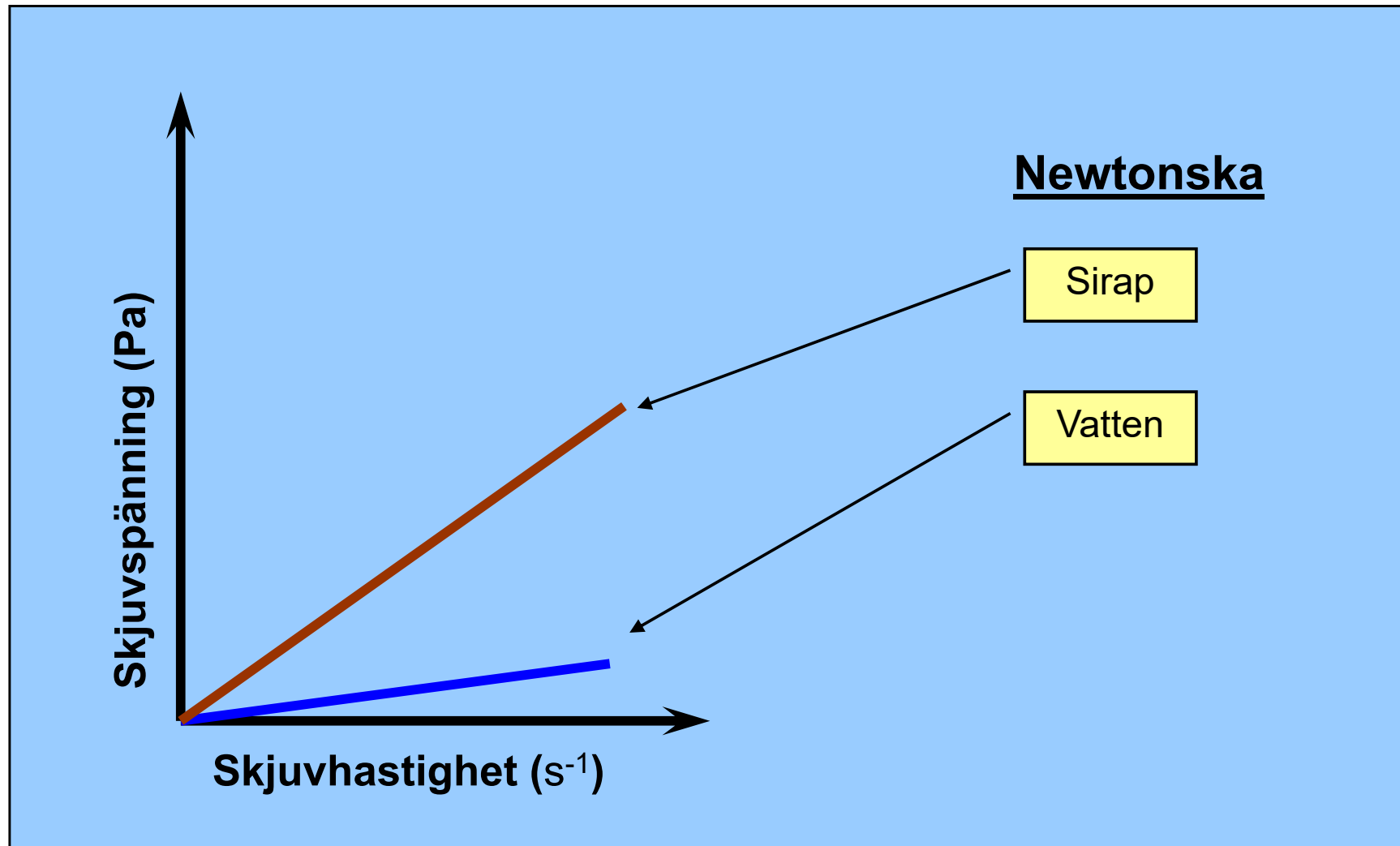
- Viskositet är kvoten mellan skjuvspänning och skjuvhastighet
- Sort, Pascal sekunder, Pa s



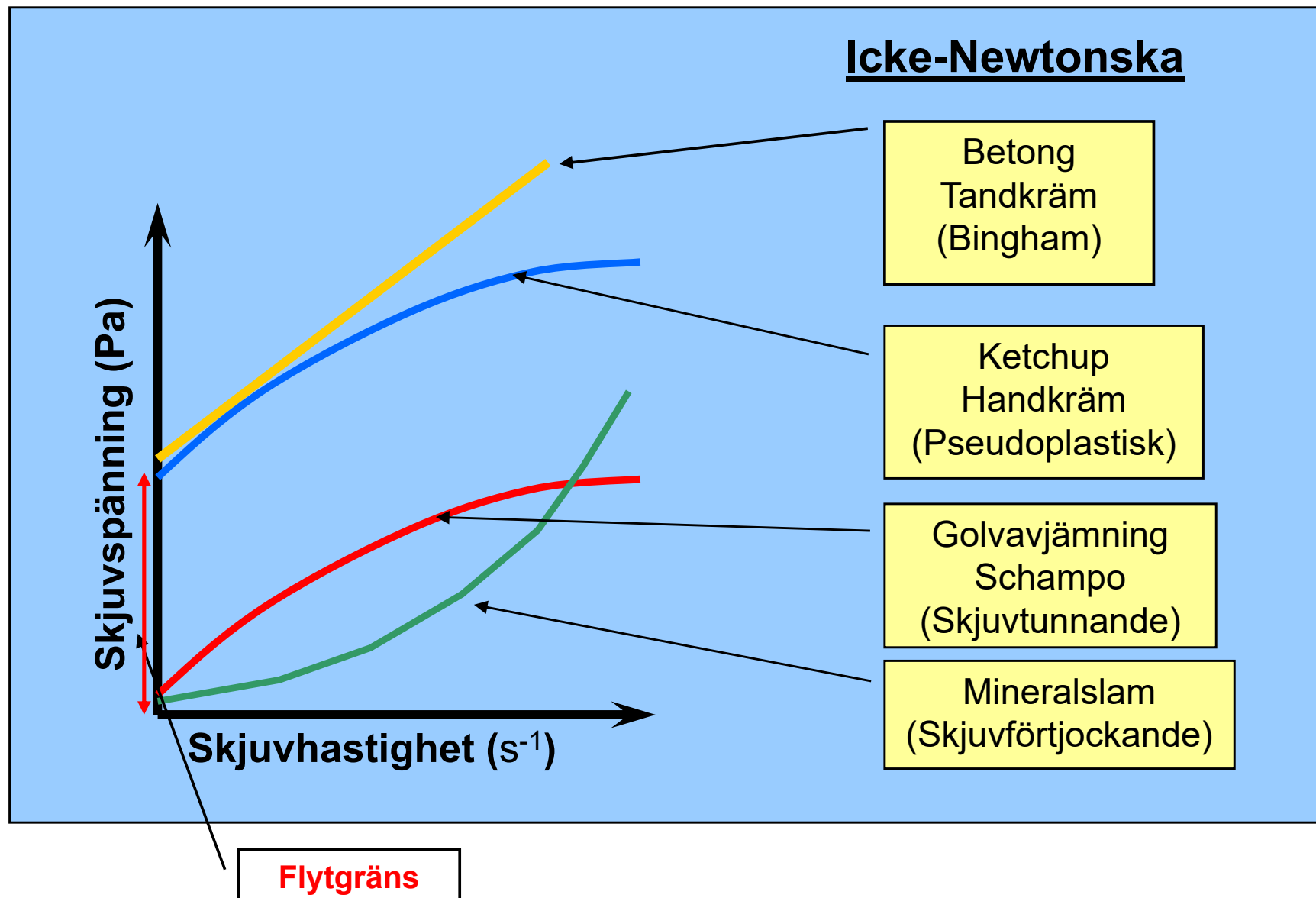
Viskositet (Pas)
(Newtonska material)

Luft	10^{-5}
Vatten	10^{-3}
Olivolja	10^{-1}
Glycerol	1
Sirap	10^1

■ Flytbeteenden, exempel



Flytbeteenden, exempel



Betongens reologi – viktiga färska egenskaper

Processer

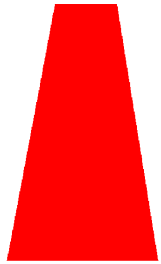
- Blandning
- Transport
- Pumpning
- Gjutning
- Slodning

Egenskaper

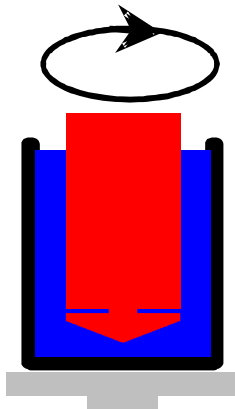
- Styvhet (flytgräns)
- Seghet (viskositet)
- Separation/stabilitet
- Kletighet
- Kärvheter



Metoder för att mäta betongens reologi



Sättmått (Abrams) 1913 - en parameter
Otillräcklig ibland, speciellt för modern betong
Beskriver inte det reologiska beteendet på ett tillfredsställande sätt
Operatörsberoende
Lämplig för enkel kvalitetskontroll

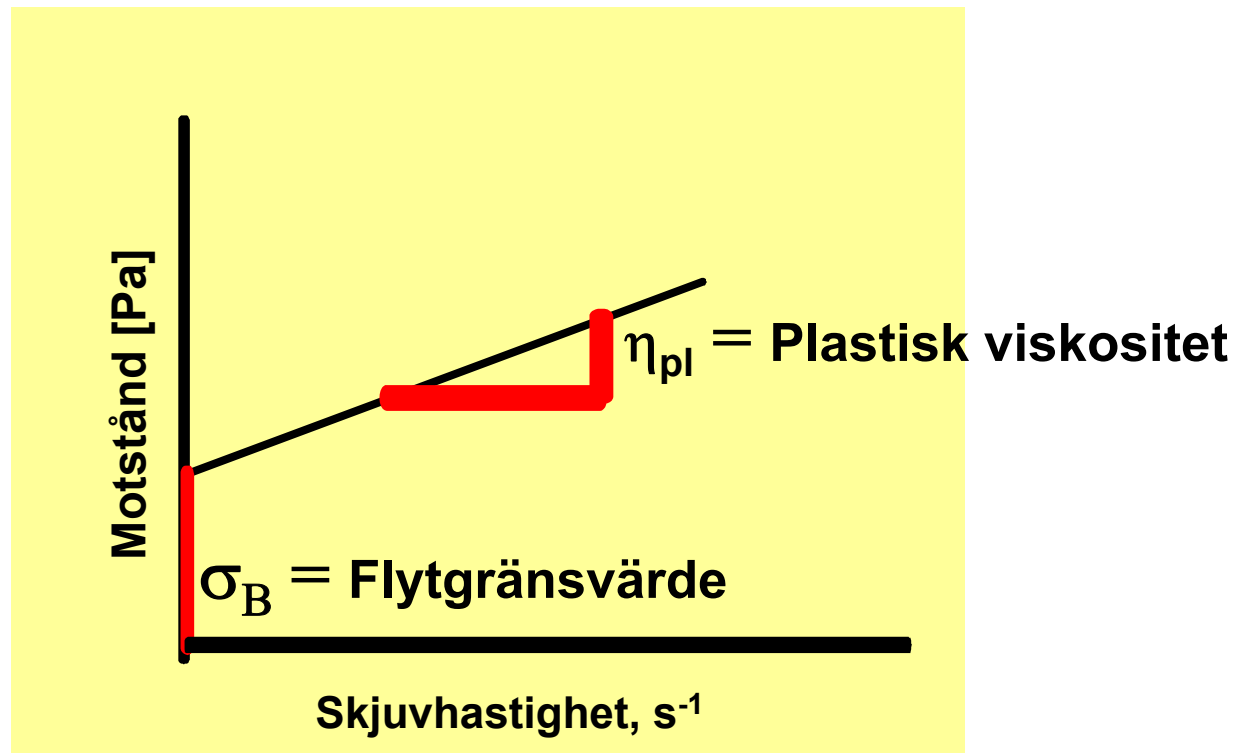


Betongviskosimeter 80-talet - två parametrar
Helautomatisk, datorstyrd
Bästa teoretiska mätmetoden



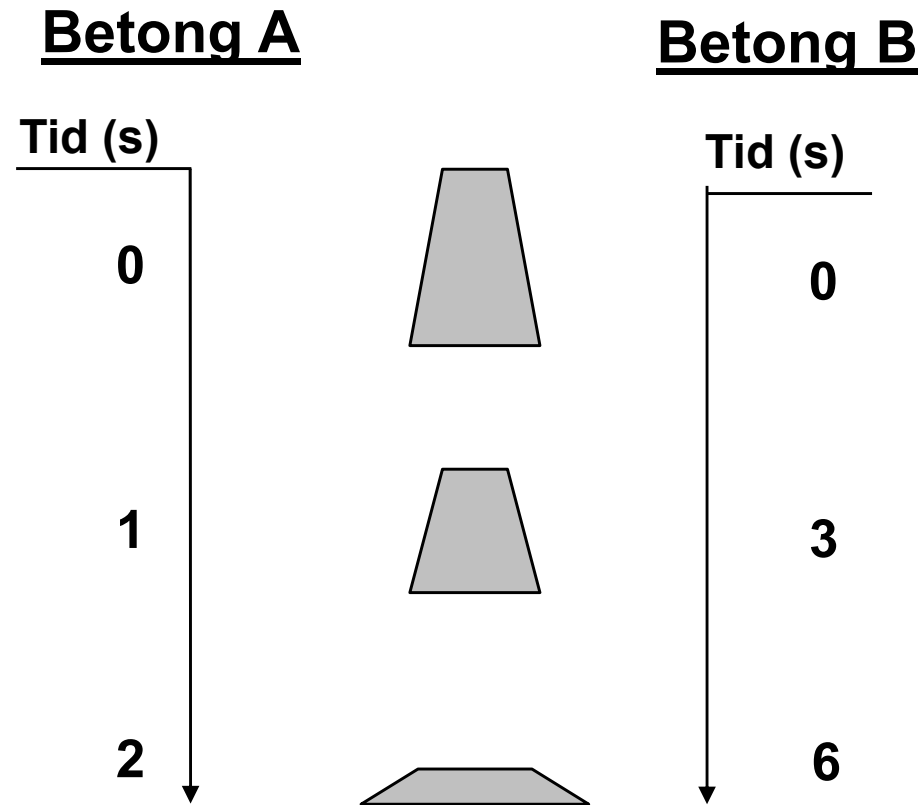
CEMENTA
HEIDELBERGCEMENT Group

■ Vilka parametrar mäter vi?



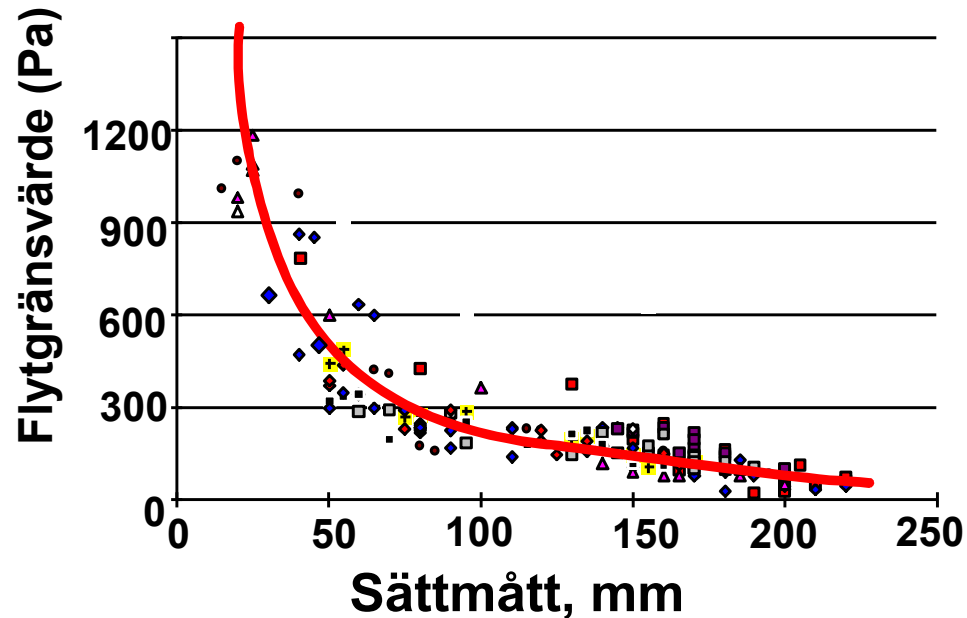
- Flytgräns σ_B eller τ_0 (Pa) = betongens styvhet, konsistens
- Plastisk viskositet η_{pl} eller μ (Pa s) = betongens seghet, trögflutenhet

■ Varför mäter vi två parametrar?



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

Sättnått - flytgränsvärde

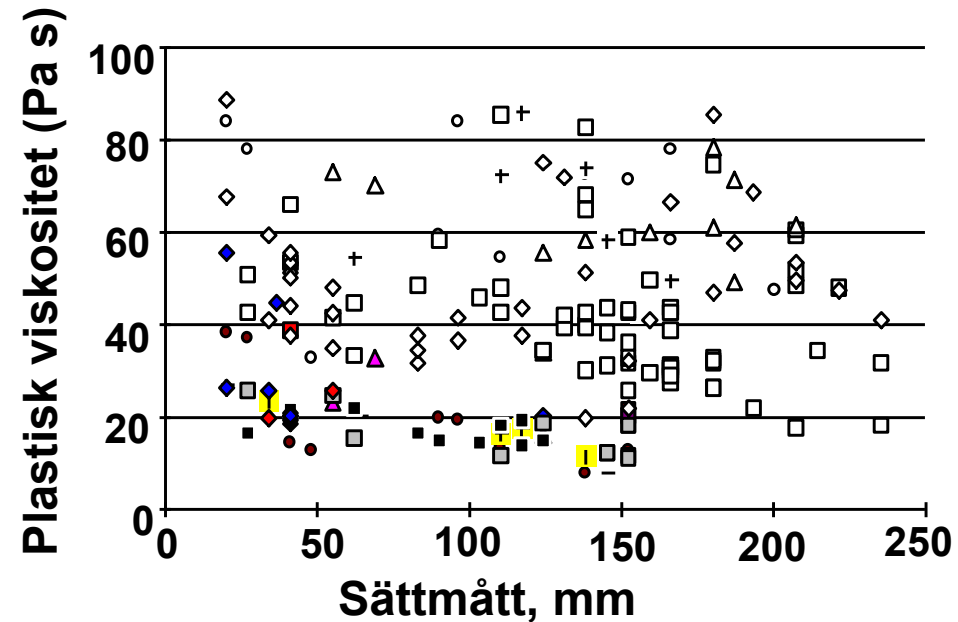


Det finns ett icke-linjärt samband mellan *sättnått* och *flytgränsvärde*...

Sättnått som metod kan främst jämföras med flytgränsvärde

Sättmått – plastisk viskositet

...men inget samband
mellan sättmått och
plastisk viskositet



Sättmått som metod kan inte mäta plastisk viskositet

■ Empiriska metoder – för betong

Metod	Uppmätt egenskap	Konsistensområde
Sättmått	Konsistens	Normal konsistens
Omformningstal	Konsistens (simulerar kompaktering)	Normal konsistens
Utbredningsmått	Konsistens	Normal konsistens.
Flytsättmått	Flytförmåga (Flytgräns) (t_{500} viskositet)	Självkompakterande konsistens
V-tratt	Viskositet	Självkompakterande konsistens
L-box	Passerbarhet genom armering	Självkompakterande konsistens
Vebetäl	Konsistens (simulerar vibrering)	Styv till plastisk konsistens
ICT -test	Kompakterbarhet hos jordfuktig betong	Jordfuktig betong

■ Vad påverkar de reologiska egenskaperna hos betong?

- **Betongens vct**
- **Delmaterial**
- **Blandningsprocedur**
- **Temperatur**
- **Tidseffekter**

Cement – skillnader i vattenbehov

- Cementets specifika yta (finhet) påverkar betongens stabilitet och vattenbehov

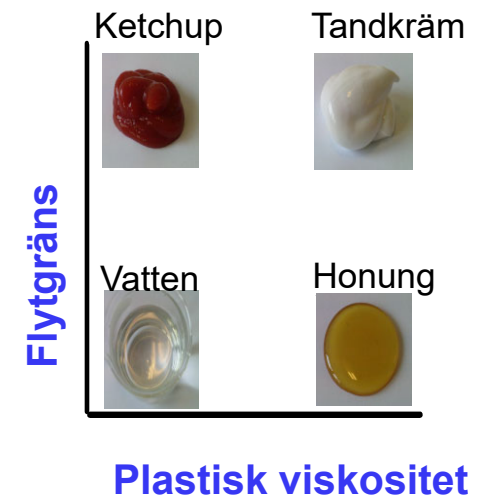
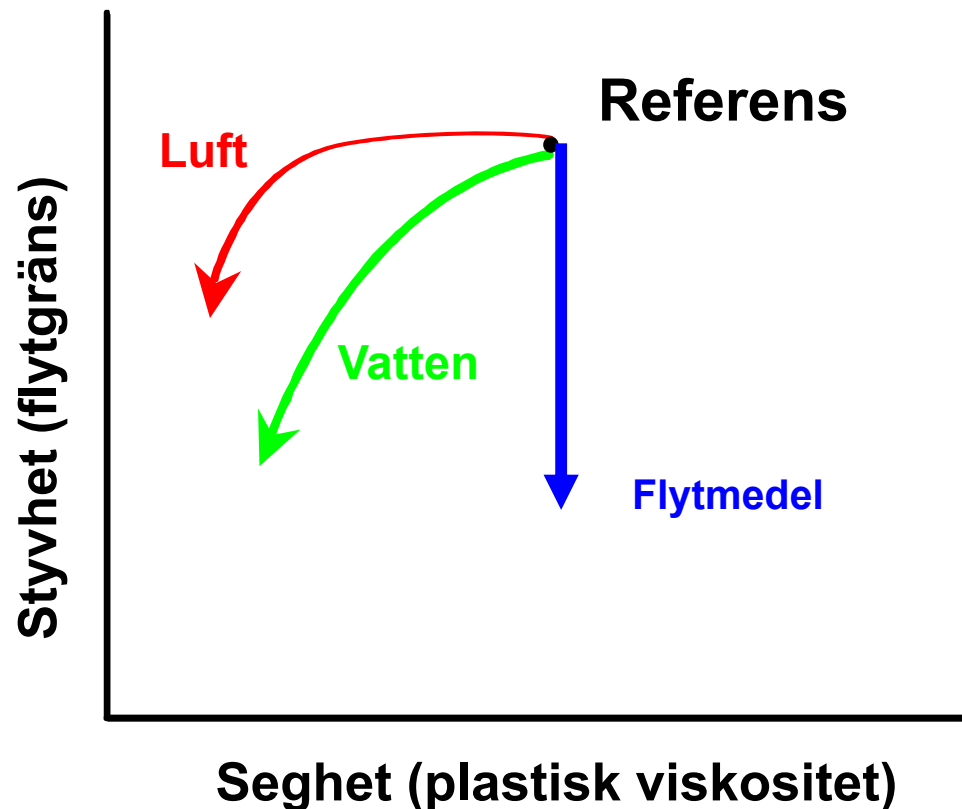
Ökande vattenbehov

<u>Cement</u>	<u>Yta</u> (finhet)	<u>C₃A</u>
Anläggningcem	låg	låg
Slite Bascem	medel	medel
Skövde Bygg	medel	hög
Slite SH	hög	medel
Skövde SH	hög	hög



Flyttillsatsmedel – reologisk effekt

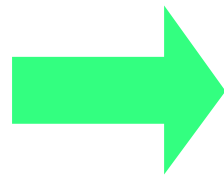
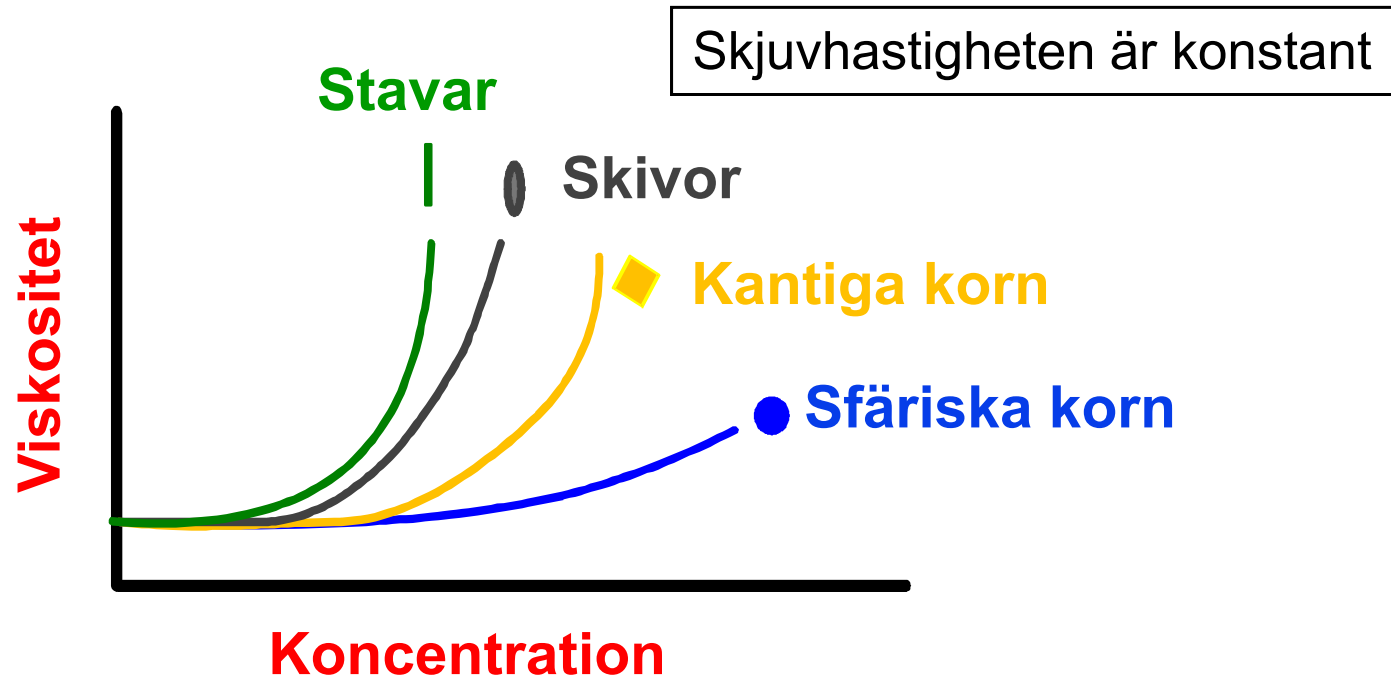
- Flyttillsatsmedel i betong ger i huvudsak en minskning av flytgränsvärdet (styvheten)
- Vid samtidig minskning av vattenhalten kommer också segheten att öka.



■ Ballastens påverkan

- Kornform
- Kornstorlek
- Kornstorleksfördelning
- Ytstruktur

■ Effekt av kornformen



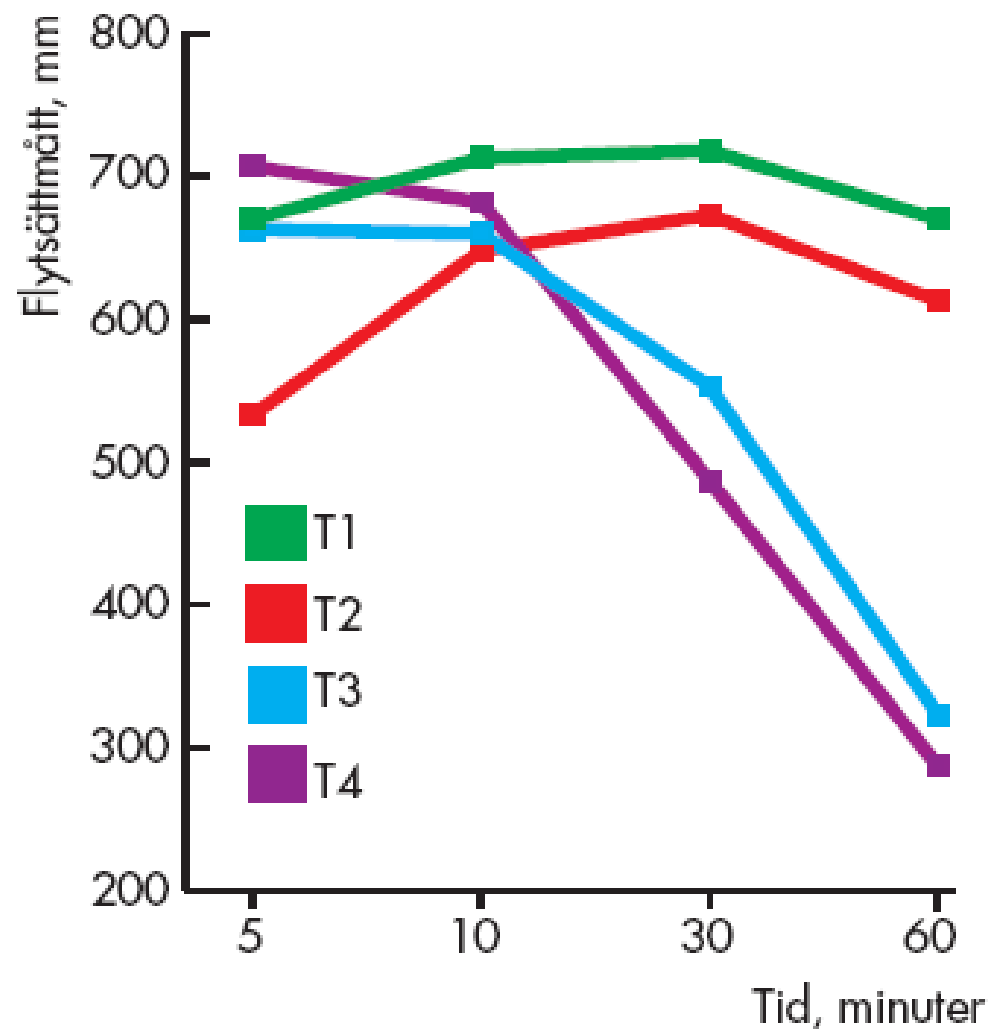
Lägre vct medför ökad betydelse av kornformen

■ Vad beror förändringar i betongens reologi på?

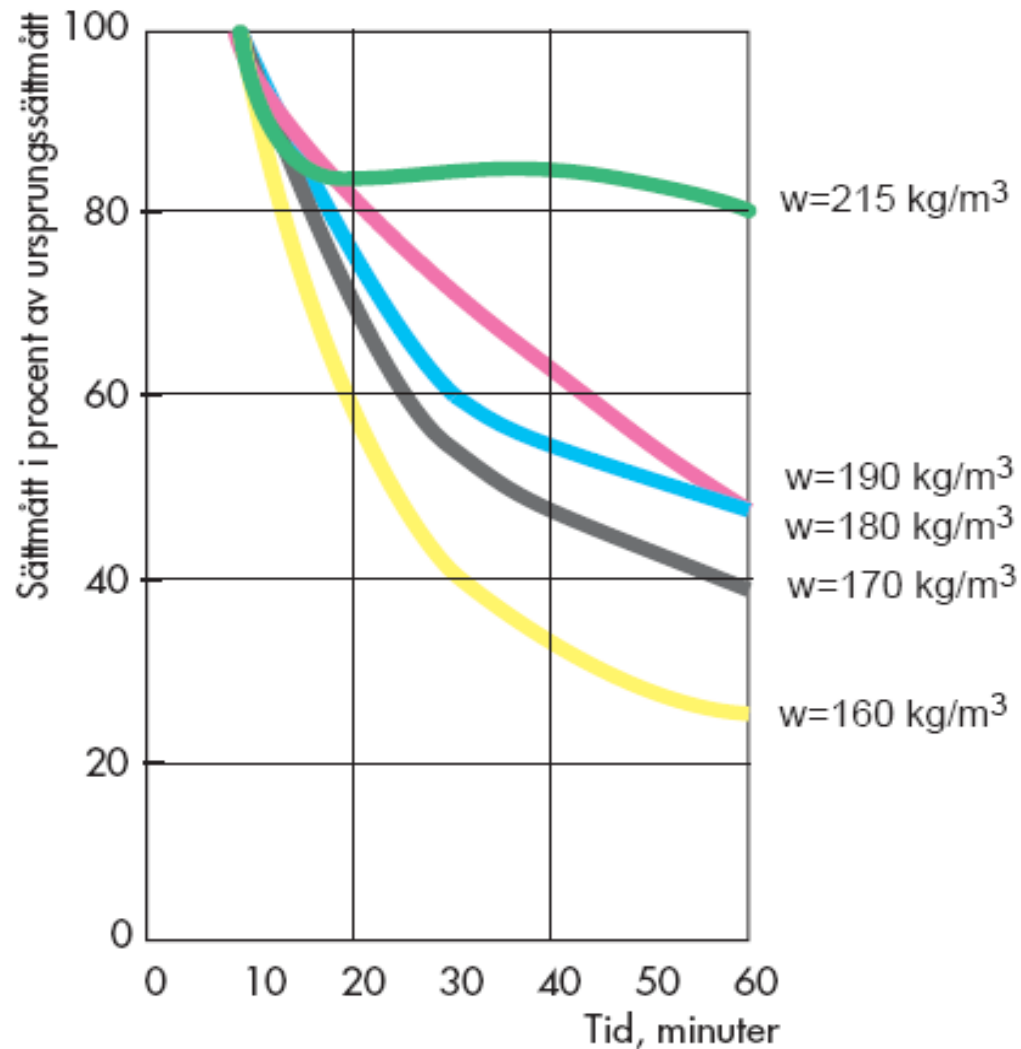
- **Betongsammansättning (vct)**
- **Cementtyp**
- **Flytmedelsverkan**
- **Temperatur**
- **Avdunstning**
- **Ballast**

Olika flyttillsatsmedel i SKB med Anl cement

■ Välj lämpligt flytmedel till det cement du använder



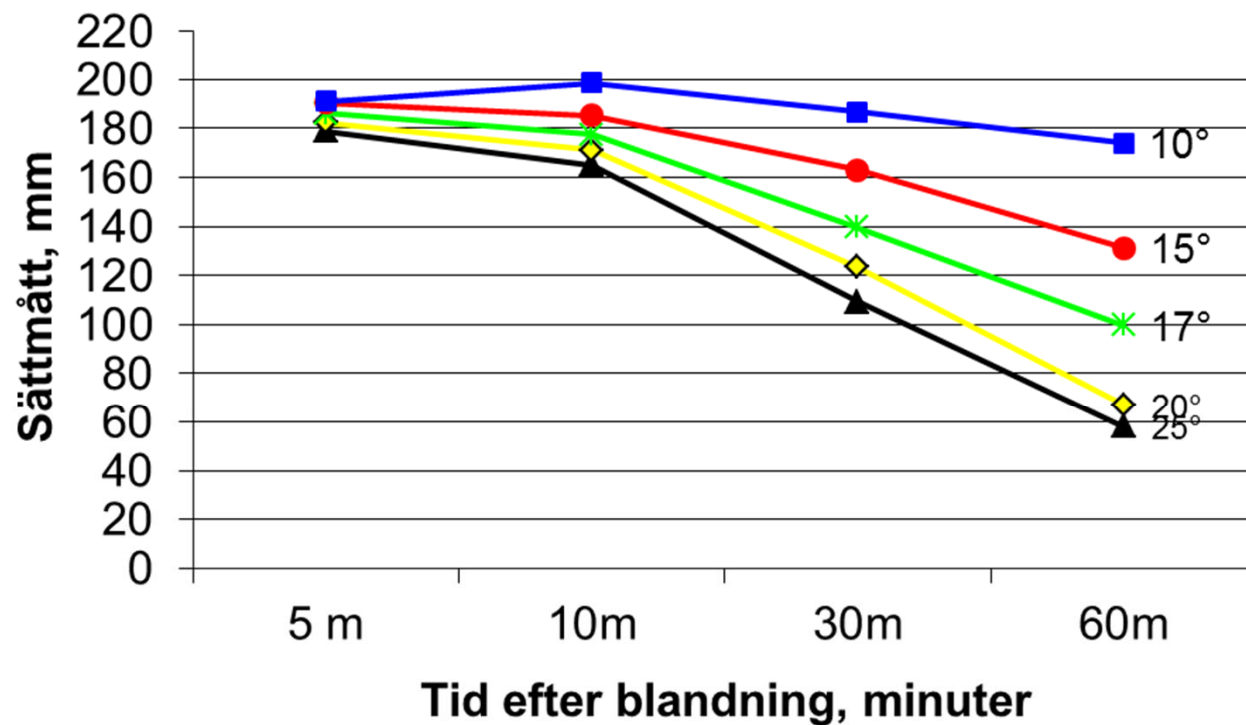
Vattenhaltens inverkan på konsistensförändringen



- När vi sänker vattenhalten minskar också pastavolymen vilket påverkar betongens konsistensförändring kraftigare.
- Kraftigt reducerad vattenhalt leder till större konsistenstapp

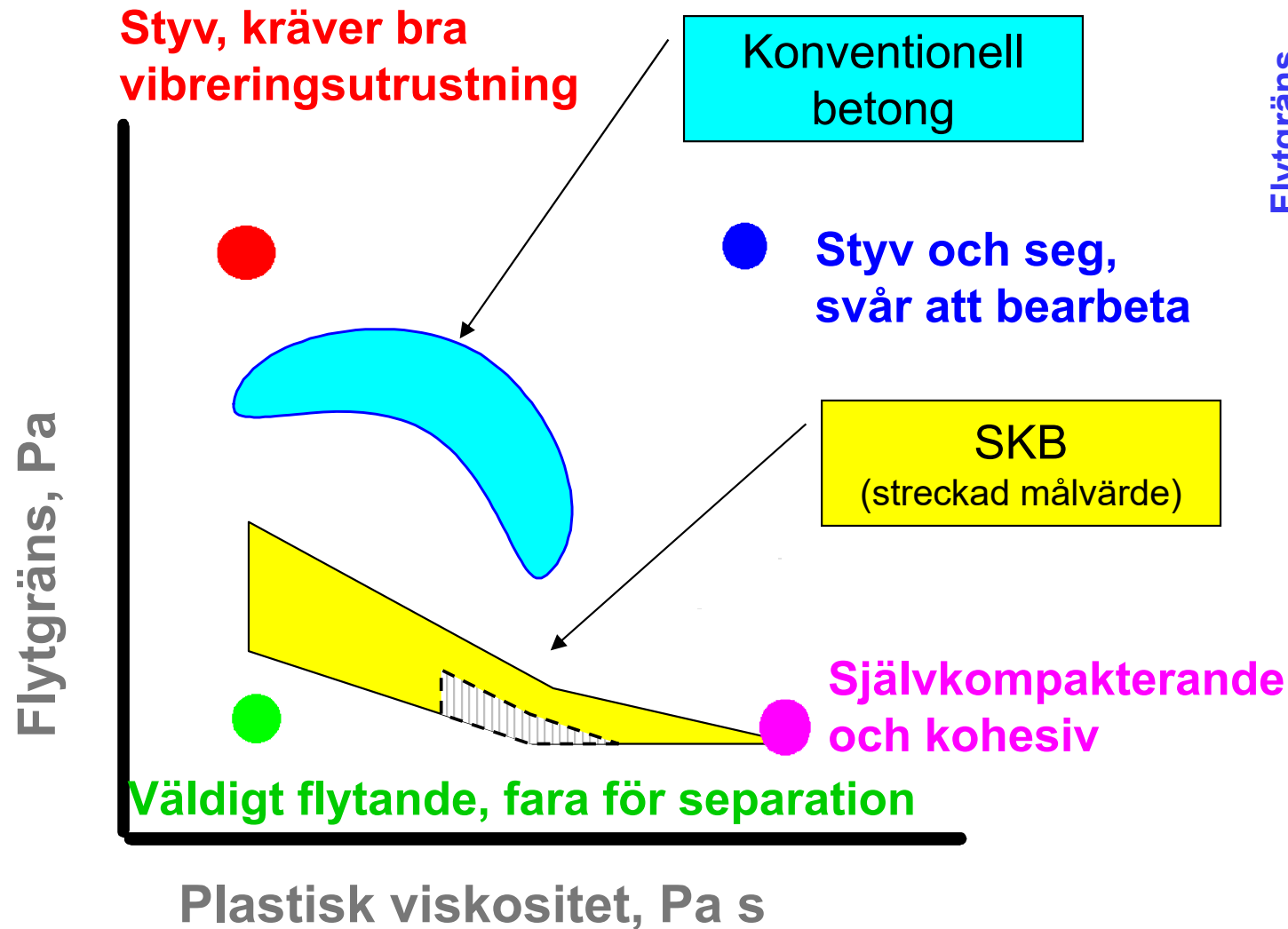
Temperaturens effekt på konsistensutvecklingen

Sättnåttförändring vid olika temperatur
Samma flytmedel och dos

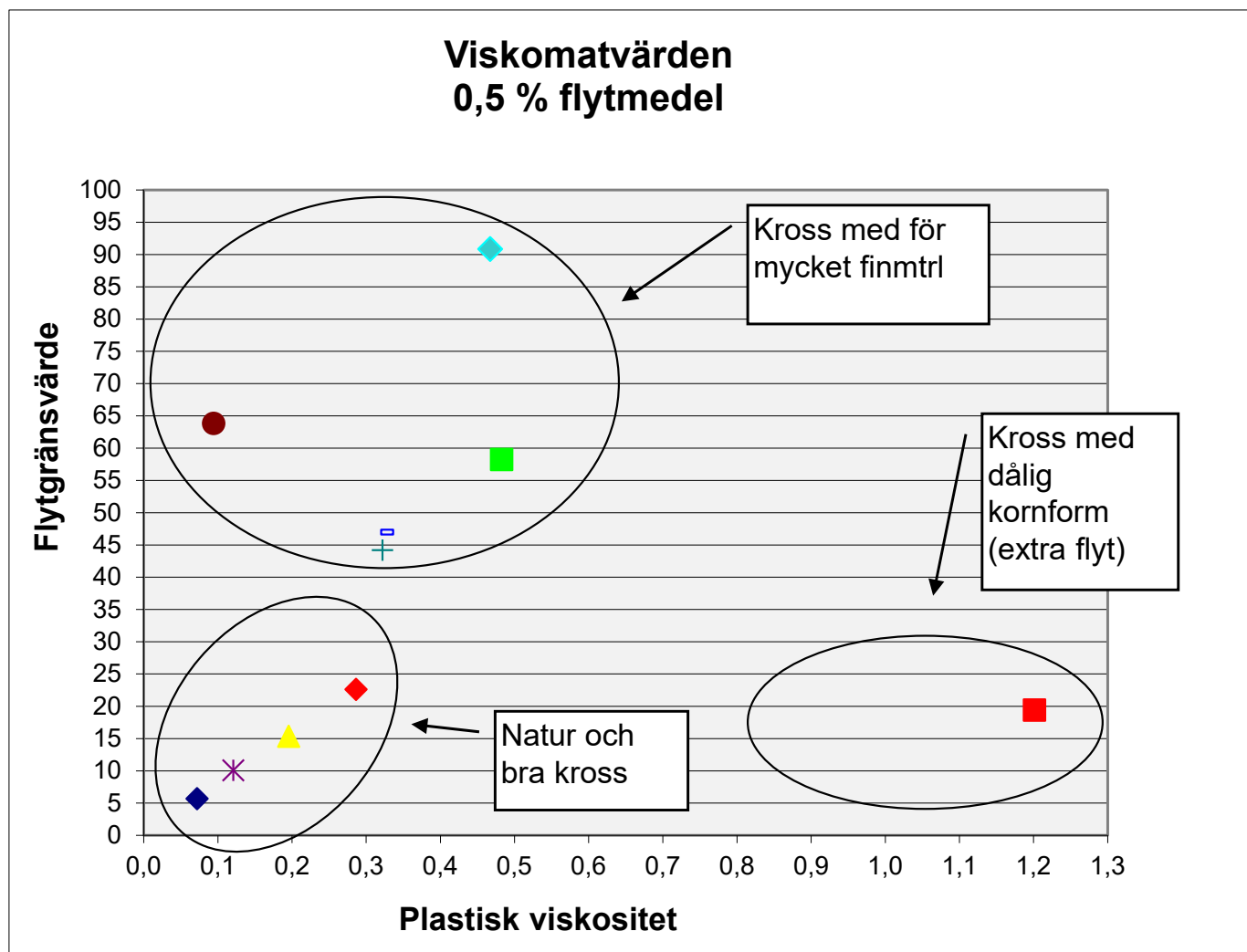


Självkompakterande betong (SKB)

Flytgräns – Plastisk viskositet



Utvärdering, 0-2 mm kross



Kross med för mycket finmaterial eller för dålig kornform går att identifiera