

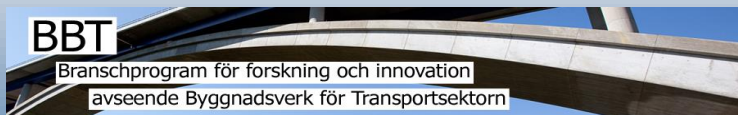
Trafikverkets och Anläggning AMAs metoder för undvikande av tidig sprickbildning i betong – nytutveckling mht miljökriterier

Martin Nilsson, Jonny Nilimaa, Luleå tekniska universitet (proj.ledning)

Mats Emborg, LTU/Betongindustri, Jonas Carlswärd. Betongindustri.

Mikael Westerholm, CEMENTA

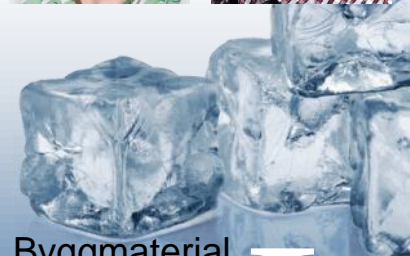
Alf Nilsson, Trafikverket



parallellt dr projekt
Anders Hösthagen, LTU

Bostek

Hans Hedlund, LTU,
Skanska



Byggmaterial
Konstruktionsteknik

Upplägg

1. **Bakgrund**
2. Sprickor
3. Frågeställningar
4. Laboratoriet
5. Beräkningsmetodiker
6. Leveranser
7. Sammanfattning

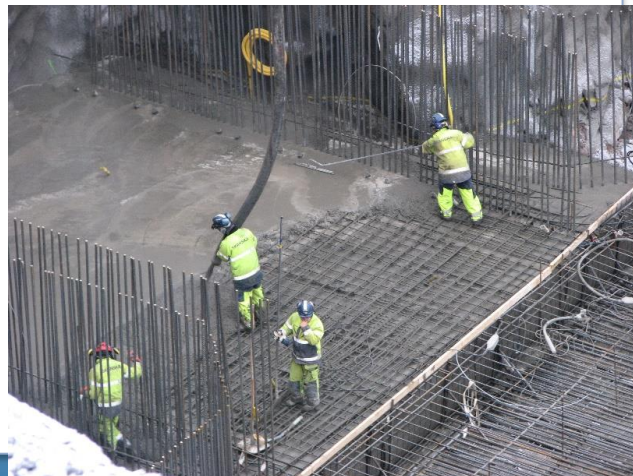


1. Bakgrund

- Svenska sprickmodellen (1994) – anläggningskonstruktioner ska ha så lite eller inga sprickor under hårdnandet som möjligt
- Bro 94, senare i AMA Anläggning 2017,
Arbetsbeskrivningar med ev. åtgärder tas fram;
 - Metod 1 – temperaturkrav
 - Metod 2 – diagram med typfall
 - Metod 3 – sprickriskberäkningar med standardparameterar eller egna provade betongparametrar - tillåter högre sprickrisker

1. Bakgrund - huvudproblematik

- Den ”Svenska Sprickmodellen”;
metoder och materialparametrar baserad
på trad. Anläggningscementet.
Kriterier Anl AMA
- Modellen har använts i nästan 30 år och
kan inte längre tillämpas (fullt ut) när krav
på minskad miljöbelastning ställs.

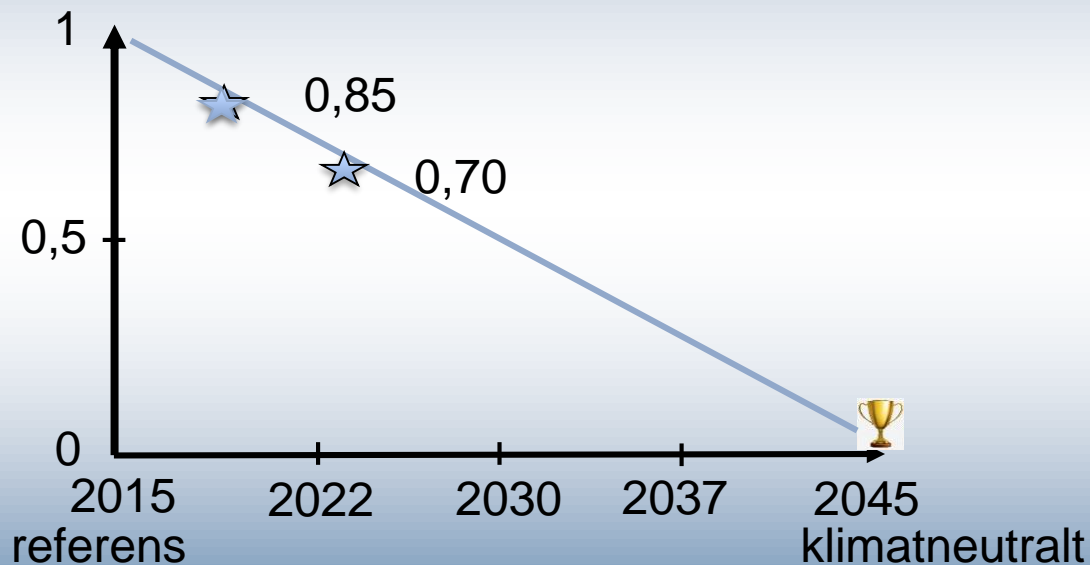


Trafikverkets och Anläggning-AMAs metoder för undvikande av tidig sprickbildning

eftersom:

- Trafikverkets klimatkrav - CO₂ utsläpp ska minska
15 % - 2020, 30% - 2025, referens 2015 - neutralt 2045
- Betong klimatreduceras: annan sammansättning → förändrade egenskaper
 - Metod 1 och Metod 2 begränsning sprickor - inte längre giltiga
 - Metod 3 är fortsatt tillämpbar – existerande standardparametrar till programmen gäller inte

Relativ klimatbelastning



Från Betongdagen 2022

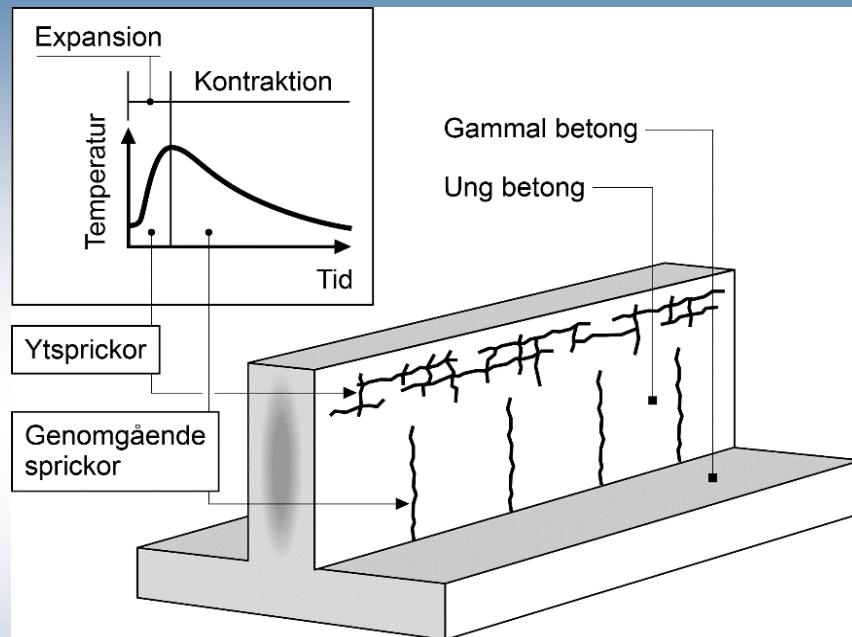
Upplägg

1. Bakgrund
2. **Sprickor**
3. Frågeställningar
4. Laboratoriet
5. Beräkningsmetodiker
6. Leveranser
7. Sammanfattning



2. Sprickor under tidiga hårdnandet

- Uppvärmning - avsvälning
- Utvidgning - kontraktion
- Krympning av uttorkning
- Tvång
 - konstruktionsdelar sitter fast
 - delar rör sig olika
- → Spänningar
- → Sprickor



19

Egenspänningar och sprickor av temperaturrörelser och krympning. Värme- och mognadsutveckling

Mats Emborg

*Anders Hösthagen, del av 19.6, 19.9 och 19.10,
Wojciech Cyron, del av 19.10*

110 sidor 11 underkapitel, exempel

- kap 18 krympdeformationer + kap 17 fuktillstånd),
- kap 22 sprickor

[Egenspänningar och krympning! - Betongvärlden \(betongvarlden.se\)](http://betongvarlden.se)

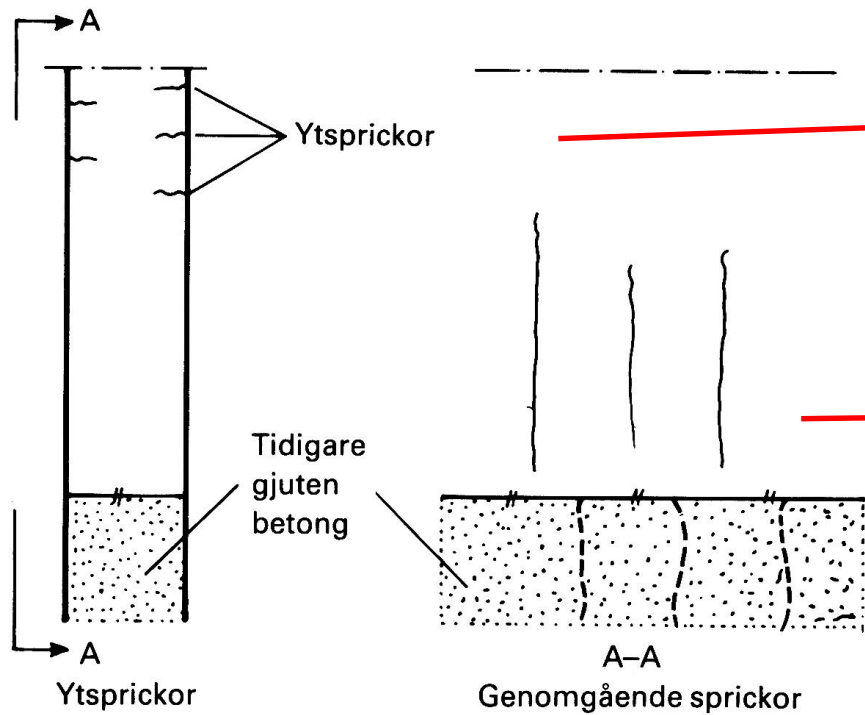
BETONGHANDBOK
БЕТОНЧАНДВОК

MATERIAL

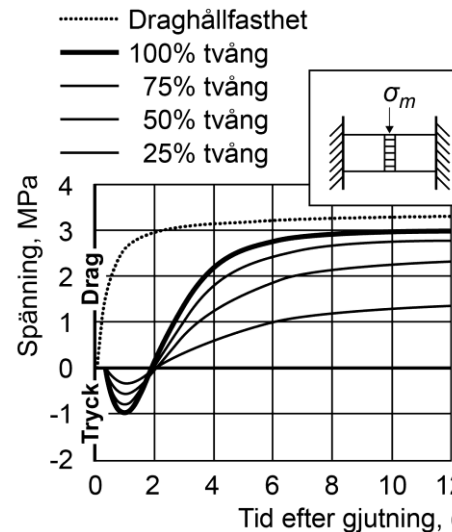
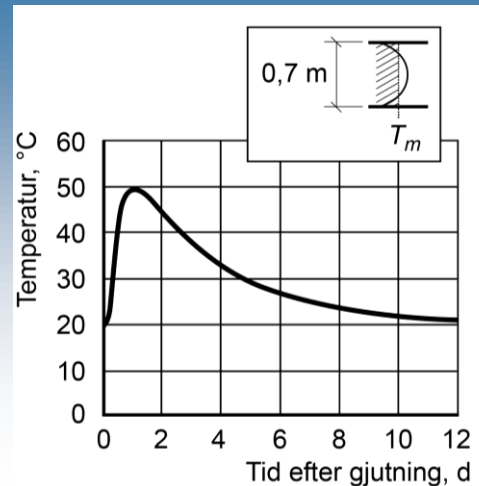
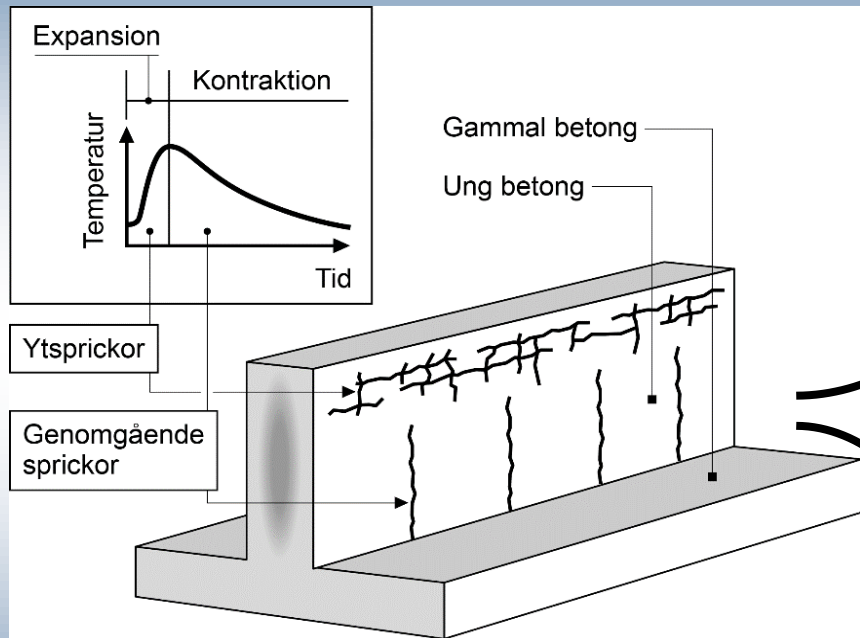
Vinnare
ÅRETS BOK
2021!

Redaktör: Ingvar Börtemark

Ytsprickor och genomgående sprickor samma konstruktion



Genomgående sprickor



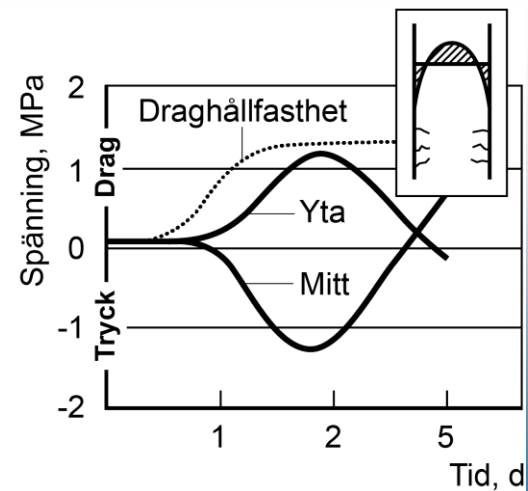
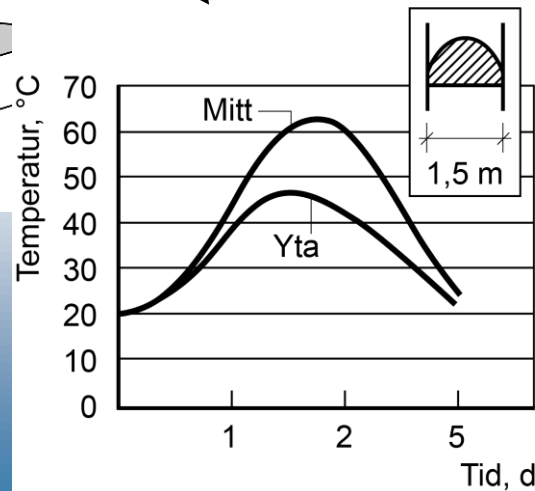
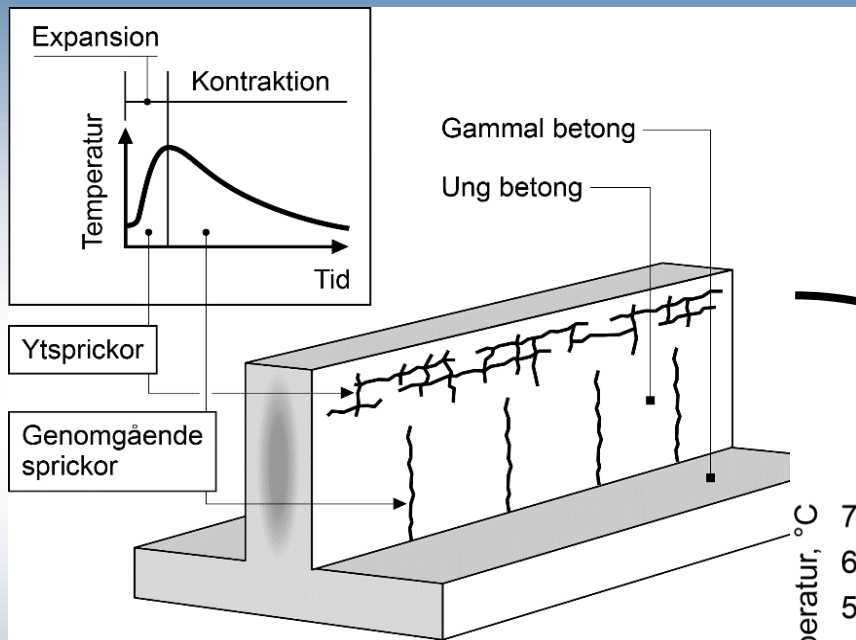
Genomgående sprickor



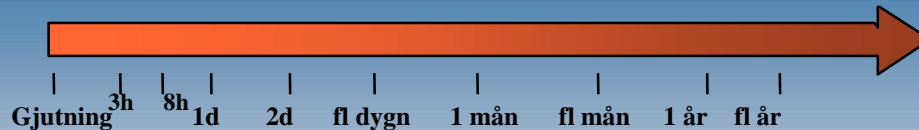
Shrinkage crack in the wing
dike of the St. Francis Dam,
1928

www.scvhistory.com från
Klausen Anja (2020)

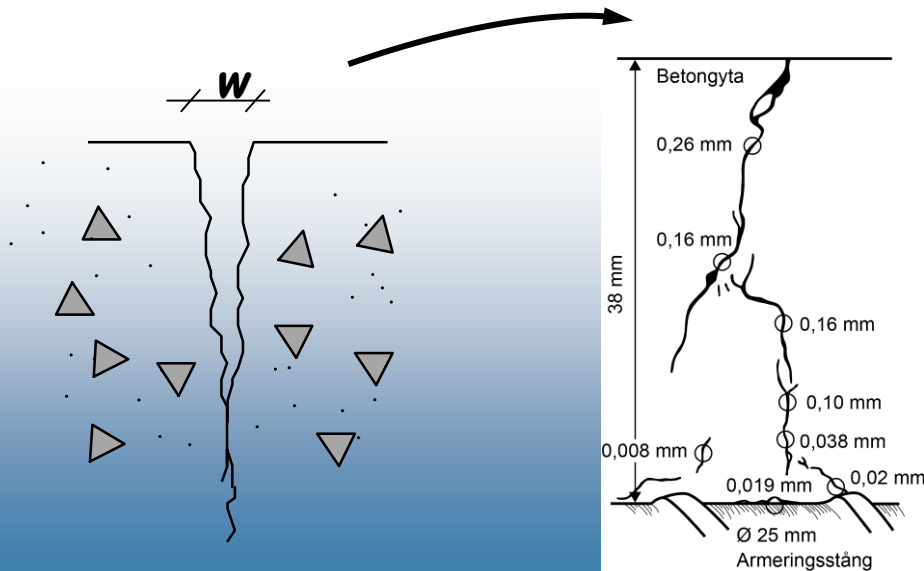
Ytsprickor



När ?



max sprickvidd w
< 0.05 mm → sprickfrihet

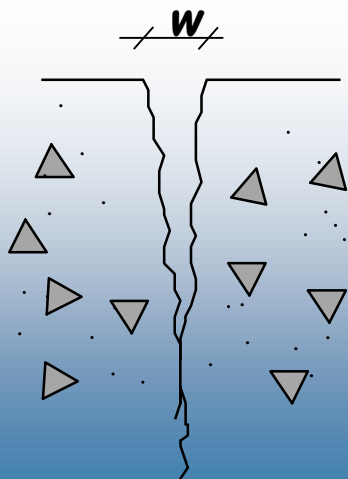


(BHB – Material kap 22)

När ?



max sprickvidd krav w
< 0.05 mm → sprickfrihet



Måste visa detta!

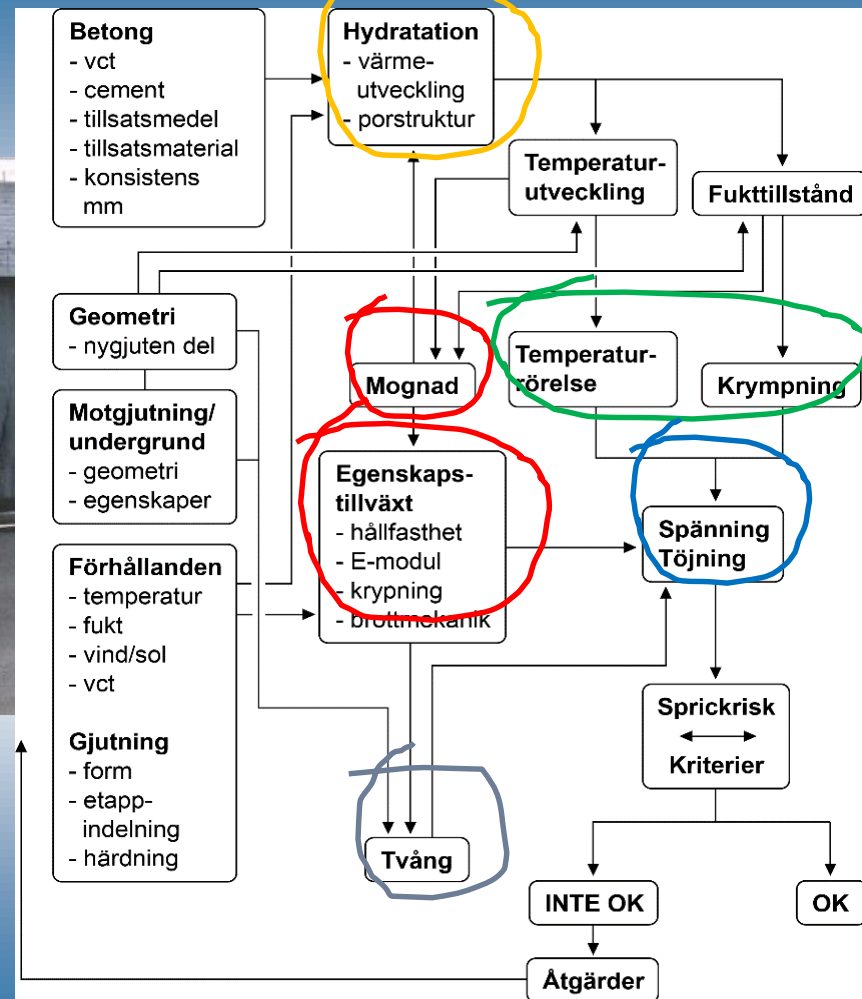
Broöverbyggnad Västerbotten, 2020

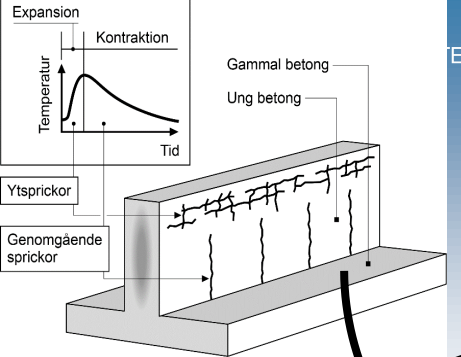
Forskning LTU (dr arbete Faez Sayahi)
har funnit möjligheter till lösningar
TRV borde följa upp!



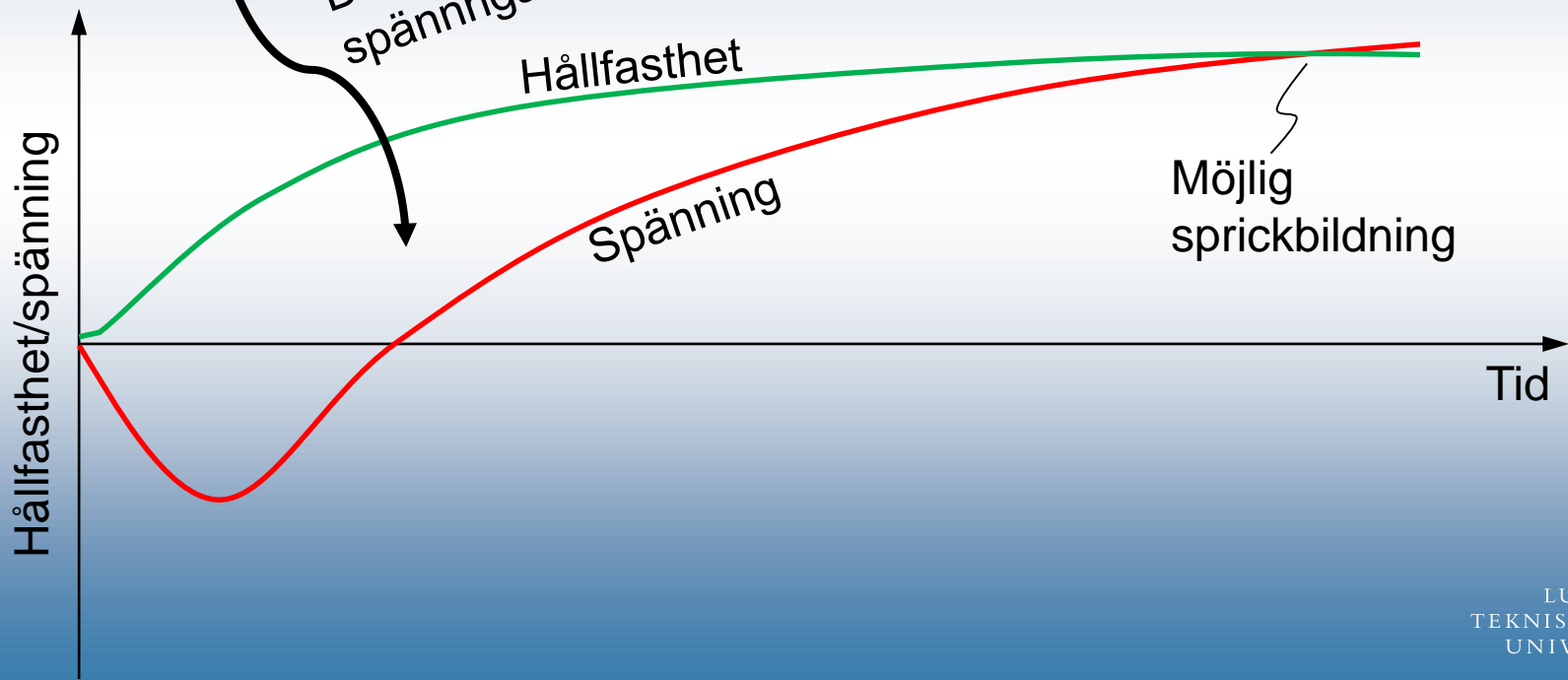
Svenska filosofin:

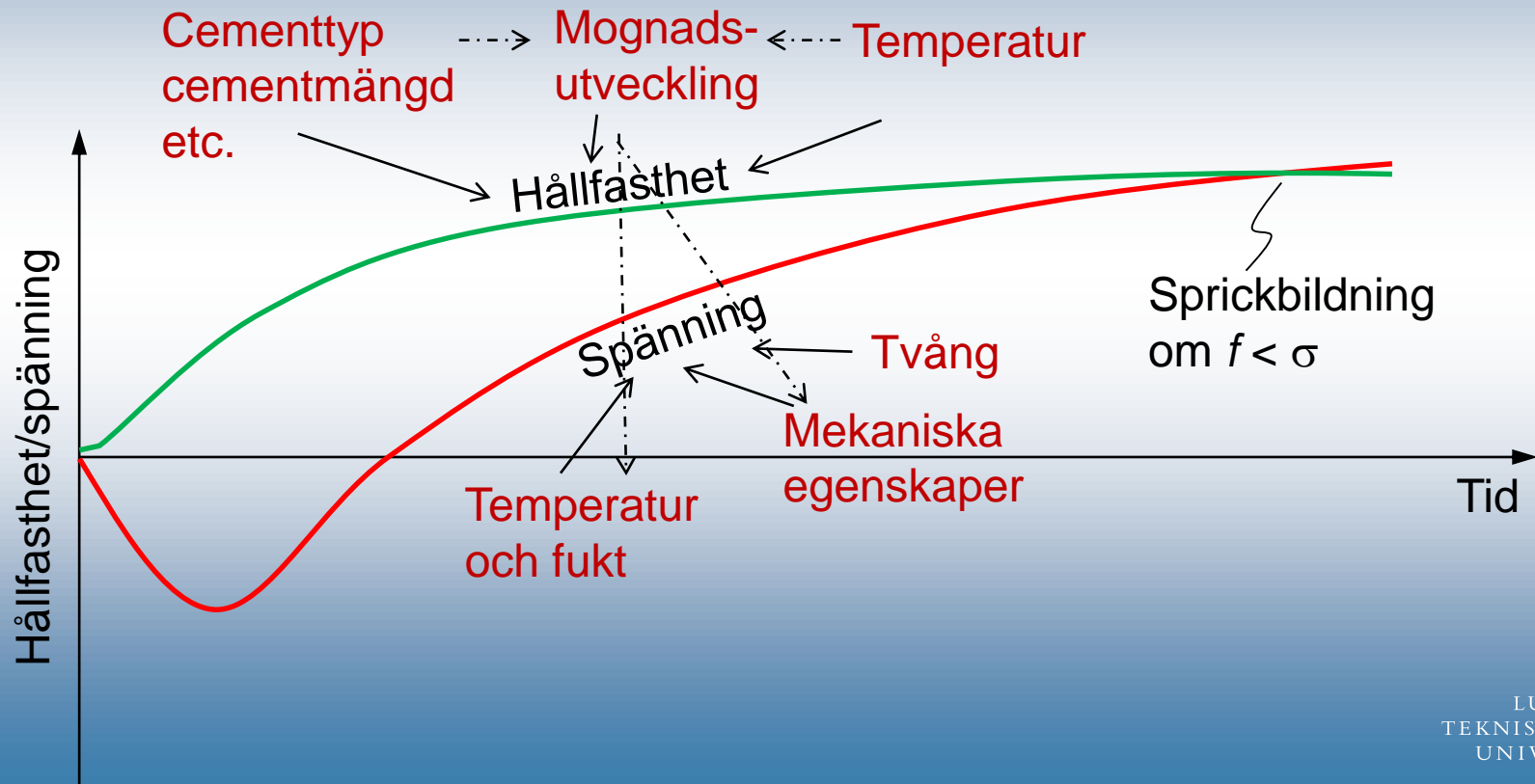
- Arbetsbeskrivning tas fram
- Konstruktion modelleras
- Sprickrisker beräknas/uppskattas
 - enligt Anl AMA
- Eventuella åtgärder väljs så att sprickriskerna blir tillräckligt små.
- Koll på inverkan av faktorer →





Deformationer förhindras
spänningar





Varför håller vi på?

Kvaliteten hos betongkonstruktioner
är tydligt beroende av:

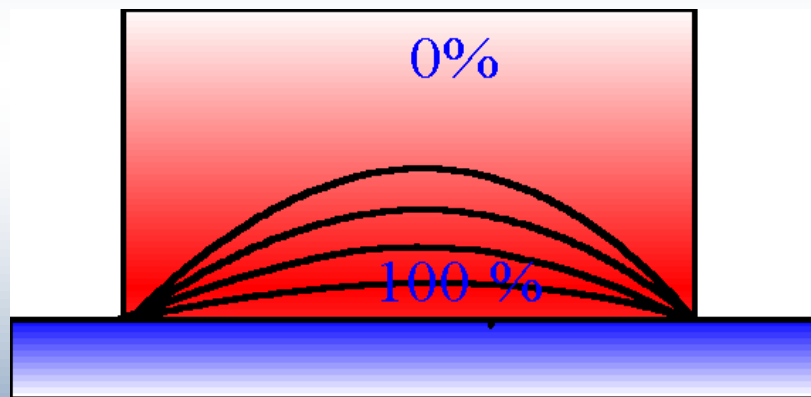
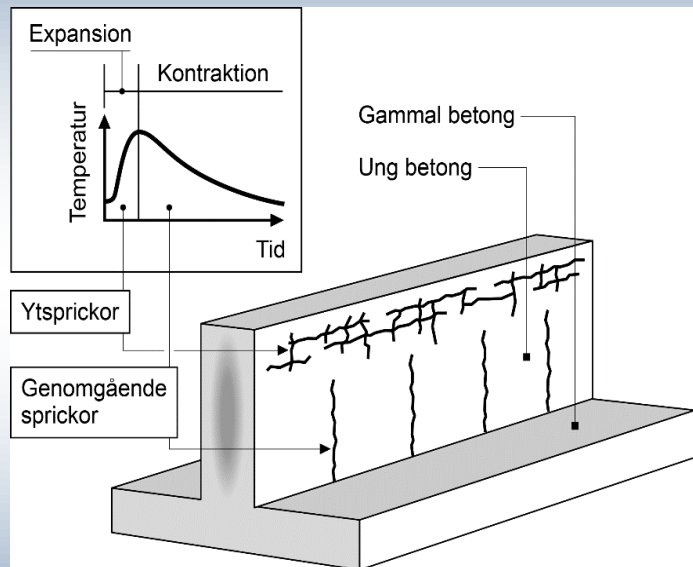
- ✓ härdningen i tidig ålder och
- ✓ om betongen spricker

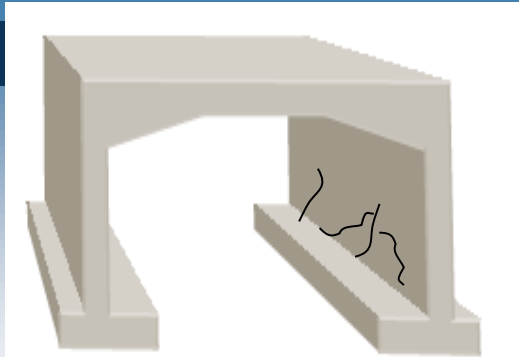
- Sprickor kan innebära att livslängden reduceras med flera tiotals år.
- Och att funktionen inte kan säkerställas

- Det är självklart
ålder till varje pris



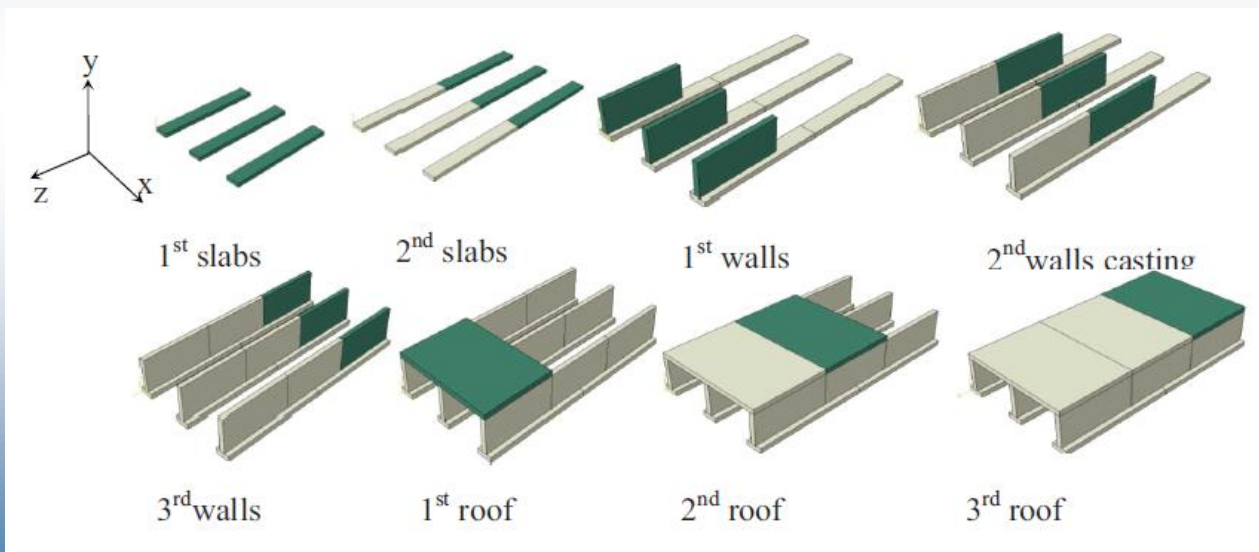
Tvång – en av inverkanse faktorer



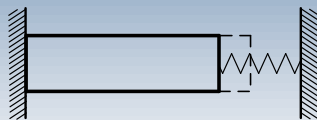


Tvång

– fort komplext... mkt!



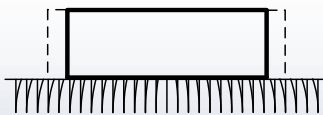
Typiska renodlade situationer



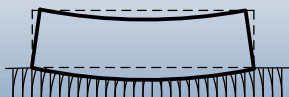
Elastiskt ändtvång



Styv grund/understruktur

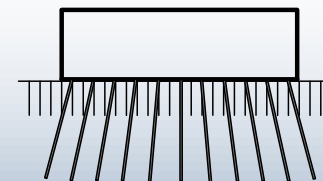


Elastisk grund/understruktur



Böjning tillåten

Pålar




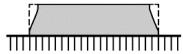
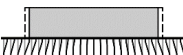
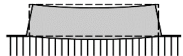
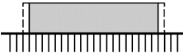


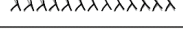
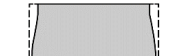


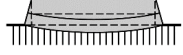


- Och många andra ”enkla” typfall ...

Typfall

Tabell 19.8:1, se även Nilsson et al
(2015)

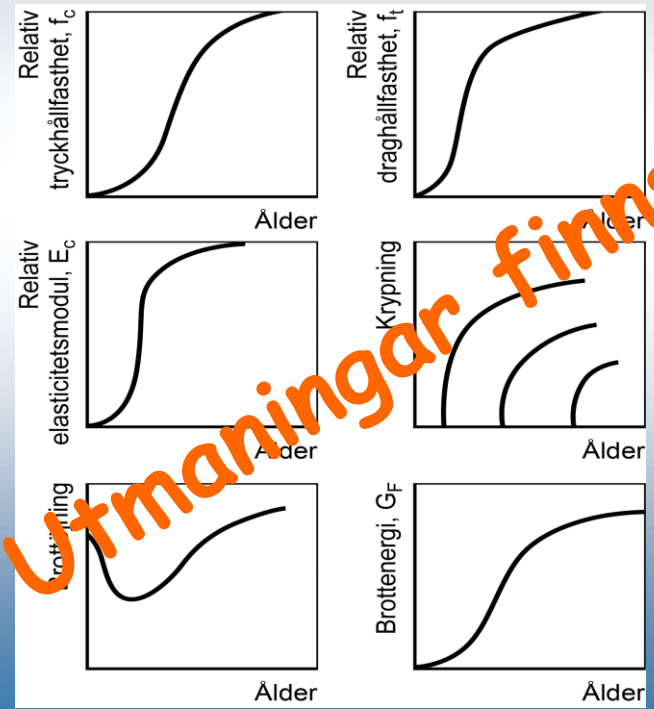
Betonghandbok Material kap 19

Nilsson M, Hedlund H, Emborg M,
Jonasson J-E. Bernander S. Tvång i
betongkonstruktioner för
sprickriskanalyser, SBUF rapport,
projekt 11618, 2015.

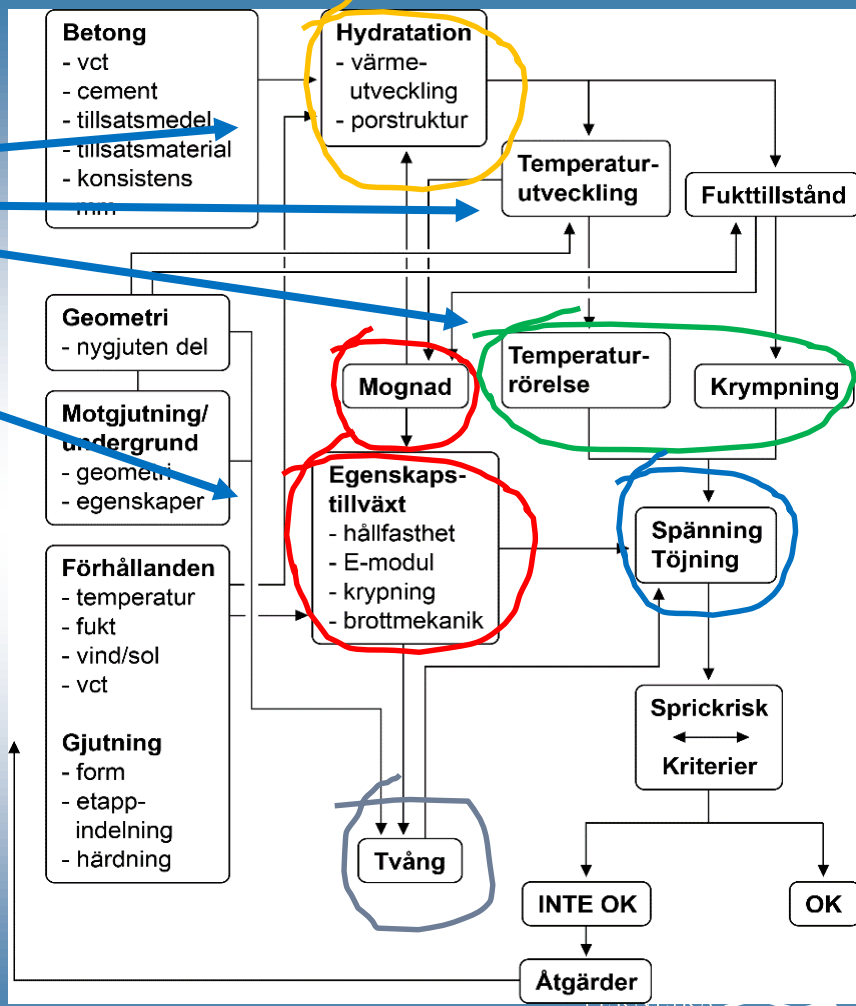
1 Enaxiellt ändtvång	
2 Kontinuerligt oeftergivlig rand oavsett material	
3 Kontinuerlig delvis eftergivlig rand, friktionsmaterial	
3.1 Translation (deformation i undergrunden)	
3.2 Rotation (deformation i undergrunden)	
3.3 Glidning på underlaget (utan deformation i undergrunden)	
3.4 Pålgrundläggning	
4 Kontinuerlig delvis eftergivlig rand – berggrundläggning	
5 Randtvång betong mot betong	
5.1 Resiliens (i samverkande strukturer)	
5.2 Translation (i samverkande strukturer)	
5.3 Böjning/rotation (i samverkande strukturer)	
5.4 Glidning/upsprickning i gjutfog	
6 Samverkansbroar	

Betongen!

Värmeutvecklingen
Krypningen
Mekaniska egenskaper



Utmaningar finns!



Upplägg

1. Bakgrund ✓
2. Sprickor ✓
3. **Frågeställningar**
4. Laboratoriet
5. Beräkningsmetodiker
6. Leveranser
7. Sammanfattning



Frågeställningar

- Hur utförliga bör laboratorieundersökningar vara?
 - Innebär en alltför hög komplexitet ett hinder för utveckling av t.ex. miljövänliga betonger?
 - Kan förenklingar göras om man utnyttjar databaser från redan utförda provningar?

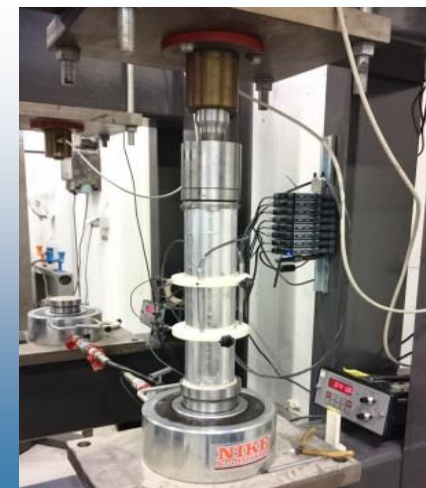
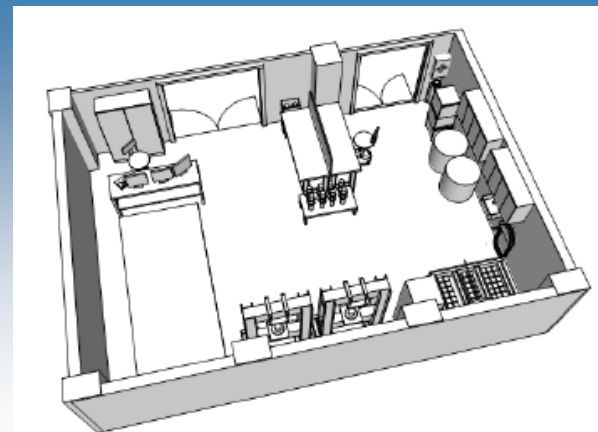
Upplägg

1. Bakgrund ✓
2. Sprickor ✓
3. Frågeställningar ✓
4. Laboratoriet
5. Beräkningsmetodiker
6. Leveranser
7. Sammanfattning



Provning ung betong Thyssel-laboratoriet, LTU

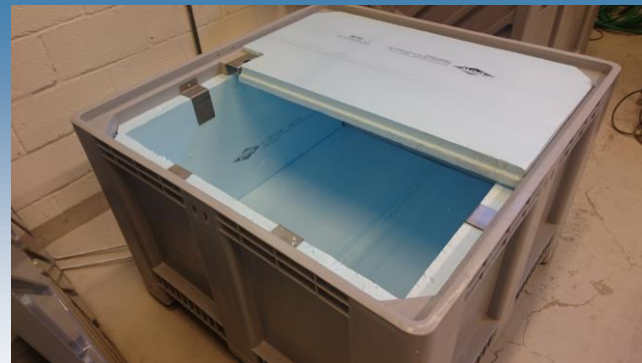
- Värmeutveckling
 - Hållfasthet
 - Krympning och frirörelse
 - Krypning
 - Spänning
-
- Analyser → data beräkningar Metod 3



Hållfasthet

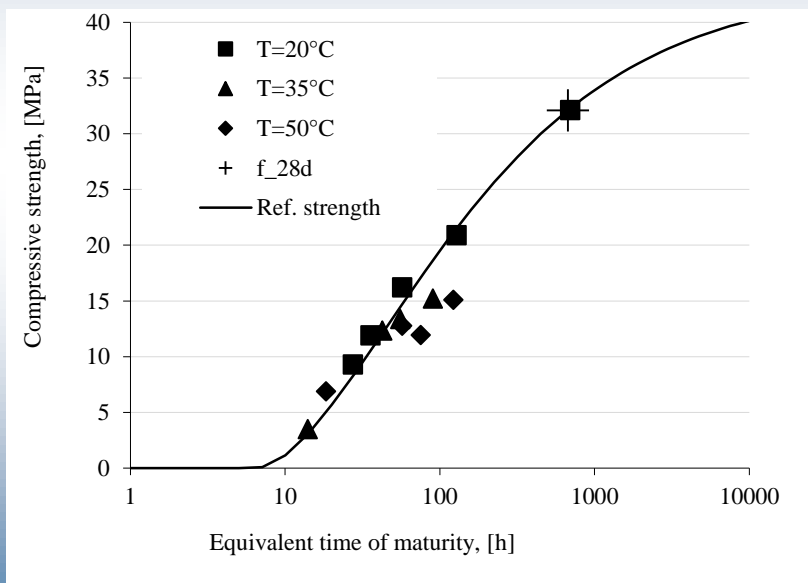
- Kuber 100 × 100 × 100 mm
- Vattenbad 5 °C, 20 °C, 35 °C, 50 °C
- Tryckhållfasthet 8, 24, 32, 52, 120 och 672 tim efter gjutning (3 kub/tillfälle)

→ hållfasthetsutveckling och
mognadsfunktion (temp.inverkan)

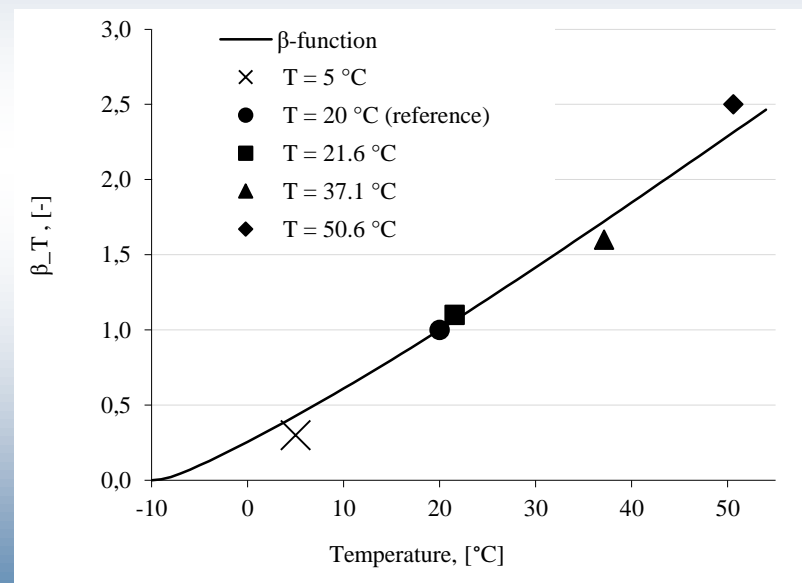


Utvärdering hållfasthet → materialparametrar

Hållfasthetsutveckling



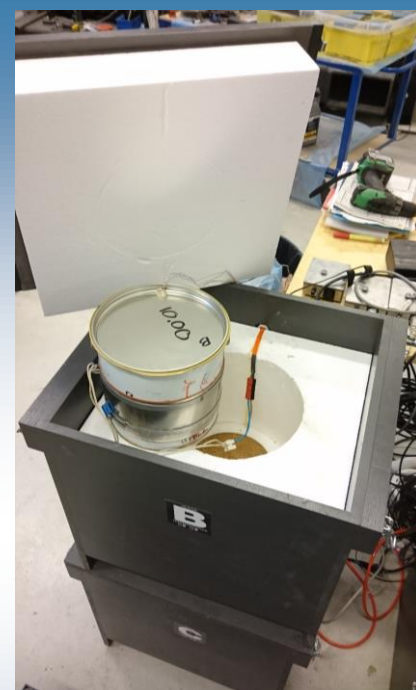
Mognadsfunktion (temp känslighet)



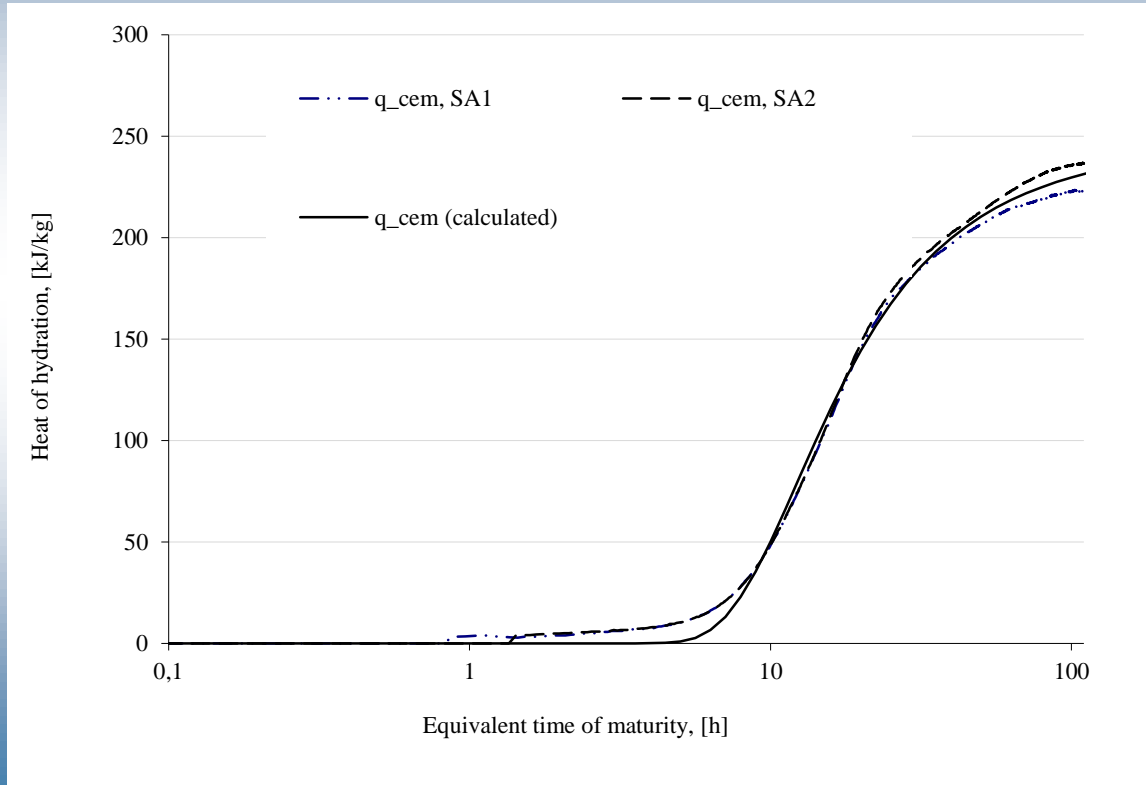
Värmeutveckling

- 2 semi-adiabater
- Cylindriska provkroppar
 - i metallburkar innanför kubformade cellplastenheter inuti plywoodlådor
- Registrering temperatur
 - provkropp och utanför lådorna

→ värmeutvecklingen



Utvärdering värmeutv. → materialparametrar



Krympning och frirörelse

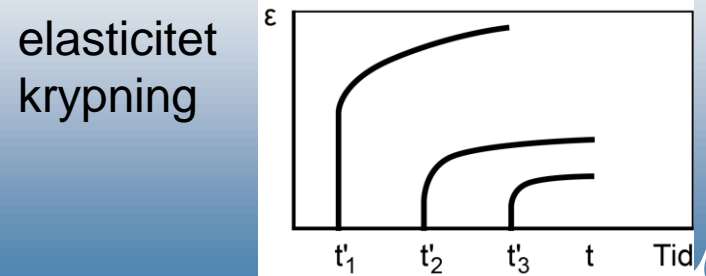
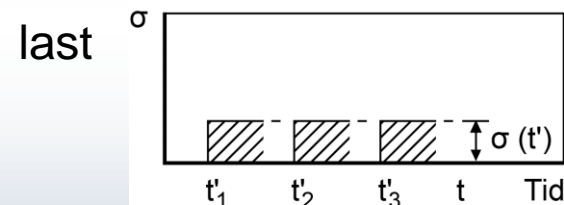
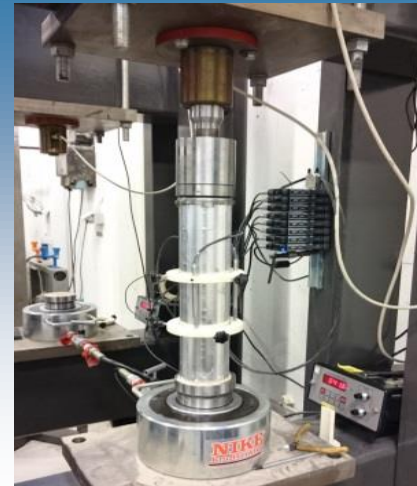
- 2 provkroppar \varnothing 80 mm i metallrör
- Försegling
- Lagring
 - 20 °C
 - vattenbad $T(t)$ = utveckling 700 mm vägg

→ Töjning: krympning, temperaturrörelse



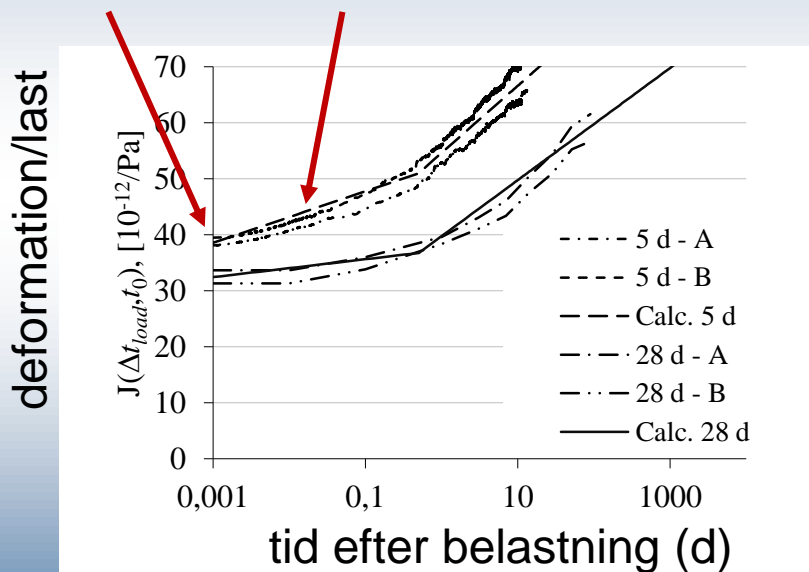
Krypning och elasticitet

- Förseglade provkroppar, $\varnothing 80$ mm
- 6 provkroppar
 - Belastning 1, 5, 14 dygn efter gjutning
 - 20 % av tryckhållfastheten vid tiden för pålastning
- 6 provkroppar
 - obelastade
 - Referens; dra bort autogen krympning från belastade provkroppar

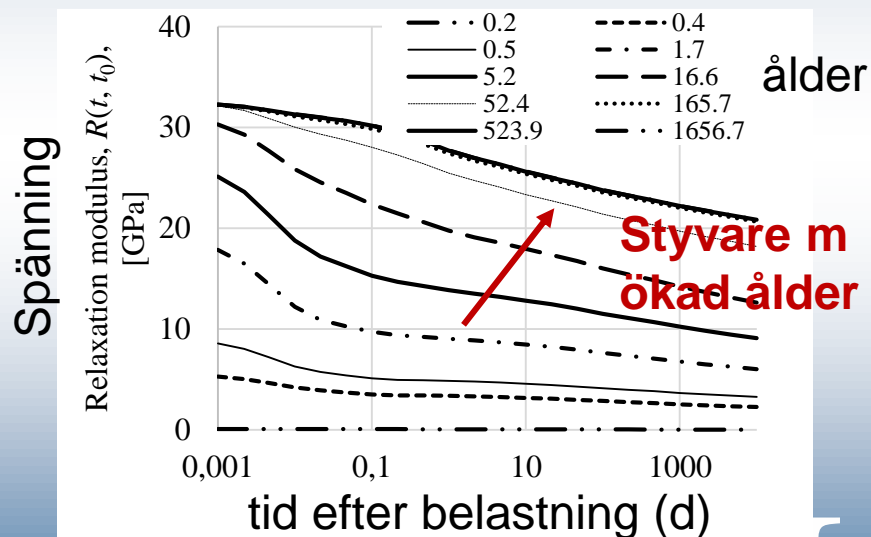


Utvärdering → parametrar viskoelasticitet

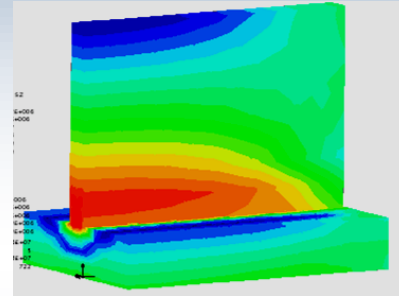
E-modul krypning



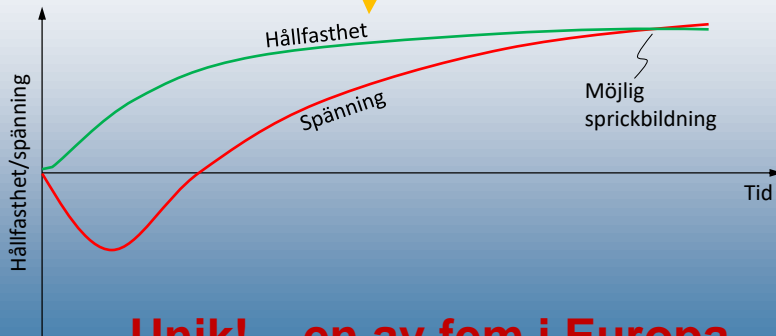
Relaxation(spektrum) i beräkningsmodeller



Spänningsriggen – simulerar vad som t ex kan hända i en vägg som gjuts på platta



Elektronisk styrning av belastning



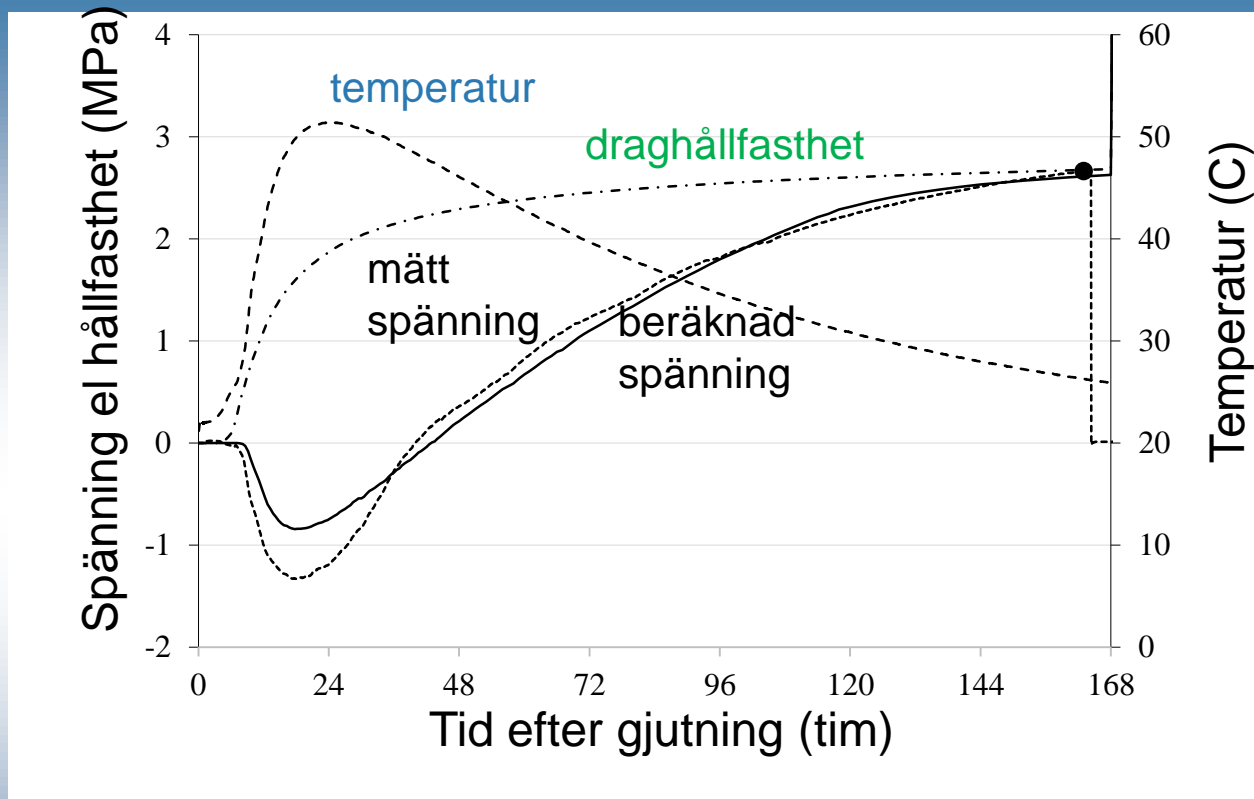
Unik! – en av fem i Europa

Spänningsriggen → slutlig kontroll

- Provkropp $150 \times 150 \times 1000$ mm förseglad
- $T = T(t)$, 700 mm tjock vägg
 - samma referenskurva som för krympning och frirörelse
- 100 % tvång enaxiellt
- Spänning mäts upp
- Spänning beräknas med provade parametrar
- **Jämförelser --- OK?**



Rätt OK!



En totalprovning tar ca 2 månader för 1 recept
inkl förtestning, analys, kvalitetssäkring måste göras

3. Frågeställningar

- Hur ska Metodik 1 och 2 förändras för att möta krav när ny miljövänlig betong används?
- Hur ska försök- och analysmetodik förbättras så att bestämning materialparametrar för ny betong till Metod 3 kan snabbas upp?

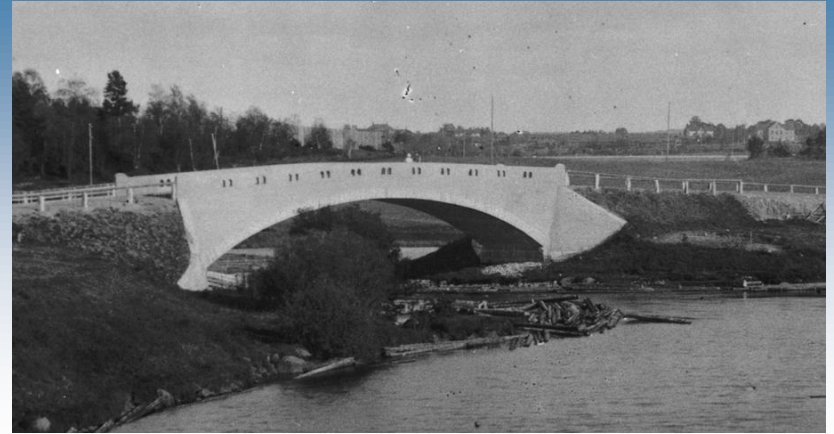


3. Frågeställningar

- Hur kan man lätta upp arbetsbeskrivningarna så att de medger flexibilitet vid gjutning, t.ex. tillåta ändringar baserade på förnyade arbetsplatsprovningar.
- Är det metodikens komplexitet som gör att den är begränsad till ett fåtal ”betongspecialister” i branschen?

Upplägg

1. Bakgrund ✓
2. Sprickor ✓
3. Frågeställningar ✓
4. Laboratoriet ✓
5. Beräkningsmetodiker
6. Leveranser
7. Sammanfattning



Testeboån, oarmerad 1916

AMA Anläggning 20

EBE.11 Betonggjutning kategori A vid nybyggnad

Krav **Risken för sprickor** pga temperatur och temperaturgradienter i betong under härdningsförloppet **ska begränsas**

Metod Metoder att uppfylla erforderlig spricksäkerhet

- Metod 1 (text i AMA Anläggning)
- Metod 2 (LTU-rapporter, 1997 typfallslösningar)
- Metod 3 (Egna beräkningar)

Se rapporter från projektet!

AMA Anläggning 20 - Välformulerat!

Krav vid analys av temperatursprickor:

- kännedom egenskaper
- exponeringsklass

Tabell AMA EBE.11/1. Värderna på **spricksäkerhet S** för beräkningsmetod 2 och 3. För beräkningsmetod 2 används värde från kolumnerna för materialparametrar

Exponeringsklass	Fullständiga materialparametrar	Materialparametrar enligt .422	
		$360 \leq C \leq 430 \text{ kg/m}^3$	$430 < C \leq 460 \text{ kg/m}^3$
XC2	1,05	1,18	1,33
XC4	1,11	1,25	1,42
XD1, XS2	1,18	1,33	1,54
XD3, XS3	1,25	80 %	70 %

Lönsamt att prova!

tillåten spänningskvot

$$\eta = \frac{\sigma}{f_{ct}} = \frac{1}{S} =$$

t ex: $S = 1.42$



$$\eta_{\max} = 0.70$$

Tabell 2 Värderna på spricksäkerhet S för metod 3 för konstruktioner som utsätts för ensidigt vattentryck

Exponeringsklass	Fullständiga materialparametrar	Materialparametrar enligt .422	
		$360 \leq C \leq 430 \text{ kg/m}^3$	$430 < C \leq 460 \text{ kg/m}^3$
Alla	1,42	1,67	2,0

5. Beräkningsmetodiker – Metod 3

Övergripande modell för temperatursprickor

$$\Delta\sigma = \alpha * \Delta T * E * R$$


Spännings-
ändring

Värme-
utvidgnings-
Koefficient
kontraktion

Temperatur-
ändring/
skillnad

Elasticitets-
modul

Tvång



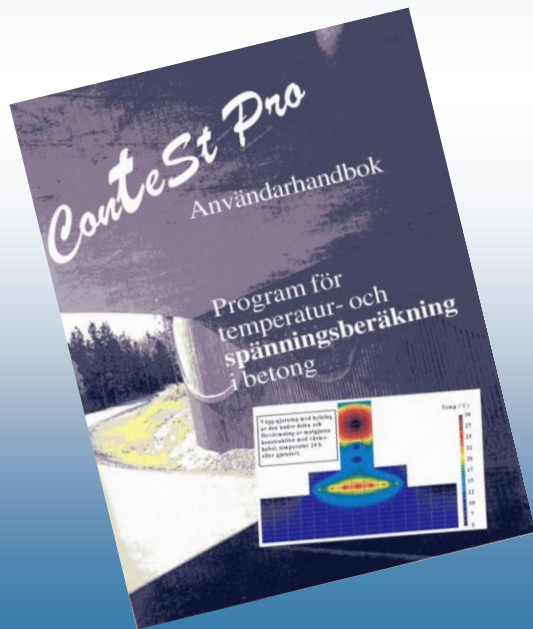
Utmaning att
bestämma för ung
hårdnande betong

Hookes lag!

b) Övriga fall – mer komplicerade

Vilka hjälpmedel har vi?

- 1) ConTeSt Pro: (T:2D, S:LL & PLS), Crack Test Coin (No)
- 2) CraX1-Handboksметoden (Excel-ark)
- 3) Andra program (Hacon, 4C, Intron, B4Cast, Abaqus, Comsol Multiph. m fl)



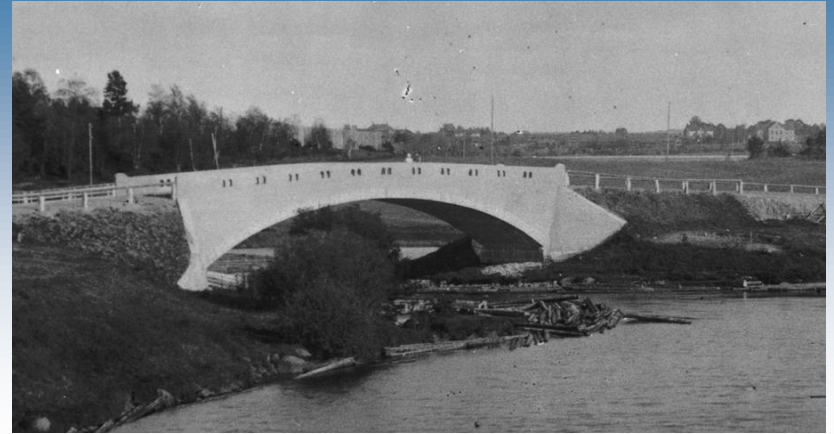
Upplägg

1. Bakgrund ✓
2. Sprickor ✓
3. Frågeställningar ✓
4. Laboratoriet ✓
5. Beräkningsmetodiker ✓
6. Leveranser (från projektet)
7. Sammanfattning



Upplägg

1. Bakgrund ✓
2. Sprickor ✓
3. Frågeställningar ✓
4. Laboratoriet ✓
5. Beräkningsmetodiker ✓
6. Leveranser
7. Sammanfattning



Testeboån, oarmerad 1916

Syften och mål – BBT projektet

1. Materialdata

- förenkla metodiker: materialdata i laboratorium/fältprovningar
- kvalitetsmanualer
- materialdata 10 nya miljövänliga betonger

2. Metoder/kriterier

- omarbета Metod 1 och 2 -> större mångsidighet/förenkling
- nyansera Metod 3 -> större flexibilitet
- omarbета texter i AMA

Syften och mål

3. Beräkningar och arbetsbeskrivningar

- utforma analysmetoder -> beräkningar nära inpå gjutning
- inriktade arbetsbeskrivningar ->justeringar under byggnation

4. Kompetensspridning

- krav/underlag för specialkurser
- nyansera handbokstexter
- seminarier etc

Leveranser:

Syften och mål

1. Materialdata

- förenkla metodiker: materialdata i laboratorium och fältprovningar i fält
✓ $\frac{3}{4}$ (klart) till förslag 😊
- upprätta kvalitetsmanualer provningsmetoder ✓ $\frac{4}{5}$ klart förslag - inkl ovan
- materialdata för 10 nya miljövänliga betonger ✓ $\frac{6}{10}$ 😊

2. Metoder/kriterier

- omarbета Metod 1 och 2 till en större mångsidighet och förenkling ✓ förslag
- nyansera Metod 3 till en större flexibilitet ✓ förslag
- omarbета texter i AMA ✓ idé-förslag – samverkan pågående projekt
- ta fram nya referensdokument

Leveranser: Syften och mål

3. Beräkningar och arbetsbeskrivningar

- utforma analysmetoder som möjliggör beräkningar nära inpå/under gjutning ✓ - förslag
- inrikta arbetsbeskrivningar till anpassningar/justeringar vid byggnation ☹️

4. Kompetensspridning

- ta fram krav/underlag för specialkurser fråga för t ex RISE ☹️
- nyansera texter i handböcker ✓
- anordna seminarier och liknande ✓ om behov finns, inte kurs?
- Rapport Trafikverket ☺️
 - 31/12 remissutgåva

Förslag

Metoder/kriterier

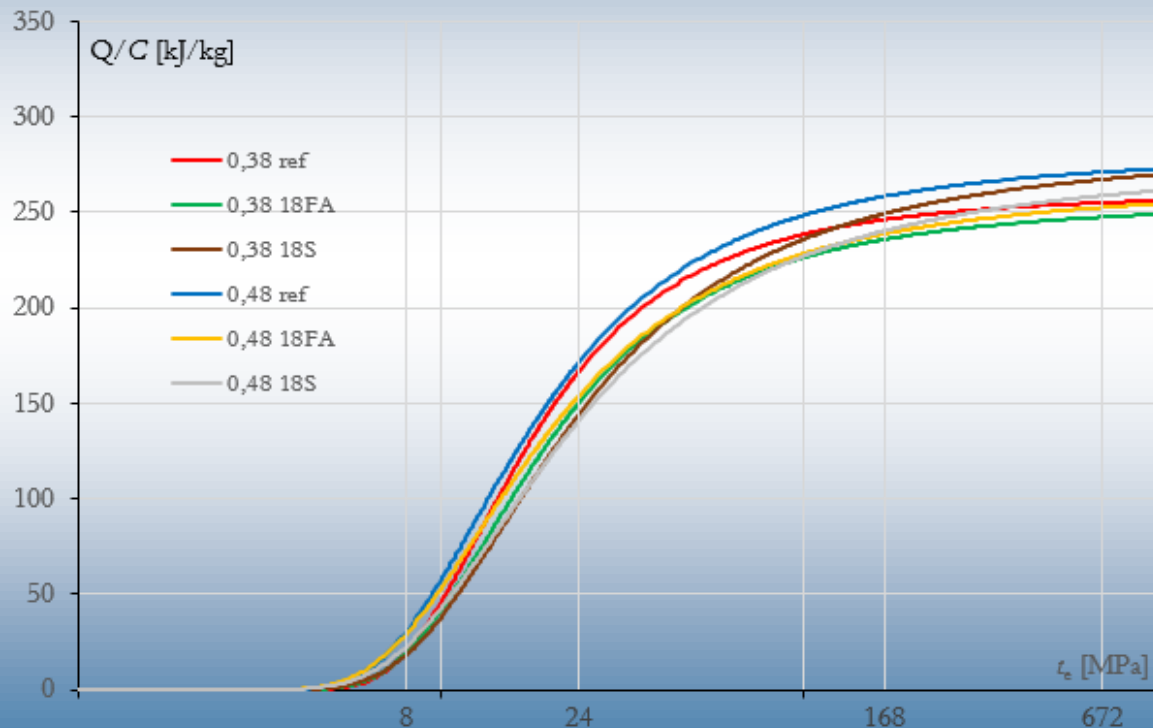
Metod 3

- **Crax2** skulle kunna uppgraderas till godkänt beräkningsverktyg
 - Beräkningar med temperatur/mognadsprogram: HETT22, PPB
- **Handberäkningsmetoden** kan *definitivt* uppgraderas
- **ConTestPro**, CrackTestCoin *måste* underhållas – unika i EU!
- **FEM** – här bör varje program ackrediteras för godkännande i SWE

Leverans

- Rekommendationer beräkningsmetoder
 - Rekommendationer kravställning (Metod 1 – 3)
 - **Materialparametrar klimatreducerad betong**
 - vct 0,38 ref (20 % - **)
 - vct 0,38 18 % flygaska (35 %)
 - vct 0,38 18 % slagg (35 %)
 - mer recept i plan
 - vct 0,48 ref (20 %)
 - vct 0,48 18 % flygaska (35 %)
 - vct 0,48 18 % slagg (35 %)
- **) total alt bindemedelsmängd

Värmeutveckling

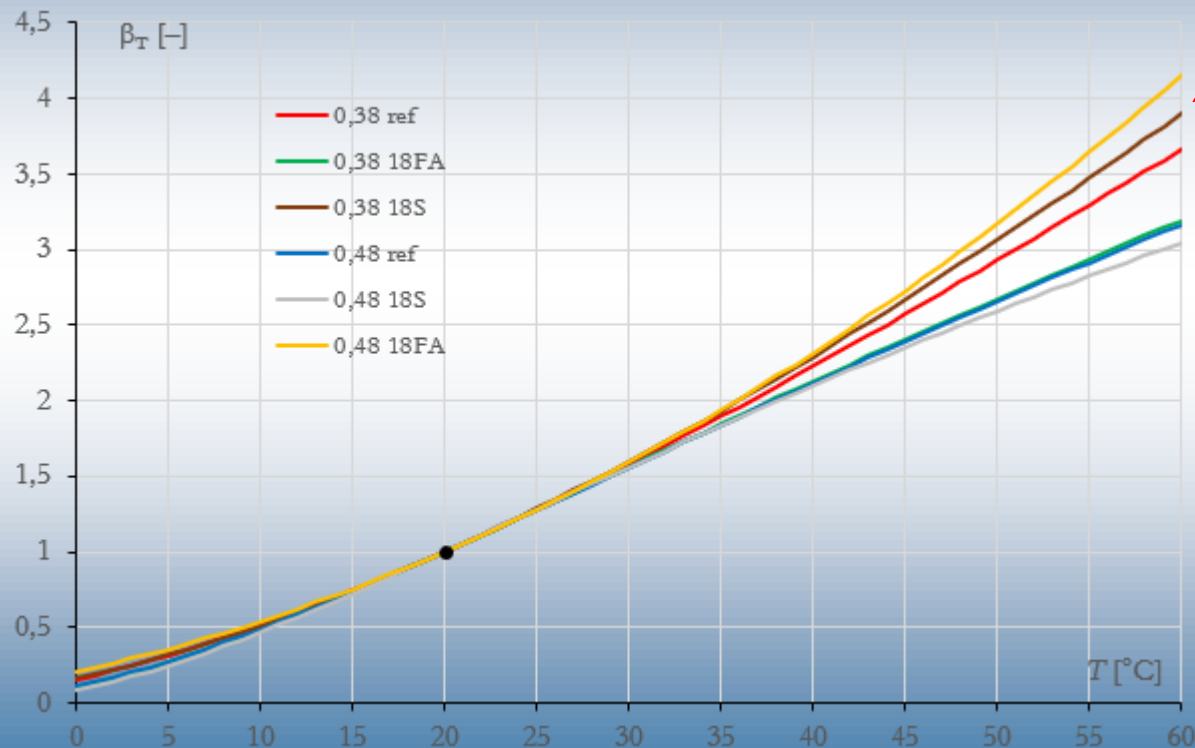


Högre för högre vbt
Lägre inblandning
FA, Slagg

1 undantag finns

Förväntat!

Mognadsfunktion (temperaturkänslighet)

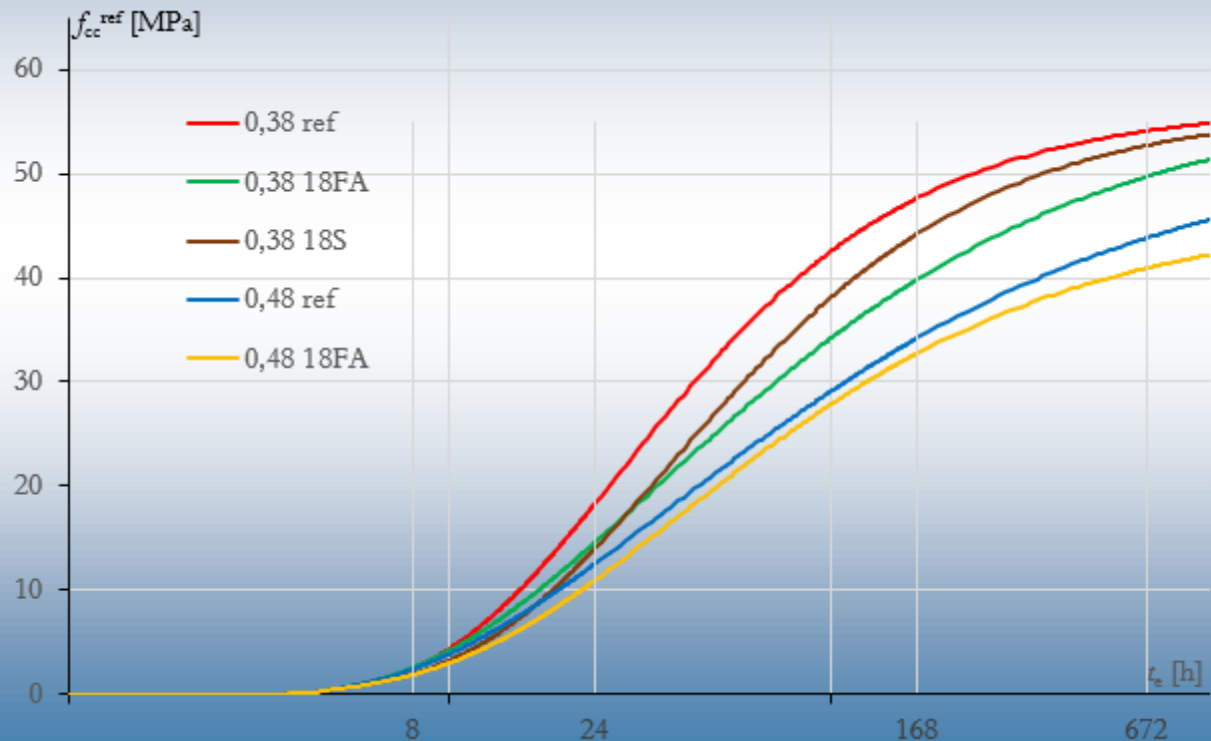


Större känslighet
inblandning FA, Slagg

1 undantag finns

Nytt!

Hållfasthet

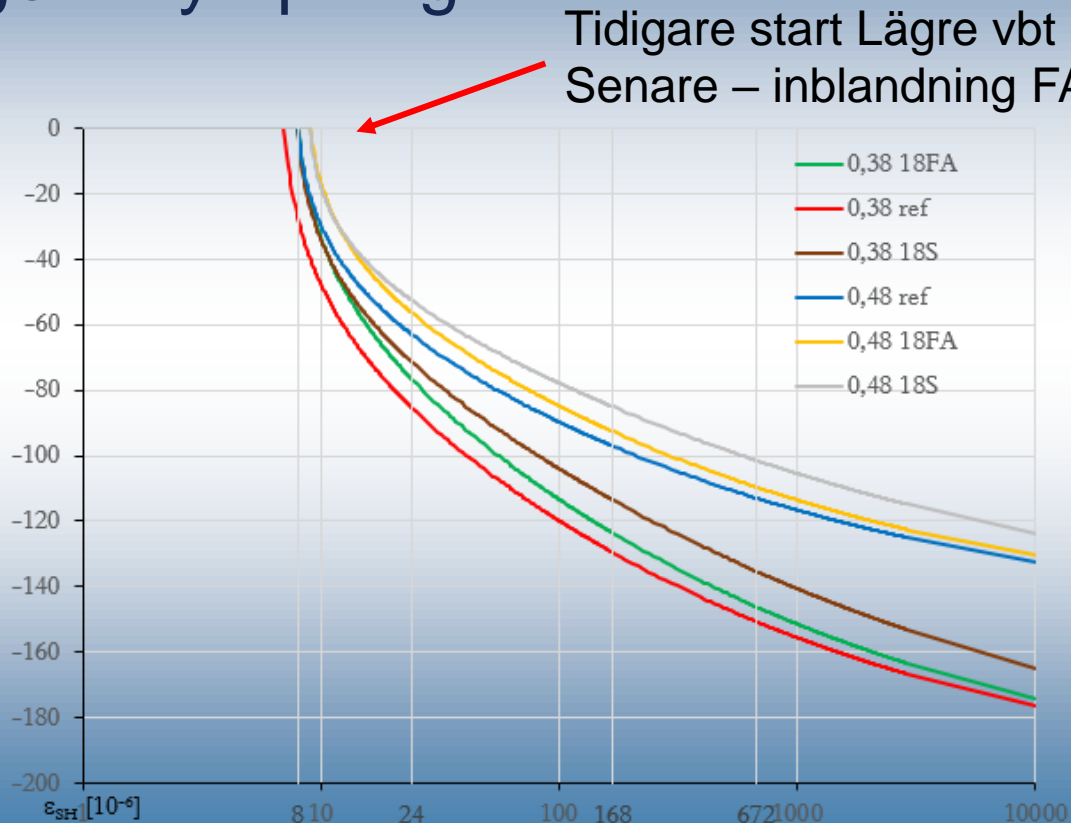


Högre - lägre vbt
Lägre - inblandning
FA, Slagg

1 undantag finns

Förväntat!

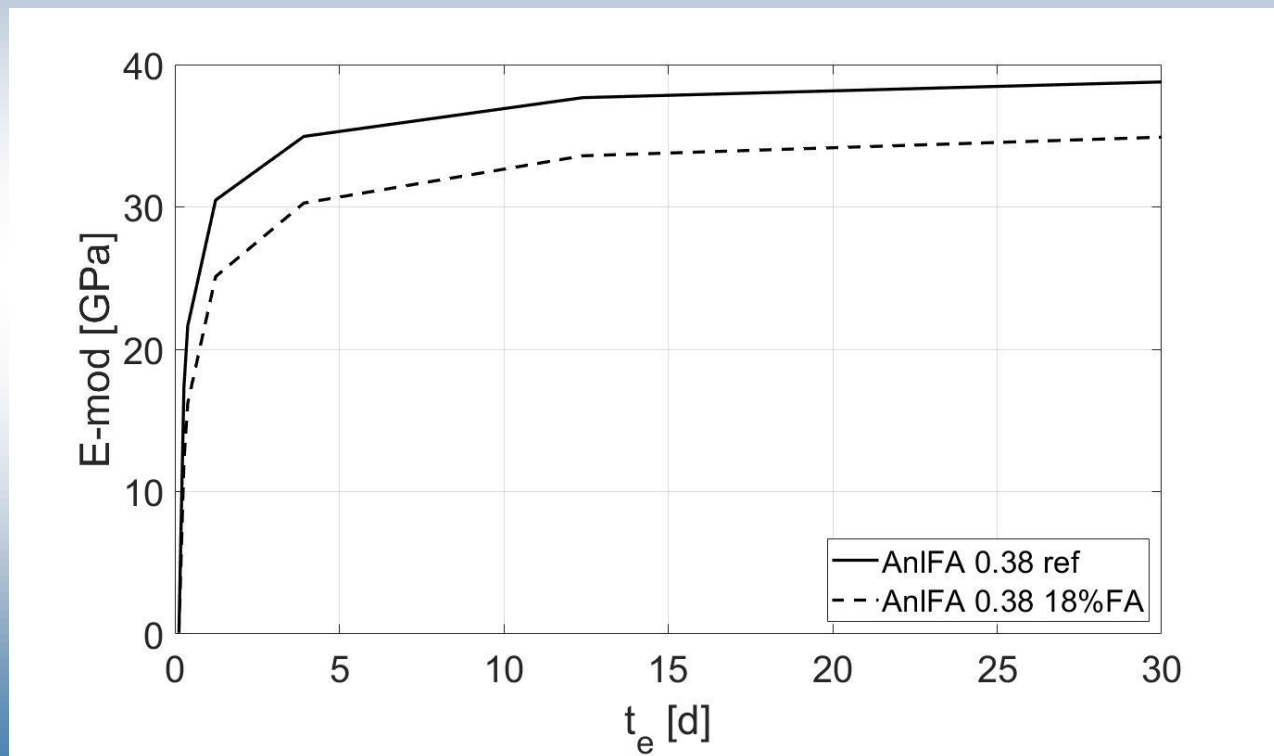
Autogen krympning



**Oerhört svårt att
mäta och utvärdera!
Bl a ny uppställning
nödvändig**

Större - lägre vbt
Mindre - inblandning
FA, slagg

E-modul, krypning



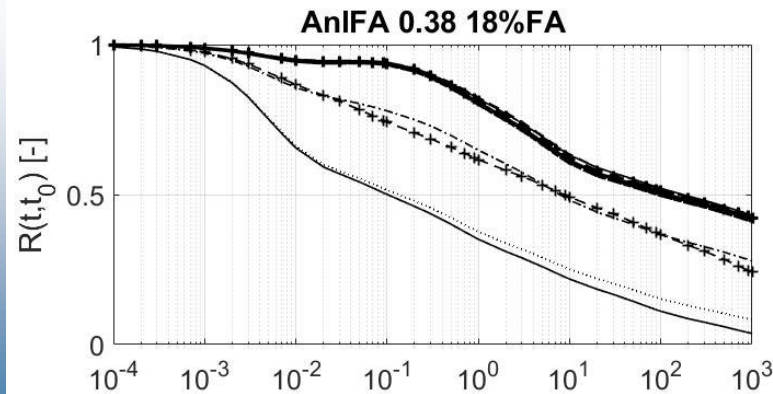
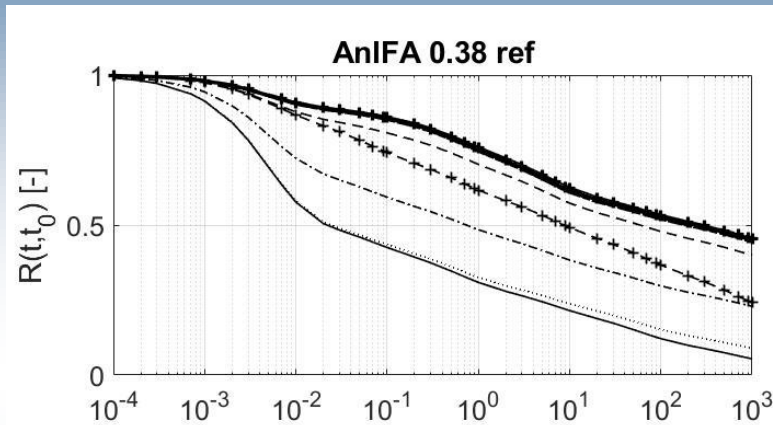
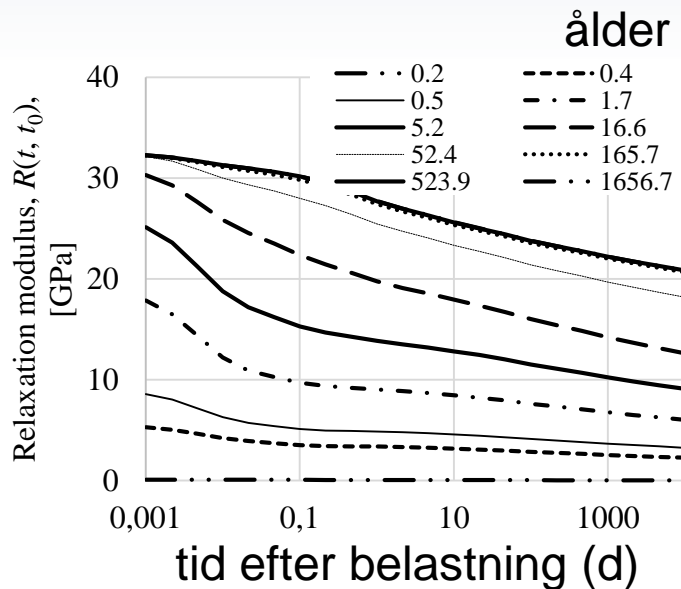
E-modul, krypning

Relaxation

i beräkningsmodeller

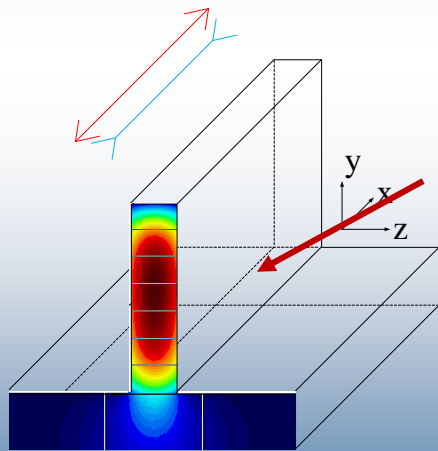
(Tidigare bild)

Spänning

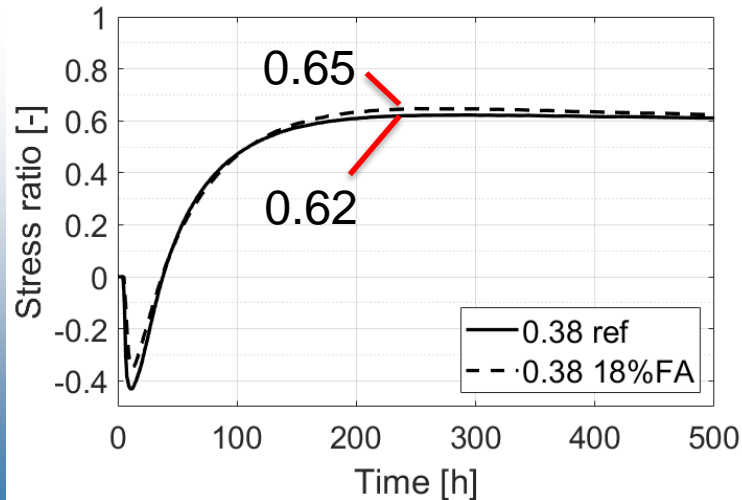
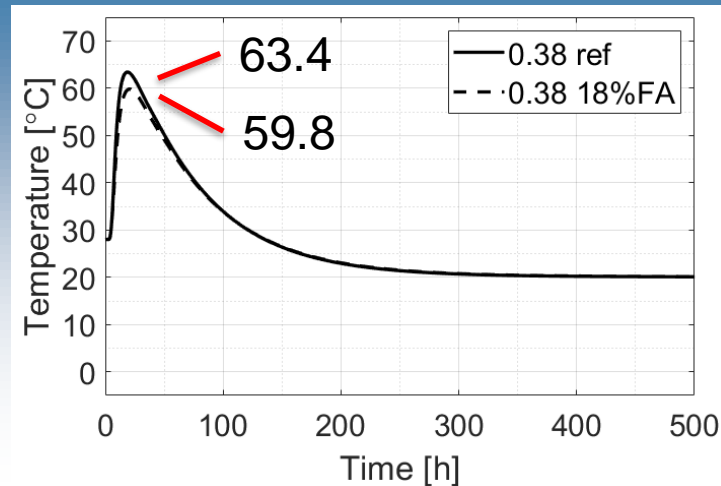


Spänningsberäkning

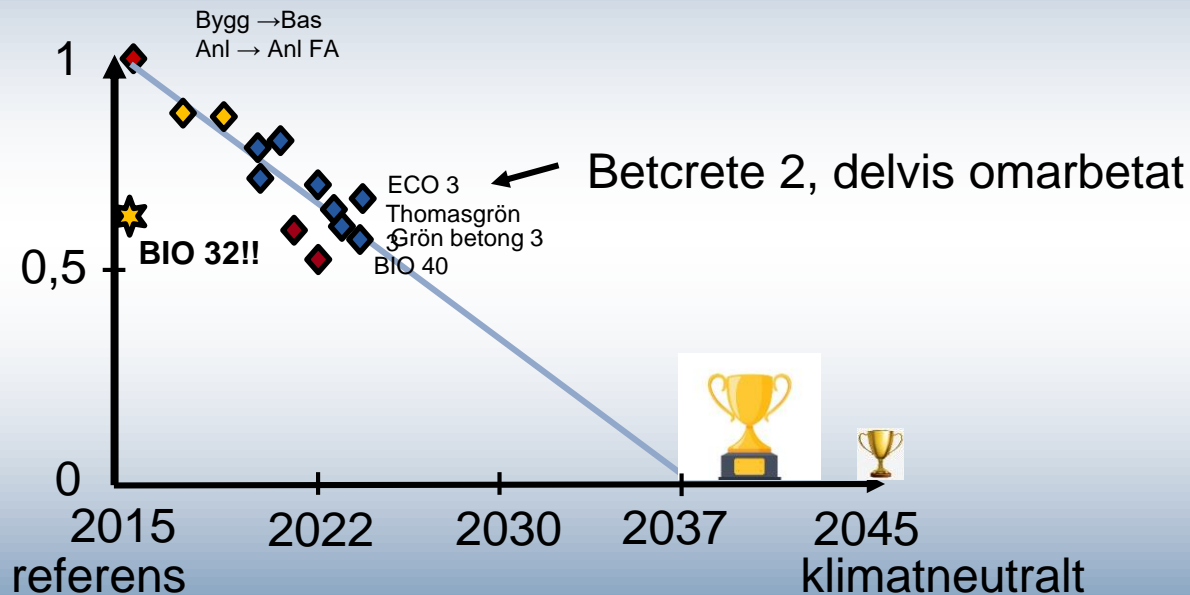
0.38, 0.38 FA (- 35 % CO₂)



Vägg 0,7 m
Genomgående
sprickor

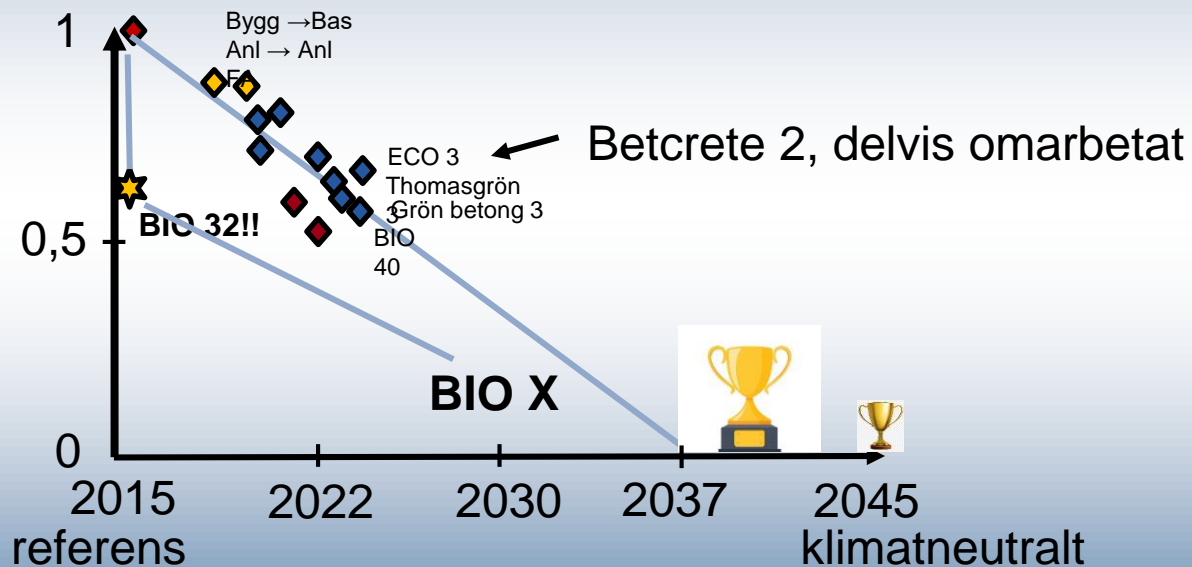


Relativ klimatbelastning, **läget husbyggnad**

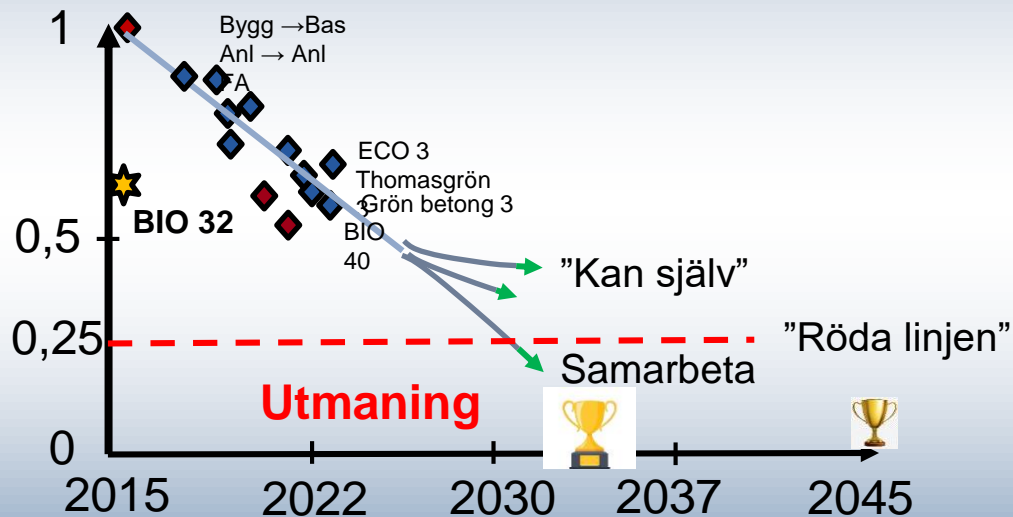


Från Betongdagen 2022

Relativ klimatbelastning, **läget**



Relativ klimatbelastning, **framtid**



Utmaning

Sammanfattning

- Snabb-expose' över området
- Laboratoriemetoder - utvärdering
- Försöksresultat, materialmodeller - genomgång
- Sprickriskberäkningar, förslag metod 1, 2, 3
- **Materialdata klimatreducerade betonger (till 35 %)**
- Förslag framtida arbete
- **Rapport 2022/mars 23**