Projektanpassade temperatursprickåtgärder och effektiv projektering.

Thomas Blanksvärd och Hans Hedlund

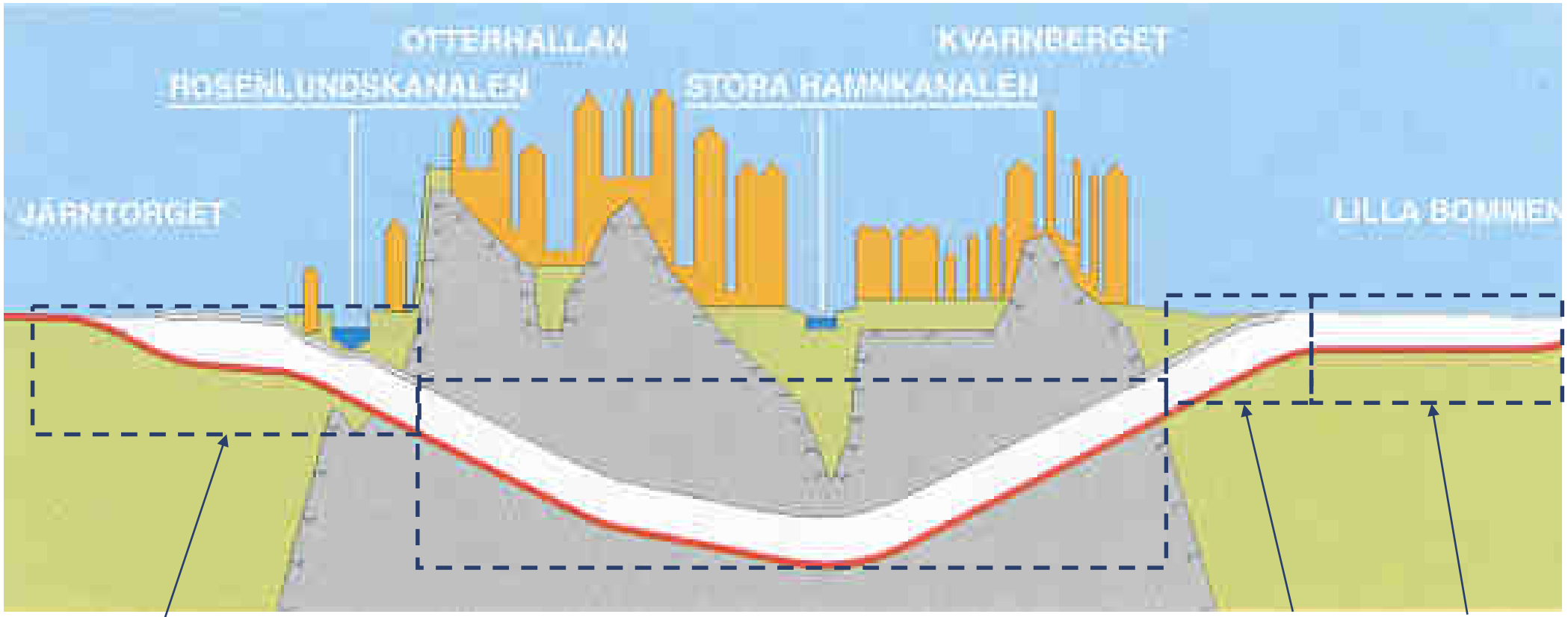
Skanska Sverige AB / Teknik

Innehåll …

- Projekt Götatunneln
- Ett arbetssätt – åtgärder för begränsning av temperatursprickor
  - Analys av yttre tvång
  - Materialdata för betong
  - Omgivningsförutsättningar
  - Temperatursprickanalys
- Uppföljning och erfarenhetsåterföring
- Summering och erfarenheter …

Götatunneln …

Kundkrav: Vattenläckage < 20 lit/min! på ca 1.5 km tunnel



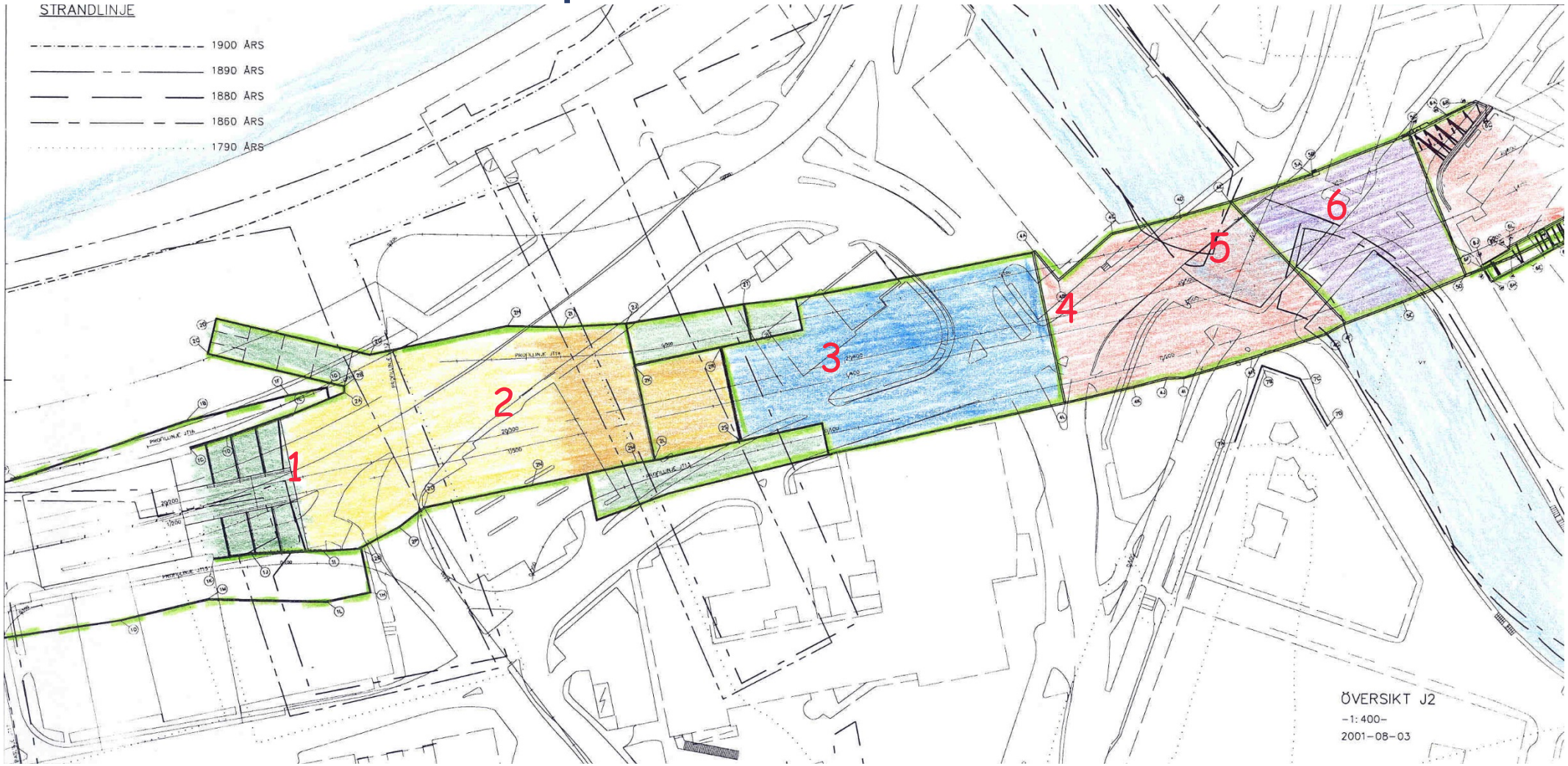
SKANSKA

VV Produktion

JV Lilla Bommen Tunnel (Bilfinger Berger)

NCC

Götatunneln – Entreprenad J2



Ca. 500m tråg och betongtunnel

Vad gjordes för att möta kraven…

Tvångsförhållanden

- Noggranna analyser av dim. tvångsfaktor
- Flexibla analyser för att täcka förändringar i produktionsfasen
- Enkel modellering av konstruktionsdelar
- *”Kokboksmetoder” – Trubbiga verktyg för uppskattning av tvång, men kan vara användbara i förprojektering*

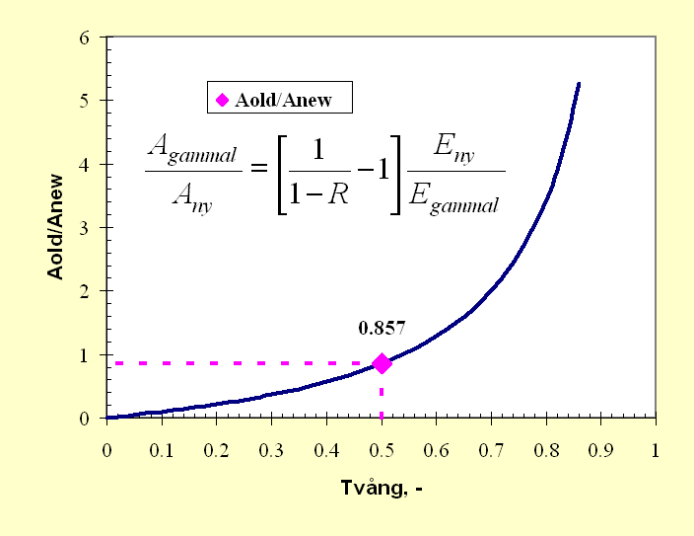
Spänningsberäkningar

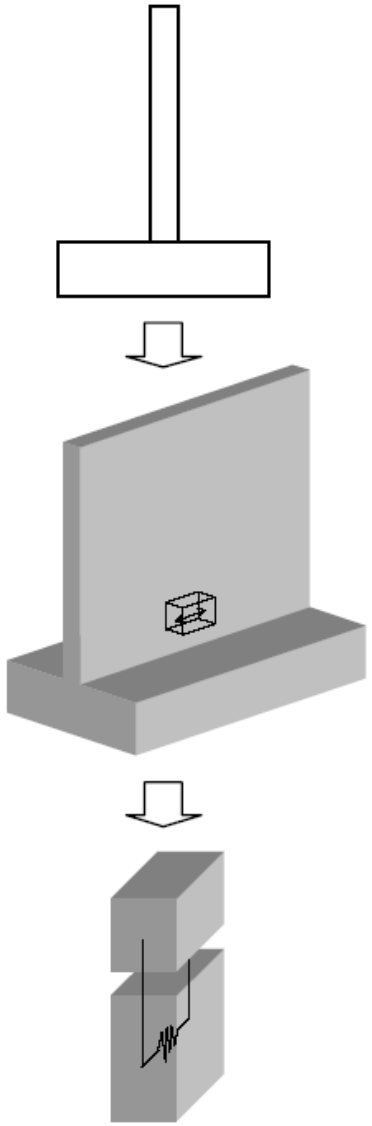
- Test/försök på planerade betongmixer
- Kontinuerlig temperaturmätning
- Effektiv analysmetod
- Produktionsanpassade åtgärder
- Uppföljning efter gjutning

Tre-stegs metoden …

1. Analysera produktion
2. Tvångsberäkning
3. Temperaturspricks-analys

− Effektiv projektering





Temperature and maturity analysis for cross section:

⇒ { Temperature development
Maturity development
E-modulus development

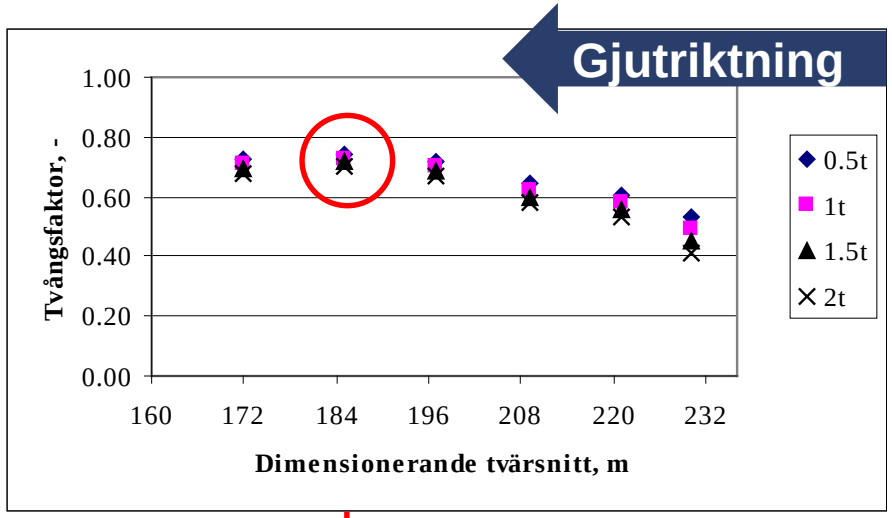
2D or 3D linear elastic restraint analysis:

⇒ Estimated restraint (stiffness relationship)

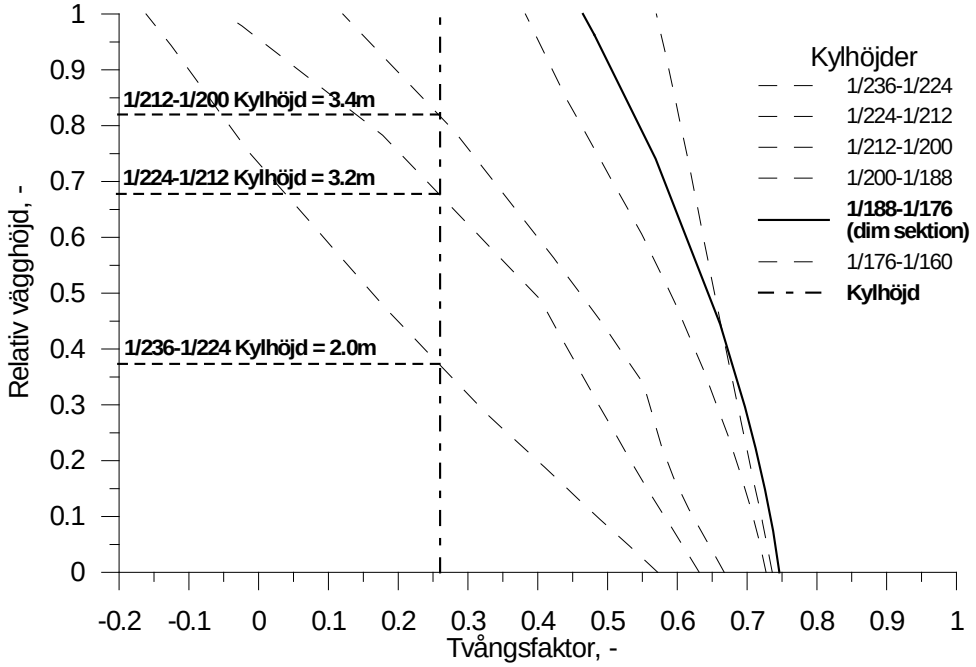
Non-linear stress analysis: Using a reduced model

⇒ Stresses
⇓
Risk of cracking ?

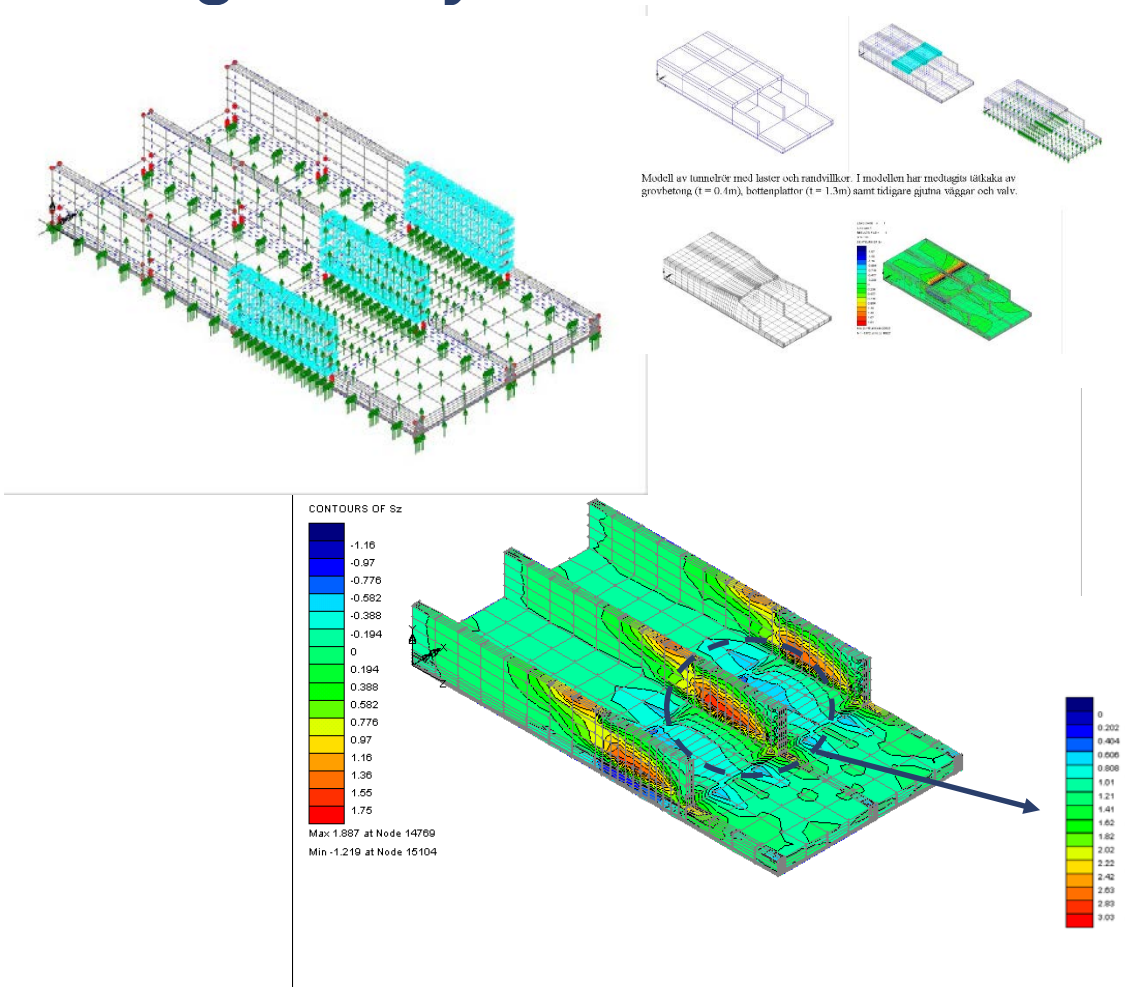
Tvångsanalys Väggar



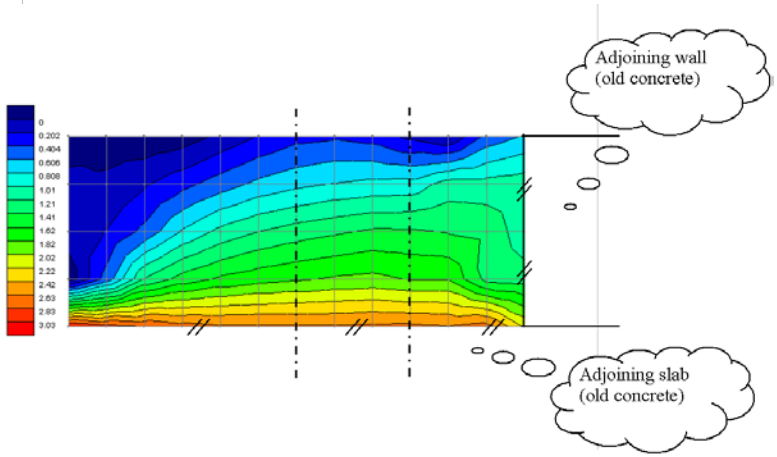
- Tvångsanalys enligt gjutordning.
- R_{dim} = 0.71 (sektion +184)



Tvångsanalys … 3D modell

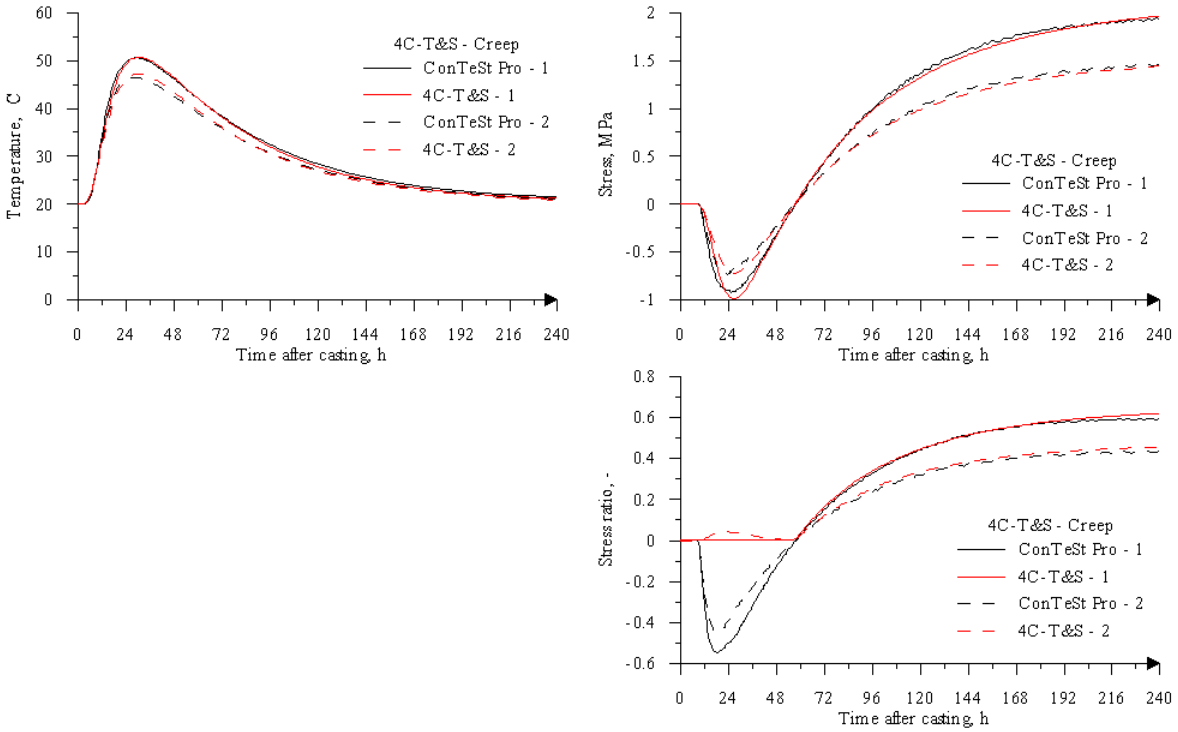


- Tvångsanalys med LUSAS (full 3D).
- R_{dim} = 0.53 (ytterväggar)
- R_{dim} = 0.58 (innerväggar)

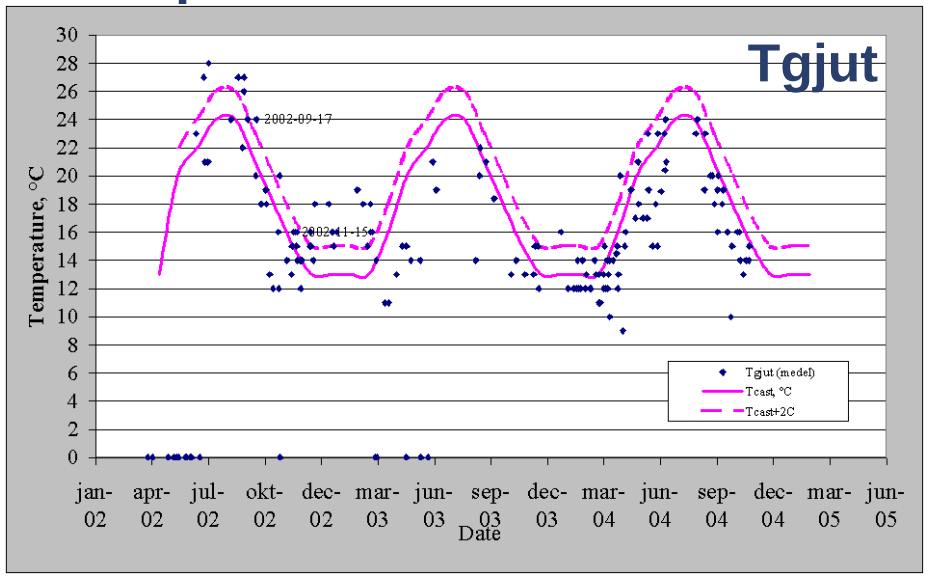


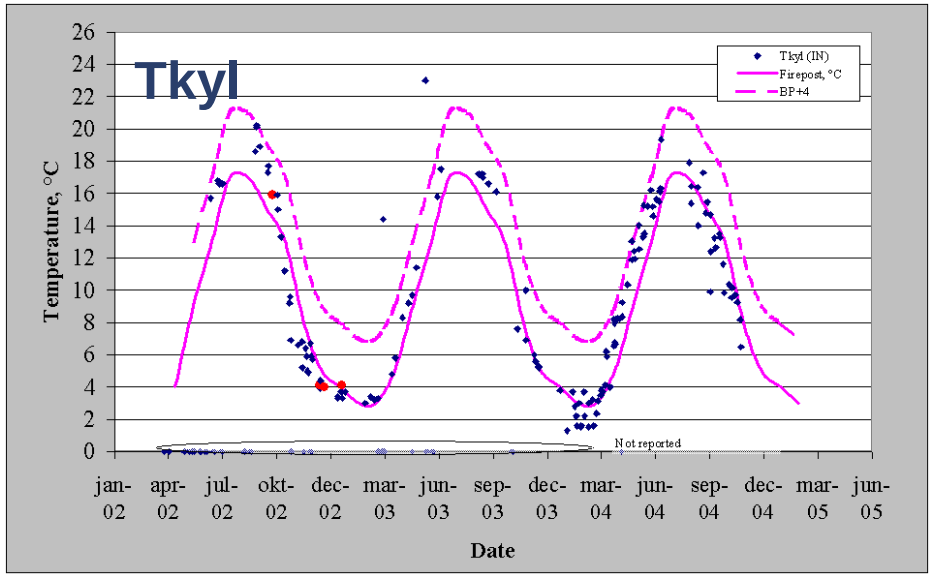
Provning av materialdata …

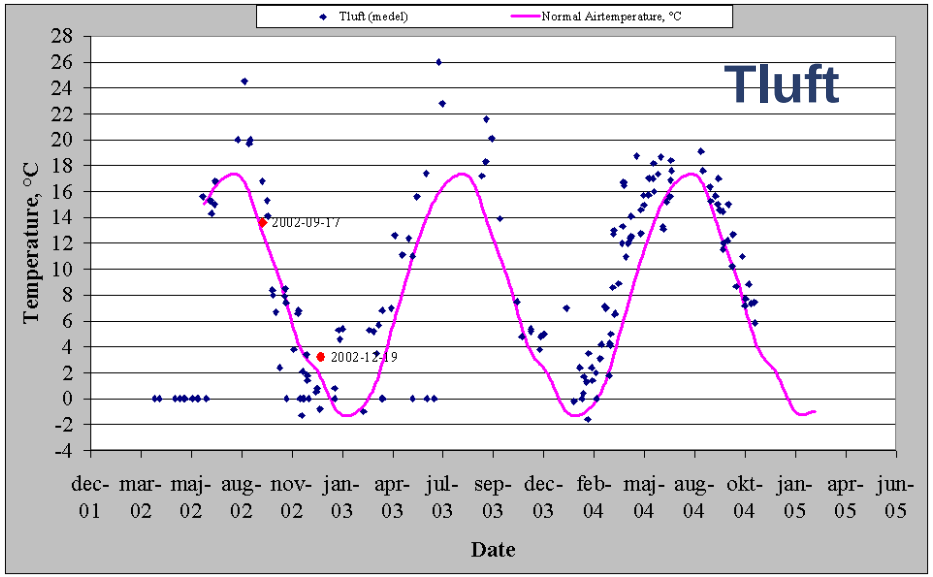
- Materialparametrar för aktuell betong i projektet.
- Kalibrerade materialdata för ConTeST Pro och 4C-T&S jämfört med TSTM.



Temperaturer…





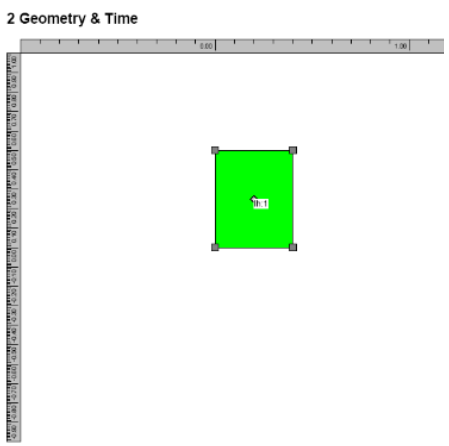


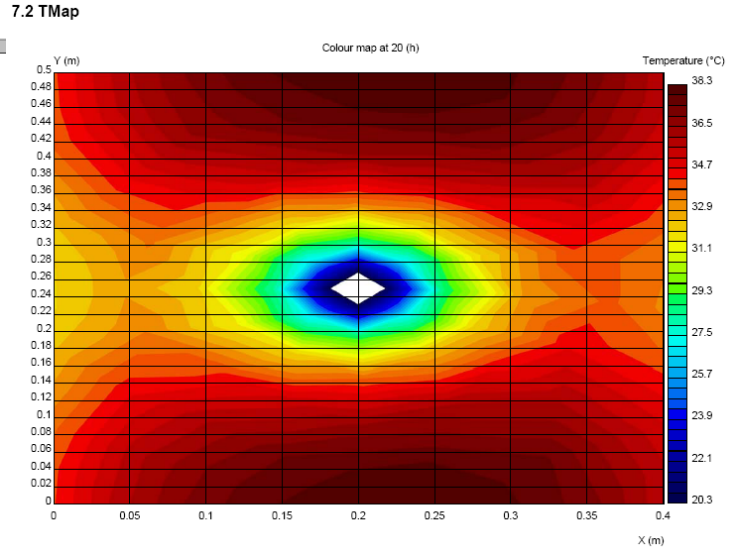
Temperaturstatistik kan användas!

Normaltemperaturer stämmer bra …

Temperatursprickanalys …

- Statistiska normaltemperaturer.
- Korrekta materialmodeller
- Dimensionerande tvångsfaktor
  - Direkt eller transformerade
- Tvärsnittsanalys eller förenklad modell
  – Kännedom om tvånget
- Effektiv fördelning av kylning mht tvångsfördelningen i konstruktionen …





2.1 Description

2.1.1 Blocks

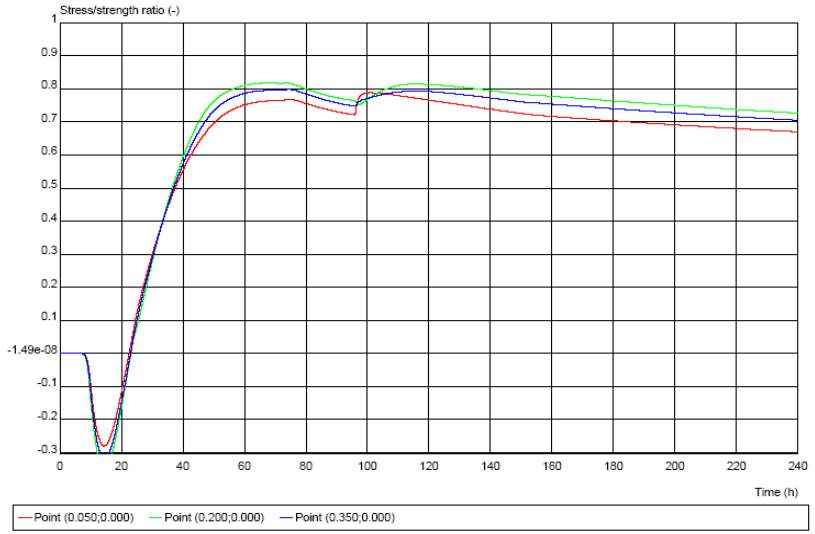
Block 1: (0.000;0.000) - (0.400;0.000) - (0.400;0.500) - (0.000;0.500)

2.1.2 Inner holes

Inner hole 1: Center position (0.200;0

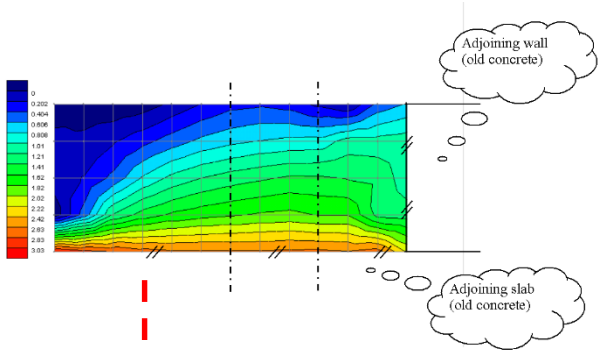
2.1.3 Computation time

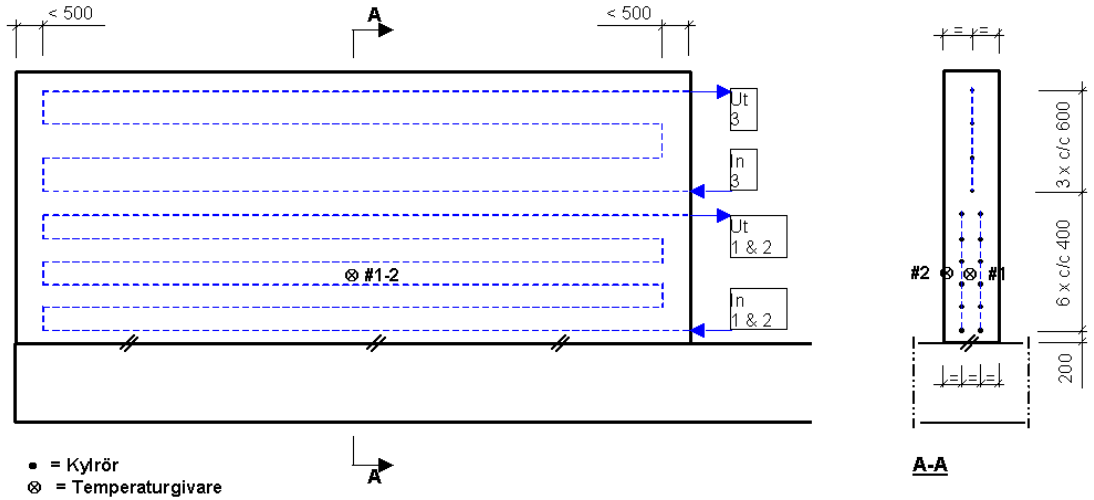
Total time length: 672 (h)

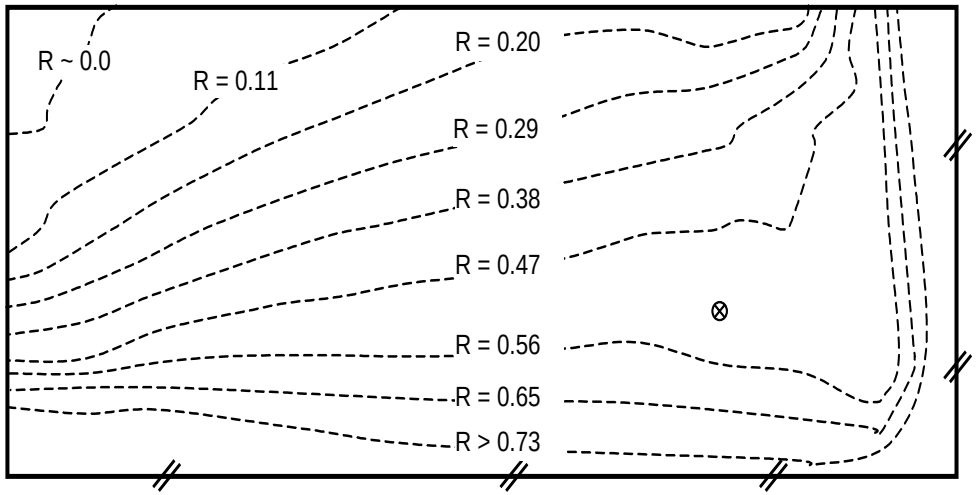


Temperatursprickåtgärder – Kylning …

- Skräddarsydda åtgärder för begränsning av temperatursprickor.





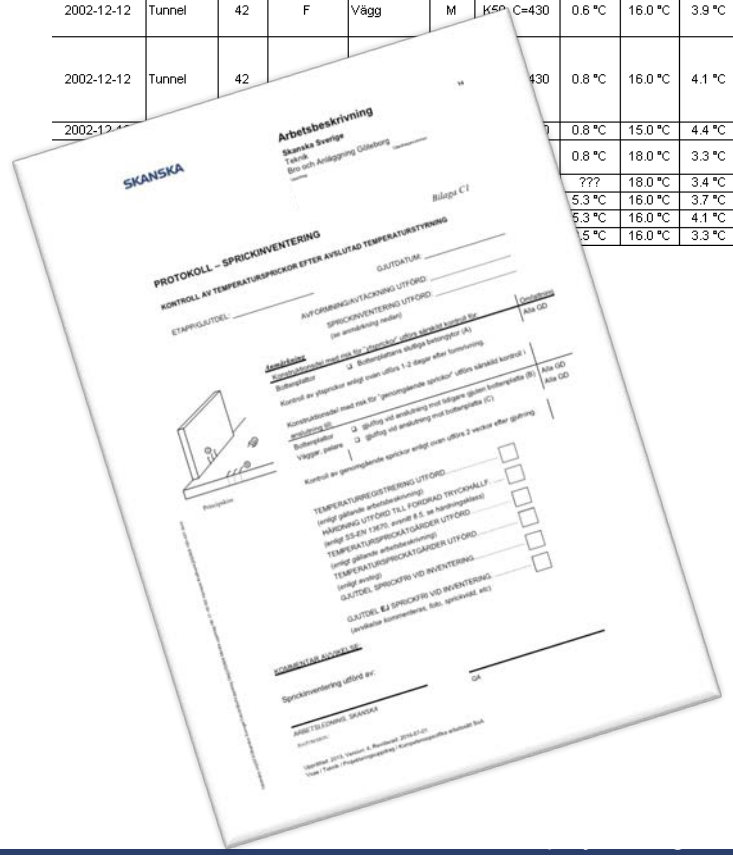


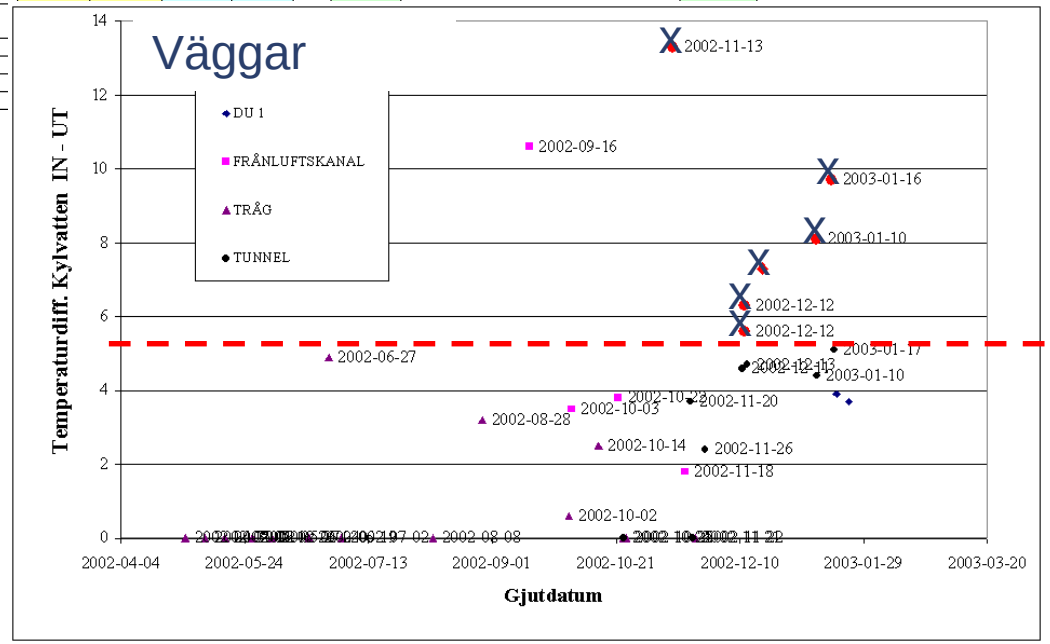
$\Delta T_{kyl} < 4°C$

$L_{kyl} < 100m$

Uppföljning i projekt …

Gjutdatum	Konstruktionsdel					Betongmix	Uppmätta luft- och gjuttemperaturer					Uppmätta maxtemperaturer		Beräknade maxtemperaturer		INVENTERAD	SPRICKA	Kommentar	RISK
	Del	Monolit	Sektion	Gjutdel	Sida		Tluft (medel)	Tgjut (medel)	Tkyl (IN)	ΔTkyl (max)	ΔTkyl (medel)	yta	mitt	yta	mitt				
2002-11-20	Tunnel	42	B+C	Vägg	N	K50, C=430	2.1 °C	15.0 °C	5.9 °C	3.7 °C	1.4 °C	31.8 °C	29.5 °C	28.0 °C	30.0 °C	X			OK
2002-11-21	Tunnel	42	D	Vägg	S	K50, C=430	---	16.0 °C	5.0 °C	25*	8.9 °C	32.5 °C	33.0 °C	30.5 °C	32.5 °C	X		Antag Tluft = medeltemp mellan gjutning 2002-11-20 & 2002-11-26. *Ev. mätfel/störning utgående kylvatten (Tkyl)	OK
2002-11-26	Tunnel	42	E	Vägg	N	K50, C=430	3.4 °C	14.0 °C	6.7 °C	2.4 °C	0.9 °C	35.5 °C	40.8 °C	27.5 °C	30.5 °C	X		Angivna tempgivare i mätdata? Håltagningar i väggen mot DU 1. Lägre tvång. OK!	OK
2002-12-11	Tunnel	42	D	Vägg	N	K50, C=430	0.5 °C	15.0 °C	4.2 °C	4.6 °C	2.3 °C	27.7 °C	27.7 °C	26.5 °C	28.5 °C	X			OK
2002-12-12	Tunnel	42	F	Vägg	M	K50, C=430	0.6 °C	16.0 °C	3.9 °C	6.3 °C	2.9 °C	32.0 °C	34.4 °C	27.5 °C	29.5 °C	X	JA	ca 4.5m från gjutfog mot Vägg E. Rörkrökar i kylslingor ej fixerade (enl uppgift) och har ev "strypts".	RISK
2002-12-12	Tunnel	42				430	0.8 °C	16.0 °C	4.1 °C	5.6 °C	2.3 °C	32.4 °C	31.9 °C	28.0 °C	29.0 °C	X	JA	Rörkrökar i kylslingor ej fixerade (enl uppgift) och har ev "strypts". Vid utförd kontrollberäknad är risk för tempsprickbildning ca 40% högre vid de uppmätta härdningstemperaturen.	RISK
2002-12-							0.8 °C	15.0 °C	4.4 °C	4.7 °C	2.3 °C	33.3 °C	31.8 °C	27.0 °C	30.0 °C	X			OK
							0.8 °C	18.0 °C	3.3 °C	8.1 °C	4.2 °C								
							???	18.0 °C	3.4 °C	4.4 °C	2.0 °C								
							5.3 °C	16.0 °C	3.7 °C	9.7 °C	1.9 °C								
							5.3 °C	16.0 °C	4.1 °C	5.1 °C	1.4 °C								
							.5 °C	16.0 °C	3.3 °C	4.1 °C	2.4 °C								





X = Spricka

$\Delta T_{kyl} < 4°C$

$L_{kyl} < 100m$

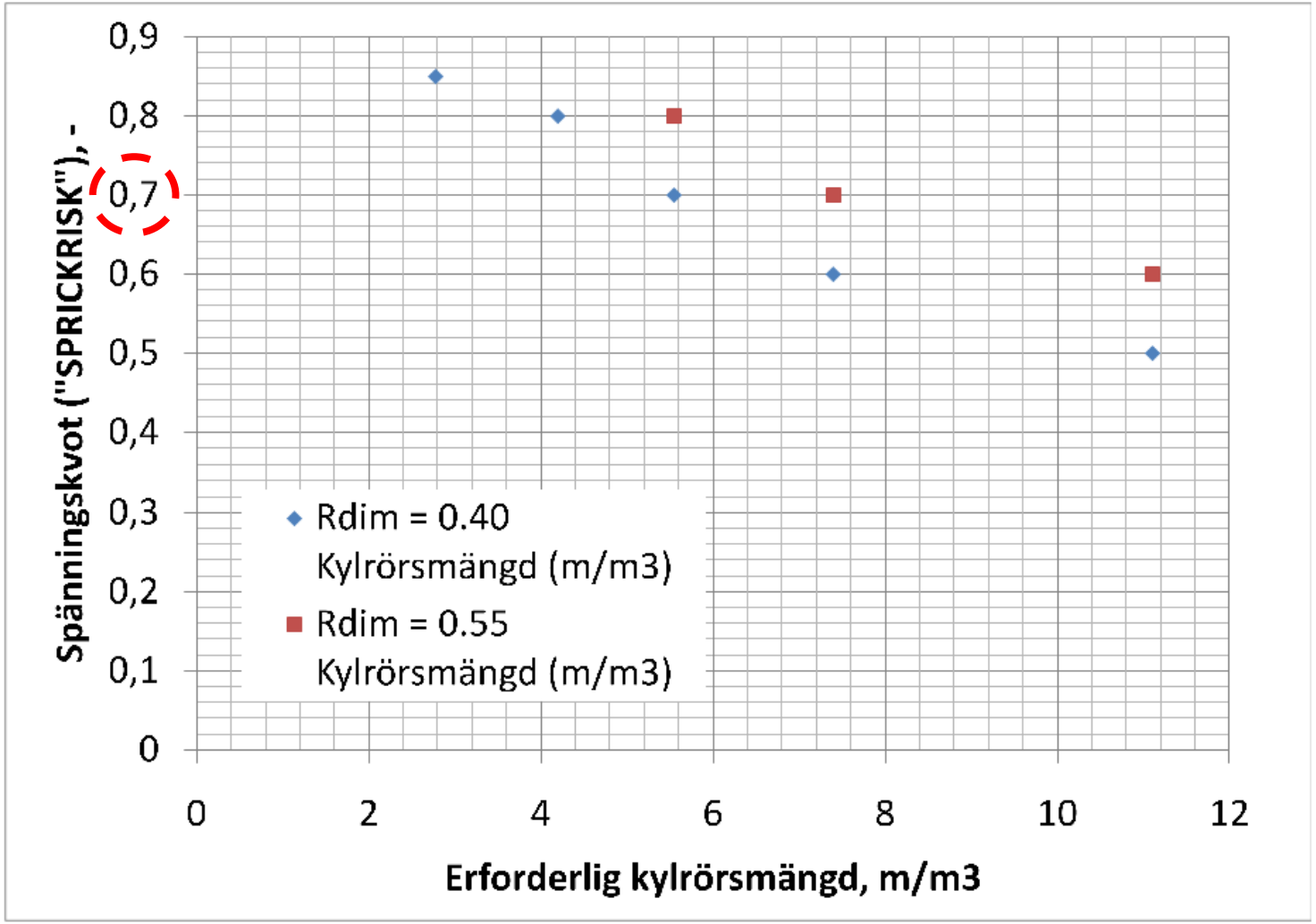
Tvångets inverkan på kylbehovet …

Förutsättningar
XD3/XF4
C40/50
Vct 0.40
C = 430 kg/m3

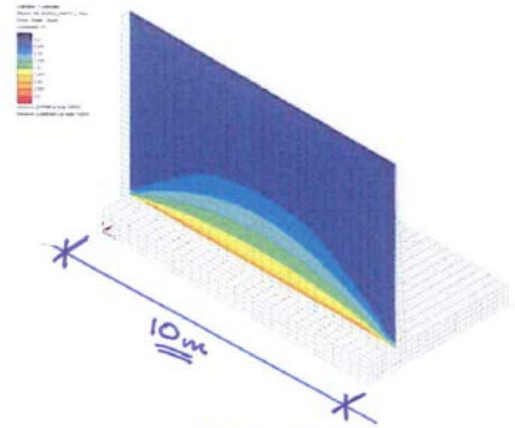
Ensidigt vattentryck

Provad betong

$\eta_{max} \leq 0.7$

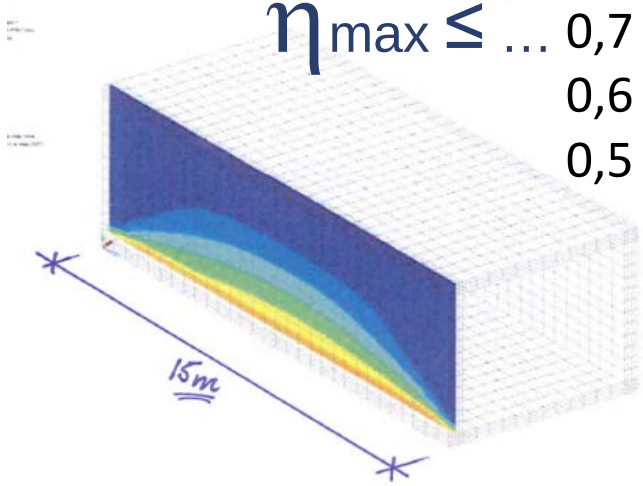


Tvångets inverkan på kylbehovet …



Bpl : t = 0,76 – 1,2m
Vägg : t = 0,80m
H = 6-7m
L = 10m

R_{dim} = 0.40



Bpl : t = 0.80m
Vägg : t = 0,80 m
H = 5 m
L = 15 m

R_{dim} = 0.55

$\eta_{max} \leq$ … Spänningskvot ("Sprickrisk")	Rdim = 0.40 Kylrörsmängd (m/m3)	Rdim = 0.55 Kylrörsmängd (m/m3)
0,85	50%	…
0,8	76%	100%
0,7	100%	133%
0,6	133%	200%
0,5	200%	325%

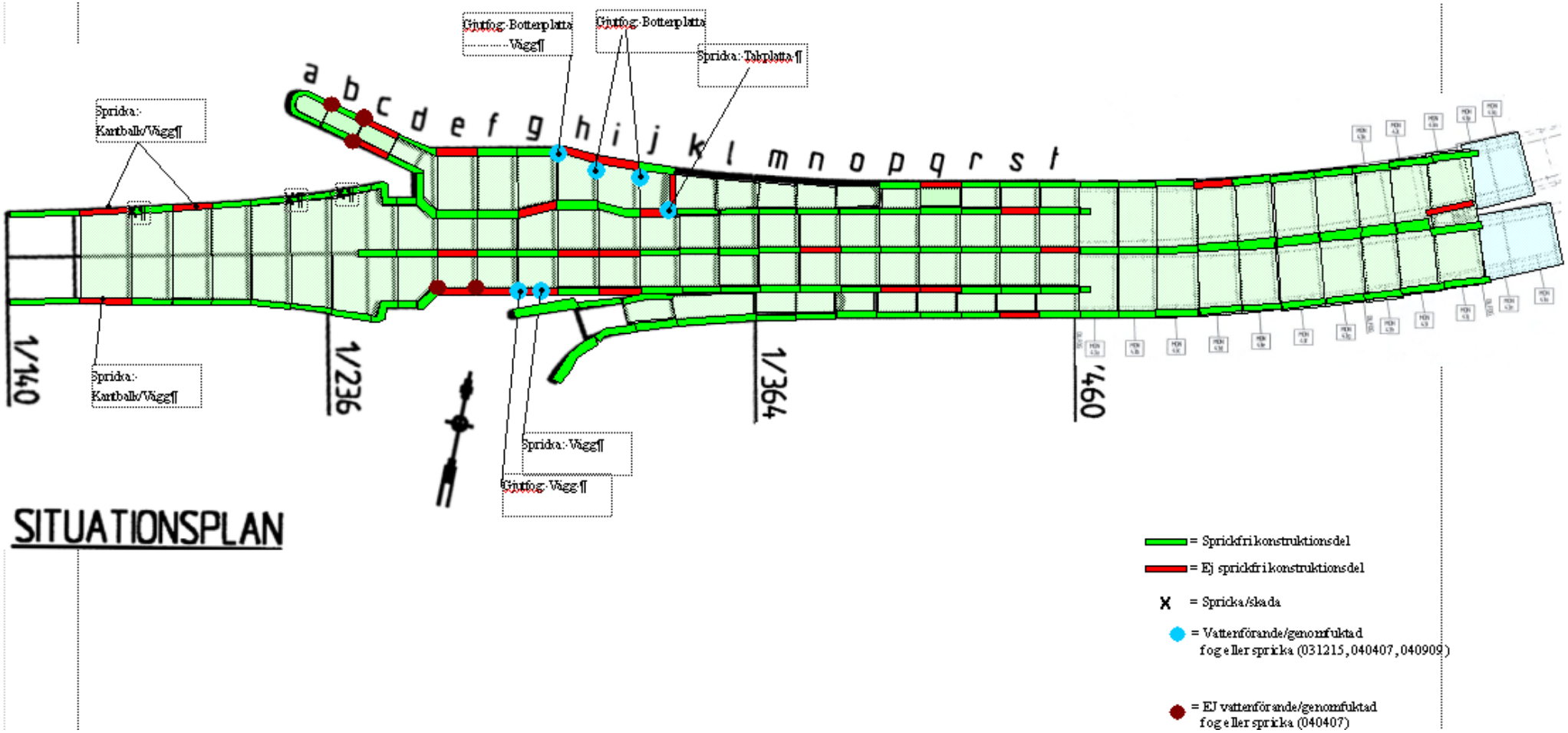
XD3/XF4
C40/50
Vct 0.40

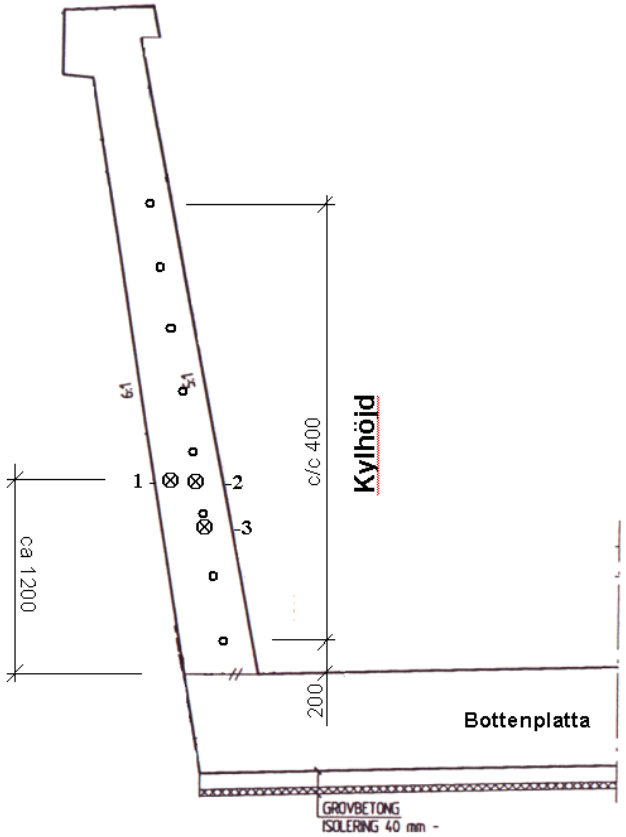
Summering och erfarenheter …

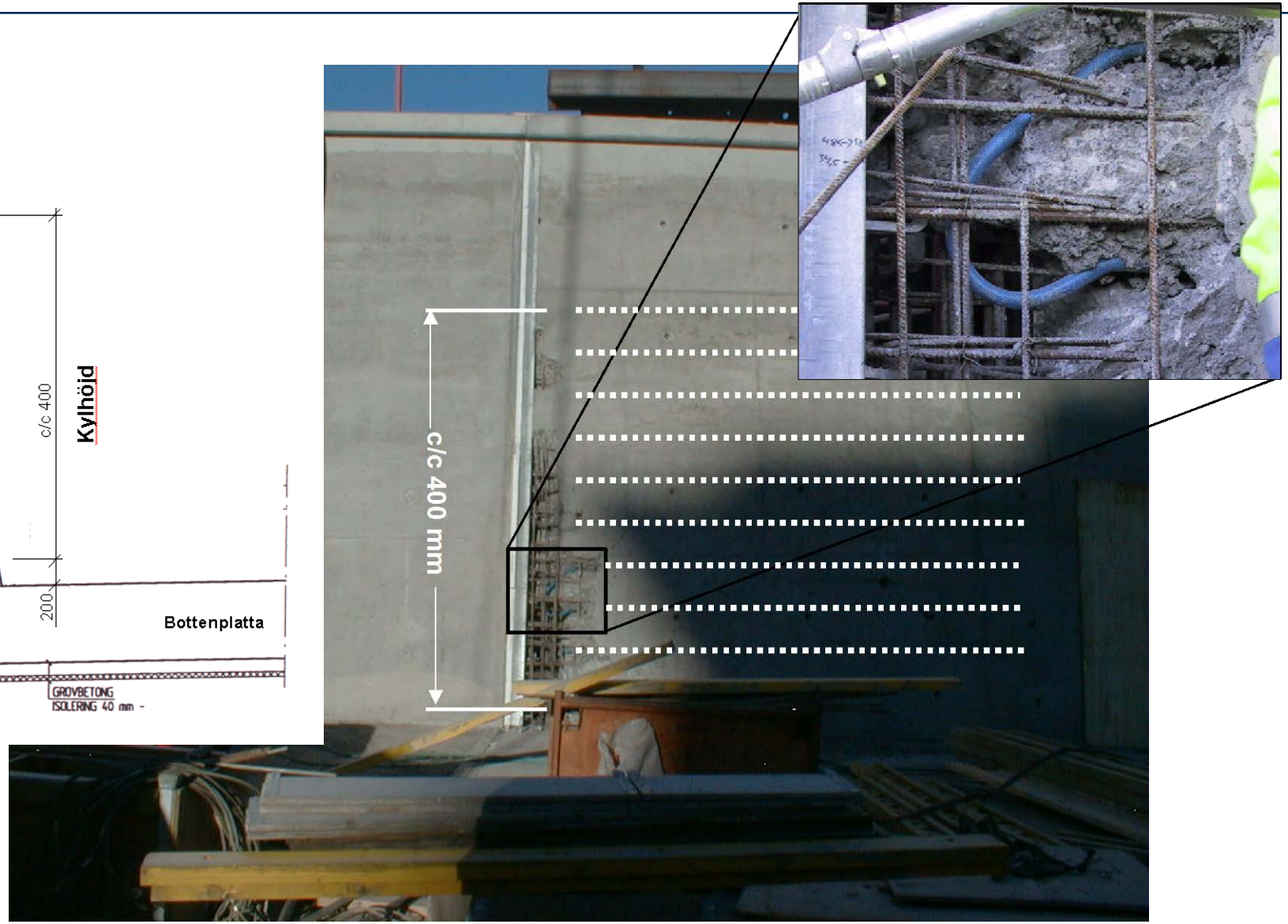
- Analys av tvånget för en konstruktions olika gjutetapper är av yttersta vikt!
- "*Kokboksmetoder*" för bedömning av dimensionerande tvångsfaktor:
  - Trubbigt verktyg, men bättre än en vild gissning.
  + Lämpar sig bättre vid små/enstaka gjutningar än vid upprepade gjutetapper i större konstruktioner.
- I dag finns flera lämpliga verktyg för att analysera och bedöma dimensionerande tvång i en gjutetapp.
- Provning av betong mix i projekt -> materialdata för optimering av åtgärder.
- Robusta materialmodeller för att beräkna temperaturspänningar.
- God överensstämmelse mellan predikterad "risk" för temperatursprickor och verkligt utfall.
- Uppföljning av åtgärder och utförande fångar misstag i produktionen och ger möjligheter att optimera projekterade åtgärder.

Thank you…

Uppföljning …




1
2
3
ca 1200
c/c 400
Kylhöjd
200
Bottenplatta
GROVBETONG
ISOLERING 40 mm


c/c 400 mm