

Fol projekt TRV/SBUF  
"Resursslöseri i anläggningsbyggandet?  
Vad kan vi lära av 50 års utveckling?"

Sven  
Thelandersson,  
LTH

Presentation  
Sveriges Bygguniversitet  
2024-03-05



Järnvägsbroar över Höje å, 1974 och 2020

Direkta jämförelser mellan byggnadsverk över lång tid  
visar:

För nyare byggnadsverk har man

- Kraftig ökning av materialåtgång
- Signifikant ökat klimatavtryck
- Signifikant ökade kostnader

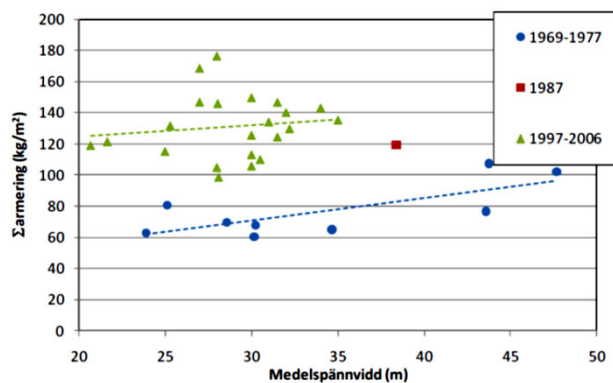
Exempel på källor

- Bygginnovationen (2010)
- Sweco blog (2021). Klimat- och kostnadsdrivande faktorer inom konstruktion. Goldmann M., Gröndal T., Gustafsson S., Joelsson E., Lövquist A.

**Är detta verkligen motiverat?**

**Utvecklingen borde väl gått i motsatt riktning?**

Armering (kg/m<sup>2</sup> broarea) som funktion av spännvidd  
 32 förspända lådbalkbroar  
 Medelökning över 40 år = 53 %



Källa: Bygginnovationen (2010)

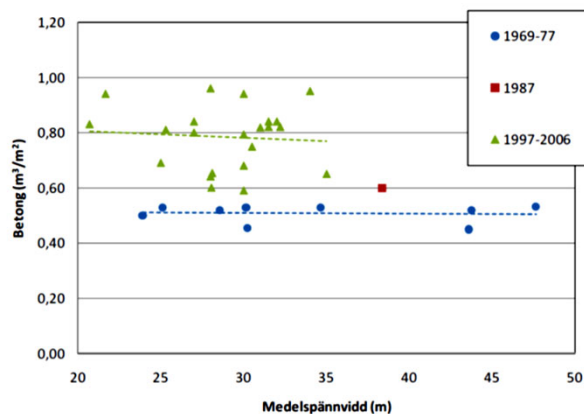
2024-03-05

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
 Lund University

Betong m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> broarea som funktion av spännvidd  
 32 förspända lådbalkbroar  
 Medelökning över 40 år = 50 %



Källa: Bygginnovationen (2010)

2024-03-05

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
 Lund University

**Exempel 1: Järnvägsbroar, Lund.** Utbyggnad från 2 till 4 spår mellan Malmö och Lund. Källa: Sweco/Centerlöf & Holmberg

Bro från 2020 bredvid existerande från 1974. Samma spännvidd och bär samma tåg, men i olika riktningar.

	Bro		Differens	
	1974	2020		%
Betong (m <sup>3</sup> )	903	1536	633	+70
Armering (ton)	72	255	183	+254
Byggkostnad (kSEK 2020)	5.641	11.519	5878	+104
Koldioxidavtryck (ton CO <sub>2</sub> E)	410	800	390	+95



Förgrund: Ny 2020  
Bakgrund: Gammal 1974

Konstruktionsteknik, LTH

5

**Exempel 2: Vägbroar 1978/1988 och 2020 – Breddning E4 Ljungby**

**Armering överbyggnad (plattrambroar) kg/m<sup>2</sup> bro**

**Resultat**

**Bro 7-431 Fri öppning 10,0 m**

	Bro år 1978	Bro år 2020	Kvot
Stöd	38 kg/m <sup>2</sup>	65 kg/m <sup>2</sup>	1,71
Fält	27	51	1,89

Rätvinklig

**Bro 7-541 Fri öppning 17,3 m**

	Bro år 1988	Bro år 2020	Kvot
Stöd	113 kg/m <sup>2</sup>	183 kg/m <sup>2</sup>	1,62
Fält	96	147	1,53

Snedvinklig 40°

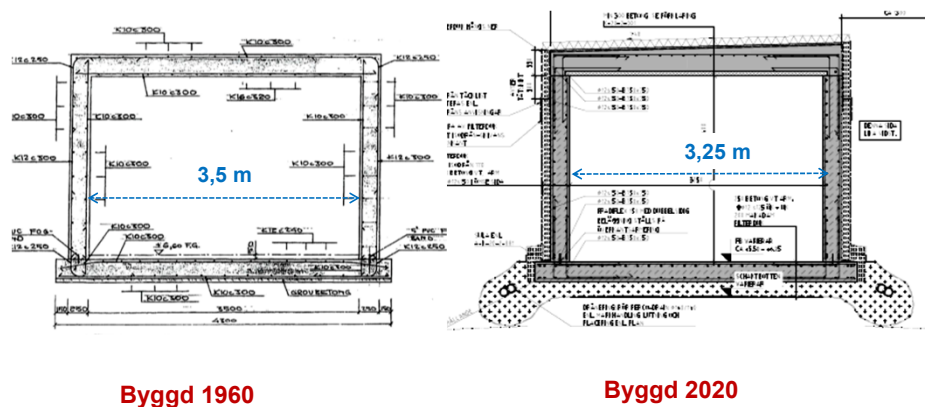
**Källa: Håkan Camper Skanska och TRV**

6

Konstruktionsteknik, LTH



## Transportkulvertar för sjukhus, Malmö Belastas av trafiklast



Byggt 1960

Byggt 2020

7

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

### Exempel 3. Kulvertar byggda 2020 och 1960

Ny kulvert byggd intill befintlig. Liknande spännvidd och samma belastning.

	Kulvert 1960	Kulvert 2020	Differens	Differens %
Betong (m <sup>3</sup> /m längd)	3,22	4,90	1,68	+52
Armering (ton/m längd)	0,32	0,76	0,44	+137
Byggkostnad (kSEK 2020)	10461	20888	10427	+100
Koldioxidavtryck (ton CO <sub>2</sub> E)	1519	2508	989	+65

Källa: SWECO och Danewids Ingenjörbyrå, Malmö

2024-03-  
05

Konstruktionsteknik, LTH



## Projektbeskrivning

### Övergripande syfte

- Kartlägga faktorer bakom förändringar
- Undersöka om dessa är motiverade
- Identifiera åtgärder

### Approach:

- Jämförelseobjekt (fallstudier)
- Intervjuer med erfarna specialister
- Analyser av utvalda faktorer (e.g., utveckling i bronormer)
- Analys av tillgänglig förvaltningsdata (BaTMan)

### Finansiärer



### Tidplan

Mjukstart: jan 2023  
Formell start: juni 2023  
Slutdatum: dec 2024

9

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## Projektets arbetsgrupp

- Ivar Björnsson, LTH (projektledare)
- Sven Thelandersson, LTH (bitr. projektledare)
- Karl Lundstedt, Skanska
- Jimmy Bengtsson, Skanska
- Håkan Camper, Skanska
- Thomas Kamrad, C&H
- Anders Lövquist, Sweco
- Stefan Gustavsson, Sweco
- Ola Öhrström, TRV
- Per Lindh, TRV/LTH

**SKANSKA**

**SWECO**

**TRAFIKVERKET**

**CENTERLÖF  
HOLMBERG**

10

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## Preliminära resultat från intervjuer med specialister

- Nästan alla delar bilden av ökad resursåtgång
- Orsaker som ofta nämns
  - Utveckling av normer (laster, skärpta krav, mer komplexitet)
  - Avancerade (3D) datoranalyser (feltolkningar, bristande kontroll)
  - Komplexa byggprocesser, många aktörer (mindre tid till ingenjörsarbete)
  - Specialisering på bekostnad av helhetssyn
  - Incitament att reducera mängder saknas
- Vad kan man göra?
  - Mindre mängd förslag-exempel: våga utmana normer, sätt kostnad på CO<sup>2</sup>, skapa samarbete, slopa krav på 3D analys, ...

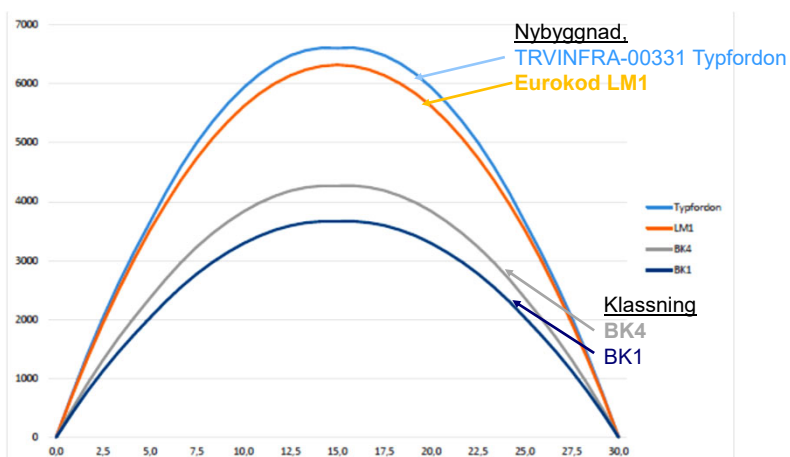
11

Konstruktionsteknik, LTH



## Lastförutsättningar? Vertikal trafiklast på vägbroar.

Moment av trafiklast i en fil, fritt upplagd, 30 m spännvidd.



Analys: Jimmy Bengtsson, Karl Lundstedt, Skanska

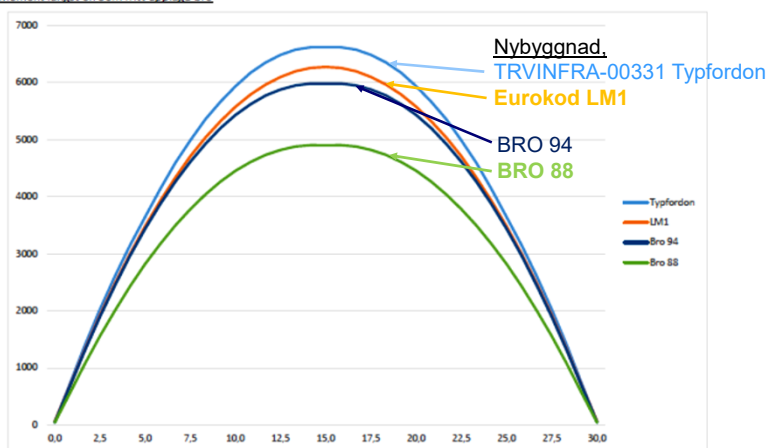
Konstruktionsteknik, LTH



## Lastförutsättningar? Vertikal trafiklast på vägbroar.

Moment av trafiklast i en fil, fritt upplagd, 30 m spännvidd.

Moment längst en 30m fritt upplagd bro



Analys: Jimmy Bengtsson, Karl Lundstedt, Skanska



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## Frågor

Är det rimligt att trafiklasteffekten vid nybyggnad nu är

- 50-55% högre än för klassning BK4?
- 30-35 % högre än för BRO 88?



## Lastförutsättningar? Exempel på andra broaster.

### Jämförelse över tid

Bromslast på järnvägsbro: kraftig ökning

Olyckslast på järnvägsbro (urspårning):  
nytt scenario  $\Rightarrow$  ofta stora konsekvenser



15

Konstruktionsteknik, LTH



## Exempel: Broarna över Höje å, Lund

**LASTER: Skillnaden mellan normer (säkerhetskoncept ej beaktat)**

	Dåtidens norm Bro 1974	Krav bro 2016 Bro 2020	Klassning (TDOK: 2013:0627)
Egentyngd	24 kN/m <sup>3</sup>	25 kN/m <sup>3</sup>	24 kN/m <sup>3</sup>
Ballast	18 x 0,5=9 kN/m <sup>2</sup>	20 x 0,6 x 1,3=15,6 kN/m <sup>2</sup>	18 x 0,5=9 kN/m <sup>2</sup>
Jordtryck	0,30 x 18=5,4 kN/m <sup>2</sup>	0,30 x 22=6,6 kN/m <sup>3</sup> (beror på DA)	0,29 x 22=6,4 kN/m <sup>3</sup>
Bromskraft	1340 kN	4416 kN	4100 kN
Vertikal tåglast	Mmax=18258 kNm Mmin=-25912 kNm	Mmax=23231 kNm Mmin=-27380 kNm	-

Källa: Thomas Kamrad, Centerlöf & Holmberg

Konstruktionsteknik, LTH

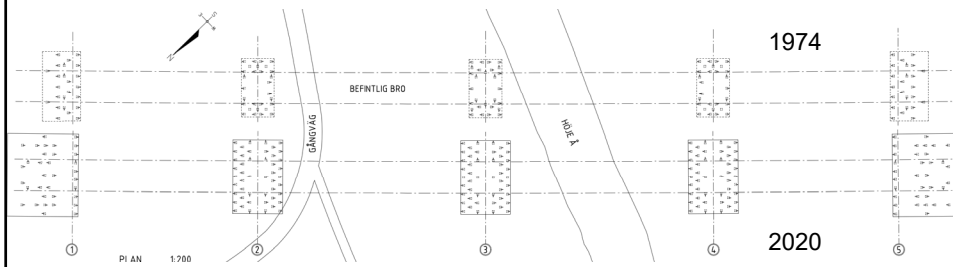




## Exempel: Broarna över Höje å, Lund



### Underbyggnad



**Ökad bromslast ⇒ stor skillnad i underbyggnaden**

Källa: Thomas Kamrad, Centerlöf & Holmberg

Konstruktionsteknik, LTH

## Utveckling av krav på betongkonstruktioner över tid

- **Minimiarmering (tvång)**
  - Tidigare: schablonvärden
  - Nya regler (beräkningsformler) svårtolkade
  - Konservativ/fel tolkning ökar armeringen (broar/tunnlar)
- **Beständighetskrav (täcksjikt och sprickbegränsning)**
  - Mer strikt för att reducera korrosionsrisker
  - Ökar armeringsmängd
  - Mycket osäkra modeller

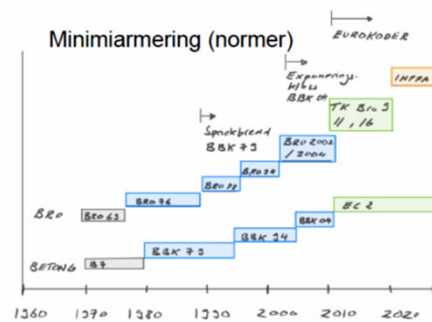


Bild: Thomas Kamrad (C&H)



### Platta eller vägg med tjocklek $h$ Krav på minimiarmering???

EXEMPEL

C 35/45  
 $\phi 16 \leq 200$  K 500 B/C

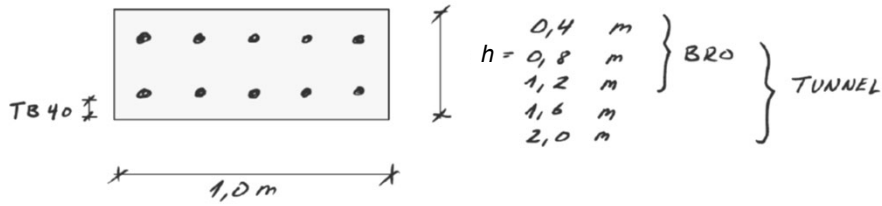
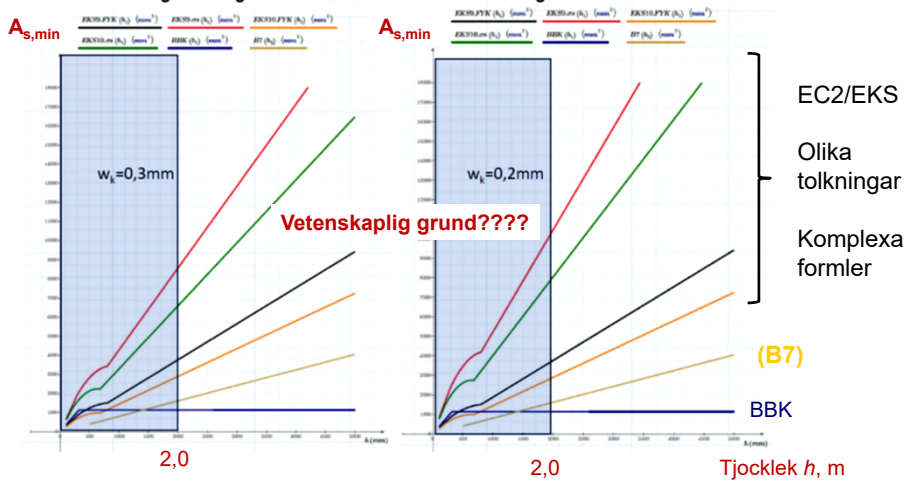


Bild: Thomas Kamrad



### Undersökning 2016 Energiforsk. Eurokoder för dimensionering av betongdammar. Rapport 2016:309

#### Minimiarmering och tvång – RAPPORT 2016:309 – Jämförelse Sverige



## Är denna utveckling verkligen motiverad?



Systematisk vetenskaplig dokumentation av funktion hos äldre byggnadsverk är ett viktigt beslutsunderlag och borde prioriteras

BatMan\* utgör ett bra dataunderlag

\*Trafikverkets databas över byggnadsverk i det svenska trafiknätet



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

### Preliminär statistik från BatMan

Platrambroar från olika perioder, observerade sprickor i brobaneplatta (ej kantbalk)

TK	Bristfällig funktion
0	Bortom 10 år
1	Inom 10 år
2	Inom 3 år
3	Vid inspektionen

	Bro69	Bro88	Bro94	Bro2002/04	TK Bro (EC)
Nybyggnadsår	1970-1990		1990-2000		2013-2023
- Brobestånd (antal)	2089		1428		361
- Antal sprickor	921		327		63
- Sprickfrekvens	0,44	Förbättring?	0,23	Bättre?	0,17
- Tillståndsklass 0	76%		87%		89%
- Tillståndsklass 1	21%		13%		6%
- Tillståndsklass 2	3%		fåtal		5%
- Tillståndsklass 3	fåtal		inga		inga

Källa: Ola Öhrström, TRV

22

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## Statistik från BatMan

Pågående examensarbete: Analys av data från BatMan

- Jämförelse mängder mellan äldre och nyare byggnadsverk
- Tolkning av data från inspektioner
- Systematisk dokumentation av status hos äldre byggnadsverk



23

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## Explosion av detaljregler $\Rightarrow$ mindre konceptuell förståelse

Ingenjörnsrollen har förändrats signifikant över tid

### FÖRR

- Överskådliga och kortfattade konstruktionsregler
- Enkla beräkningsmodeller
- Konceptuell helhetsbedömning viktig del i beslutsprocessen

### NU

- Mängder av detaljregler som ofta är formelbaserade och obegripliga
- Komplexa beräkningsmodeller som ger sken av stor noggrannhet
- Konceptuell förståelse tappas ofta bort i beslutsprocessen

24

Konstruktionsteknik, LTH



# 5619 sidor Eurokoder för konstruktioner



Hur påverkar denna mängd av regler ingenjörens arbete??

Konstruktionsteknik, LTH

## Utdrag från stålnormen EN 1993-1-1 talar för sig själv

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{yz} \frac{M_{zEd} + \Delta M_{zEd}}{\gamma_{M1} M_{zRk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{zz} \frac{M_{zEd} + \Delta M_{zEd}}{\gamma_{M1} M_{zRk}} \leq 1$$

Formler för dimensionering av stålpelare vid kombinerad tryck och böjning.

Interaktions-faktorer	Dimensioneringsförutsättningar	
	elastiska tvärsnittstorheter tvärsnitt i klass 3, tvärsnitt i klass 4	plastiska tvärsnittstorheter tvärsnitt i klass 1, tvärsnitt i klass 2
$k_{yy}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{\beta y}}$
$k_{yz}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{\beta z}} \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}}$
$k_{zy}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{\beta z}} \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}}$
$k_{zz}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{\beta z}}$

Hjälpfunktioner:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$w_y = \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}} \leq 15$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}} \leq 15$$

$$\eta_{\beta y} = \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y} / \gamma_{M1}}$$

$$C_{my} \text{ se tabell A.2}$$

$$a_{1,y} = 1 - \frac{1}{\eta_{\beta y}} \geq 0$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ 2 - \frac{16}{w_y} C_{\beta y}^2 \frac{\lambda_{max}^2}{w_y^2} - \frac{16}{w_y} C_{\beta y}^2 \frac{z^2}{w_y^2} \right] \eta_{\beta y} - d_{1,y} \geq \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}$$

med  $d_{1,y} = 0.5 a_{1,y} \frac{\lambda_{0,y}^2}{\chi_{LT}^2} \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ 2 - 14 \frac{C_{\beta z}^2 \lambda_{max}^2}{w_z^2} \right] \eta_{\beta z} - d_{1,z} \geq 0.8 \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}}$$

med  $d_{1,z} = 10 a_{1,z} \frac{\lambda_{0,z}^2}{5 + \lambda_{0,z}^2} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ 2 - 14 \frac{C_{\beta y}^2 \lambda_{max}^2}{w_y^2} \right] \eta_{\beta y} - d_{1,y} \geq 0.8 \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}}$$

med  $d_{1,y} = 2 a_{1,y} \frac{\lambda_{0,y}^2}{0.1 + \lambda_{0,y}^2} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ 2 - \frac{16}{w_z} C_{\beta z}^2 \frac{\lambda_{max}^2}{w_z^2} - \frac{16}{w_z} C_{\beta z}^2 \frac{z^2}{w_z^2} \right] \eta_{\beta z} - e_{1,z} \geq \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}$$

med  $e_{1,z} = 17 a_{1,z} \frac{\lambda_{0,z}^2}{0.1 + \lambda_{0,z}^2} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$

2021  
05

Konstruktionsteknik, LTH

## Exempel 1: Dialog mellan två ingenjörer om en slitsmur

A( Geotekniker): Kan vi inte göra så här!

B: Var står det?

A: Det står ingenstans, det är min egen bedömning byggd på erfarenhet

B: Men så kan man väl inte göra, det måste väl finnas en regel att följa.

Fritt tolkat från berättelse vid intervju med specialist.

Vart är vi på väg?

27

Konstruktionsteknik, LTH



## Avancerade datorverktyg

*"The computer is the ultimate fool, and we have elevated it to the ultimate authority. What is going to be the price?"*

*Franz Knoll, 1986*

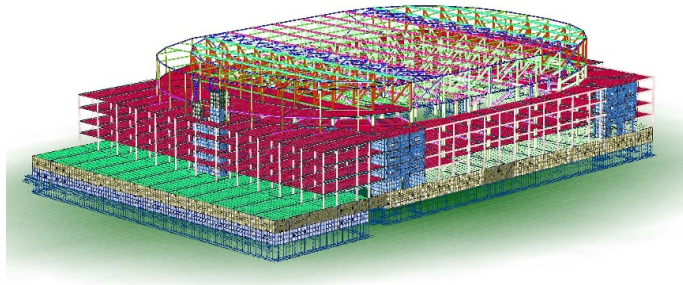


Bild: Martin Fröderberg; Tyrens

2024-03-05

Konstruktionsteknik, LTH



## Exempel 2: Dialog mellan ingenjörer om en slitsmur

A( Konstruktörer): Vi måste ha längre och kraftigare slitsmurar här

B: Varför det?

A: Jo, datormodellen konvergerar inte.

När datormodellen inte konvergerar har man inte fler ideer.

Vi kan väl inte bygga dyrt för att det skall bli enklare att räkna?

Fritt tolkat från berättelse vid intervju med specialist.



## Avancerade FEM-analyser viktig orsak till ökad resursåtgång

- Nästan samtliga intervjuade experter anser att avancerade FEM-analyser leder till mer resursåtgång främst av armering
- TRV ställer krav på sådana analyser även av relativt enkla broar sedan ca 15 år tillbaka
- Huvudmotiv: Attrahera unga ingenjörer med moderna hjälpmedel
- Man trodde också att avancerade analyser skulle leda till bättre och mer materialsnåla konstruktioner
- Detta påhejas entusiastiskt av många akademiska forskare och lärare vid högskolorna



## **FEM-analyser viktig orsak till ökad resursåtgång – varför?**

- Lastfall, randvillkor, empiriska formler och krav är intrimmade mot enklare balkmodeller av normskrivare ⇒ irrelevanta resultat från 3D-FEM
- Omfattande postprocessing behövs för att kunna nyttiggöras som optimalt beslutsunderlag – kunskap om detta saknas ofta idag
- FEM-analyser med elasticitetsteori av komplexa geometrier och realistiska lastmodeller skapar spänningstoppar som inte existerar i brottstadiet
- När jag var ung fick jag lära mig att om man bara armerar så att jämvikten är uppfyllt, fungerar betongkonstruktionen också så i brottstadiet (plasticitetsteori).
- Detta är sorgligen bortglömt av de flesta idag

**Inom projektet gör C&H en detaljerad fallstudie som illustrerar detta för en plattrambo.**

31

*Konstruktionsteknik, LTH*



Vilka förändringar kan göras för att vända trenden av slöseri och negativa miljökonsekvenser?

- Denna fråga har ställts i de ca 15 intervjuer som vi hittills gjort
- Svaren är dock mindre utförliga på denna punkt.
- I projektet har vi ännu inga slutliga svar, men en del ostrukturerade förslag
- Alla förslag från er mottages tacksamt till e-mailadresserna

[Sven.Thelandersson@kstr.lth.se](mailto:Sven.Thelandersson@kstr.lth.se)

[Ivar.Bjornsson@kstr.lth.se](mailto:Ivar.Bjornsson@kstr.lth.se)

32

*Konstruktionsteknik, LTH*





## Ostrukturerade förslag till åtgärder – beställare (TRV)

- Slopa kravet på 3D FEM analys!
- Se till att granskning av handlingar sker på kvalificerad konceptuell nivå i stället för att kontrollera detaljregler!
- Uppdra åt granskare att utvärdera material- och resursåtgång samt regelverkets effektivitet!
- Försök hitta metoder att prissätta koldioxidavtryck (morot och piska)!
- Identifiera kritiska frågor (t.ex. val av bromslast och sprickarmering) vid upphandling och ta som beställare ansvar för rimlig tolkning!
- Se till att möjligheter till konstruktionsoptimering beaktas även i tidiga skeden av ett väg- eller järnvägsprojekt!
- Ge utrymme åt personer med helhetsperspektiv!
- ???



## Ostrukturerade förslag till åtgärder – regelverk

- Utvärdera ogynnsamma konsekvenser av regler i Eurokod och utmana dem vid behov (görs delvis i vårt projekt)!
- Dokumentera kvalitet på äldre byggnadsverk som viktigt beslutsunderlag!
- Inför rimliga nationella tillämpningar av Eurokod
- Satsa resurser på att ta fram tydliga vägledningar och sprid dem till branschen
- Bör ske i god samordning mellan TRV och Transportstyrelsen
- Exempel på områden:
  - Trafikrelaterade laster
  - Beständighetskrav
  - Hantering av tvångslaster
  - Möjliggör användning av enklare datorbaserade beräkningsverktyg
  - etc.....



## Ostrukturerade förslag till åtgärder – konsulter

- Utveckla affärsmodeller för att sälja färre timmar med hög kvalitet och högre timpris snarare än många timmar med lågt pris
- Utbilda unga ingenjörer i konceptuellt tänkande
- Uppmuntra ingenjörer att tävla om effektiva nyckeltal avseende resursåtgång
- Kräv att få medverka i tidigare skeden
- Ge möjlighet till kvalificerad utbildning om bakgrunden till konstruktionsreglerna inklusive laster och säkerhetsfrågor
- Ifrågasätt regler och krav när det är motiverat
- Presentera lösningar på ett granskningsbart sätt
- ...

Incitament kan dock saknas för många av dessa punkter om beställaren inte har rätt kompetens.

35

Konstruktionsteknik, LTH



## Tack för uppmärksamheten!!

Hör av er med synpunkter – även kritiska!

[Sven.Thelandersson@kstr.lth.se](mailto:Sven.Thelandersson@kstr.lth.se)



Tallbergsbroarna, Nordmaling

36

Konstruktionsteknik, LTH

