

Fol projekt TRV/SBUF

"Resursslöseri i anläggningsbyggandet?  
Vad kan vi lära av 50 års utveckling?"

Sven  
Thelandersson,  
LTH

Presentation  
Sveriges Bygginstitut  
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

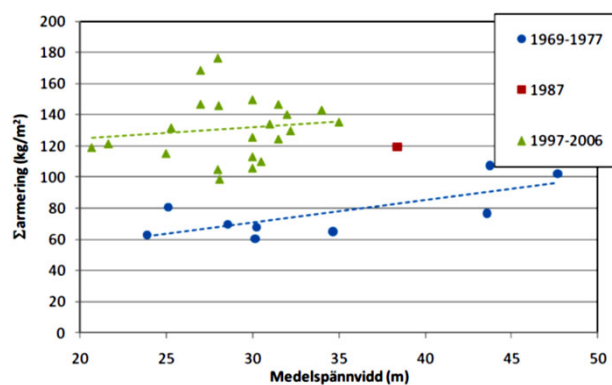
Exempel på källor

- 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)

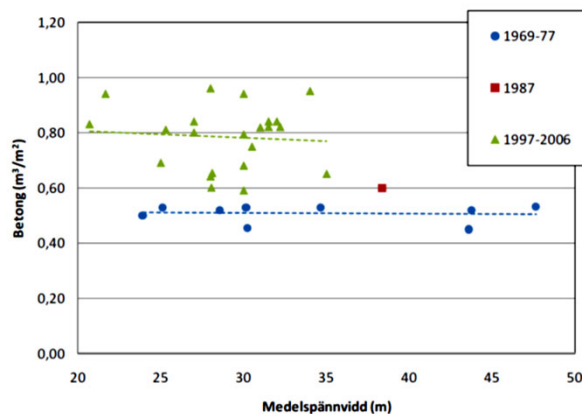
2024-03-05

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<br>1974 | Bro<br>2020 | Differens | Differens<br>% |
|--------------------------------|-------------|-------------|-----------|----------------|
| Betong (m³)                    | 903         | 1536        | 633       | +70            |
| Armering (ton)                 | 72          | 255         | 183       | +254           |
| Byggekostnad<br>(kSEK 2020)    | 5.641       | 11.519      | 5878      | +104           |
| Koldioxidavtryck<br>(ton CO2E) | 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 (platttribroar) kg/m² bro**

**Resultat**

**Bro 7-431 Fri öppning 10,0 m**

|      | Bro år 1978 | Bro år 2020 | Kvot |
|------|-------------|-------------|------|
| Stöd | 38 kg/m²    | 65 kg/m²    | 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/m²   | 183 kg/m²   | 1,62 |
| Fält | 96          | 147         | 1,53 |

Snedvinklig 40°

**Källa: Håkan Camper Skanska och TRV**

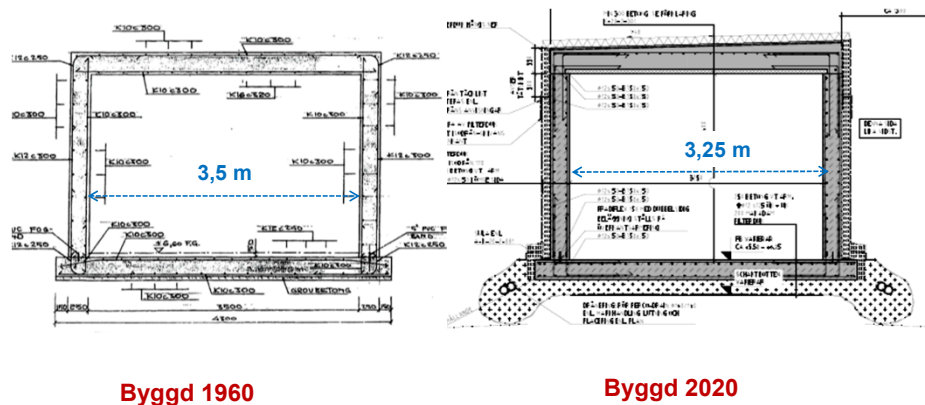
6

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## Transportkulvertar för sjukhus, Malmö Belastas av trafiklast



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<br>1960 | Kulvert<br>2020 | Differens | Differens<br>% |
|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|----------------|
| 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           |
| Byggbkostnad (kSEK 2020)                    | 10461           | 20888           | 10427     | +100           |
| Koldioxidavtryck<br>(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**



**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, ...

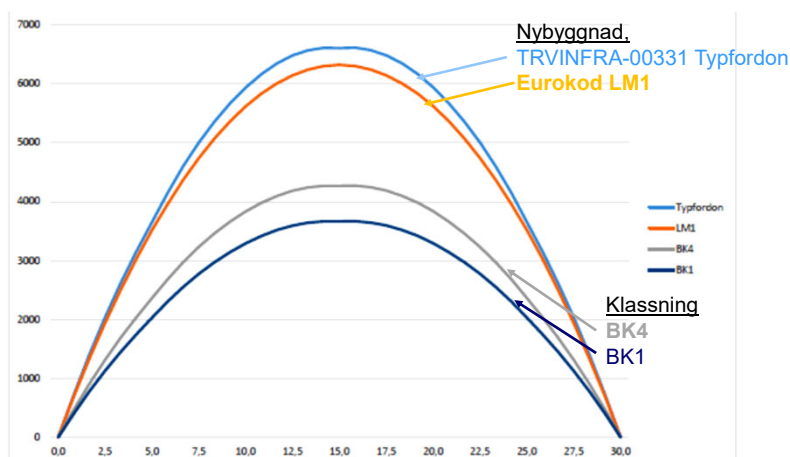
11

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

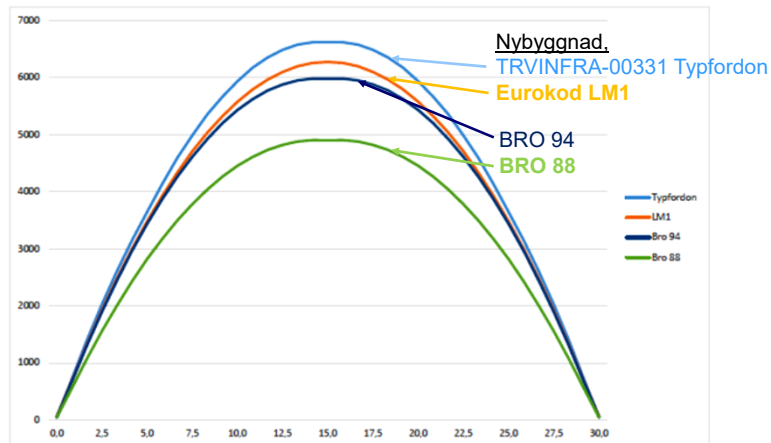


LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

## 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 brolaster.

### 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<br>Bro 1974         | Krav bro 2016<br>Bro 2020                        | Klassning<br>(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><br>(beror på DA) | 0,29 x 22=6,4 kN/m <sup>3</sup> |
| Bromskraft          | 1340 kN                           | 4416 kN                                          | 4100 kN                         |
| Vertikal<br>tåglast | Mmax=18258 kNm<br>Mmin=-25912 kNm | Mmax=23231 kNm<br>Mmin=-27380 kNm                | -                               |

Källa: Thomas Kamrad, Centerlöf & Holmberg

Konstruktionsteknik, LTH





**CENTERLÖF  
HOLMBERG**

**Källa: Thomas Kamrad, Centerlöf & Holmberg**

Konstruktionsteknik, LTH

A timeline diagram titled "Minimiarmierung (normer)" showing the evolution of military equipment from 1360 to 2020. The timeline is marked with years: 1360, 1370, 1380, 1390, 1400, 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460, 1470, 1480, 1490, 1500, 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560, 1570, 1580, 1590, 1600, 1610, 1620, 1630, 1640, 1650, 1660, 1670, 1680, 1690, 1700, 1710, 1720, 1730, 1740, 1750, 1760, 1770, 1780, 1790, 1800, 1810, 1820, 1830, 1840, 1850, 1860, 1870, 1880, 1890, 1900, 1910, 1920, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2010, 2020. The timeline is divided into two main sections: "EUROKODER" (top) and "INFER" (bottom). The "EUROKODER" section includes the following equipment types and their approximate years of use: "Expansions-1610" (1610), "BSC 01" (1610), "TK 500 3" (1610), "TK 500 1/2000" (1610), "BSC 02" (1610), "BSC 03" (1610), "BSC 04" (1610), "BSC 05" (1610), "BSC 06" (1610), "BSC 07" (1610), "BSC 08" (1610), "BSC 09" (1610), "BSC 10" (1610), "BSC 11" (1610), "BSC 12" (1610), "BSC 13" (1610), "BSC 14" (1610), "BSC 15" (1610), "BSC 16" (1610), "BSC 17" (1610), "BSC 18" (1610), "BSC 19" (1610), "BSC 20" (1610), "BSC 21" (1610), "BSC 22" (1610), "BSC 23" (1610), "BSC 24" (1610), "BSC 25" (1610), "BSC 26" (1610), "BSC 27" (1610), "BSC 28" (1610), "BSC 29" (1610), "BSC 30" (1610), "BSC 31" (1610), "BSC 32" (1610), "BSC 33" (1610), "BSC 34" (1610), "BSC 35" (1610), "BSC 36" (1610), "BSC 37" (1610), "BSC 38" (1610), "BSC 39" (1610), "BSC 40" (1610), "BSC 41" (1610), "BSC 42" (1610), "BSC 43" (1610), "BSC 44" (1610), "BSC 45" (1610), "BSC 46" (1610), "BSC 47" (1610), "BSC 48" (1610), "BSC 49" (1610), "BSC 50" (1610), "BSC 51" (1610), "BSC 52" (1610), "BSC 53" (1610), "BSC 54" (1610), "BSC 55" (1610), "BSC 56" (1610), "BSC 57" (1610), "BSC 58" (1610), "BSC 59" (1610), "BSC 60" (1610), "BSC 61" (1610), "BSC 62" (1610), "BSC 63" (1610), "BSC 64" (1610), "BSC 65" (1610), "BSC 66" (1610), "BSC 67" (1610), "BSC 68" (1610), "BSC 69" (1610), "BSC 70" (1610), "BSC 71" (1610), "BSC 72" (1610), "BSC 73" (1610), "BSC 74" (1610), "BSC 75" (1610), "BSC 76" (1610), "BSC 77" (1610), "BSC 78" (1610), "BSC 79" (1610), "BSC 80" (1610), "BSC 81" (1610), "BSC 82" (1610), "BSC 83" (1610), "BSC 84" (1610), "BSC 85" (1610), "BSC 86" (1610), "BSC 87" (1610), "BSC 88" (1610), "BSC 89" (1610), "BSC 90" (1610), "BSC 91" (1610), "BSC 92" (1610), "BSC 93" (1610), "BSC 94" (1610), "BSC 95" (1610), "BSC 96" (1610), "BSC 97" (1610), "BSC 98" (1610), "BSC 99" (1610), "BSC 100" (1610). The "INFER" section includes the following equipment types and their approximate years of use: "BSC 01" (1610), "BSC 02" (1610), "BSC 03" (1610), "BSC 04" (1610), "BSC 05" (1610), "BSC 06" (1610), "BSC 07" (1610), "BSC 08" (1610), "BSC 09" (1610), "BSC 10" (1610), "BSC 11" (1610), "BSC 12" (1610), "BSC 13" (1610), "BSC 14" (1610), "BSC 15" (1610), "BSC 16" (1610), "BSC 17" (1610), "BSC 18" (1610), "BSC 19" (1610), "BSC 20" (1610), "BSC 21" (1610), "BSC 22" (1610), "BSC 23" (1610), "BSC 24" (1610), "BSC 25" (1610), "BSC 26" (1610), "BSC 27" (1610), "BSC 28" (1610), "BSC 29" (1610), "BSC 30" (1610), "BSC 31" (1610), "BSC 32" (1610), "BSC 33" (1610), "BSC 34" (1610), "BSC 35" (1610), "BSC 36" (1610), "BSC 37" (1610), "BSC 38" (1610), "BSC 39" (1610), "BSC 40" (1610), "BSC 41" (1610), "BSC 42" (1610), "BSC 43" (1610), "BSC 44" (1610), "BSC 45" (1610), "BSC 46" (1610), "BSC 47" (1610), "BSC 48" (1610), "BSC 49" (1610), "BSC 50" (1610), "BSC 51" (1610), "BSC 52" (1610), "BSC 53" (1610), "BSC 54" (1610), "BSC 55" (1610), "BSC 56" (1610), "BSC 57" (1610), "BSC 58" (1610), "BSC 59" (1610), "BSC 60" (1610), "BSC 61" (1610), "BSC 62" (1610), "BSC 63" (1610), "BSC 64" (1610), "BSC 65" (1610), "BSC 66" (1610), "BSC 67" (1610), "BSC 68" (1610), "BSC 69" (1610), "BSC 70" (1610), "BSC 71" (1610), "BSC 72" (1610), "BSC 73" (1610), "BSC 74" (1610), "BSC 75" (1610), "BSC 76" (1610), "BSC 77" (1610), "BSC 78" (1610), "BSC 79" (1610), "BSC 80" (1610), "BSC 81" (1610), "BSC 82" (1610), "BSC 83" (1610), "BSC 84" (1610), "BSC 85" (1610), "BSC 86" (1610), "BSC 87" (1610), "BSC 88" (1610), "BSC 89" (1610), "BSC 90" (1610), "BSC 91" (1610), "BSC 92" (1610), "BSC 93" (1610), "BSC 94" (1610), "BSC 95" (1610), "BSC 96" (1610), "BSC 97" (1610), "BSC 98" (1610), "BSC 99" (1610), "BSC 100" (1610).

18

Konstruktionstechnik, LTH



Minimiarmring och tvång

EXEMPEL

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

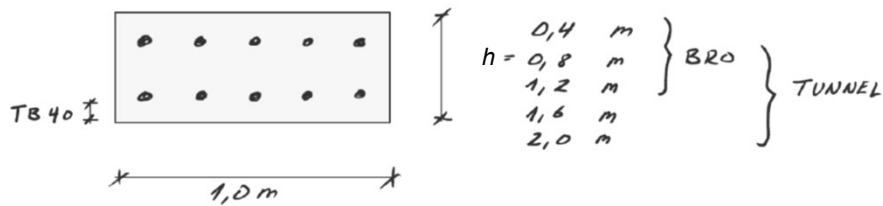


Bild: Thomas Kamrad

19

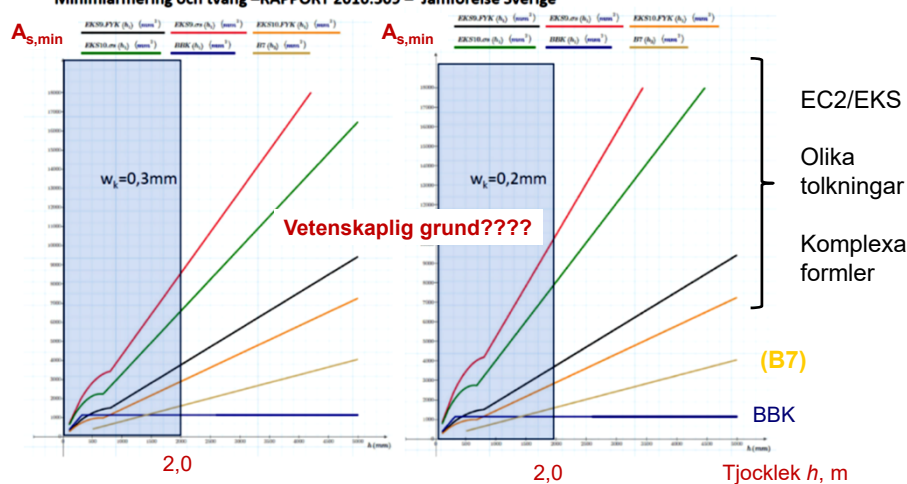
Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

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

Minimiarmring och tvång – RAPPORT 2016:309 – Jämförelse Sverige



20

Konstruktionsteknik, LTH



LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
Lund University

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 brobänneplatta (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





### 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*

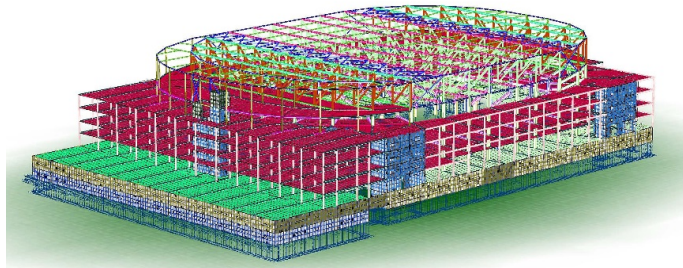


Bild: Martin Fröderberg; Tyrens

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  $\Rightarrow$  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 plattrambro.**

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

