

# Optimala betongbrolösningar med hänsyn till klimatpåverkan och investeringskostnad



Raid Karoumi

*Avdelning för Bro- och stålbyggnad, KTH*



TRAFIKVERKET



## Disposition

---

- Kort om KTH-Brobyggnad
- BBT projektet
- Vad är optimering och hur funkar algoritmen
- Exempel
- Några slutsatser



## Structural Engineering & Bridges

### The bridge research group

- 2 Professors
- 1 Adjunct professor
- 2 Associate professors
- 3 Researchers
- 2 laboratory engineers
- 14 PhD students

### Main research topics

- Advanced modeling and analysis of structures (especially bridges for high speed track)
- Cost and resource efficient bridge solutions (especially SSCB & optimization with LCC/LCA)
- Monitoring and condition assessment of bridges



## Kort om BBT projektet

- **Två projekt för en doktorand på KTH med finansiering från Trafikverket, KTH och ELU Konsulter**
  - *Optimala betongbrolösningar med hänsyn till klimatpåverkan och investeringskostnad, 2016-2019 (endast btg.broar & inv.kostnad)*
  - *Optimala brolösningar med hänsyn till klimatpåverkan och livscykelkostnad, 2019-2021 (andra broar, andra material, opt. i tvärlid, multi-objective LCC+LCA)*
- **Målsättningen**
  - Det övergripande målet är att utveckla optimala designlösningar för nya broar. Målet är att minska miljöpåverkan (LCA) och kostnaden (INV & LCC) så mycket som möjligt utan att kompromissa med brons säkerhet, funktionalitet och byggharhet.
- **Medverkande**
  - KTH: Elisa Khouri & Raid Karoumi
  - ELU: Costin Pacoste
  - Trafikverket: Peter Simonsson



## Vad är Optimering

Optimeringen är en process som går ut på att hitta en uppsättning variabler som uppfyller vissa restriktioner och bivillkor så att motsvarande värde på en given funktion blir så litet (eller stort) som möjligt.

### Teori i matematisk form

**Input variabler:**  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^n$   
(spännvidd, stödplacering, höjd, tvärsnitts form och mått, armeringsmängd, etc.)

**Bivillkor:** Kan skrivas som:  
 $g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m$   
 $h_j(x) = 0, j = 1, 2, \dots, r$   
 (avser samtliga krav i brott, bruk & utmattning, byggbarhetsaspekter, etc.)

**Målfunktion:** Minimera  $f(x)$   
(investeringskostnad, miljöpåverkan, mängder, etc.)



## Dimensionering

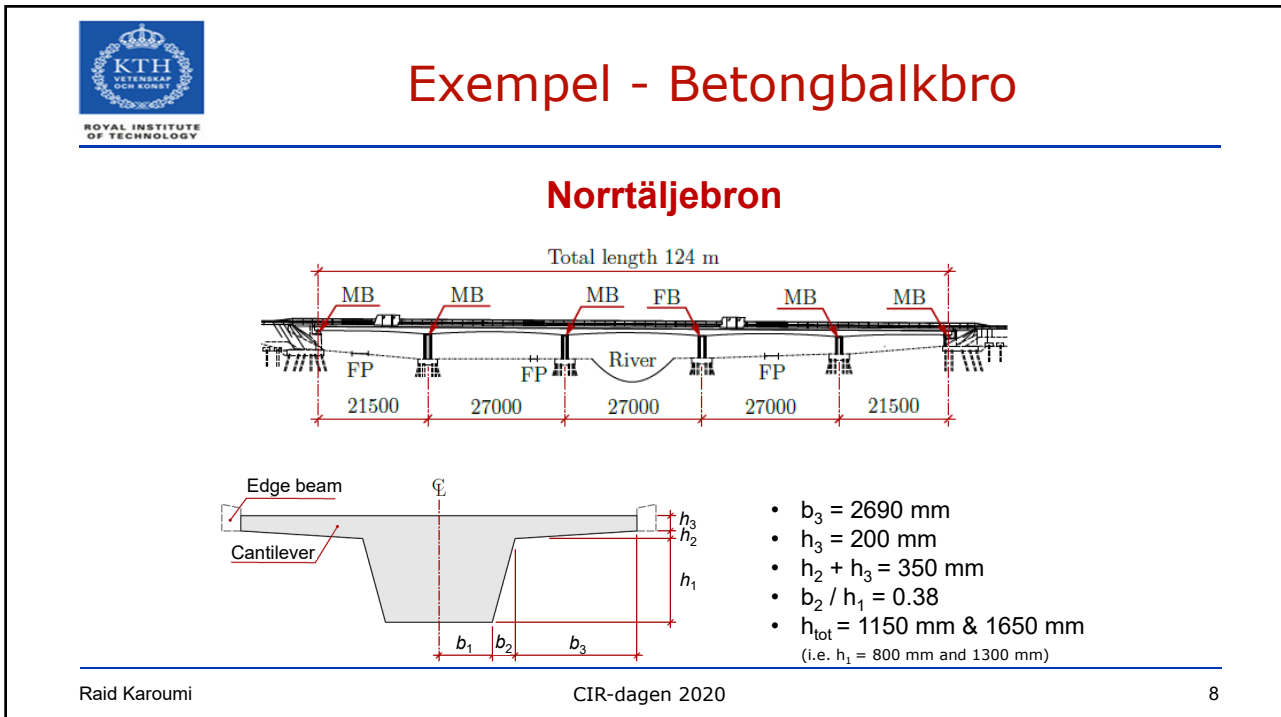
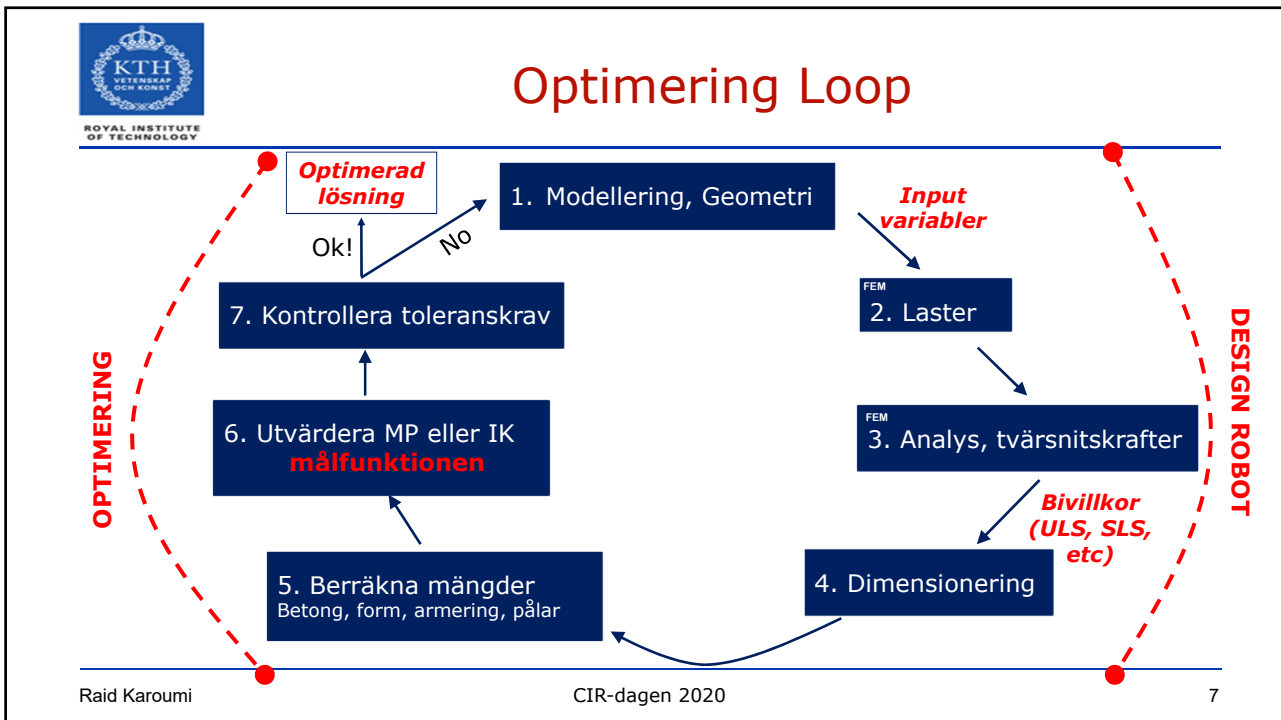
Optimering – enligt två kriterier

- Investeringskostnad (IK)
- Miljöpåverkan (MP)



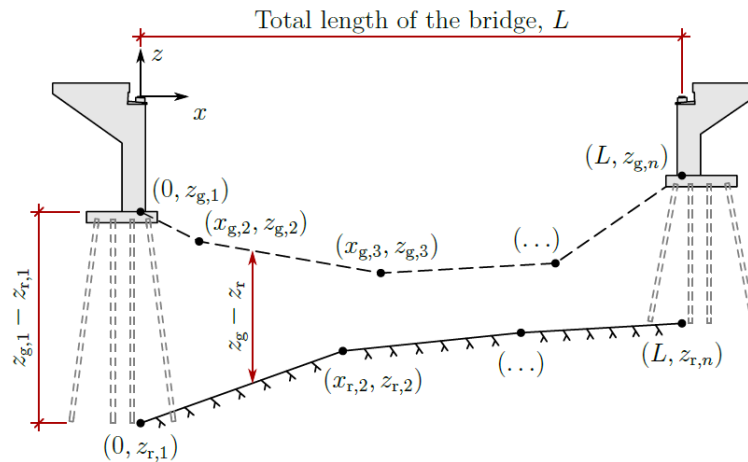
Var för sig  
eller  
samtidigt (multi-objective)

- Använd realistiska 3D modeller
- Utför en komplett och detaljerad dimensionering (brott, bruk & utmattning)
- Betrakta MP och IK var för sig eller samtidigt
- Studera sambandet mellan en optimerad lösning m.a.p. MP och en m.a.p. IK



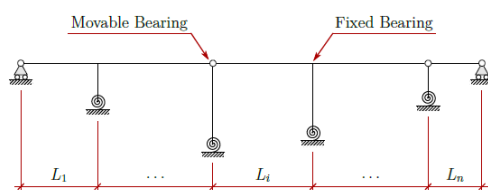
## Exempel - Betongbalkbro

**Indata:**



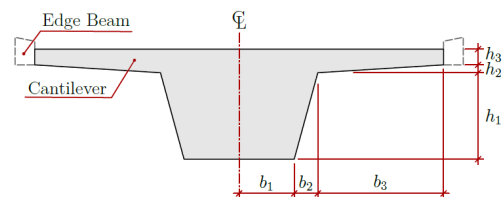
## Exempel - Betongbalkbro

Optimering i två etapper



**Etapp 1 – optimera:**

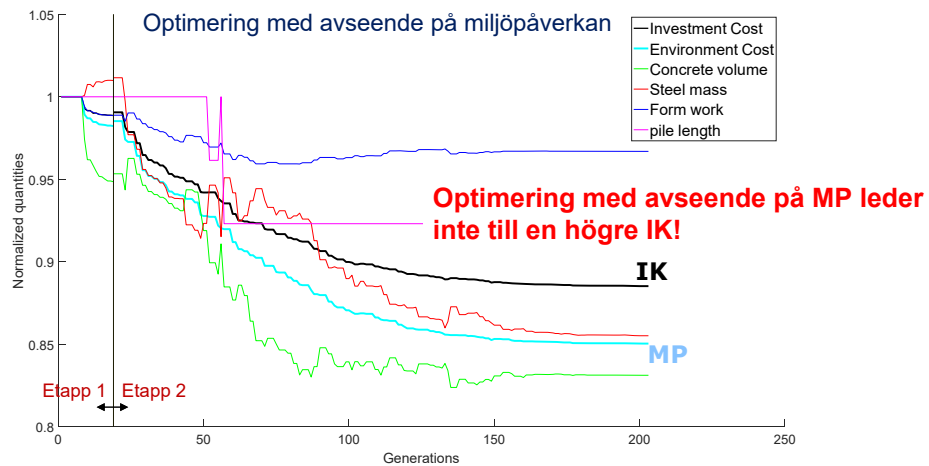
- Pelarnas placering (spännvid)er
- Lager typ och placering



**Etapp 2 – optimera:**

- Tvärsnittsmått
- Armeringsmängd

## Exempel - Betongbalkbro



**DESIGN ROBOT – 15 000 lösningar; < 48 hours**

## Exempel - Betongbalkbro

OS: 22.1 + 25.8 + 28.4 + 26.0 + 21.7 m

Variabler	Byggd bro	Optimerad lösning
Spann längder (m)	21.5 27 27 27 21.5	22 26 28 26 22
Lager	MB MB MB FB MB MB	MB MB FB MB MB MB
$b_3$ (mm)	2690	2750
$h_2$ (mm)	150	100
$h_3$ (mm)	200	180
$b_2 / h_1$ (-)	0.38 (i.e. $h_1 = 2.6 \cdot b_2$ )	0.91 (i.e. $h_1 = 1.1 \cdot b_2$ )
$h_1$ (mm)	800 i fält för alla spann	1100 i fält för span 1, 3 och 5
	800 vid ändupplag	600 i fält för span 2 och 4
	1300 vid mellanstöd	1700 vid mellanstöd



## Exempel - Betongbalkbro

Material*	Byggt bro	Optimerad lösning	Skillnad (%)
Betong	1	0.9113	8.87
Stål	1	0.8220	17.80
Pålar	1	0.9763	2.37
Form	1	1.0000	0.00
IK	1	0.8983	10.17
MP	1	0.8712	12.88

\*normaliserad m.a.p. byggt brolösning



## Exempel - Betongbalkbro

### Betong vs. armering

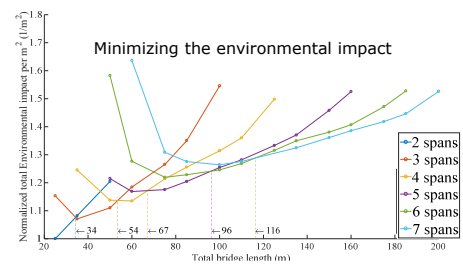
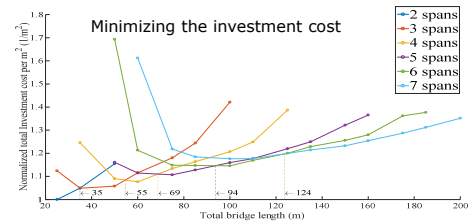
Material	Optimerad lösning MP för stål x 0.3	Optimerad lösning MP för betong x 0.3
Betong (m3)	930.5	1 032
Stål (ton)	209	198
Pålar (m)	1 635	1695
Form (m2)	1 932	2016
MP (10 <sup>6</sup> SEK)	1.672	1.755
IK (10 <sup>6</sup> SEK)	10.640	10.792

**Om man minskar miljöpåverkan för stål får man en bättre total effekt!**

## Exempel - Betongbalkbro

### Antal spann för en optimal lösning

Total bro längd (m)	Optimalt antal spann
25 - 35	2
35 - 55	3
55 - 65	4
65 - 95	5
95 - 130	5 - 6 - 7
130 - 200	≥7



## Några Slutsatser

- Både MP och IK leder till liknande lösningar – det som är bra för miljön är oftast också billigare.
- MP är känsligare än IK med avseende på betongmängden men för både MP och IK vad som driver optimeringsprocessen är armeringsmängden.
- Att minska stålets miljöpåverkan ger en bättre totaleffekt än en motsvarande minskning av betongens miljöpåverkan. Slutsatsen är dock baserad på bara en “case study”.

### Nästa steg:

inkludera LCC, andra brotyper och andra material som GFRP armering





## Artiklar & Rapporter

---

- **Lic.avhandling:** *Optimal design solutions of concrete bridges considering environmental impact and investment cost*, 2019.
- **Artikel 1:** *Topological and size optimization of RC beam bridges: an automated design approach for cost effective and environmental friendly solutions*, published in Nordic Concrete Research, Dec. 2019.
- **Artikel 2:** *Multi-objective optimization of cantilever bridge deck including edge beams*, to be submitted in spring 2020.
- **Artikel 3:** *The use of GFRP reinforcement bars in concrete bridges: optimal solutions considering cost and climate impact*, to be submitted in spring 2020.



Tack för er uppmärksamhet!

E-post: [raidk@kth.se](mailto:raidk@kth.se)