

## Optimala kantbalkssystem

Resultat av genomfört FUD-projekt

Lars Pettersson Håkan Sundquist

TRITA-BKN. Report 151 2014  
ISSN 1103 - 4289  
ISRN KTH/BKN/R--151—SE  
Byggvetenskap

Structural Design and Bridges, 2014  
KTH, Civil and Architectural  
Engineering  
SE 100 44 Stockholm  
[www.byv.kth.se](http://www.byv.kth.se)



## **Förord**

Föreliggande rapport är ett av resultatet av ett genomfört FUD-projekt som utförts av KTH, avdelningen för brobyggnad på uppdrag av Trafikverket.

Arbetet har utförts under ledning av Lars Pettersson och Håkan Sundquist, men en lång rad specialister och examensbetare har deltagit med värdefullt arbete.

Inom projektet har en arbetsgrupp, ledd av Lars Pettersson, bestående av specialister vaskat fram olika förslag på lösningar. Dessa lösningar har bildat bas för utvärderingar av teknik och ekonomi.

En referensgrupp har bidragit med kompletterande frågor och idéer vid ett antal seminarier.

Resultat från examensarbeten, som återfinns i referenslistan, har inarbetats i projektet och således också i denna rapport.

Rapporten har sammanställts av Håkan Sundquist

Stockholm i oktober 2014

Lars Pettersson

Håkan Sundquist



# Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Inledning.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Bakgrund .....  | 1         |
| 1.2 Syfte och avgränsningar .....   | 1         |
| <b>2. Brobaneplattan .....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1 Kantbalkssystemet som del av brobaneplattan .....                     | 2         |
| 2.2 Kantbalk och räcke .....  | 3         |
| 2.3 Övriga konstruktionselement som påverkar kantbalkens utformning ..... | 4         |
| 2.4 Betongplattan som konstruktionselement.....                           | 5         |
| 2.4.1 Allmänt .....   | 5         |
| 2.4.2 Lastspridning i betongplattan .....                                 | 5         |
| <b>3. Principiellt olika utformningar av kantbalken.....</b>              | <b>7</b>  |
| 3.1 Allmänt .....   | 7         |
| 3.2 Kantbalkens roll i avvattningssystemet för broar .....                | 7         |
| 3.3 Ska kantbalken vara en del av brons globala statiska system?.....     | 8         |
| 3.3.1 Integrerad kantbalk .....   | 8         |
| 3.3.2 Brokappa.....   | 9         |
| 3.3.3 Nedbrytning av kantbalkar .....                                     | 10        |
| 3.3.4 Åtgärder för ökad livslängd för kantbalkar .....                    | 11        |
| 3.4 Räcke och räckesinfästning .....                                      | 14        |
| 3.4.1 Inledning.....  | 14        |
| 3.4.2 Olika system .....  | 14        |
| <b>4. Arbets- och utvecklingsmetodik.....</b>                             | <b>17</b> |
| 4.1 Allmänt .....   | 17        |
| 4.2 Tidsplan .....  | 17        |
| 4.3 Internationell enkät .....  | 17        |
| 4.4 Referensgrupp.....  | 19        |
| 4.5 Arbetsgrupp .....   | 20        |
| <b>5. Framtagna lösningar .....</b>                                       | <b>21</b> |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.1   | I. Platsgjutna kantbalkar.....          | 24 |
| 5.1.1 | Kantbalk typ 7.....                     | 24 |
| 5.1.2 | Kantbalk typ 9.....                     | 26 |
| 5.1.3 | Kantbalk typ 21.....                    | 28 |
| 5.1.4 | Kantbalk typ 22.....                    | 30 |
| 5.1.5 | Kantbalk typ 23.....                    | 32 |
| 5.2   | II. Lösning utan egentlig kantbalk..... | 34 |
| 5.2.1 | Kantbalk typ 2.....                     | 34 |
| 5.2.2 | Kantbalk typ 3.....                     | 36 |
| 5.2.3 | Kantbalk typ 6.....                     | 38 |
| 5.3   | III. Kantbalkar av stål.....            | 40 |
| 5.3.1 | Kantbalk typ 4.....                     | 40 |
| 5.3.2 | Kantbalk typ 5.....                     | 42 |
| 5.3.3 | Kantbalk typ 8.....                     | 44 |
| 5.3.4 | Kantbalk typ 24.....                    | 46 |
| 5.4   | IV. Prefabricerade kantbalkar.....      | 48 |
| 5.4.1 | Kantbalk typ 10.....                    | 48 |
| 5.4.2 | Kantbalk typ 11.....                    | 50 |
| 5.4.3 | Kantbalkstyp 12.....                    | 52 |
| 5.4.4 | Kantbalkstyp 13.....                    | 54 |
| 5.4.5 | Kantbalkstyp 14.....                    | 56 |
| 5.4.6 | Kantbalkstyp 16.....                    | 58 |
| 5.4.7 | Kantbalkstyp 18.....                    | 60 |
| 5.5   | V. Kantbalkar med inspektionsbana.....  | 62 |
| 5.5.1 | Kantbalk typ 17.....                    | 62 |
| 5.5.2 | Kantbalkstyp 20.....                    | 64 |
| 5.6   | Värdering av de olika förslagen.....    | 66 |
| 5.6.1 | Allmänt.....                            | 66 |
| 5.6.2 | Problem.....                            | 66 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>6.</b> | <b>Nytta och kostnad för en konstruktion, LCC-analyser .....</b> | <b>68</b>  |
| 6.1       | Allmänt .....  | 68         |
| 6.2       | Syfte.....   | 74         |
| 6.3       | Livscykelkostnader för ett broelement .....                      | 75         |
| 6.3.1     | Definitioner.....  | 75         |
| 6.3.2     | Beställarkostnader .....   | 75         |
| 6.3.3     | Användarkostnader.....   | 76         |
| 6.3.4     | Samhällskostnader .....  | 77         |
| 6.4       | LCC för kantbalkar .....   | 78         |
| 6.4.1     | Metodik och LCC-modellens uppbyggnad.....                        | 78         |
| 6.5       | Brofall.....   | 79         |
| 6.6       | Kantbalkstyper.....  | 81         |
| 6.7       | Antaganden och begränsningar .....                               | 82         |
| 6.8       | LCC-Modell .....   | 83         |
| 6.8.1     | Del 1: Ägarkostnader.....  | 83         |
| 6.8.2     | Del 2: Användarkostnader.....                                    | 87         |
| 6.9       | Resultaten för alla brofall .....                                | 92         |
| 6.10      | Åtgärdsstrategier.....   | 95         |
| 6.10.1    | Allmänt .....  | 95         |
| 6.10.2    | Strategi med ett Kontinuerligt Underhåll (KU).....               | 97         |
| 6.11      | Platsgjutna kantbalkar med rostfritt stål .....                  | 100        |
| 6.12      | Våra kantbalkar idag.....  | 102        |
| 6.13      | Slutsatser från LCC-analyserna .....                             | 103        |
| <b>7.</b> | <b>Förslag till fortsatt arbete .....</b>                        | <b>106</b> |
| <b>8.</b> | <b>Referenser och Litteratur .....</b>                           | <b>108</b> |





## Storheter och förkortningar

Observera att liknade beteckningar kan förekomma såväl som storhet (d.v.s. en variabel som har enhet) eller som ett begrepp. T.ex. INV som står för begreppet investering och  $INV$  som står för investeringskostnad med t.ex. enheten SEK.

| Storheter, beteckning | Enhet                   | Förklaring  |
|-----------------------|-------------------------|---|
| $ACC$                 |                         | olyckskostnader   |
| $ADT, \text{ÅDT}$     | fordon/dygn             | årsdygnstrafik, Average daily traffic                               |
| $ADT_0$               | fordon/dygn             | årsdygnstrafiken vid tiden $t = 0$                                  |
| $A_n$                 |                         | olycksfrekvens vid normala förhållanden                             |
| $ANV-K$               | SEK                     | användarkostnader   |
| $A_r$                 | olycka/fordonskilometer | olycksfrekvens vid åtgärdsarbete                                    |
| $BES-K$               | SEK                     | beställarkostnader  |
| $C$                   | SEK                     | kostnad, allmänt  |
| $C_{acc}$             | SEK/olycka              | samhällskostnaden för en olycka                                     |
| $C_t$                 | SEK                     | totalkostnaden av LCM vid tiden $t$                                 |
| $f_i$                 | -                       | nuvärdesfaktorn vid tiden $t_i$ /år                                 |
| $D_t$                 | -                       | diffusionskoefficient för impregnerad betong                        |
| $D_u$                 | -                       | diffusionskoefficient för obehandlad betong                         |
| $I_0$                 | SEK                     | investeringskostnad   |
| $I_i$                 | SEK                     | samhällsnytta av en konstruktion (Intäkt)                           |
| $INV$                 | SEK                     | investeringskostnad, investment                                     |
| $L$                   | a, (år)                 | förväntade livslängden för en konstruktion (antal år tills rivning) |
| $LCC$                 | SEK                     | livscykelkostnad  |
| $LCI$                 | SEK                     | livscykelintäckt  |
| $LCM$                 | SEK                     | åtgärder  |
| $m$                   | a (år)                  | slutår för LCC-analys   |
| $N_t$                 | dygn                    | antal dagar då åtgärder, $LCM$ , måste göras                        |
| $O_L$                 | SEK/h                   | genomsnittlig driftskostnad för lastbil                             |

|                |         |   |
|----------------|---------|---|
|                |         | inklusive dess varuproduktion   |
| $O_p$          | SEK/h   | genomsnittlig driftskostnad för personbil                               |
| $r$            | 1, %    | ränta   |
| $r_i$          | 1, %    | inflationen   |
| $r_L$          | 1, %    | andelen lastbilar   |
| $r_L$          | 1, %    | är ränta på lån med lång varaktighet                                    |
| $r_{tg}$       | 1, %    | trafiktillväxt  |
| $r_{\ddot{o}}$ | 1, %    | den ökade eller minskade nytta som konstruktionen medför mätt som ränta |
| $S$            | m       | den vägsträcka som berörs av åtgärder, LCM                              |
| $T_f$          | s       | förväntade restidsförseningen   |
| $TDC$          | SEK     | förseningskostnader   |
| $w_L$          | SEK/h   | tidskostnad för lastbil   |
| $v_n$          | m/s     | normal fart vid det aktuella vägarbetet                                 |
| $VOC$          | SEK     | kostnader för fordonsdrift  |
| $w_p$          | SEK/h   | tidskostnad för personbil   |
| $v_r$          | m/s     | reducerad fart vid vägarbete  |
| $Year_0$       | a, (år) | det år då LCC-kalkylen görs   |
| $Year_t$       | a, (år) | det år då ADT ska beräknas  |

| Förkortningar | Förklaring  |
|---------------|---|
| LCA           | global miljökostnadsanalys (Life-Cycle Assessment)                              |
| INS           | inspektion (Inspection)   |
| INV           | investering, (Investment)   |
| LCCA          | livscykelkostnadsanalys   |
| LCM           | åtgärder, (Life Cycle Measures)   |
| O&M           | drift och underhåll, (Operation and Maintenance)                                |
| R&D           | rivning och återvinning (Recycling and Disposal)                                |
| RRR           | reparation, utbyte och rehabilitering, (Repair, Replacement and Rehabilitation) |
| SEK           | svenska kronor  |

TDC

Försening



# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Föreliggande rapport är resultat av ett forsknings- och utvecklingsprojekt som utförts vid KTH på uppdrag av Trafikverket.

Föreliggande projektet kan sägas vara en fortsättning på ett tidigare bredare projekt som handlade om hela brobaneplattan. Detta projekt utfördes i form av ett samarbete inom Sveriges Bygguniversitet med deltagare från Chalmers, KTH och LTU, *Sundquist (2011)*.

I detta projekt studeras särskilt kantbalkssystemet d.v.s. kantbalken och räcket samt de delar av brobaneplattan som ansluter mot detta system kan optimeras och utvecklas med hänsyn till såväl ekonomi, reducerade underhållskostnader, men också förbättrad arbetsmiljö och med minskade miljöfarliga utsläpp.

Förhoppningen är därmed att resurser för drift, underhåll och reparation ska kunna minskas vilket bör leda till lägre LCC-kostnader till fromma för samhället.

## 1.2 Syfte och avgränsningar

Med anledning av Trafikverkets ökade ambitioner att öka hållbarheten hos brobaneplattor och att minska koldioxidutsläpp generellt är det av intresse att undersöka hur man med forskning utveckling och demonstration kan bidra till att fullfölja ambitionerna. Varje år går det åt mycket stora resurser till drift, underhåll och reparationer av brofarbanor varav kantbalkssystemet är en mycket viktig del eftersom vissa för trafik-, väder och annan miljöpåverkan särskilt utsatta konstruktionselement inte har tillräckligt god beständighet.

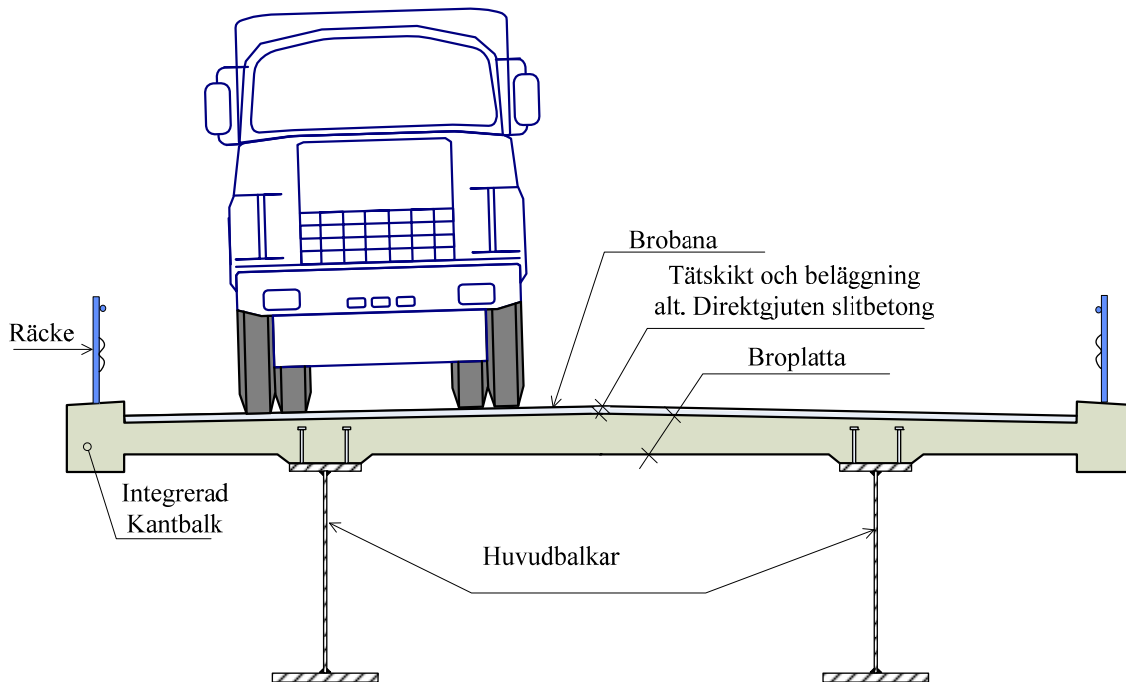
Initialt behandlas de primära frågeställningarna som gäller för brobaneplatta och tillhörande delar. Från Trafikverket har erhållits dokumentation av funktionskrav utgörande bas för formulering av forskningsfrågor. Det har framförts att det är viktigt att projektet studerar brobaneplattans helhetsfunktion, d.v.s. ett holistiskt betraktelsesätt är önskvärt, men det har också framförts att helheten är svår att få ihop om man inte har information om detaljerna.

Vidare är kantbalkens funktion ofta omdiskuterad. Ska den medverka i bärligheten eller är en optimal lösning att dess lastbärande funktion är noll eller mycket liten så att enklare, utbytbara konstruktioner kan utformas? Det är t.ex. fullt möjligt att konstruera broar utan kantbalkar, d.v.s. med s.k. brokappor för räckesinfästning vilket har visats i Trafikverkets egna undersökningar.

## 2. Brobaneplattan

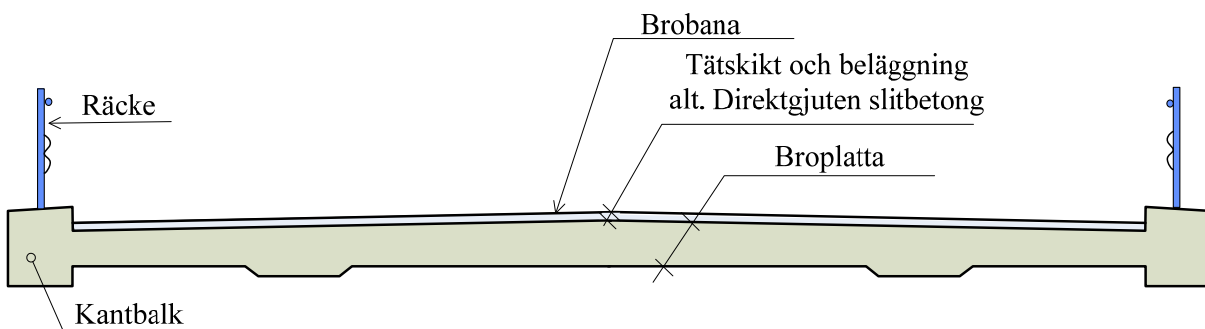
### 2.1 Kantbalkssystemet som del av brobaneplattan

Med brobaneplatta, inklusive dess olika delelement, avses det system som säkert och med god komfort för trafiken, för över laster från trafiken, huvudsakligen i brons tvärled, till de strukturer som i sin tur överför trafiklasterna till den övriga broöverbyggnaden. **Figur 2.1** visar en klassisk utformning av en bro. För broar med mindre spännvidder som t.ex. platt- och platt-rambroar kan plattan i sig utgöra det konstruktionselement som för över lasterna såväl i brons tvär- som i dess längdled.



**Figur 2.1** Beteckningar för en bros olika delar i tvärsektion exemplifierad med en stål betong samverkansbro.

Själva brobaneplattan, se **Figur 2.2** är den del av bron som i särklass orsakar de största underhållsinsatserna och därmed också de största kostnaderna.



**Figur 2.2** Brobaneplattan som ett separat system är den del av en bro som orsakar de största kostnaderna för drift, underhåll och reparation.

De konstruktions- och andra element som ingår i hela systemet ” brobaneplatta” är vad som behövs för att åstadkomma en säker och för trafiken komfortabel brobana som trafiken färdas på inklusive tillhörande delar såsom

- konstruktionselement,
- räcke,
- eventuell kantbalk,
- eventuella övergångskonstruktioner,
- eventuella skydd för betongplattan d.v.s. beläggning och tätskikt,
- eventuella avvattningssystem m.m.

Nedan följer en kort sammanställning över beteckningar och de viktigaste funktionskraven för de viktigaste delarna i systemet brobaneplatta:

Brobana är en tänkt yta som skiljer trafiken från systemet brobaneplatta. Sett ur ett totalperspektiv ska denna yta vara

- säker,
- utformad på ett sådant sätt att vattenavrinnig från bron kan ske på ett för trafiken säkert sätt,
- ha minst samma jämnhet som anslutande väg samt
- ha sådan beständighet att brobanan inte behöver stängas av mer ofta än att livscykelkostnaden inkl. användarkostnaden blir optimal.

Strukturen brobaneplatta inkl. kantbalk i de fall då kantbalken utgör en integrerad strukturell del av brobaneplattan har som uppgift att kunna fördela krafter från trafiken till huvudbärsystemet eller i de fall det handlar om s.k. platt- eller plattrambroar kunna föra över krafter från trafiken till landfästen eller grundläggning.

## 2.2 Kantbalk och räcke

För elementet kantbalk i de fall då denna är en separat konstruktionsdel utan avsedd statisk samverkan med brobaneplattan gäller ett antal funktionskrav som är de samma som för integrerade kantbalkar utom kravet på att vara en del av lastfördelningen. Dessa funktionskrav kan förenklat för båda fallen sammanfattas till att

- vara infästning för räcke,
- vara stöd för beläggning samt att
- förhindra att vatten rinner av bron.

Räckets funktion är att på ett trafiksäkert sätt

- förhindra avkörning av tunga fordon,
- samt förmå personbilar att återgå till sin plats på brobanan.

Vad som menas med trafiksäkert sätt framgår av SS-EN 1317 och tilläggskraven i TK Bro.

Räcket har ibland tilläggfunktioner som bland annat innebär att de ska förses med hopp-skydd, skyddsnät och skyddstak över järnväg samt t.ex. bullerskärmar.

## 2.3 Övriga konstruktionselement som påverkar kantbalkens utformning

Beläggning och tätskikt används normalt i Sverige för att skydda brobaneplattan. I de fall skydd behövs, är dess funktion främst att

- vara vattentät och
- kunna brygga över eventuella sprickor

Vidare måste beläggning och tätskikt kunna motstå påkänningar från trafiken utan att deformeras så att brobanan i sin tur inte deformeras och att de krav som finns på denna innehålls.

Systemet beläggning och tätskikt byggs normalt upp av ett tätskikt närmast konstruktionsbetongen och en överliggande beläggning. Systemet kan också ersättas med ett eller flera lager s.k. slitbetong.

Den klassiska utformningen av broar, se **Figur 2.3**, innebär att en övergångskonstruktion mellan över- och underbyggnad erfordras. I de fall övergångskonstruktion behövs är dess viktigaste funktion att

- medge nödvändig längd- och vinkelrörelse,
- vara vattentät,
- ha minst samma bärlighet som bron i övrigt har,
- vara utformad så att motorcyklar och cyklar kan framföras på ett trafiksäkert sätt,
- delelement som nöts mer än hela övergångskonstruktionen kan bytas på ett enkelt sätt,
- anslutningen mellan bro och väg är jämn så att trafikanterna har god komfort och
- så att minsta möjliga bulleremissioner uppstår av trafiken.

S.k. integrala broar utformas utan övergångskonstruktioner vilket är gynnsamt ur underhållsynpunkt eftersom övergångskonstruktioner ofta kräver mycket underhåll. Nackdelen med integrala broar är de rörelser som uppkommer i anslutningen mellan ändskärm och vägbank, vilket kan leda till sättningar och därmed ojämnheter i väg-/brobanan.

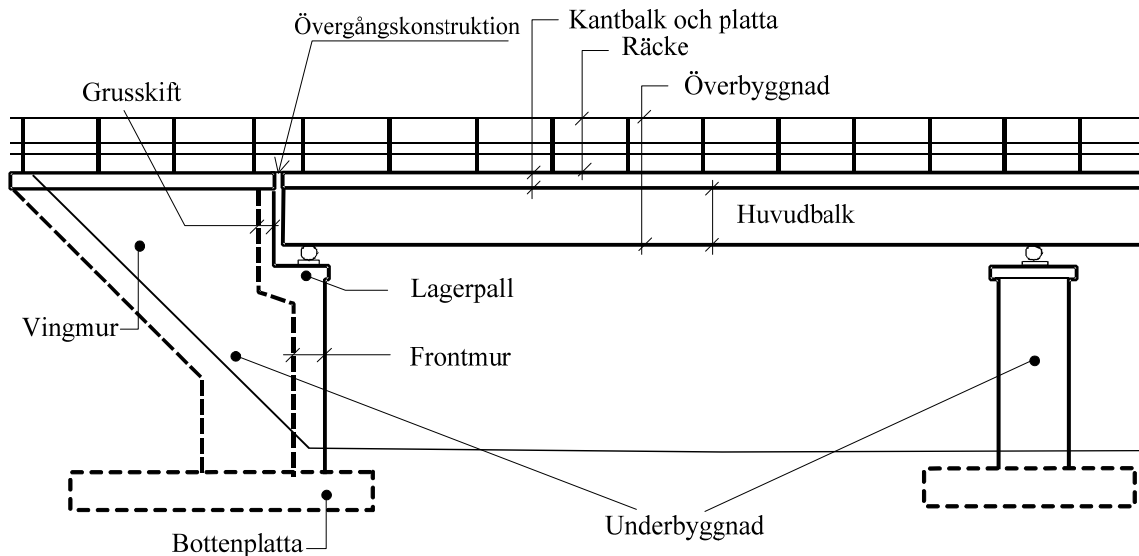
Vatten på brobanan måste avledas ur trafiksäkerhetssynpunkt. Detta åstadkoms med avvattningssystem som dels består av brobanans utformning dels av speciella avvattningsanordningar. Särskilda brunnar måste anordnas och rör genomföringar kan behövas. Anslutningen mellan beläggning och isolering är ofta känsliga detaljer som kan läcka och därmed skapa underhållsbehov. Kraven på avvattningssystemet är att

- avleda vatten från brobanan så att fordon kan framföras på ett trafiksäkert sätt och
- leda vatten från bron till lämplig mottagningsanordning.

Avledningen bör ske på ett sådant sätt att brokonstruktionen inte skadas, t.ex. genom olämpligt utformade eller byggda genomföringar.



I denna rapport kommer inte övergångskonstruktioner och avvattningsystem att behandlas annat än översiktligt. Endast problem som har koppling till täthet vid isolering kommer kort att diskuteras i kapitel 3, se **Figur 1.5**.



**Figur 2.3** Beteckningar för en bros olika delar vid den klassiska utformningen med lager och övergångskonstruktioner.

## 2.4 Betongplattan som konstruktionselement

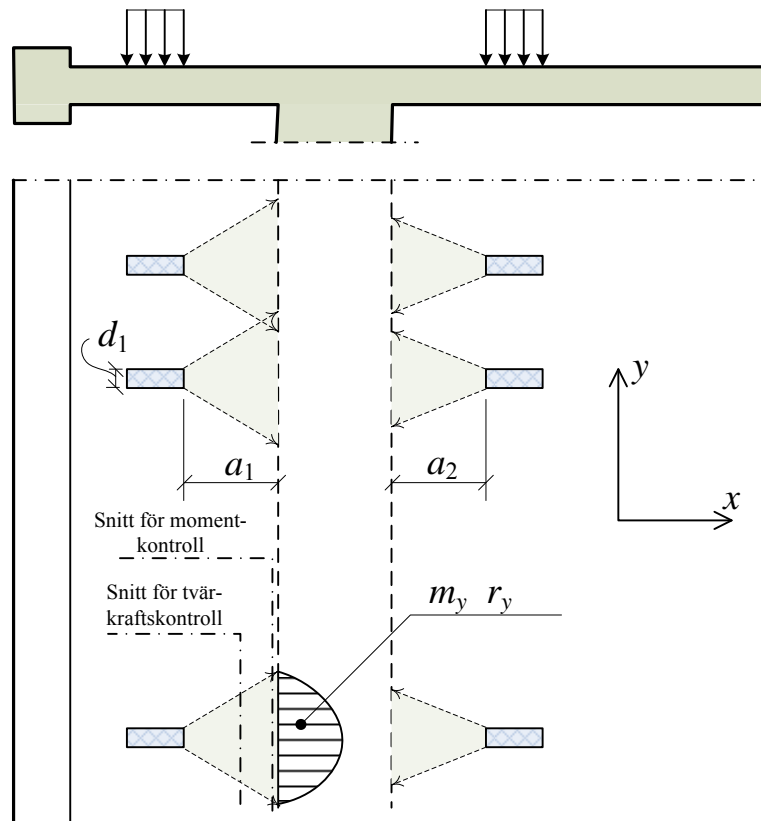
### 2.4.1 Allmänt

Broplattan har som huvuduppgift att kunna fördela de laster som rör sig på brobanan ner och vidare till de konstruktionselement som för lasterna till system där lasterna kan föras ner till fast grund. Utformning av dessa bärsystem är själva essensen i brokonstruktörens arbete. Det finns naturligtvis en mycket omfattande litteratur om detta. Exempel på sådan litteratur av handbokskaraktär är *Bakht & Jaeger (1985)*, *Cusens & Pama (1975)*, *Hambly (1991)*, *Menn (1990)*, *O'Connor (1971)*, *Schlaich & Scheef (1982)*, *Sundquist, (2007, 2008)*. Som framgår är dessa lite äldre litteratur och skälet är nog att det idag går att lösa många lastfördelningsproblem med moderna FE-metoder. Fördelen med de metoder som presenteras i litteraturen enligt ovan är att de har som syfte att förklara betongplattans verknings sätt vid variation av olika parametrar.

Naturligtvis kan en noggrannare analys göras t.ex. enligt Mindlins teori för tjocka plattor. Detta blir analytiskt komplicerat, men kan göras med hjälp av lämpliga FEM verktyg.

### 2.4.2 Lastspridning i betongplattan

**Figur 2.4** visar principiellt aktuella fall av lastspridning från en eller flera boggis som belastar plattan mellan huvudbalkar och/eller på konsol utanför huvudbalkarna.



**Figur 2.4** Figuren visar principiellt hur koncentrerade laster från en eller flera boggis sprids ut. Hur krafterna sprids ut beror på avstånd, plattans lastfördelande egenskaper. Man bör beakta att moment och tvärkrafter sprids ut på olika sätt.

Man har normalt att beakta att moment och tvärkrafter sprids ut på olika sätt. Dimensionering för tvärkrafter och moment sker därmed med olika metoder. För tvärkrafter har man särskilt att beakta, att lastspridningen som ju är beroende av avstånden  $a$  enligt figuren, påverkar tvärkraftsbärförmågan. Den kombinerade effekten av tvärkraftsspridningen och tvärkraftsbärförmågan behandlas i BBK 04, avsnitt 6.5.4. Den metod som där beskrivs har sitt ursprung i provningar utförda av Anders Losberg och Ove Hedman med en preliminär rapport, *Hedman & Losberg (1976)*, se i övrigt *Hedman & Losberg (1975)*.

Momentspridning kan baseras på mer konventionella metoder, se *Sundquist (2007)* och de referenser som ges där. Lastspridning och dimensionering av konsolplattan utanför huvudbalkarna, är beroende av den integrerade kantbalkens egenskaper i de fall då det finns en sådan kantbalk. För mer information om dimensioneringsfrågor för kantbalkar hänvisas till Sektion 3.3.1.

### 3. Principiellt olika utformningar av kantbalken

#### 3.1 Allmänt

I Sverige har kantbalkar utformats på i stort sätt samma sätt under mycket lång tid och för utformningen har det tidigare funnits standardritningar. Även om dessa standardritningar inte formellt gäller så utformas kantbalkarna ändå efter de principer som gavs i standardritningarna. Trots att kantbalkarna hör till de konstruktionselement som kräver mest underhållsinsatser, har den utveckling som gjorts fortfarande inte lett fram till optimala lösningar.

Det finns två grundläggande typer av kantbalkar, nämligen s.k. integrerade kantbalkar där kantbalken förutom andra krav, se nedan, även är en integrerad del av brobaneplattan som i många fall hjälper till för fördelning av lokala laster. Den andra typen av kantbalkar, kommer vi i fortsättningen att kalla brokappor och dessa element är inte statiskt sammangjutna med plattan och deltar därför normalt inte i lastfördelningen, även om lastfördelning skulle kunna åstadkommas och kanske i praktiken även gör detta.

De grundläggande kraven för bägge typer av kantbalk är att

- vara infästning för räcke, bullerskydd, skyddsanordningar m.m.
- vara stöd för beläggningen,
- ingå i bronns avvattningsystem,
- för integrerade kantbalkar ingå i bärförmågan för brokonsol,
- vara estetiskt tilltalande,
- ingå i utsiktsskyddet
- ingå i räckets trafiksäkerhetsförmåga och
- naturligtvis vara samhällsoptimal.

Det finns en nära koppling till de krav som finns för räckets funktion är att på ett trafiksäkert sätt

- förhindra avkörning av tunga fordon
- förmå personbilar att återgå till sin plats på brobanan samt att
- förhindra att cyklister och fotgängare faller av bron.

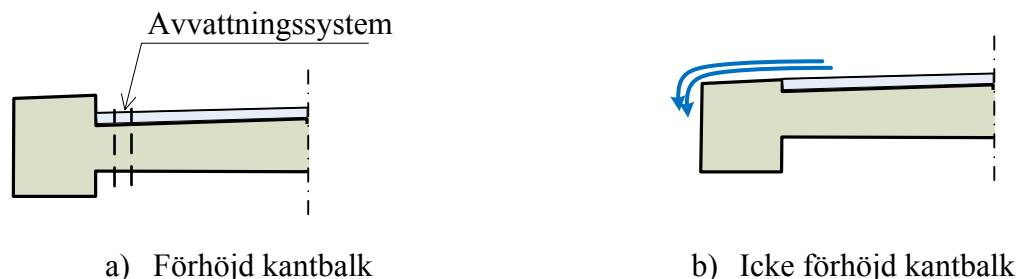
Vad som menas med trafiksäkert sätt framgår av SS-EN 1317 och tilläggskraven i TK Bro. Räckets har ibland tilläggsfunktioner som bland annat innebär att de ska förses med hopp-skydd, skyddsnet och skyddstak över järnväg samt t.ex. bullerskärmar.

Utveckling av olika typer av kantbalkar är ju huvuduppgiften i föreliggande projekt och rapport, varför endast principiella lösningar kortfattat skiss i detta avsnitt.

#### 3.2 Kantbalkens roll i avvattningsystemet för broar

Tidigare kunde och kan i vissa fall fortfarande kantbalkar utformas som en s.k. ej förhöjd kantbalk, varvid menades att kantbalkens överyta var lägre än beläggningens överyta, vilket

möjliggjorde att vatten på bron kunde rinna av kanten längs hela bronns längd, se **Figur 3.1**. Denna lösning är ofta inte längre godtagbar av miljöskäl men kan ibland godtas. För- och nackdelar med denna lösning jämfört med den vanliga lösningen med förhöjd kantbalk har diskuterats, se **Tabell 3.1** nedan, av Vägverkets kantbalksgrupp, se *Troive (2002)*. (**Tabell 3.1** är något reviderad jämfört med tabellen i referensen.)



**Figur 3.1** *Två principiellt olika sätt att ta hand om vatten på en bro.*

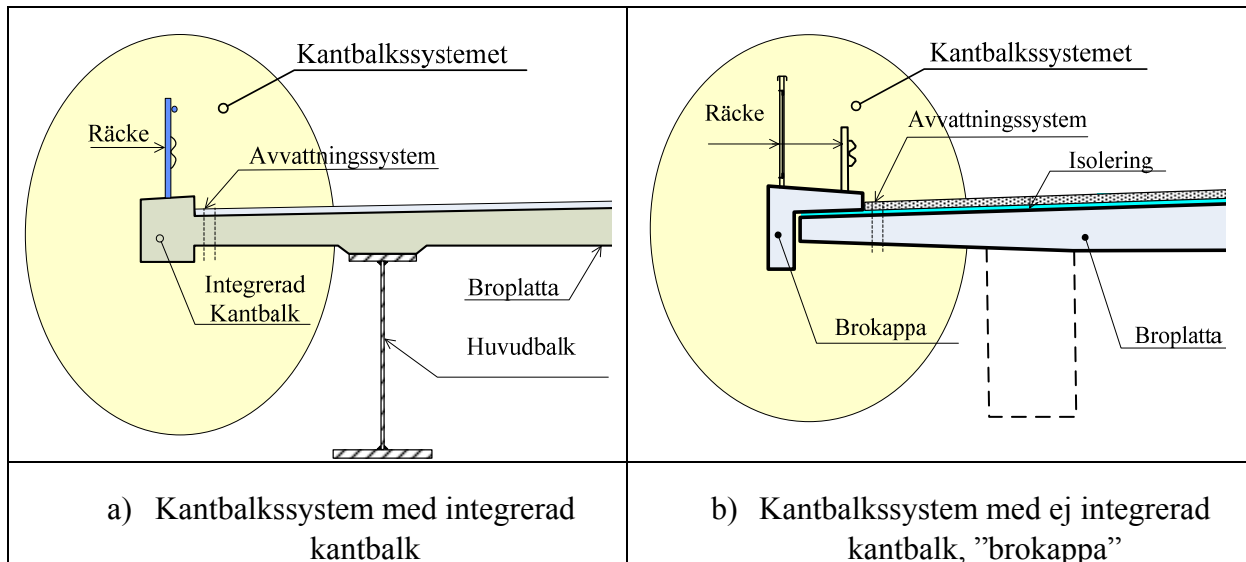
**Tabell 3.1** *För- och nackdelar med utförande av brobaneplattor med s.k. icke förhöjd kantbalk jämfört med förhöjd kantbalkar. (I huvudsak enligt Troive (2002)).*

| Fördelar med icke förhöjd kantbalk  | Nackdelar med icke förhöjd kantbalk  |
|---|--|
| Vatten kan rinna över kanten, vilket medför att mängden vatten på brobanan minskar. Detta medför i sin tur att avrinningen blir bättre och stänk från däckan minskar. | Mängden saltvatten på kantbalkens överyta ökas. Miljön för räckesinfästningen blir sämre. I många fall behövs rännor för att ta hand om vattnet för att klara miljökraven. |
| Lättare att konstatera skador på tätskiktet.  | Dålig avslutning av tätskikt och beläggning, vilket ökar risken för skador på brobaneplattan och stödet för beläggningen kan bli sämre.                                    |
| Ytavlopp behövs inte.   | Brokappan tar plats och kommer att öka den totala brobredden. Detta kan påverka utformningen och därmed kostnaden för hela bron.   |
| Räcket blir förhållandevis högre vilket kan ge ett mer eftergivligt skydd för avkörning vilket kan vara en fördel.  | Räcket blir förhållandevis högre vilket vid given påkörningskraft kan ge ökade krav på räcket och kantbalkens styrka.  |

### 3.3 Ska kantbalken vara en del av bronns globala statiska system?

#### 3.3.1 Integrerad kantbalk

Den integrerade kantbalken, i de fall då bronns tvärsnitt innehåller konsolplattor (se **Figur 2.4**) har som extra funktion att också fördela koncentrerade laster på konsolplattorna, så att dessa kan göras tunnare och därmed möjliggöra materialbesparing.



**Figur 3.2** Två principiellt olika sätt att bygga upp kantbalkssystemet.

Vid beräkning av inspänningsmomentet på grund av en punktlast måste hänsyn tas till den lastfördelande verkan som plattan och en eventuellt samverkande kantbalk kan ge.

Har kantbalken stor styvhet blir dess lastfördelande inverkan stor och kan tillämpa en "klassisk" beräkningsmetod som använts i Sverige under lång tid och som finns härledd i *Wästlund (1964)*. En mer utvecklad variant av denna teori återfinns i *Sundquist (2008)*. Nu för tiden kan FEM-analyser ta hänsyn till hur kantbalken kan integreras i analysen av lastfördelning m.m. i broplattan.

Dimensioneringsfrågor har inte varit ett huvudtema i detta projekt. Utöver frågor som har att göra med den integrerade kantbalkens lastfördelande egenskaper så deltar ju kantbalken också i bronns globala bärförmåga, vilket kan vara både en för- och en nackdel. Fördelen är naturligtvis att den integrerade kan utgöra en del av betongbros totala tvärsnitt och därmed öka både styvhet och hållfasthet för bron. En nackdel är emellertid att kantbalken då måste dimensioneras med hänsyn till detta.

Traditionellt har man inte tagit med kantbalkens styvhet i den globala analysen utan här har kantbalken bara utgjort ett tillskott i broplattans tyngd och då har man inte beaktat risken för sprickbildning i kantbalken. Särskilt om kantbalken gjuts efter att plattan gjutits uppstår krympspänningar som överlagras av spänningar från hela bronns globala verkningssätt blir det stor sprickrisk för i kantbalken. Traditionellt har kantbalken armerats med längsgående 7 F16 som ger en armeringsmängd svarande mot c:a 0,9 % för en kantbalk  $400 \times 400 \text{ mm}^2$ . Idag ger ökade krav på täcksikt att kantbalkarna ofta får större dimensioner, varför den längsgående armeringen borde ökas. För vidare diskussion om dessa frågor hänvisas till *Duran (2014)*.

### 3.3.2 Brokappa

Broar med s.k. brokappa i princip enligt **Figur 3.2 b)** används i många länder. För- och nackdelar med brokappa, d.v.s. där kantbalken inte integreras med broplattan diskuteras i *Troive (2008)*, *Ekengren (2000)* och *Vägverket, Kantbalksgruppen (2000)*. En sammanfattning av

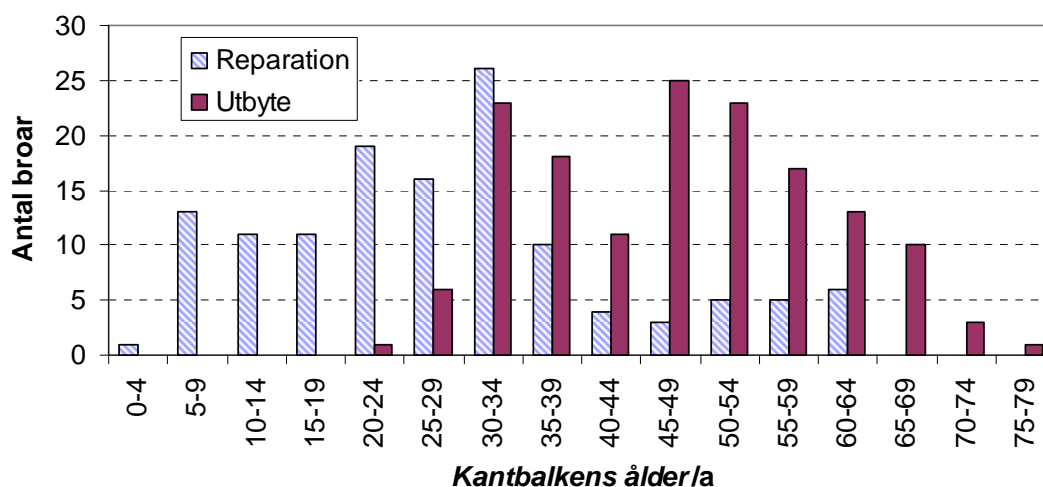
för- och nackdelar med de två principiellt olika lösningarna ges i **Tabell 3.2**. Brokappor kan utföras såväl i platsgjutet som i prefabricerat utförande.

**Tabell 3.2** För- och nackdelar med utförande av broar med s.k. brokappa.

| Fördelar med icke integrerad kantbalk   | Nackdelar med icke integrerad kantbalk   |
|---|--|
| Mindre känslig för påkörningsskador.  | Brokappan kanske ändå blir en del av konsolens bärande system och spricker ändå.   |
| Lättare att reparera.   | Kräver ökad styrka och styvhet hos broplattan vilket kan leda till ökad tjocklek och mer armering i plattan.                               |
| Enklare att utföra en mindre brobreddning.  | Brokappan tar plats och kommer att öka den totala brobredden. Detta kan påverka utformningen och därmed kostnaden för hela bron.           |
| Det ger möjlighet till att ha lägre eller högre hållfasthet i kantbalken.   | Vid prefabricerade brokappor erfordras komplicerade infästningar som kan vara känsliga för skador och nedbrytning.                         |
| En lösning med integrerad kantbalk innebär att den totala brobredden blir minimal i relation till den fria bredden. | Brons totala bredd blir normalt sett större, vilket dels leder till ökade kostnader, dels kan leda till inskränkningar vid projekteringen. |

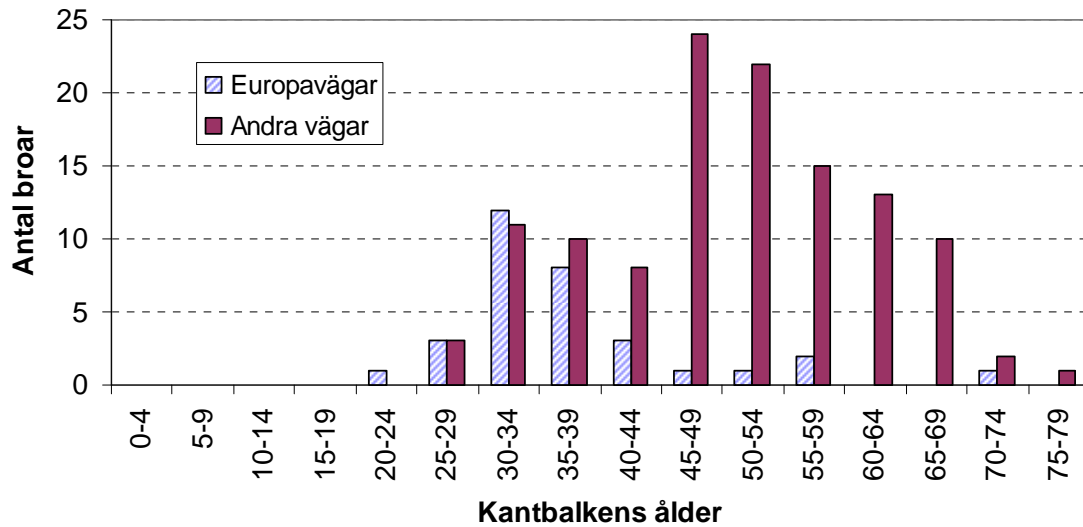
### 3.3.3 Nedbrytning av kantbalkar

Kantbalkar inkl. infästning av räcke hör till de konstruktionsdelar som behöver åtgärdas oftast och som drar stora kostnader. I *Mattsson et al. (2007)* har baserat på uppgifter i BaTMan studerats hur många kantbalkar som reparerats eller bytts ut inom ett delområde av Trafikverkets vägbroar., se **Figur 3.3**. Vid avd. för brobyggnad har tidigare *Racutanu (2000)* gjorts sammanställningar och analyser av nedbrytning och livslängd och för närvarande pågår liknade utredningar som underlag för LCC.



**Figur 3.3** Utbytta resp. reparerade kantbalkar sorterade efter ålder. Materialet är baserat på 135 utbytta och 125 reparerade kantbalkar i mellersta Sverige, *Mattsson et al. (2007)*.

Intressanta resultat erhålls vid jämförelse av reparerade och utbytta kantbalkar för mindre trafikerade vägar jämfört med Europavägar, se **Figur 3.4**.



**Figur 3.4** Jämförelse av ålder för 135 utbytta kantbalkar i Mellansverige på Europavägar och övriga vägar, Mattsson et al. (2007).

Resultatet visat i **Figur 3.4** innebär att medelåldern för utbytta kantbalkar för broar på Europavägar var 37 år och för övriga broar 48 år.

### 3.3.4 Åtgärder för ökad livslängd för kantbalkar

Eftersom nedbrytning och därmed följande kostnader för kantbalkar är ett stort problem, har olika åtgärder för ökad livslängd utvecklats och diskuterat. Exempel på åtgärder är

- extra hög betongkvalitet,
- extra stora täckskikt,
- rostfri armering,
- impregnering,
- katodiskt skydd,
- speciell fiberbetong, se avsnitt 4.6,
- m.m.

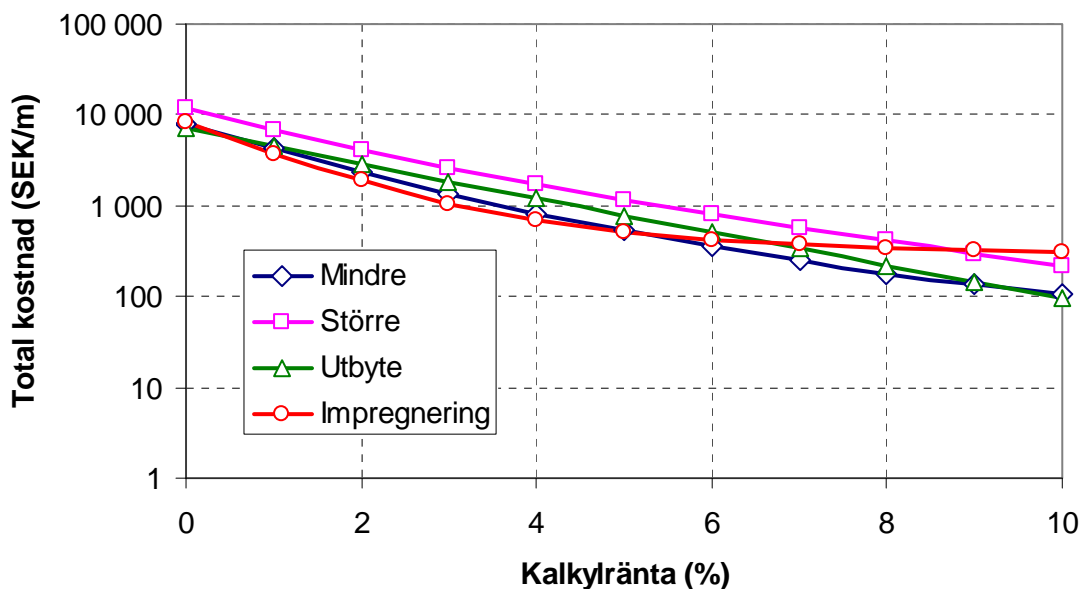
#### *Impregnering*

Enligt Trafikverket skall konstruktionsdelar som är speciellt utsatta för tölsalter impregneras. Impregneringen leder till ett ökat skydd mot kloridinträngning och armeringskorrosion. Vid nyproduktion av broar skall betongelementen dock förses med ett tätskikt med sådan tjocklek och kvalitet att man ändå uppnår 120 års livslängd. Man kan då fråga sig ifall det är lönsamt

att impregnera. CBI Betonginstitutet *Silfwerbrand*, (2008) har genomfört en livscykelkostnadsanalys som behandlar impregnering av kantbalkar. Fyra strategier jämfördes:

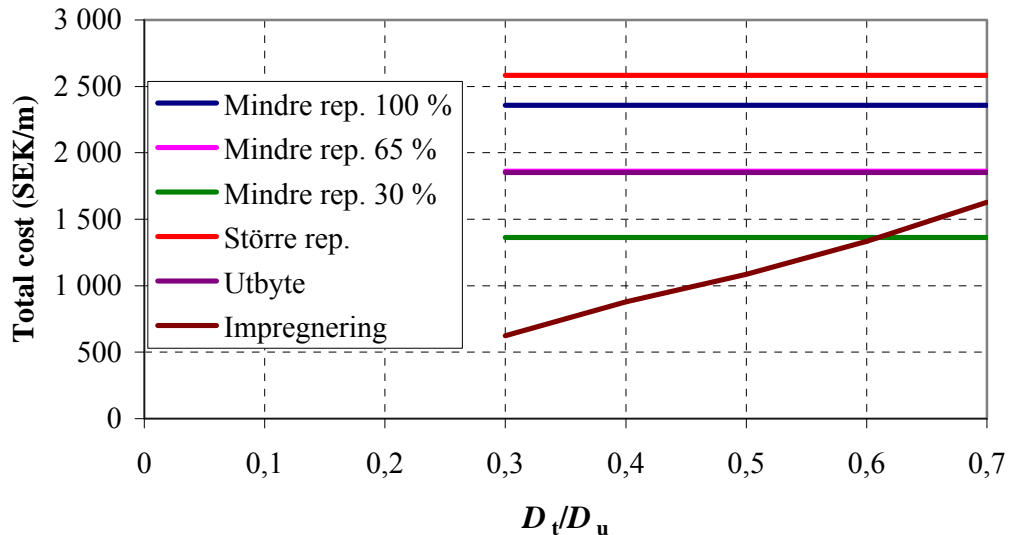
1. Konstruktion – mindre reparation (0 - 30 mm) – utbyte
2. Konstruktion – större reparation (30 - 70 mm) – utbyte
3. Konstruktion – utbyte
4. Konstruktion – impregnering – utbyte

Jämförelsen omfattade betong med olika  $v_{ct}$  (med tillhörande diffusionskoefficienter  $D$ ), impregneringsintervall, ålder vid mindre reparation, ålder vid större reparation, procentuell andel av yta för ”mindre reparation” samt kalkylränta. Kostnaderna för impregnering, mindre reparation, större reparation och utbyte hämtades ur *BaTMan* (2007). Beräkningarna visar dels att kalkylräntan har stor betydelse för valet av optimal strategi, **Figur 2.18**, dels att impregneringen i första hand är lönsam för äldre broar där skillnaden i kloridinträgningsfart mellan impregnerad och icke-impregnerad är betydande (i exemplet uttryckt som kvoten  $D_t/D_u$ , där  $D_t$  = diffusionskoefficienten för impregnerad betong och  $D_u$  = dito för obehandlad betong), se **Figur 2.19**.



**Figur 3.5** Totala reparations- och underhållskostnader under 120 år för en betong med kvalitet motsvarande en äldre betong *Silfwerbrand* (2008). Konstruktionskostnaden är identisk för de fyra alternativen i figuren och har därför inte medräknats. Impregnering är den mest lönsamma åtgärden för kalkylräntor mellan 1 % och 5 %.





**Figur 3.6** Totala reparations- och underhållskostnader under 120 år för en betong med kvalitet motsvarande en äldre betong Silfwerbrand (2008). Konstruktionskostnaden är identisk för de fyra alternativen i figuren och har därför inte medräknats. Här visas inverkan av olika värden på diffusionskoefficienten och olika procentuella andelar av ytan som är föremål för "mindre reparation". Impregnering är den mest lönsamma åtgärden så länge  $D_t/D_u < 0,6$ .

### **Katodiskt skydd av betongkonstruktioner med termiskt sprutade offeranoder av zink**

Armeringskorrosion på kantbalkar medför ständiga reparations- och underhållskostnader för samhället. För att skydda mot armeringskorrosion används i några fall katodiskt skydd med påtryckt ström, till exempel på Ölandsbron och Tingstatunneln. Ett alternativ till katodiskt skydd med påtryckt ström är att använda galvaniskt katodiskt skydd. Inom kärnkraftindustrin i Sverige, och på brokonstruktioner utomlands (t.ex. USA), används katodiskt skydd med termiskt sprutade offeranoder av zink för att lokalt skydda stålarmeringen i betong mot korrosionsangrepp. Exempel på användningen av termiskt sprutade Zn-skikt i Sverige är Forsmark kylvattentunnlar och Ölandsbrons kantbalk. Zinkanoden appliceras på betongen genom att den smälta zinken sprutas på en noggrant rengjord och torr betongyta. De vanligaste sprutmetoderna vid applicering av zinkanod på betongyta är flamsprutning eller ljusbågssprutning. Det påsprutade zinksiktets tjocklek varierar normalt mellan 200 och 500  $\mu\text{m}$ .

Fördelen med att använda ett galvaniskt katodiskt skydd med termiskt sprutade offeranoder av zink jämfört med ett katodiskt skydd med påtryckt ström är att den sprutade zinkanoden är betydligt enklare och billigare att installera än ett anodsystem med påtryckt ström. Dessutom fordras ingen övervakning av det galvaniska skyddet. Nackdelen med sprutade offeranoder av zink är dock att den galvaniska skyddsströmmen från anoden inte kan regleras utan är helt beroende av anodskiktets kemiska sammansättning, skiktjocklek, sprutmetod och vidhäftning samt betongens resistivitet. Fukthinnehåll, karbonatisering och kloridhalt misstänks ha en positiv betydelse för det galvaniska skyddet, vilket gör att metoden kan vara lämplig för äldre brokonstruktioner som har ett ytligt karbonatiserat skikt och varit utsatta för tösaltning.

Undersökningar utförda på kantbalken på Ölandsbron visade att användningen av termiskt sprutad offeranod av zink på kantbalken minskade korrosionshastigheten hos stålarmeringen med 95 % jämfört med oskyddad armering, *Sederholm (2002)*. Den goda skyddsförmågan antogs bero på betongens låga resistivitet orsakad av höga fuktnivåer och att en viss kloridhalt fanns i betongens täcksikt.

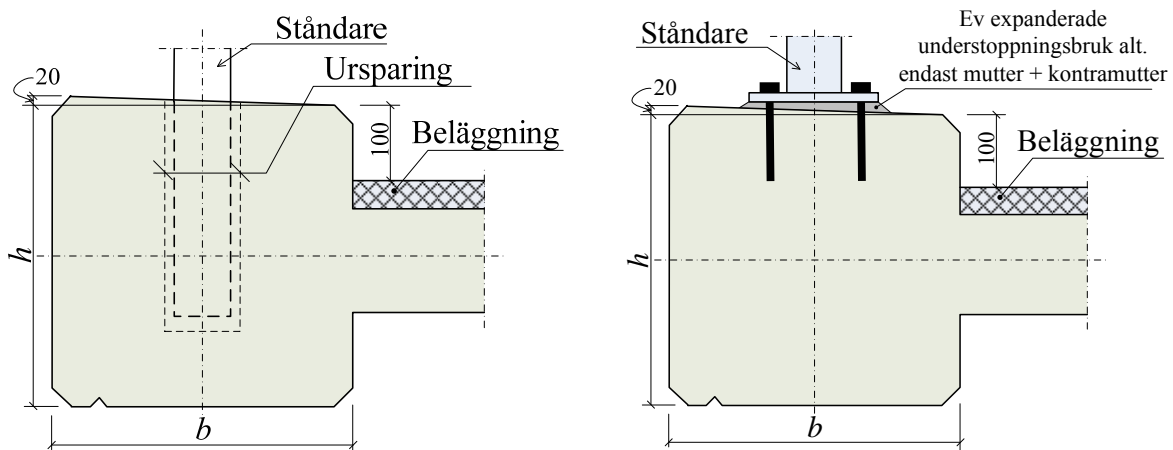
## 3.4 Räcke och räkesinfästning

### 3.4.1 Inledning

De grundläggande kraven för räcket diskuteras i Avsnitt 2.2. Utformning av själva räcket, ur estetisk, hållfasthets, deformationssynpunkt m.m., ingår inte i föreliggande projekt. Däremot ingår själva infästningen av räcket eftersom denna påverkar kantbalken och därmed hela systemet brobaneplatta.

### 3.4.2 Olika system

I Sverige används i princip endast två typer av infästningar, nämligen skruvade eller ingjutna infästningar, se de schematiska bilderna i **Figur 3.7**.



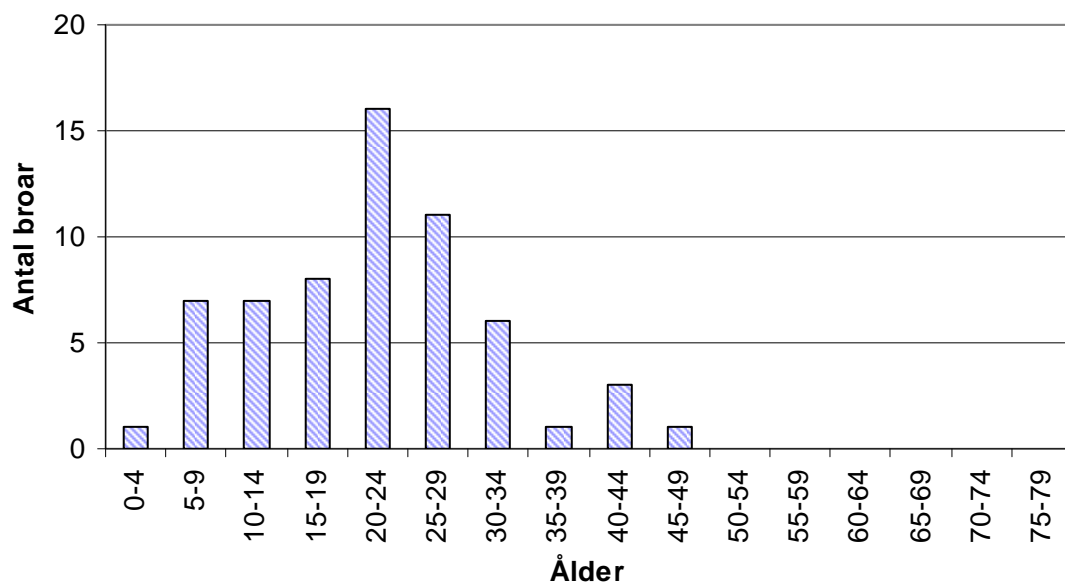
**Figur 3.7** De två vanligaste infästningarna av räcken i kantbalkar i Sverige. Typ a) är ingjutning av ståldarna i en ursparing i kantbalken med diameter  $c$ :a  $\phi 110$ . Vid typ b) förses ståldaren med en svetsad bottenplåt som fästs med skruv i kantbalken. Bredd och höjd  $b \times h$  har traditionellt varit  $400 \times 400 \text{ mm}^2$ , men ökade krav på täcksikt m.m. har inneburit att måtten på senare tid ökats upp emot  $500 \times 500 \text{ mm}^2$ .

Räcket, som den vanligen utförs i Sverige, är ur funktions- och underhållssynpunkt en integrerad del av kantbalken. Mindre goda lösningar för infästningen kan medföra nedbrytning av kantbalken, och därmed reducera systemets livslängd. Enligt *Troive (2008)* så har Kantbalksgruppen kommit fram till att för- och nackdelar för skruvade resp. icke ingjutna räcken kan sammanfattas enligt **Tabell 3.3**.

**Tabell 3.3** För- och nackdelar med skruvat respektive ingjutet räcke.

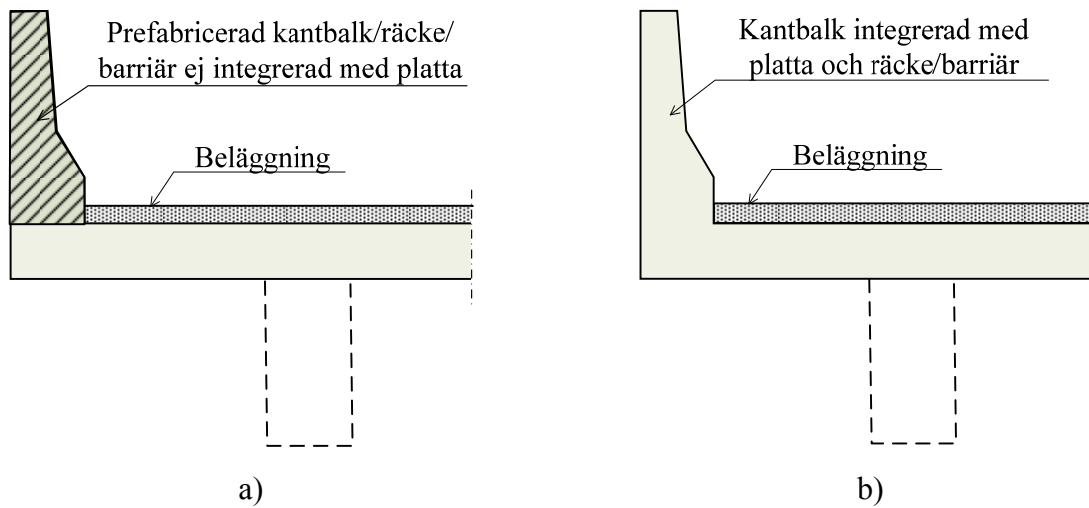
| Fördelar med skruvat räcke  | Nackdelar med skruvat räcke                          |
|---|--|
| + lättare att byta  | – mindre estetiskt gynnsam                           |
| + mindre risk för sprickor i kantbalken                                 | – undergjutningen spricker ofta                      |
| + mindre mängd ingjutningsbruk erfordras och expanderskriv kan användas | – förseglingen bryts vid användning av expanderskriv |

I *Mattsson et al. (2007)* finns några resultat beträffande hur ofta räckesinfästningar repareras. Som i övriga resultat i den undersökningen baseras utvärderingen, se **Figur 3.8**, på material ur BaTMan från Vägverket VMN.

**Figur 3.8** Ålder för reparation av 61 räckesinfästningar för broar i VMN *Mattsson et al. (2007)*.

Tyvär har inte resultatet delats upp på olika typer av räckesinfästningar, men enligt *Troive (2008)* använder VMN endast ingjutna infästningar.

I flera länder använder man räckan i form av speciellt utformade betongelement, se exempel i **Figur 3.9**. Åtminstone två varianter kan tänkas, nämligen att betongbarriären/räcket är prefabricerat och inte ingår i det globala bärsystemet för bron, se **Figur 3.9 a)** eller att betongbarriären/räcket/kantbalken är del i det globala bärsystemet för bron, se **Figur 3.9 a)**.



**Figur 3.9** Kantbalk/räcke av betong. Två principiellt olika möjliga lösningar.

## 4. Arbets- och utvecklingsmetodik

### 4.1 Allmänt

En förutsättning för detta projekt var att utvecklingen av nya tekniska lösningar skulle ske i nära samarbete med branschen. För detta ändamål bildades en referensgrupp och en arbetsgrupp med svenska specialister. Avsikten var också att genomföra en internationell enkät för att få in synpunkter från andra länder och

Vid det första mötet i projektet hade inbjudits intresserade specialister. Efter att projektet hade presenterats blev det en intressant diskussion med idéer, förslag och naturligtvis med de problem som finns att för att kunna finna den ”perfekta” tekniskt/ekonomiska lösningen för kantbalkssystemet. Ett antal av deltagarna var också intresserade av att delta i en arbetsgrupp, som skulle hjälpa till med nya idéer för optimala lösningar. Arbetsgruppen, med deltagare enligt nedan deltog i ett flertal möten och ett studiebesök i Göteborgsområdet där olika intressanta pågående kantbalksbyggande och -reparation pågick.

### 4.2 Tidsplan

Arbetet i projektet startade 2012-05-01 och avslutades formellt 2014-06-30. Ett ”slut”-seminarium hölls 2014-08-21, där resultatet av projektet presenterades för referensgruppen och andra intresserade. Föreliggande rapport är en sammanställning av resultat och denna rapport kommer att presenteras för ett större antal intresserade vid två seminarier under oktober 2014.

### 4.3 Internationell enkät

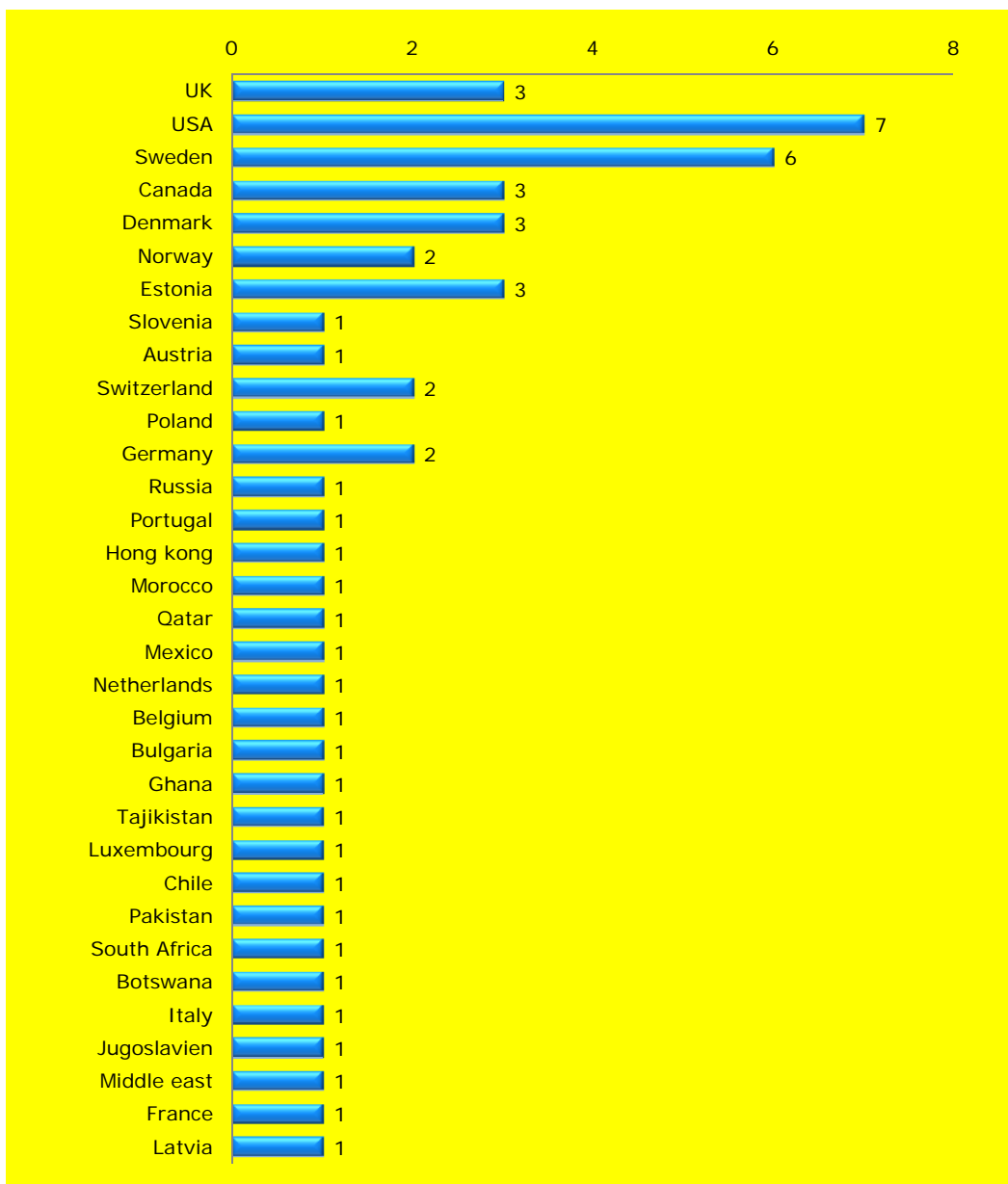
Redan tidigt i arbetet beslöts att söka genomföra en internationell enkät till brospecialister över hela världen. Enkäten med tillhörande rapport utfördes av Adebawale Fasheyi och redovisas med *Fasheyi (2013)*.

Enkäten skickades ut i Web-baserad form med ett kommersiellt system för enkäter (survaymonkey). Vi hade tidigare gjort en internationell enkät om brolager med detta program och hade bra erfarenhet. Enkäten skickades ut till myndigheter och broingenjörer samt till referensgruppen. Enkätsvaren från den svenska referensgruppen erhöles ju genom seminarierna, så de redovisas inte i det följande, men det fanns andra svenska specialister som deltog i enkäten.

200 fick enkäten och vi fick in 30 svar från många länder, se **Figur 4.1**.

Några av dem som svarade, fick följdfrågor via mail och vi fick därigenom en diger bunt av ritningar m.m. för fortsatt bearbetning.

Av de som svarade arbetade 52 % med projektering och konstruktion, 38 % med brounderhåll och 31 % som entreprenör. De flesta som svarade hade lång erfarenhet av broprojektering och -byggande, så hade 45 % av de som svarade m45 än 20 års erfarenhet. Enkäten innehöll en lång rad frågor och en del av dessa redovisas nedan.



**Figur 4.1** Inkomna enkätsvar från olika länder.

En stor del av svaren förordade kantbalkar som inte lät vatten rinna över brokanten, d.v.s. uppstående kantbalkar. Det var tydligen också den typ som vara vanligast.

Det var vidare helt klart att de flesta i enkäten förordade integrerade kantbalkar både av goda erfarenheter, men också för att denna lösning ansågs vara bäst praktiskt och ekonomiskt.

Alla inkomna enkätsvar förordade bultade räckesinfästningar när det gäller räcken av stål.

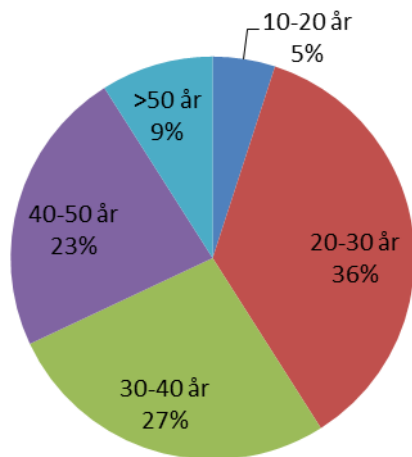
Tydligen är det relativt vanligt (25 % av enkätsvar) med barriär/räcke av betong, se **Figur 3.9**.

Helt klart var det i många länder problem med beständigheten för kantbalkarna och åtgärder som föreslogs var ökad betongkvalitet, ökade täcksikt och impregnering. Många enkätsvar förordade rostfri armering.

Inspektion av kantbalk och räcken utförs tydligen relativt ofta. 40 % angav att man utför inspektion vartannat år och 30 % angav att man inspekterade med tidsintervall av 3-5 år.

Reparation av delar av och hela kantbalkssystemet utförs relativt ofta. 59 % angav ett tidsintervall av 10 – 20 år. Enkäten var inte så detaljerad här så man vet inte hur omfattande åtgärderna var.

Ålder hos utbytta kantbalkar framgår av **Figur 4.2**.



**Figur 4.2** Ålder hos utbytta kantbalkar enligt genomförd internationell enkät.

I Fasheyi (2013) finns också en lång rad slutsatser från enkäten, men dessa erfarenheter skiljer sig inte så mycket från våra svenska erfarenheter. Några slutsatser sammanställs nedan:

- Största problemet är korrosion av armeringen i kantbalken.
- Orsaken till detta problem är vägsaltet.
- Mest utförda åtgärd är utbyte av kantbalkarna.
- Man inspekterar och byter ut kantbalkarna något oftare än vad vi gör i Sverige.

Utöver de rena enkätsvaren erhöles från några länder ritningar över de standardlösningar som man tillämpar där. Några av dessa lösningar redovisas i de lösningar som redovisas i Kapitel 5.

## 4.4 Referensgrupp

I referensgruppen ingick c:a 15 brospecialister från Trafikverket, konsulter men bara någon representant från entreprenörerna. Referensgruppen deltog i 3 seminarier under projektets gång. Naturligtvis deltog också arbetsgruppen i dessa seminarier, så vid dessa seminarier var det c:a 20 specialister närvarande. Många värdefulla förslag framfördes och utöver att förorda den ”klassiska svenska kantbalken” föreslog flera och önskade många prefabricerade lösningar och kanske kantbalkar av stål. En del av idéer som framkom vid seminarierna har resulterat i de förslag som återfinns i Kapitel 5.

## 4.5 Arbetsgrupp

I arbetsgruppen ingick Thomas Darholm, Cowi, Johan Karlsson, NCC, Lars Pettersson, Skanska, Robert Ronnebrant, Trafikverket, Ulf Sandelius, egen konsult samt Håkan Sundquist KTH.

Lars Pettersson var ordförande och Håkan Sundquist sekreterare i arbetsgruppen.

Alla utom Robert Ronnebrant och Håkan Sundquist var arvoderade för sitt arbete i gruppen.

Skanska Teknik och NCC Teknik deltog med utarbetande av ritningar.

Utöver i seminarierna hade arbetsgruppen 7 protokollförda arbetsmöten inkl. det studiebesök med tillhörande möte som genomfördes i Göteborgstrakten. Huvudelen av arbetet handlade om att kläcka fram idéer för nya lösningar, samt att därefter gå igenom för- och nackdelar med de olika förslag som lagts fram. Många idéer har tetats, men många visade sig inte uppfylla ställda funktionskrav eller hade andra nackdelar som höga kostnader och komplicerat utförande. De förslag som klarade sig igenom utvärdering redovisas i Kapitel 5. Observera att alla förslag i Kapitel 5 inte är helt slutbearbetade utan måste bearbetas vidare ofta i anpassning till aktuellt brofall (se Kapitel 6) och förhållanden på plats.



## 5. Framtagna lösningar

I det utförda arbetet har ett stort antal förslag skissats fram, diskuterats och nagelfarits. De olika förslagen som visats sig vara innovativa och någorlunda uppfylla funktionskraven har vardera givits ett nummer. Förslagen har därefter sorterats in i olika kategorier enligt nedan

- I. Platsgjutna kantbalkar
- II. Förslag utan egentlig kantbalk
- III. Kantbalkar av stål
- IV. Prefabricerade kantbalkar
- V. Kantbalkar med inspektionsgångbanor

Den ursprungliga listan innehöll 24 olika förslag, men några visade sig vara så lika att dessa integrerades med något av de andra så det antal som presenteras här blev 21 olika förslag.

Efter utvärdering i referens- och arbetsgrupp har 4 olika lösningar bearbetats vidare och använts för kostnads- och LCC-analyser. Avsikten är att de fyra förslag som bearbetats med LCC-analyser ska representera exempel på relativt olika tekniska lösningar.

I TRVK Bro 11 finns krav på kantbalkar. Eftersom de studerade kantbalkarna inte är tänkta för en viss bro så har inte alla punkter tagits med i sammanställningen:

B.1.11.1: Kantbalkar ska i underkant förses med droppnäsa.

B1.11.2: En kantbalk på en vägbro ska ha minst samma förhöjning över beläggningen och samma horisontella avstånd mellan räcket och kantbalkens insida som den kantbalk räcket var monterat på vid provningen.

På brobanepeltor över trafikerade ytor, vägar, järnvägsspår, vissa vattendrag etc. ska kantbalken utformas förhöjd över beläggningen för uppsamling och bortledning av dagvatten. Förhöjningen ska vara minst 80 mm.

D.1.4.1.6 Kantbalkar ska utöver vad som följer av dimensioneringen förses med en sådan armeringsmängd att en god sprickfördelning fås.

G.3.2.6 Om beläggningen fordrar ett permanent sidostöd får kantbalken inte vara utformad som en försänkt kantbalk.

G.9.1.2.1 Vägbroar ska förses med ett broräcke i de kanter som är parallella med körbanan. Dessutom gäller följande krav när ett räcke placeras i brons kant.

- Toppföljarens överkant ska vara minst 1200 mm över beläggningens överkant där gång- och cykeltrafik kan förekomma på en körbana längs räcket.
- Den fria öppningen mellan kantbalkens överkant och navföljarens underkant respektive mellan navföljarens överkant och toppföljarens underkant får inte överstiga 450 mm. Om broräcket inte uppfyller detta krav ska räcket förses med mellanföljare, skyddsnät, spjälgrind eller stänkskydd. Dock gäller inte kravet på den fria öppningens storlek för räcken där gång- och cykeltrafik inte får förekomma.

G.9.1.6.5. Centrumavståndet mellan ståndare ska mätas parallellt med kantbalken. Avståndet från en ståndares centrumlinje till kantbalkens ände ska vara minst 0,25 m. En ståndare ska placeras vertikalt.

G.9.1.6.6. En ståndare ska fästas in i bron genom att en på ståndaren fastsvetsad fotplatta skruvas fast i bron.

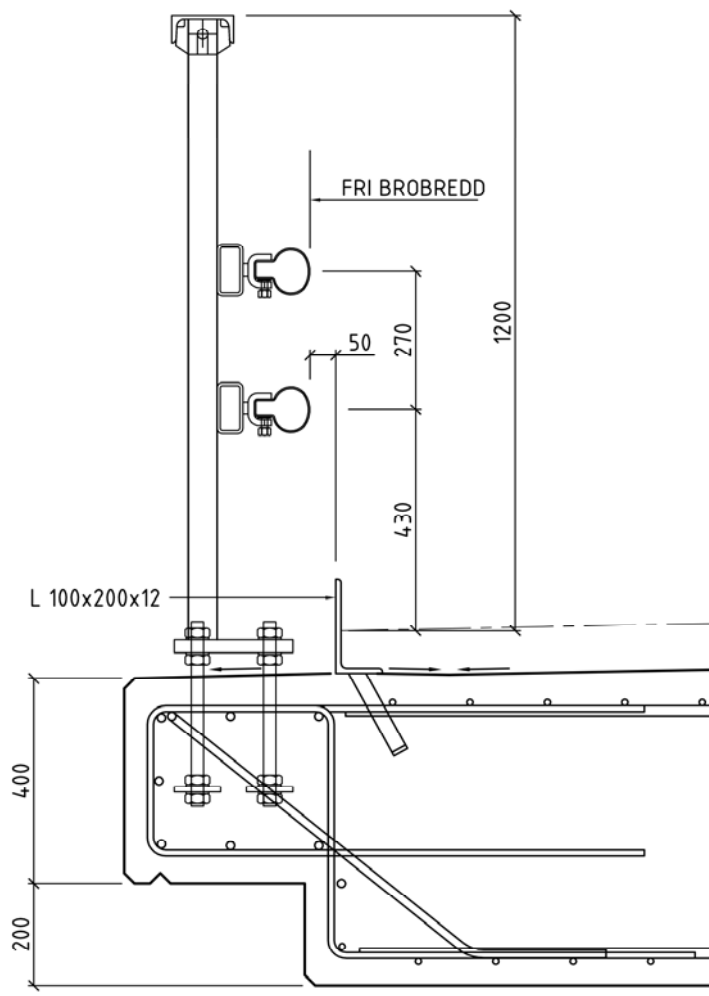
Övriga funktionskrav framgår i Kapitel 2. De lösningar som redovisas nedan är alla inte helt färdigbearbetade och de lösningar som ej prövats tidigare bör utvecklas mer i detalj och helst prövas i på en ny bro i form av ett demonstrationsprojekt.



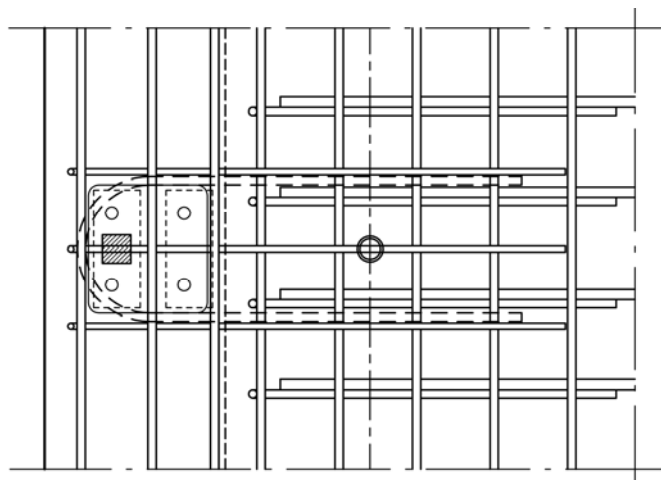
## 5.1 I. Platsgjutna kantbalkar

### 5.1.1 Kantbalk typ 7

Detta förslag till kantbalk, se **Figur 7.1** a) och b), har utarbetats inom arbetsgruppen.



**Figur 7.1 a)** *Kantbalk typ 7, sektion.*



**Figur 7.1 b)** *Kantbalk typ 7, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11)**

|                                 |   |                                 |   |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja  | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Nej (det är försänkt kantbalk, men det finns sidostöd – L-stål) |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja (nej på brobaneplattor över trafik eller vattendrag) | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja  |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas)                                      | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja  |
|                                 |   | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja  |

**Funktionskrav**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (med L-stålet). Problem: det sitter utanför navföljaren och är utsatt för påkörning, t.ex. vid plogning.   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej. Kantbalkens tvärsnitt har inte mycket betydelse i jämförelse med brobaneplattan vid denna utformning av brobaneplattan.  |
| - Avvattnings                                  | Ja. Ytan under beläggningsen nära L-stålet måste lutas innanför för att undvika vatten från tätskikt rinna över synlig betong. Försänkt kantbalk: lägga till en ränna av stål eller betong? |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som var provat utan förhöjd kantbalk)   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (L-stålet hindrar det)  |
| - Utbytbar                                     | Nej (L-stålet och platsgjutna betong)   |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Beror på scenarierna, se Kapitel 6, LCC   |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Mindre bra med hänsyn till L-stålet                       |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra. Bättre gjutbarhet.                                   |
| - Sprickor             | Bra. Rostfri armering så får sprickorna mindre betydelse? |

**Fördelar**

- Bättre gjutbarhet
- Lägre kostnad?

**Nackdelar**

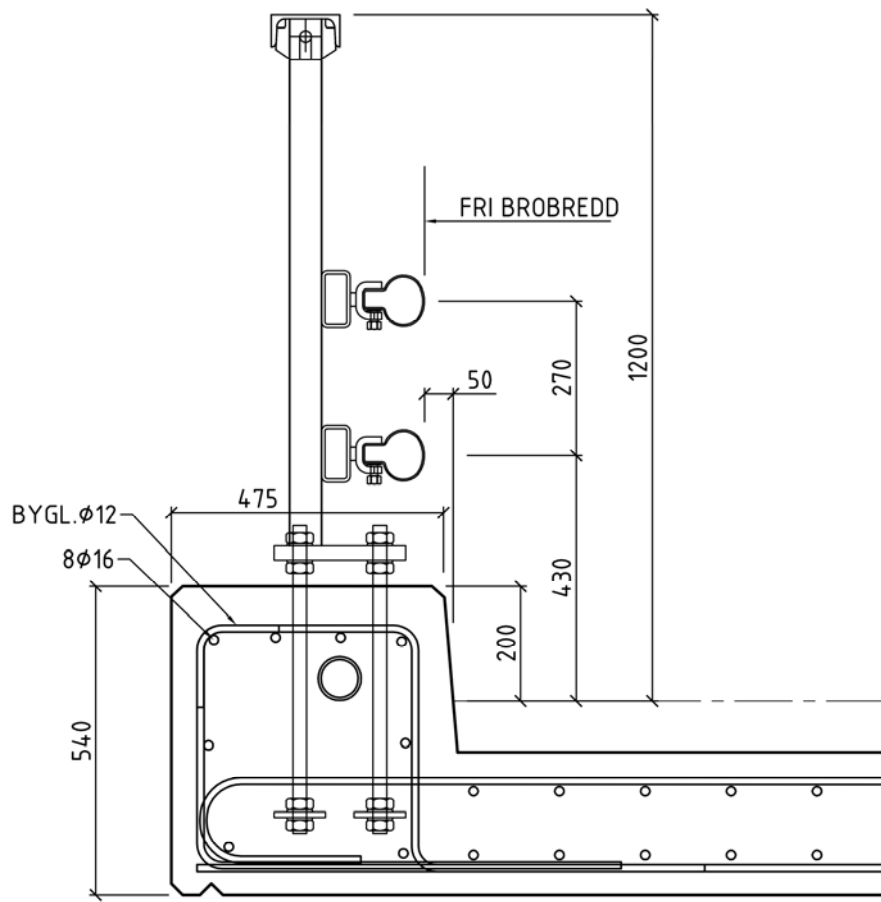
- Problem: L-stålet och snöplog
- Vatten rinner av (försänkt kantbalk)

**Övriga kommentarer/frågor**

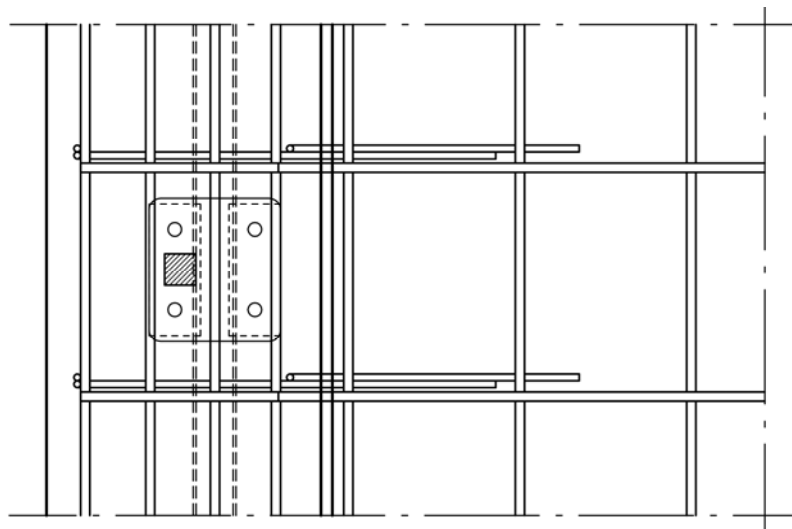
- Vinkeljärnet: Kan skruvas fast efteråt? Ta bort på något sätt? L-stålet behövs för packning av beläggningsen.
- L-stålet: Rostfri stål? Livslängd? Vad är höjd över beläggningsen?
- Kombination mellan alternativ #7 och #23.
- Lämplig för brobaneplatta vars tjocklek är >500 mm ≈ 600 mm.
- Kan det vara fördelaktigt med direkt slitbetong hela vägen ut?

### 5.1.2 Kantbalk typ 9

Kantbalken som är en utformning som används i Kanada visas i **Figur 9.1** a) och b)



**Figur 9.1 a)** *Kantbalk typ 9, sektion*



**Figur 9.1 b)** *Kantbalk typ 9, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Funktionskrav**

|  |  |
|--|--|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (förhöjd kantbalk)  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja (kantbalken är stor vilket ger god lastfördelning, men mängden armering 0,6 % är mindre än vad vi använder i Sverige vilket kan innebära sprickor i kantbalken)   |
| - Avvattning                                   | Ja   |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (FHWA krock provat). Ståndaren sitter förskjutet för att uppfylla krav mot påkörning.   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej  |
| - Utbytbar                                     | Nej (platsgjutna betong)   |
| - Infästning för räcke                         | Ja. Stark räckesinfästning på grund av de Kanadensiska kraven. Två plattor för att fördela laster på ett bättre sätt. Stolpen utformas för att vara den svagaste länken i systemet så underhåll blir lättare vid påkörning. En flyttbar plywood placeras för att skapa ett tomrum i den övre delen av betong efter gjutningen för att möjliggöra justering av den övre basplattan och stolpen. |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det beror på scenarierna, se Kapitel 6, LCC  |

**Fiender**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Bra (högre höjd över beläggningsen)                       |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra (det beror på betongskvalitet)                        |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Bra. Rostfri armering så får sprickorna mindre betydelse? |

**Fördelar**

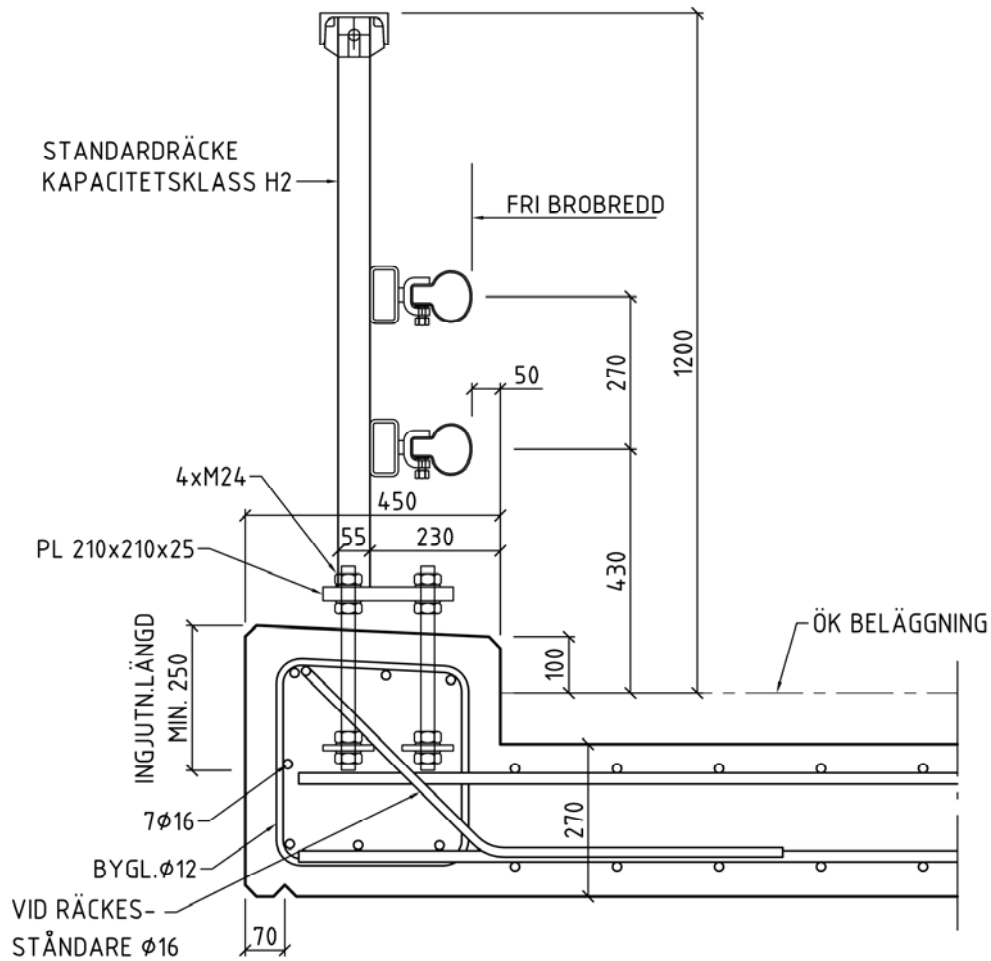
|   |                         |
|---|-------------------------|
| - Hög livslängd (enligt Kanadensiska myndigheter) | - Komplicerad att bygga |
| - Ökad krocksäkerhet p.g.a. hög kantbalk          | - Tyngre brobaneplattan |
|   | - Större kostnad        |

**Nackdelar****Övriga kommentarer/frågor**

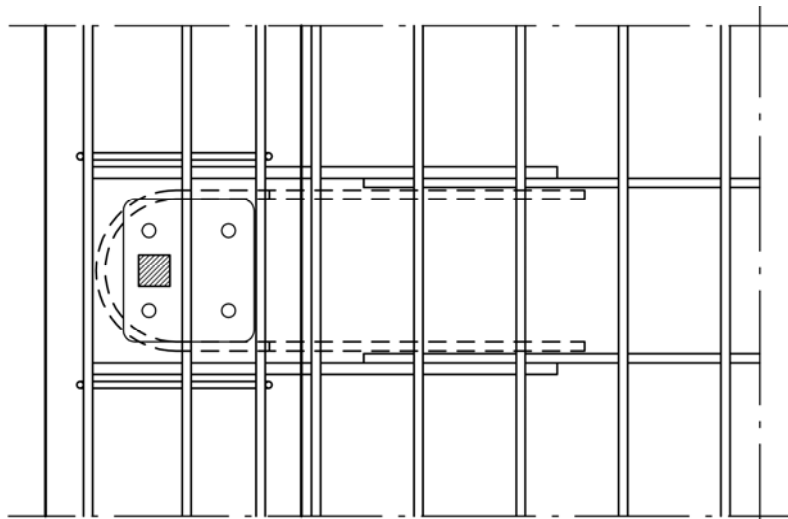
- mycket lik vår Svenska standardkantbalk
- Högre förhöjning (200 mm över beläggning) på grund av krockprovning (FHWA)

### 5.1.3 Kantbalk typ 21

Kantbalken, som i stort sett är den kantbalk som vanligen används i Sverige ("Standard-kantbalk") visas i **Figur 21.1** a) och b).



**Figur 21.1 a)** *Kantbalk typ 21, sektion*



**Figur 21.1 b)** *Kantbalk typ 21, plan.*



**Krav enligt TRVK Bro 11)**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (förhöjd kantbalk)                   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja.                                     |
| - Avvattning                                   | Ja                                      |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja                                      |
| - Reparationsvänlig                            | Nej                                     |
| - Utbytbar                                     | Nej (platsgjutna betong)                |
| - Infästning för räcke                         | Ja                                      |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Beror på scenarierna, se Kapitel 6, LCC |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig   |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Dålig   |
| - Sprickor             | Bra. Rostfri armering så får sprickorna mindre betydelse? |

**Fördelar**

- Bra infästning av räcke
- Erfarenheter av denna lösning är god för nyare broar

**Nackdelar**

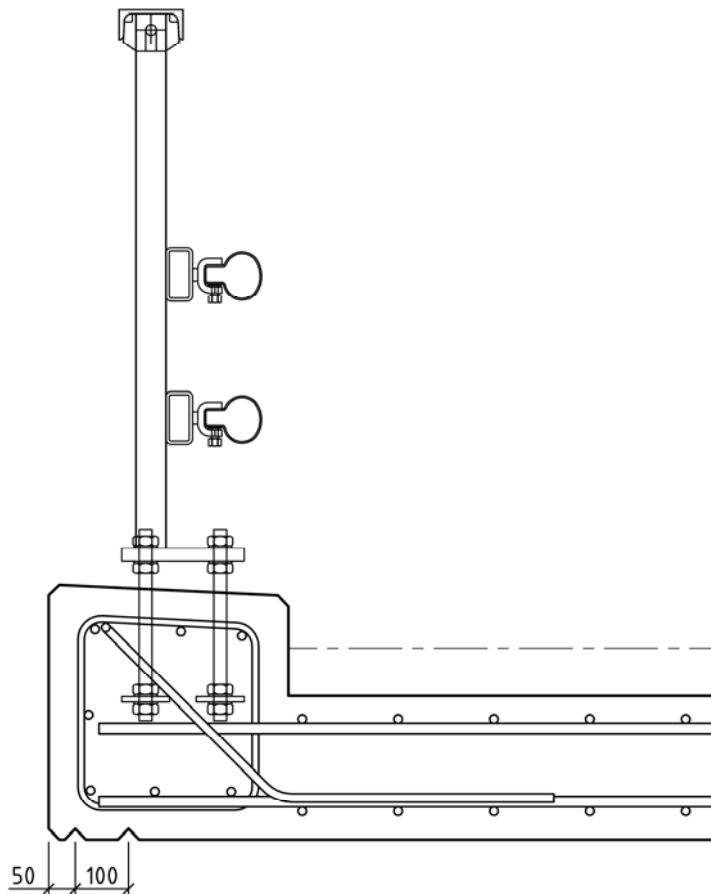
- Går ej enkelt att byta ut
- Tung platta
- Ganska komplicerad att bygga

**Övriga kommentarer/frågor**

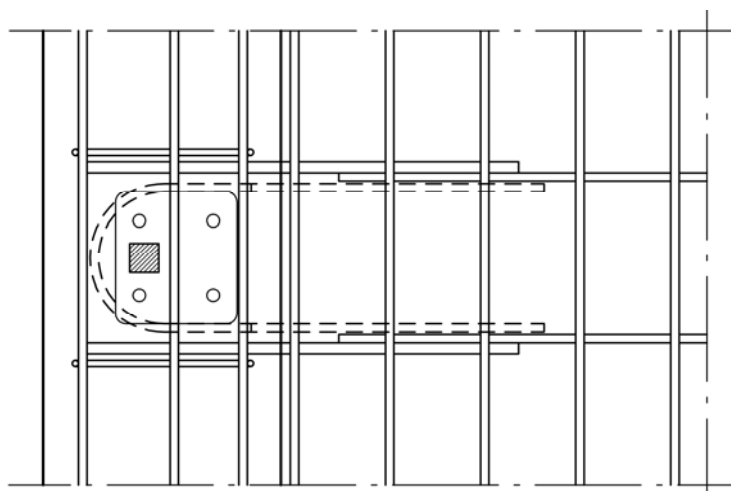
- Mycket lik den svenska ”standardkantbalken”.
- Samma livslängd som resten av bron – ca 80 år?
- Rostfri armering för byglar alt. både byglar och längsgående järn
- Traditionellt användes 7  $\Phi$ 16 som längsgående armering, men med större dimensioner för kantbalken borde mer armering läggas in, kanske 1 % av tvärsnittet.

### 5.1.4 Kantbalk typ 22

Kantbalken, som i stort sett är den kantbalk som vanligen används i Sverige visas i **Figur 22.1** a) och b)



**Figur 22.1 a)** *Kantbalk typ 22, sektion*



**Figur 22.1 b)** *Kantbalk typ 21, plan.*

**TRVK Bro 11 krav**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (förhöjd kantbalk)                   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja                                      |
| - Avvattning                                   | Ja                                      |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja                                      |
| - Reparationsvänlig                            | Nej                                     |
| - Utbytbar                                     | Nej (platsgjutna betong)                |
| - Infästning för räcke                         | Ja                                      |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Beror på scenarierna, se Kapitel 6, LCC |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig   |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Dålig   |
| - Sprickor             | Bra. Rostfri armering så får sprickorna mindre betydelse? |

**Fördelar**

|                            |
|----------------------------|
| - Bra infästning av räcket |
| - cc                       |

**Nackdelar**

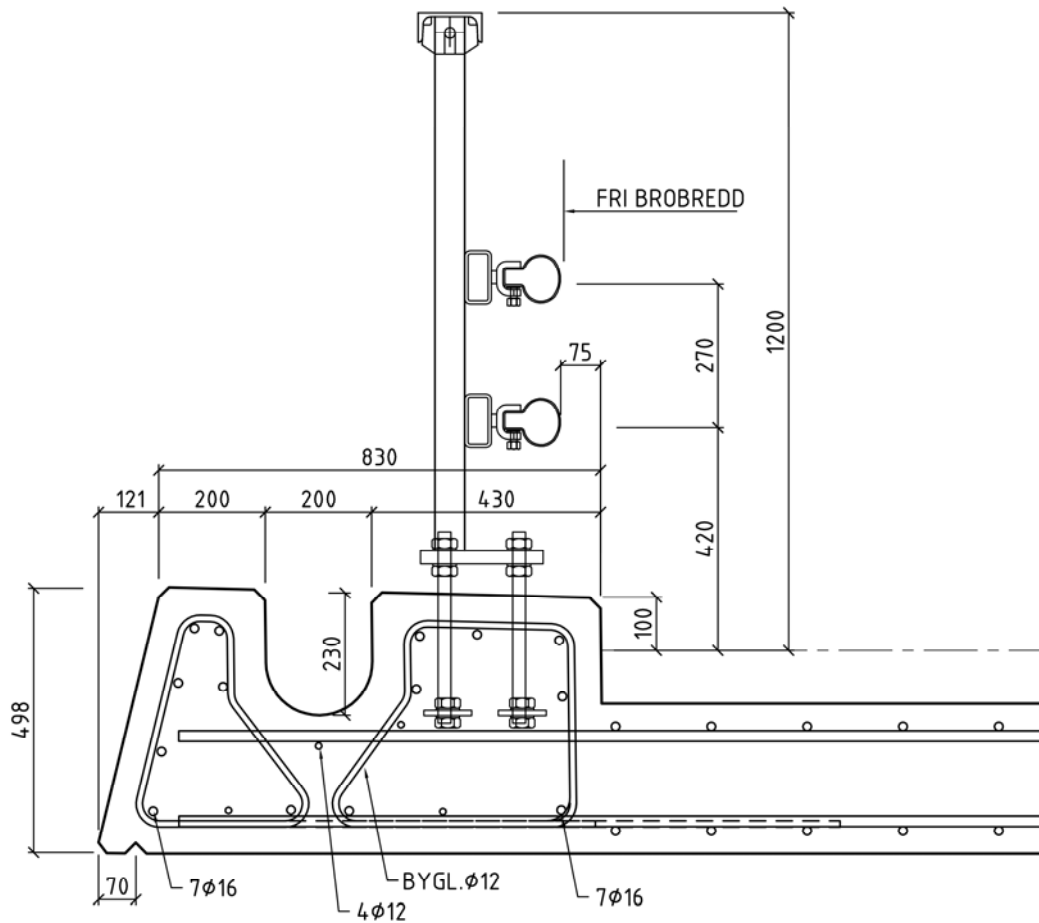
|                         |
|-------------------------|
| - Går ej att byta ut    |
| - Tynger brobaneplattan |

**Övriga kommentarer/frågor**

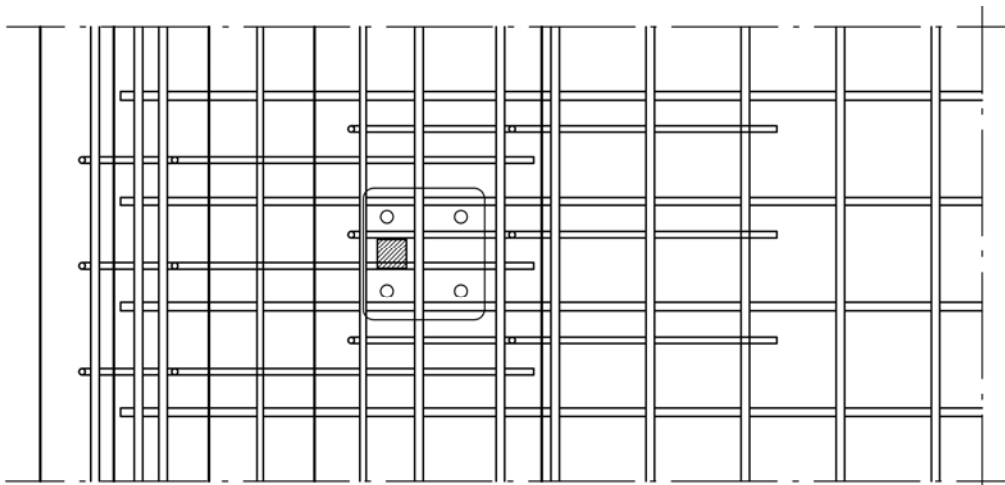
- Mycket lik den svenska ”standardkantbalken”.
- Samma livslängd som resten av bron – ca 80 år?
- Dubbel droppnäsa! Är det effektivt?
- Se kommentarer för Typ 9

### 5.1.5 Kantbalk typ 23

Kantbalken, som i stort sett är den kantbalk som vanligen används i Sverige, men med avvattningssystemet integrerat med kantbalken, visas i **Figur 23.1** a) och b).



**Figur 23.1 a)** *Kantbalk typ 23, sektion*



**Figur 23.1 b)** *Kantbalk typ 23, plan*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (förhöjd kantbalk)   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja (kantbalken är för stor)                                   |
| - Avvattning                                   | Ja  |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Nej   |
| - Utbytbar                                     | Nej (platsgjutna betong)                                      |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell) |

**Fienderna**

|                        |  |
|------------------------|--|
| - Tösalt               | Bra  |
| - Vanligt vatten       | Bra  |
| - Is/frost nedbrytning | Bra  |
| - Saltkristallisation  | Bra  |
| - Sulfatangrepp        | Bra  |
| - Urlakning            | Bra  |
| - Sprickor             | Problematiske. Armeringen måste analyseras för att undvika stora sprickor. Kanske rostfri armering så att får sprickorna får mindre betydelse? |

**Fördelar**

- Bra infästning av räcke
- cc

**Nackdelar**

- Stor kostnad
- Tynger brobaneplattan
- Går inte att byta ut och utformningen ger stor kostnad vid reparation/utbyte
- Bron måste lita för att avvattningen ska fungera.
- Svårt att rensa avvattningen från löv, skräp...

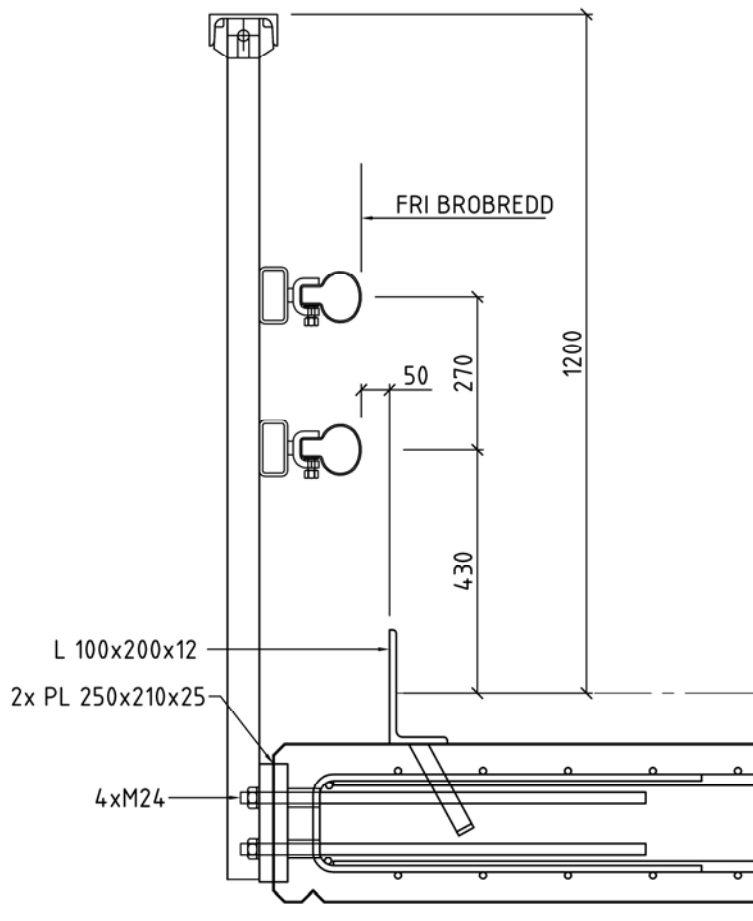
**Övriga kommentarer/frågor**

- Rostfri armering?
- Behövs så mycket betongarea för att skapa detta avvattningssystem

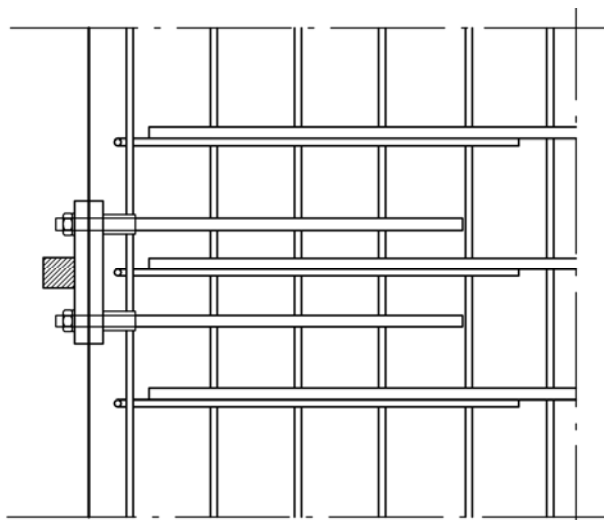
## 5.2 II. Lösning utan egentlig kantbalk

### 5.2.1 Kantbalk typ 2

I detta förslag har kantbalken ersatts med ett vinkelstål som uppfyller en del av den traditionella kantbalkens funktionskrav.



**Figur 2.1 a)** *Kantbalk typ 2, sektion*



**Figur 2.1 b)** *Kantbalk typ 2, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |   |                                 |   |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja  | G.3.2.6<br>(Beläggningen)       | Nej (det är försänkt kantbalk, men det finns sidostöd – L-stål) |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja (nej på brobaneplattor över trafik eller vattendrag) | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja  |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas)                                      | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja  |
|                                 |   | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja  |

**Kraven**

|  |  |
|--|--|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (med L-stålet). Problem: det sitter utanför navföljaren och är utsatt för påkörning, t.ex. vid plogning.  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej  |
| - Avvattning                                   | Ja. Ytan under beläggningen nära L-stålet måste lutas innanför för att undvika vatten från tätskikt rinna över synlig betong. Försänkt kantbalk: lägga till en ränna av stål eller betong? |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som är provat utan förhöjd kantbalk)   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (L-stålet hindrar det)   |
| - Utbytbar                                     | Nej (L-stålet och platsgjutna betong)  |
| - Infästning för räcke                         | Nej (Kan det anpassas till dagens testade räcken?)   |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Bbero på scenarierna, se Kapitel 6, LCC  |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig   |
| - Vanligt vatten       | Dålig (synlig betongsyta måste lutas utanför) |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Dålig   |
| - Sprickor             | Bra   |

**Fördelar**

- Lägre kostnad?
- Minskar brobaneplattans tyngd

**Nackdelar**

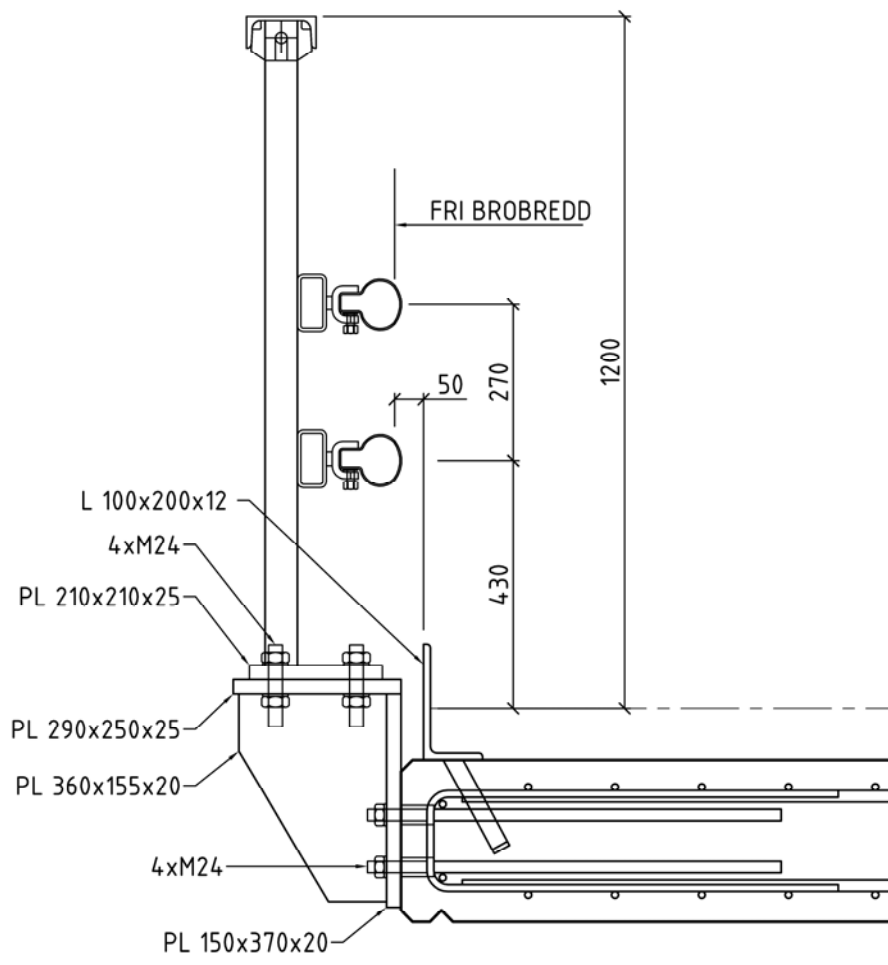
- Problem: L-stålet och snöplog
- Vatten rinner av för delen utanför L-stålet (försänkt kantbalk)
- Kontaktytan mellan stålplattan och brobaneplattan måste vara tät (toleranser!). Risk för spaltkorrosion.

**Övriga kommentarer/frågor**

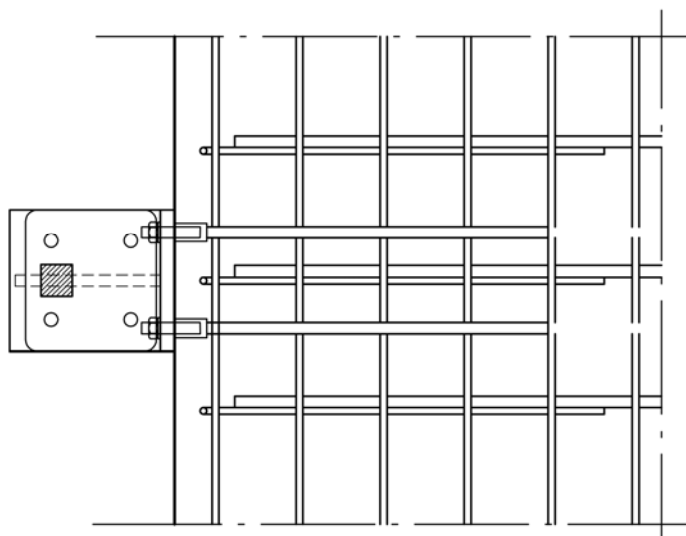
- Huvudproblemet är att räckets utformning inte överensstämmer med testade krocksäkerhetskrav och måste testas.
- **Vinkeljärnet:** Kan skruvas fast efteråt? Ta bort på något sätt? Packning av beläggningen utan det är ett problem.
- **L-stålet:** Rostfri stål? Livslängd? Vad bör höjden över beläggningen vara?
- Hur tjock är brobaneplatta? Vid bro med konsol måste tjockleken på konsolen ökas för att ge plats för ingjutna bultar.
- Betongyta måste underhållas
- **Plåt:** Ingjuten? Dubbla plattor? / **Bultar:** Toleranser? Rostfria plåtar?
- Direkt slitbetong ut hela vägen ut?

### 5.2.2 Kantbalk typ 3

I detta förslag har kantbalken ersatts med ett vinkelstål som uppfyller en del av den traditionella kantbalkens funktionskrav. Räckets är en standardlösning.



Figur 3.1 a) *Kantbalk typ 3, sektion*



Figur 3.1 b) *Kantbalk typ 3, plan.*



**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |   |                                 |   |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja  | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Nej (det är försänkt kantbalk, men det finns sidostöd i form av L-stål) |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja (nej på brobaneplattor över trafik eller vattendrag) | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja  |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas)                                      | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja  |
|                                 |   | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja  |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (med L-stålet). Problem: det sitter utanför navföljaren och är utsatt för påkörning, t.ex. vid plogning.   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej.  |
| - Avvattning                                   | Ja. Ytan under beläggningsen nära L-stålet måste lutats innanför för att undvika vatten från tätskiktet att rinna över synlig betong. Det är en försänkt kantbalk så en ränna av stål eller betong måste utföras? |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som var provat utan förhöjd kantbalk)   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (L-stålet hindrar det)  |
| - Utbytbar                                     | Nej (L-stålet och platsgjutna betong)   |
| - Infästning för räcke                         | Ja (stämmer med dagens utförande av räckesinfästningar)   |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)   |

**Fienderna**

|                        |       |
|------------------------|-------|
| - Tösalt               | Dålig |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Bra   |

**Fördelar**

- Bättre justeringsmöjlighet än alternativ typ 2
- Minskar brobaneplattans vikt

**Nackdelar**

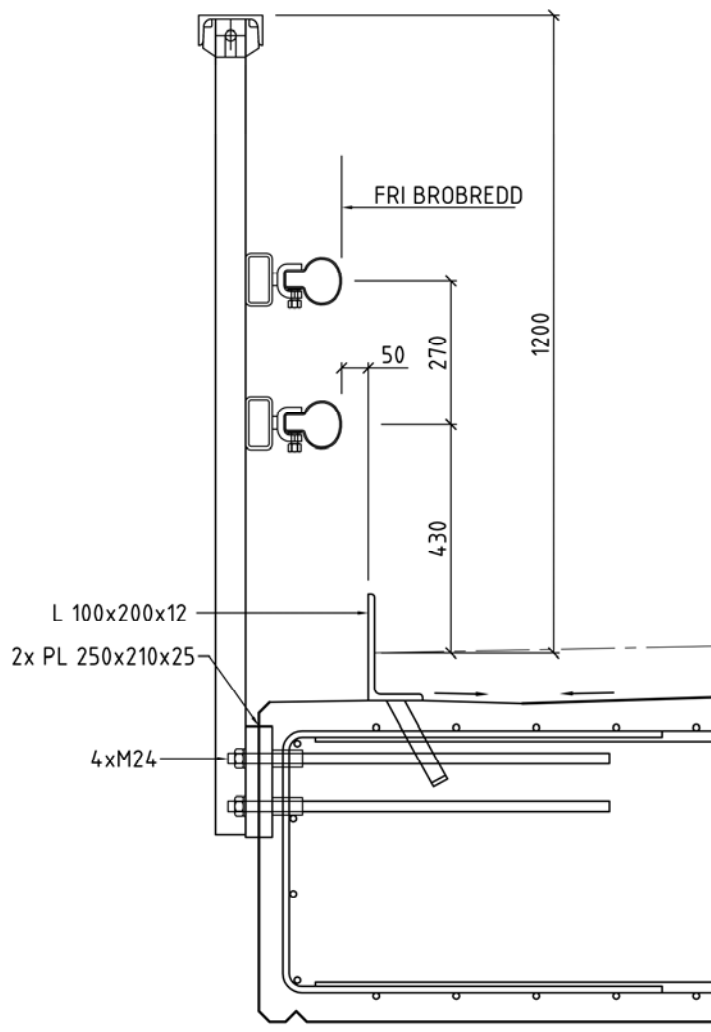
- Problem: L-stålet och snöplog
- Vatten rinner av (försänkt kantbalk)
- Högre kostnad än typ 2
- Kontaktytan mellan stålplattan och brobaneplattan måste vara tät. Spaltkorrosion?

**Övriga kommentarer/frågor**

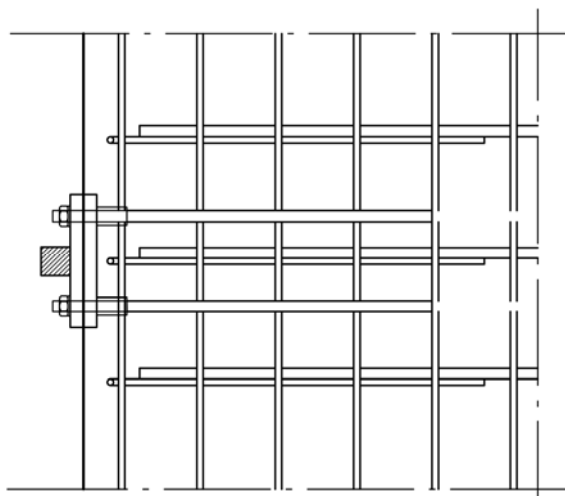
- Jämfört med förslag 2 har räcket en standardutformning
- Vinkeljärnet: Kan det skruvas fast efteråt? Hur får man bort L-stålet vid reparation? Är det problem med packning av beläggningsen?
- L-stålet: Rostfritt stål? Livslängd?
- Hur tjock är brobaneplatta? Vid bro med konsol måste tjockleken på konsolen ökas för att ge plats för ingjutna bultar.
- Direkt slitbetong hela vägen ut?
- Plåt: Ingjuten? Dubbla plattor? / Bultar: Toleranser? Rostfria?

### 5.2.3 Kantbalk typ 6

Denna kantbalkslösning liknar typ 2 och typ 3, men är till för en tjockare platta.



Figur 6.1 a) *Kantbalk typ 6, sektion*



Figur 6.1 b) *Kantbalk typ 6, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro**

|                                 |                    |                                 |   |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|---|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningen)       | Nej (det är försänkt kantbalk, men det finns sidostöd – L-stål) |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja  |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja  |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja  |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja (med L-stålet). Problem: det sitter utanför navföljaren och är utsatt för påkörning, t.ex. vid plogning.   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej.  |
| - Avvattning                                   | Ja. Ytan under beläggningen nära L-stålet måste lutats innanför för att undvika vatten från tätskikt rinna över synlig betong. Försänkt kantbalk: lägga till en ränna av stål eller betong? |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som var provat utan förhöjd kantbalk)   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (L-stålet hindrar det)  |
| - Utbytbar                                     | Nej (L-stålet och platsgjutna betong)   |
| - Infästning för räcke                         | Ja (kan det anpassas till dagens testade räcken? Det behöver troligen ha större höjd)   |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)   |

**Fienderna**

|                        |       |
|------------------------|-------|
| - Tösalt               | Dålig |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Dålig |
| - Sprickor             | Bra   |

**Fördelar**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| - Lägre kostnad?                |  |
| - Minskar brobaneplattans tyngd |  |

**Nackdelar**

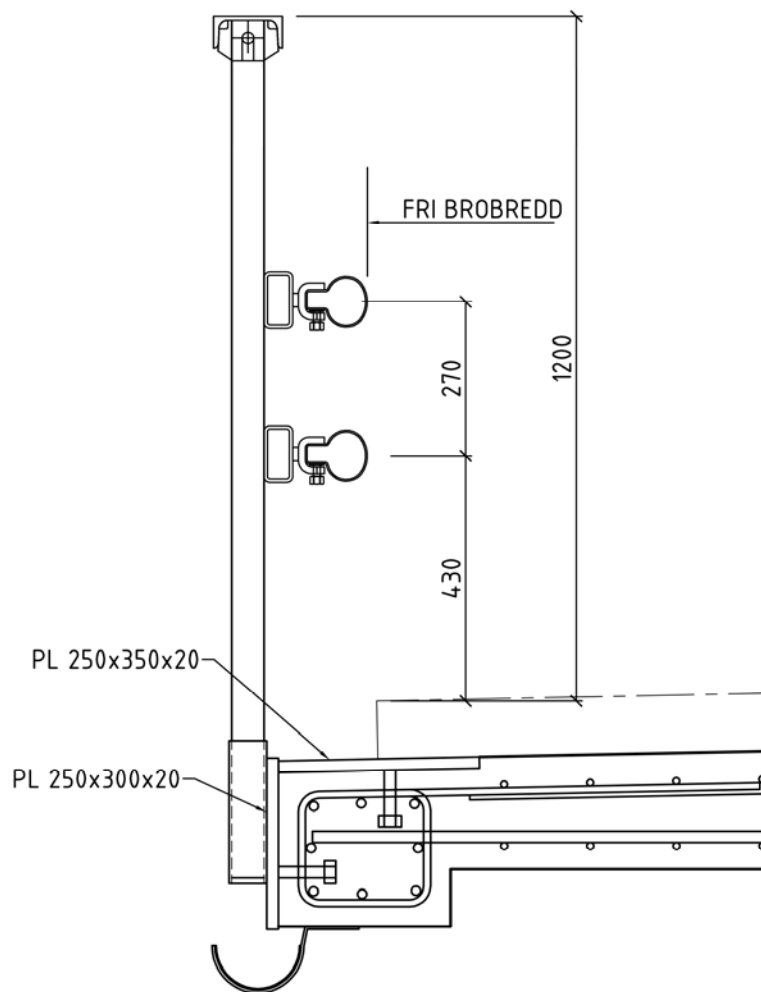
|   |
|---|
| - Problem: L-stålet och snöplog                                     |
| - Vatten rinner av (försänkt kantbalk)                              |
| - Kontaktytan mellan stålplattan och brobanepattan. Spaltkorrosion? |

**Övriga kommentarer/frågor**

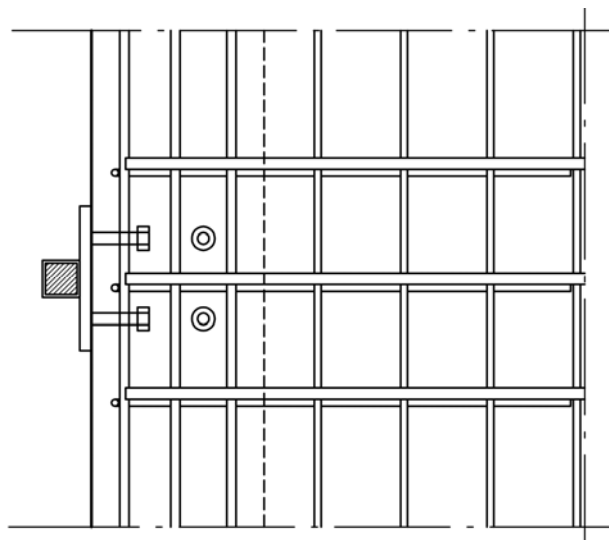
- Huvudproblemet är att räcket utformning inte överensstämmer med testade krocksäkerhetskrav och måste testas.
- Vinkeljärnet: Kan skruvas fast efteråt? Ta bort? Packning av beläggningen utan det är ett problem.
- L-stålet: Rostfri stål? Livslängd?
- Hur tjock är brobanepatta? Vid bro med konsol måste tjockleken på konsolen ökas.
- Direkt slitbetong hela vägen ut?
- Betongyta måste underhållas
- Plåt: Ingjuten? Dubbla plattor? / Bultar: Toleranser? Rostfri?

### 5.3 III. Kantbalkar av stål

#### 5.3.1 Kantbalk typ 4



Figur 4.1 a) *Kantbalk typ 4, sektion*



Figur 4.1 b) *Kantbalk typ 4, plan.*

**Funktionskrav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |  |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Nej (Ja om beläggningsen fordrar ett permanent sidostöd) |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja   |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja   |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja   |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Nej   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej   |
| - Avvattning                                   | Nej (tveksamt om vattenuppsamlingen funkar, allt vatten kommer inte att samlas upp) |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som var provat utan förhöjd kantbalk)                       |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (stålplattan under beläggningsen, stålplattan gjutning...)                      |
| - Utbytbar                                     | Nej (stålplattan under beläggningsen, stålplattan gjutning...)                      |
| - Infästning för räcke                         | Nej (troligen kan det inte anpassas till dagens testade räcken)                     |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Beror på scenarierna, se Kapitel 6, LCC   |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter ansamlas mellan plåten och betongen då det sannolikt uppstår en spricka här) |
| - Vanligt vatten       | Dålig (risk för nivåskillnad på överytan där stålet slutar så att det blir en vattenficka där)        |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning kan inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (svårt att inspektera betongsprickor i kantbalken)  |

**Fördelar**

- Lägre kostnad?

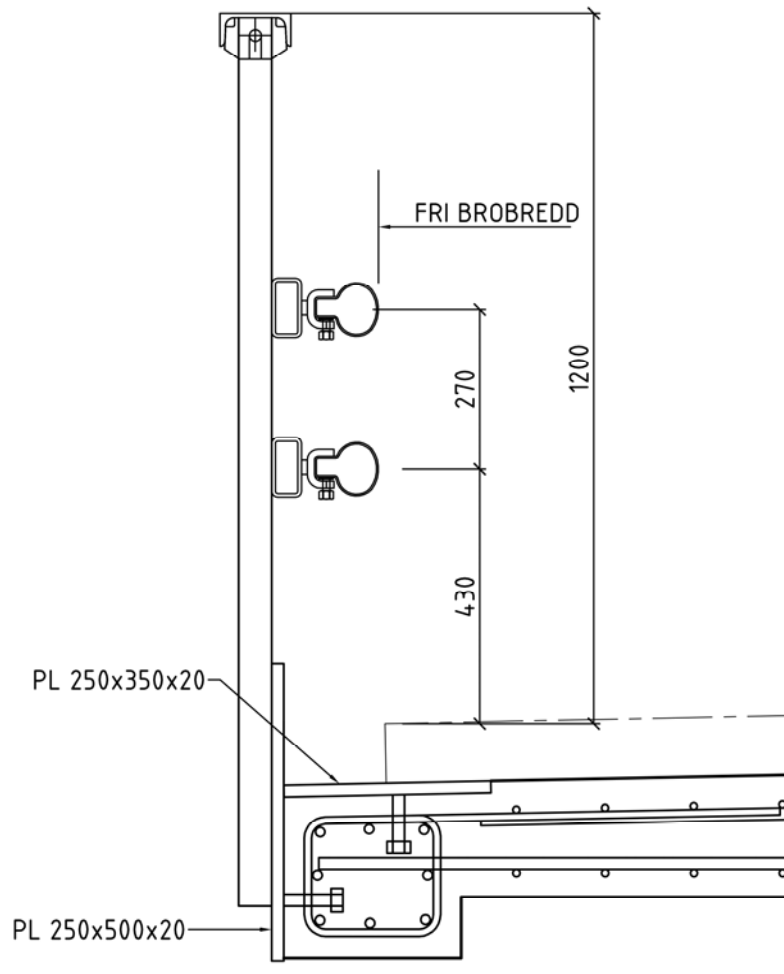
**Nackdelar**

- Svår under-upp gjutning
- Problem med beläggningsarbeten under navföljaren, svårt att komma åt med maskiner
- Ränna utanför kantbalkarna: svåra att underhålla och att bygga

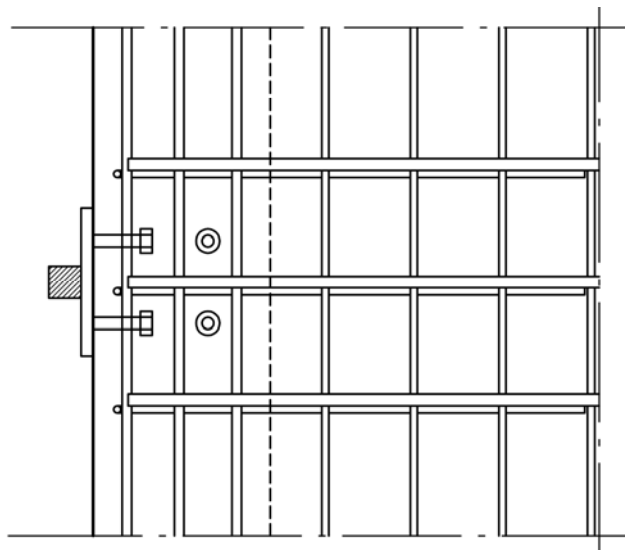
**Övriga kommentarer/frågor**

- Huvudproblemet är att räckets utformning inte överensstämmer med testade krocksäkerhetskrav och måste testas.
- Kvarsittande form på utsidan kantbalk
- Troligen svårt att få plats med armeringsslingor för att föra in horisontalkrafter i plattan
- Undergjutning av horisontell plåt?

### 5.3.2 Kantbalk typ 5



**Figur 5.1 a)** *Kantbalk typ 5, sektion*



**Figur 5.1 b)** *Kantbalk typ 5, plan.*

**Funktionskrav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |  |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Nej (Ja om beläggningsen fordrar ett permanent sidostöd) |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja   |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja   |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja   |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Nej   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej   |
| - Avvattnings                                  | Ja (bättre vatten uppsamling)                                   |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som var provat utan förhöjd kantbalk)   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (stålplattan under beläggningsen, stålplattan gjutning...)  |
| - Utbytbar                                     | Nej (stålplattan under beläggningsen, stålplattan gjutning...)  |
| - Infästning för räcke                         | Nej (Troligen kan det inte anpassas till dagens testade räcken) |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)   |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter ansamlas mellan plåten och betongen då det sannolikt uppstår en spricka här) |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (svårt att inspektera betongsprickor i kantbalken)  |

**Fördelar**

- Lägre kostnad?

-

**Nackdelar**

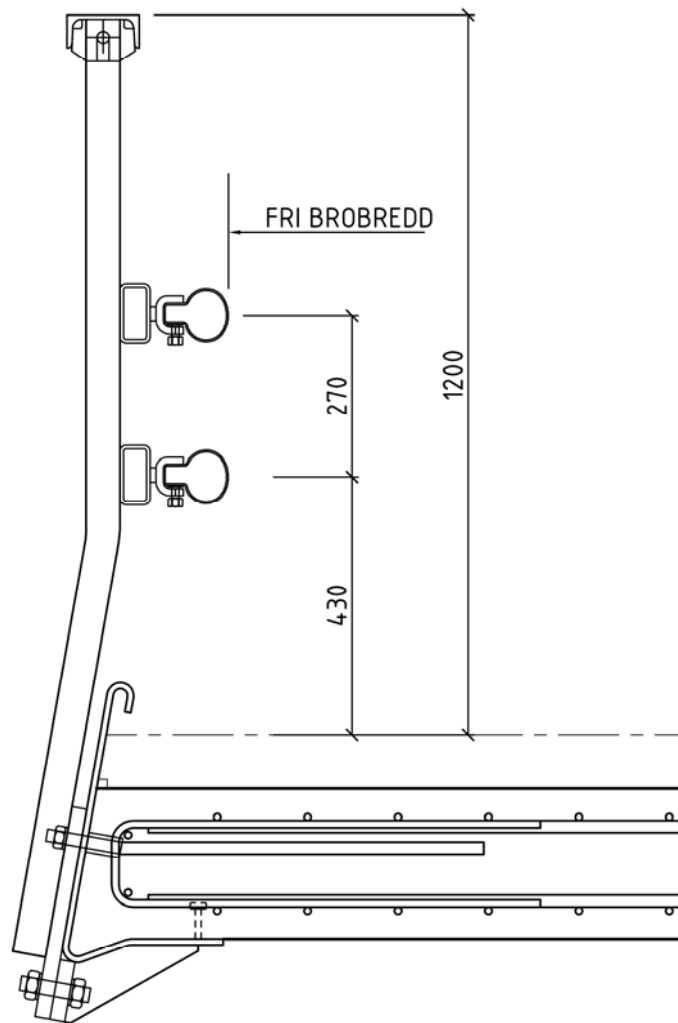
- Svår under-upp gjutning

- Problem med beläggningsarbeten under navföljaren, svårt att komma åt med maskiner

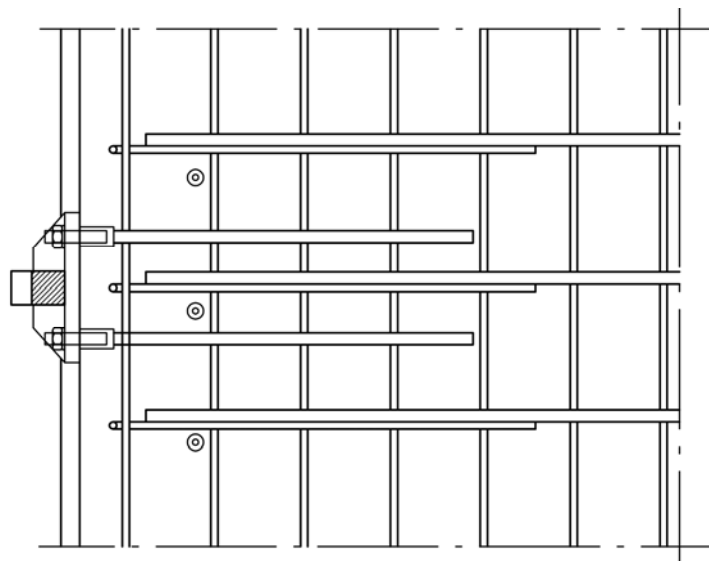
**Övriga kommentarer/frågor**

- Huvudproblemet är att räckets utformning inte överensstämmer med testade krocksäkerhetskrav och måste testas.
- Kvarsittande form på utsidan kantbalk
- Troligen svårt att få plats med armeringsslingor för att föra in horisontalkrafter i plattan

### 5.3.3 Kantbalk typ 8



Figur 8.1 a) *Kantbalk typ 8, sektion*



Figur 8.1 b) *Kantbalk typ 8, plan.*



**Funktionskrav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |  |
|--|--|
| - Stöd för beläggning                          | Ja   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej  |
| - Avvattnings                                  | Ja (vatten rinner inte uppåt >30°)   |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja (det finns ett räcke som var provat utan förhöjd kantbalk)  |
| - Reparationsvänlig                            | Nej  |
| - Utbytbar                                     | Ja   |
| - Infästning för räcke                         | Ja (Kan det inte anpassas till dagens testade räcken? Kan justeras med en konsol så att det förses en räckesinfästning som är anpassad till dagens räcken? Låg k-höjd) |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)  |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter ansamlas mellan plåten och betongen då det sannolikt uppstår en spricka här) |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Bra   |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Bra (bra sprickfördelning)  |

**Fördelar**

|  |
|--|
| - Kantbalk i stål fungerar som en del av formen (ingen formsättning) |
| - Ej åtkomlig för snöplog  |

**Nackdelar**

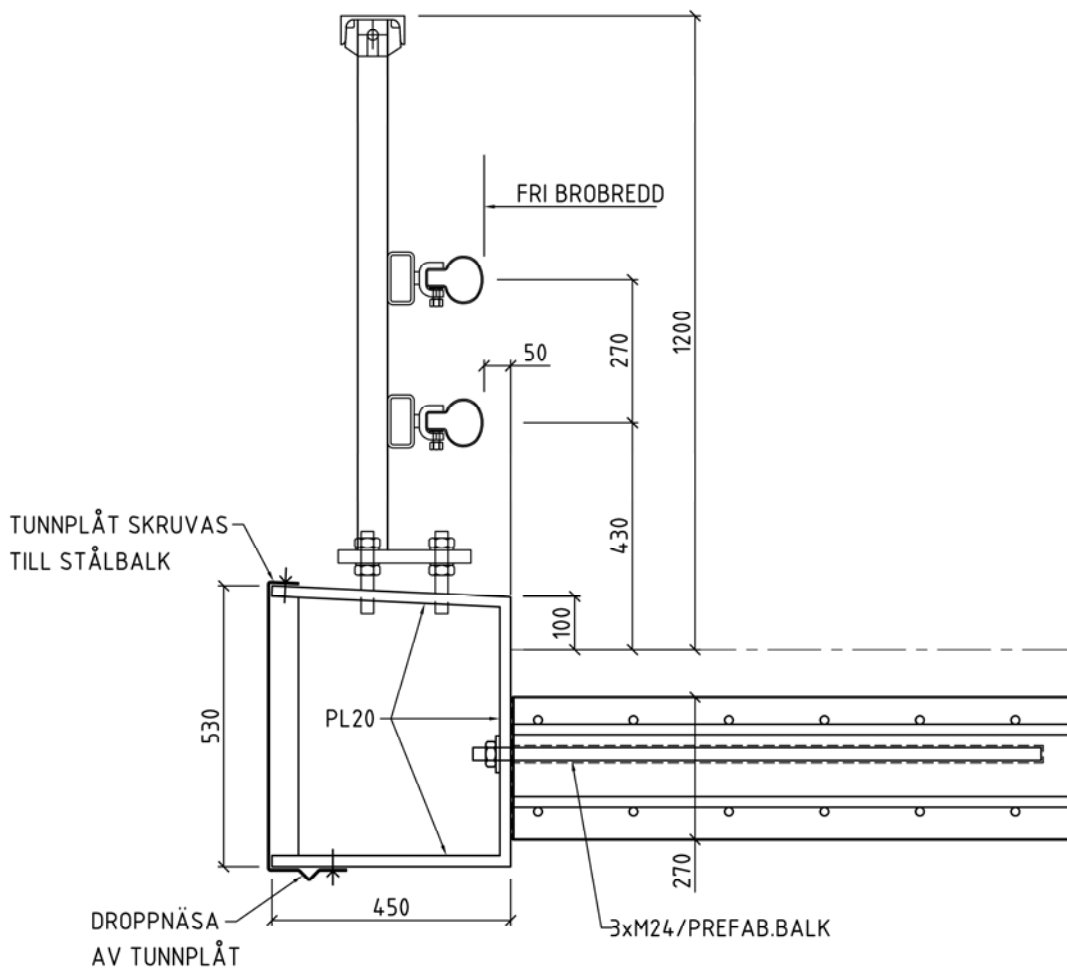
|   |
|---|
| - Högre kostnad   |
| - Problem med beläggningsarbeten under navföljaren, svårt att komma åt med maskiner |

**Övriga kommentarer/frågor**

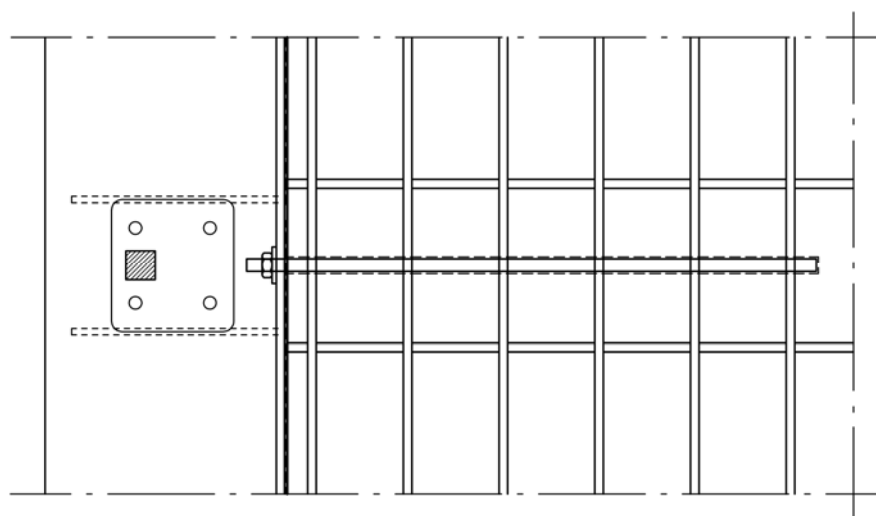
- Beläggningsen kan möjligen avslutas hitom navföljaren
- Ytavlopp något längre in
- Direkgjuten slitbetong?
- Infästningen av räcket oestetisk? Tillåter viss estetisk frihet (lutning)
- Om stålkanten i stället tillverkas genom svetsning av två plattor kan sidoplåten sticka ut och bilda droppnäsa
- Med en nedstickande del kan man undvika att konsolerna blir tjockare än dagens
- Med en nedstickande del kan man undvika att konsolerna blir tjockare än dagens
- Bron blir smalare för är en bro med traditionell kantbalk.
- Bockad stålkant för styvhet
- Huvudproblemet är att räckets utformning inte överensstämmer med testade krocksäkerhetskrav och måste testas.

### 5.3.4 Kantbalk typ 24

Kantbalken är tänkt att vara snabbt monterad både vid nyproduktion och vid utbyte



Figur 24.1 a) *Kantbalk typ 24, sektion*



Figur 24.1 b) *Kantbalk typ 24, plan.*

**Funktionskrav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |    |                                 |    |
|---------------------------------|----|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | -  | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja (det bidrar till styvheten)  |
| - Avvattnings                                  | Ja (Ytan under beläggnings i kantskoning måste lutats innanför för att undvika vatten från tätskikt rinna över skarvar) |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Ja  |
| - Utbytbar                                     | Ja  |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)   |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tössalter ansamlas mellan plåten och betongen då det sannolikt uppstår en spricka här)                |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobanepåta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobanepåtan) |

**Fördelar**

|  |
|--|
| - Kantbalk i stål fungerar som en del av formen (ingen formsättning) |
| - Ej åtkomlig för snöplog  |

**Nackdelar**

|                   |
|-------------------|
| - Högre kostnad   |
| - Spaltkorrosion? |

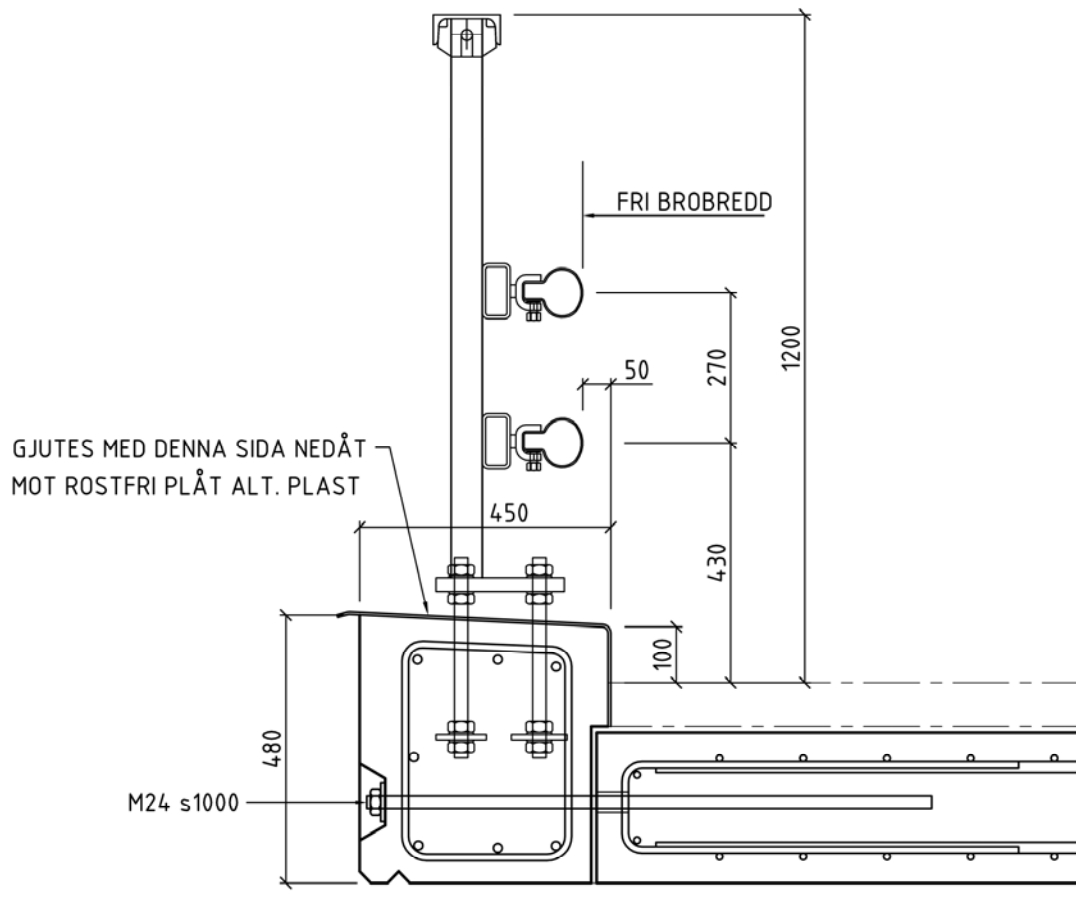
**Övriga kommentarer/frågor**

- Rostfritt stål?
- Horisontell överyta?
- Måste kunna användas vid vertikal- och horisontalkurvor
- Ska den gjutas fast?
- Hur ytavlopp fungerar?
- Sluten profil?

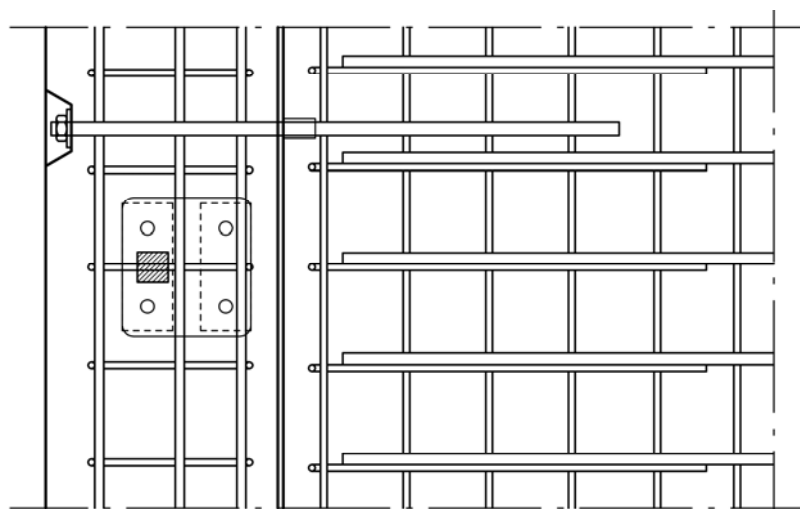
## 5.4 IV. Prefabricerade kantbalkar

### 5.4.1 Kantbalk typ 10

Kantbalken är utvecklad..



**Figur 10.1 a)** *Kantbalk typ 10, sektion*



**Figur 10.1 b)** *Kantbalk typ 10, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej   |
| - Avvattnings                                  | Ja (Ytan under beläggnings i kantskoning måste lutats innanför för att undvika vatten från tätskikt rinna över skarvar) |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (Skarvar och inklädnaden gör det svårt att inspektera betong)   |
| - Utbytbar                                     | Ja  |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)   |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)                                       |
| - Vanligt vatten       | Dålig (risk att vatten tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobaneplatta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobaneplattan) |

**Fördelar**

- Förbättrat utbyte

**Nackdelar**

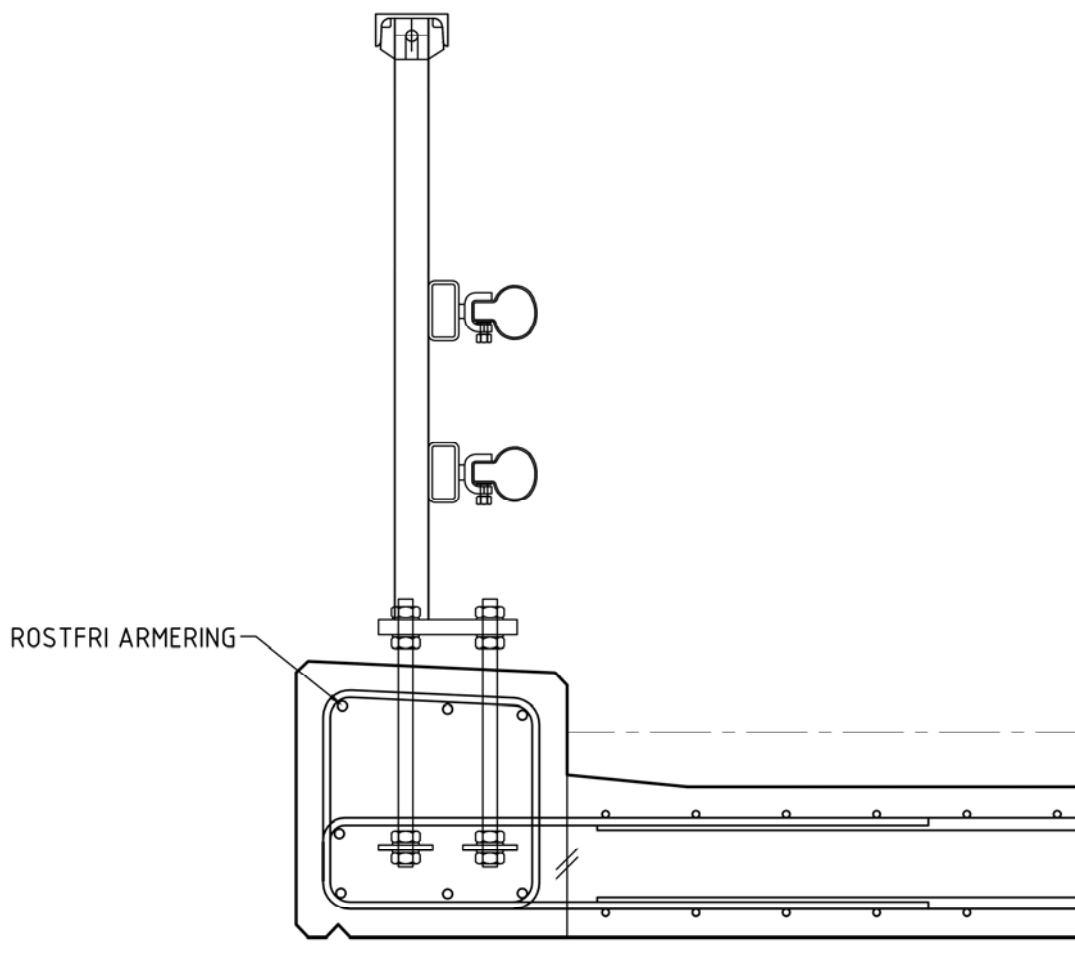
- Skarvar mellan brobaneplattan och kantbalken (underhållsarbete)
- Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan)
- Kostnadskrävande

**Övriga kommentarer/frågor**

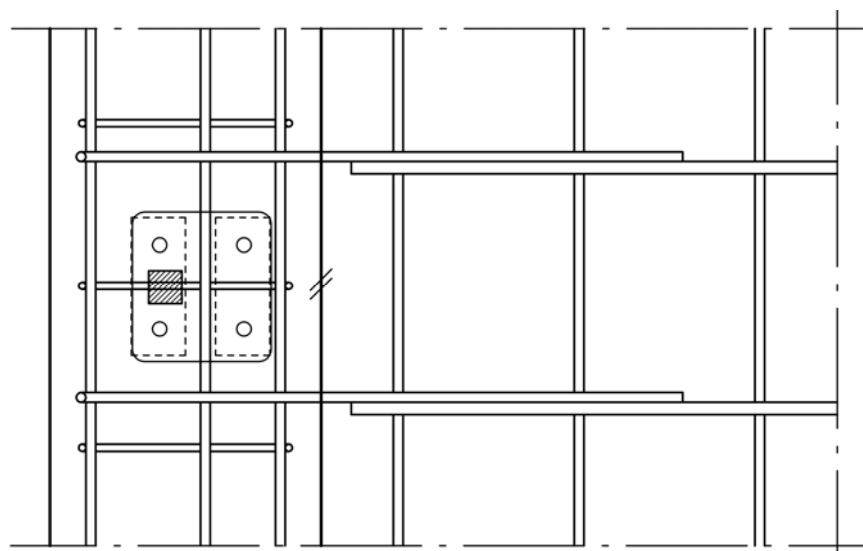
- Rostfria fästbultar? (Jämför danska erfarenheter)
- Bör skruvarna ha helst lika lång livslängd som brobaneplattan?
- Mjukfog?
- Inklädnaden kan få plogskador
- Bör hela platsgjutna kantbalken kläs in?
- Skarvarna måste hållas täta (annars fås dropp och istappar)
- Bör kantbalksunderkant ligga inte i linje med underkant konsol?
-

## 5.4.2 Kantbalk typ 11

På plats prefabricerad betongkantbalk



**Figur 11.1 a)** *Kantbalk typ 11, sektion*



**Figur 11.1 b)** *Kantbalk typ 11, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja  |
| - Avvattning                                   | Ja  |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Ja  |
| - Utbytbar                                     | Ja  |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell) |

**Fienderna**

|                        |  |
|------------------------|--|
| - Tösalt               | Bra  |
| - Vanligt vatten       | Bra  |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (kantbalken måste skyddas mot vatten innan brobaneplattan gjuts) |
| - Saltkristallisation  | Bra  |
| - Sulfatangrepp        | Bra  |
| - Urlakning            | Bra  |
| - Sprickor             | Bra  |

**Fördelar**

|   |
|---|
| - Väldigt hög betongkvalitet i kantbalkarna |
| - Okomplicerad                              |
| - Tar bort tidsödande moment i produktionen |

**Nackdelar**

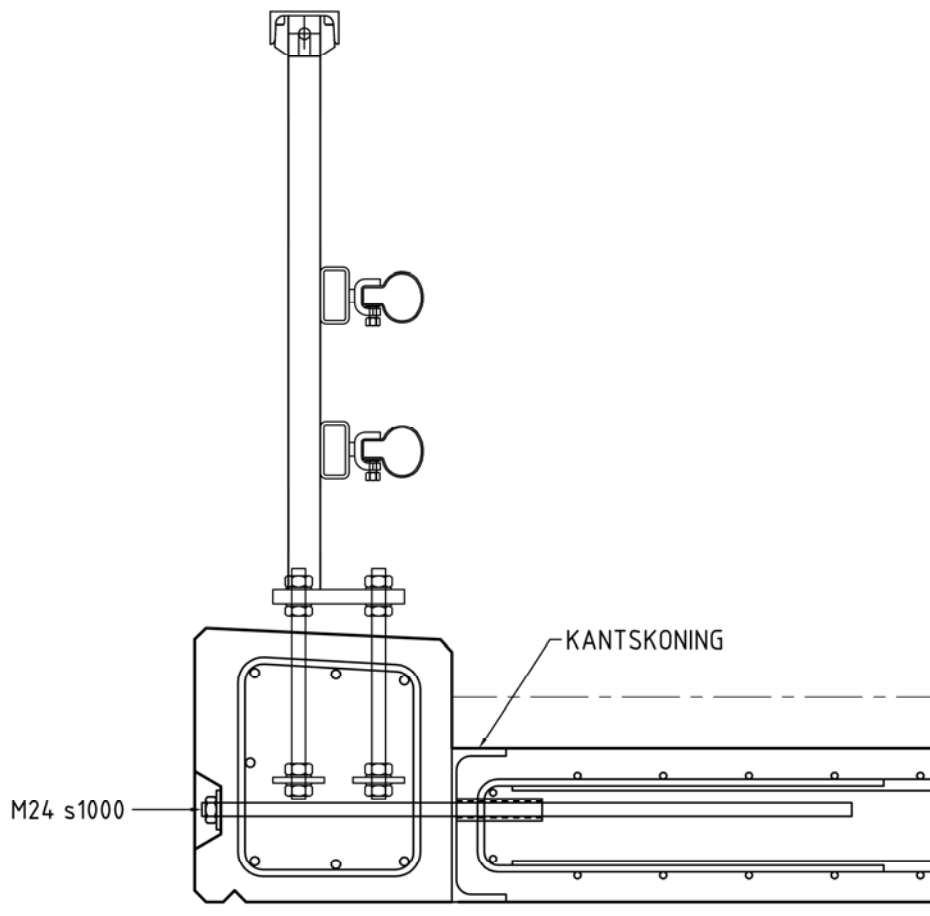
|   |
|---|
| - Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan) |
|---|

**Övriga kommentarer/frågor**

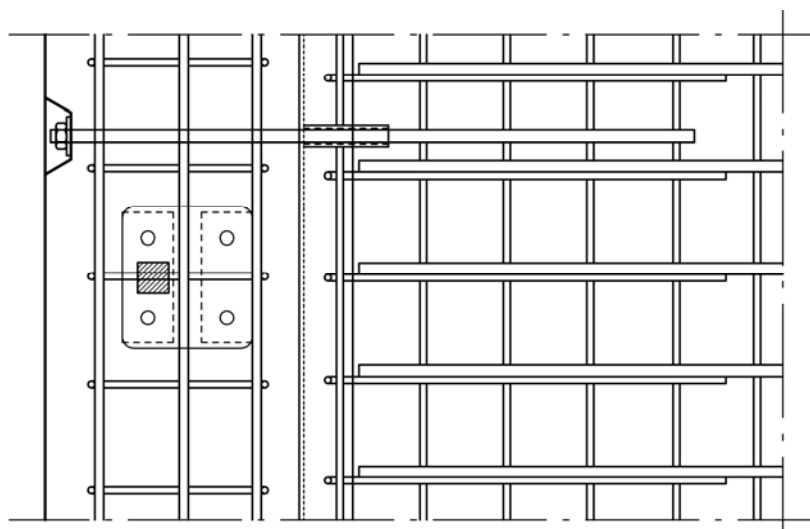
- Platsgjutet kantbalk i förväg. Det lyftas senare och brobaneplattan gjuts (Betong som ”kvarsittande form”).
- Vad är den maximala brolängd där denna typ kan användas för? (Undvika skarvar i mellan)
- Gjutfog antas inte som ett problem eftersom storleken har inte mycket betydelse. Om det är så kan kantbalken värmas upp.
- Avsedd för nybyggande i första hand.
- Typ av RF armering?

### 5.4.3 Kantbalkstyp 12

Denna typ av kantbalk, se **Figur 12.1**, har använts i några fall för korta broar. Problemen ökar för längre broar.



**Figur 12.1 a)** *Kantbalk typ 12, sektion*



**Figur 12.1 b)** *Kantbalk typ 12, plan.*



**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej   |
| - Avvattning                                   | Ja (Ytan under beläggnings i kantskoning måste lutats innanför för att undvika vatten från tätskikt rinna över skarvar) |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (Skarvar gör det svårt att inspektera betong)   |
| - Utbytbar                                     | Ja  |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)   |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Bra (kantskoningen skyddar kanten mot salter samt mot åverkan vid kantbalksbyte)  |
| - Vanligt vatten       | Bra (Kantskoningen och kan integreras med ytavlopp och är lastfördelande)   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobaneplatta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobaneplattan) |

**Fördelar**

|  |
|--|
| - Förbättrat utbyte                            |
| - Hög betongkvalitet i kantbalkarna            |
| - Sprickfria och spänningslösa före belastning |

**Nackdelar**

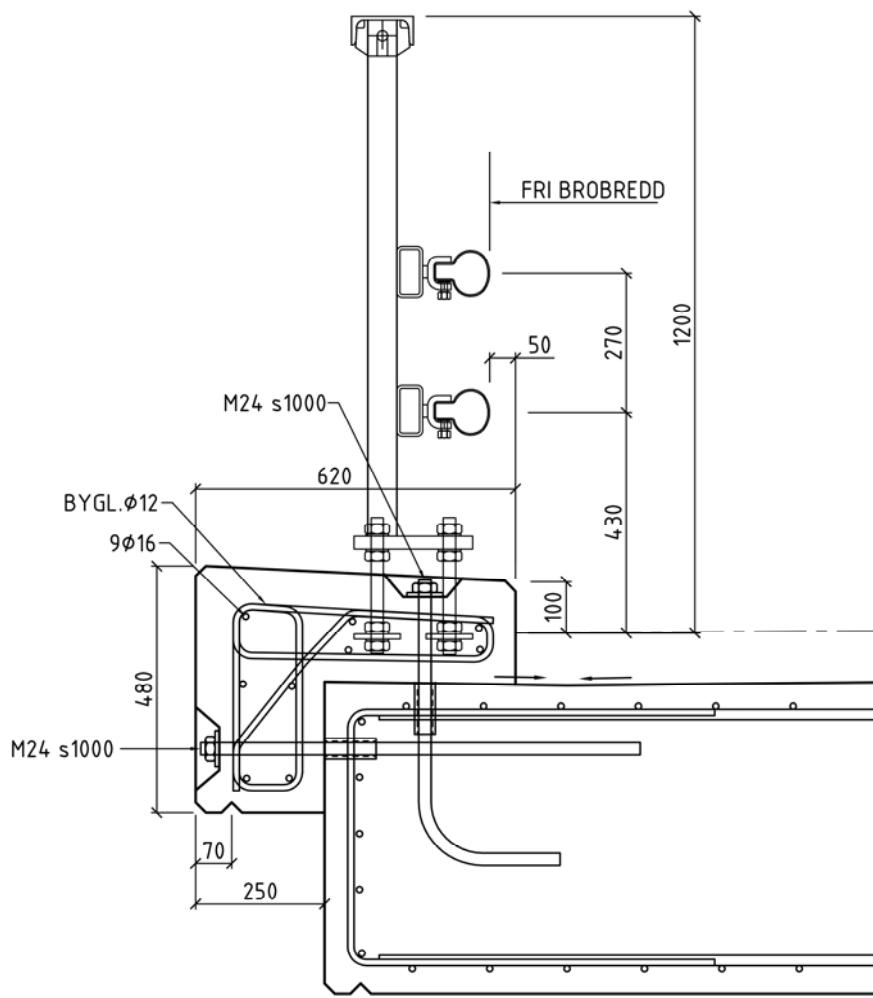
|   |
|---|
| - Skarvar mellan brobaneplattan och kantbalken (underhållsarbete) |
| - Kostnadskrävande  |
| - Svår passning?  |

**Övriga kommentarer/frågor**

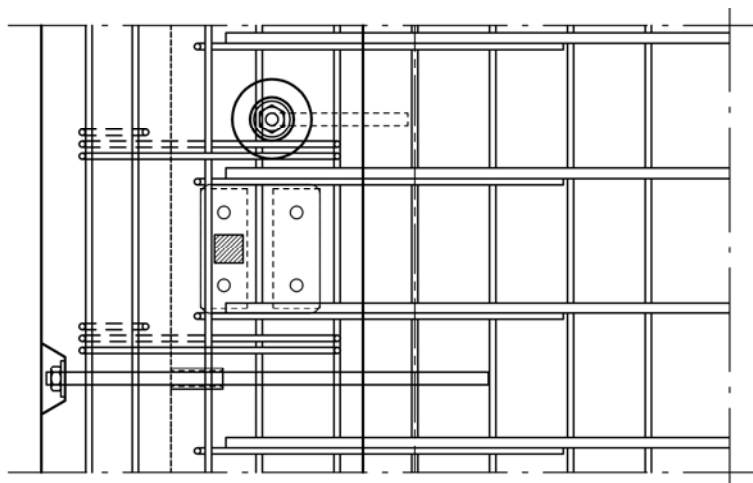
- Rostfria fästbultar? (Jämför danska erfarenheter)
- Bör skruvarna ha helst lika lång livslängd som brobaneplattan?
- Skarvarna måste hållas täta (annars fås dropp och istappar)
- Risk för att kantskoning behöver bytas när kantbalken byts (i så fall ingen förbättring)
- Kantskoning detaljer och livslängd?
- Bör kantbalksunderkant ligga inte i linje med underkant konsol?
- Kan det utföras som en sluten rostfri profil?

### 5.4.4 Kantbalkstyp 13

Internationellt används ofta denna typ av kantbalkar, s.k. ”brokappor”. Denna variant, se **Figur 13.1**, har utvecklats av arbetsgruppen.



**Figur 13.1 a)** *Kantbalk typ 13, sektion*



**Figur 13.1 b)** *Kantbalk typ 13, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |  |
|--|--|
| - Stöd för beläggning                          | Ja   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej  |
| - Avvattning                                   | Ja   |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (Skarvar gör det svårt att inspektera betong; små ytan reparationer med ”repair mortars”; sprickor som inträffar kan tryckas ihop eller impregneras) |
| - Utbytbar                                     | Ja (Kantbalk utbytes utan skada brobaneplattan med ”high pressure water jetting”).   |
| - Infästning för räcke                         | Nej (Liten höjd för räckesföränkringen)  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)  |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Vanligt vatten       | Dålig (risk att vatten tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobaneplatta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobaneplattan, sprickriks i innerhörnet) |

**Fördelar**

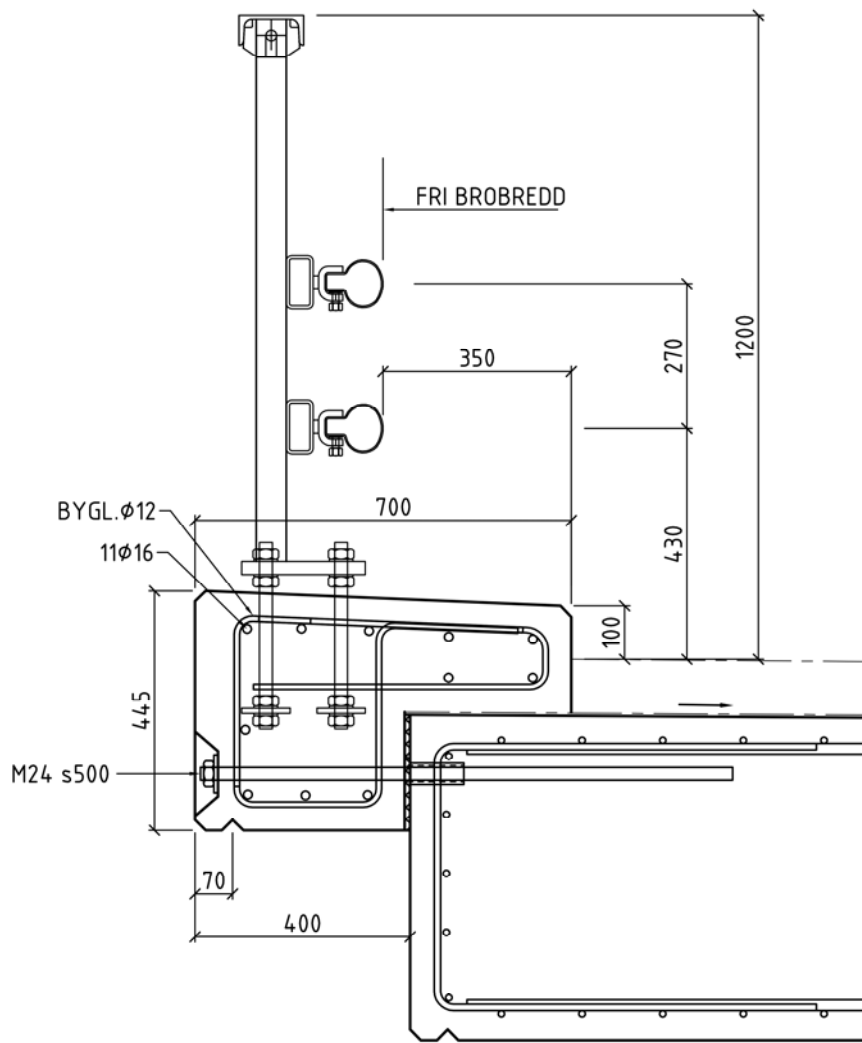
|                     |   |
|---------------------|---|
| - Förbättrat utbyte | - Skarvar mellan brobaneplattan och kantbalken (underhållsarbete) |
| -                   | - Kostnadskrävande?   |
|                     | - Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan)                   |

**Nackdelar****Övriga kommentarer/frågor**

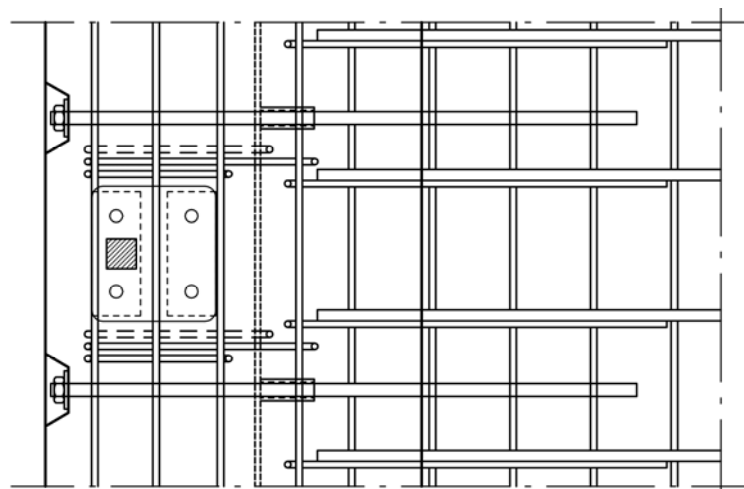
- Rostfria fästbultar? (Jämför danska erfarenheter)
- Bör skruvarna ha helst lika lång livslängd som brobaneplattan?
- Skarvarna måste hållas täta (annars fås dropp och istappar)
- Svårt med passning?
- Vid en bro med tjockare platta har denna variant fördelar då den kan monteras enkelt
- Kan klaras att vatten gå ner vid de vertikala skruvarna med formtoleranser?
- Svår 3D-hålbild

### 5.4.5 Kantbalkstyp 14

En variant av prefabricerad brokappa.



**Figur 14.1 a)** *Kantbalk typ 14, sektion*



**Figur 14.1 b)** *Kantbalk typ 14, plan.*

Krav enligt **TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |  |
|--|--|
| - Stöd för beläggning                          | Ja   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej  |
| - Avvattning                                   | Ja   |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (Skarvar gör det svårt att inspektera betong; små ytan reparationer med ”repair mortars”; sprickor som inträffar kan tryckas ihop eller impregneras) |
| - Utbytbar                                     | Ja (Kantbalk utbytes utan skada brobaneplattan med ”high pressure water jetting”).   |
| - Infästning för räcke                         | Ja   |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)  |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Vanligt vatten       | Dålig (risk att vatten tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobaneplatta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobaneplattan, sprickriks i innerhörnet) |

**Fördelar**

|                     |
|---------------------|
| - Förbättrat utbyte |
| -                   |

**Nackdelar**

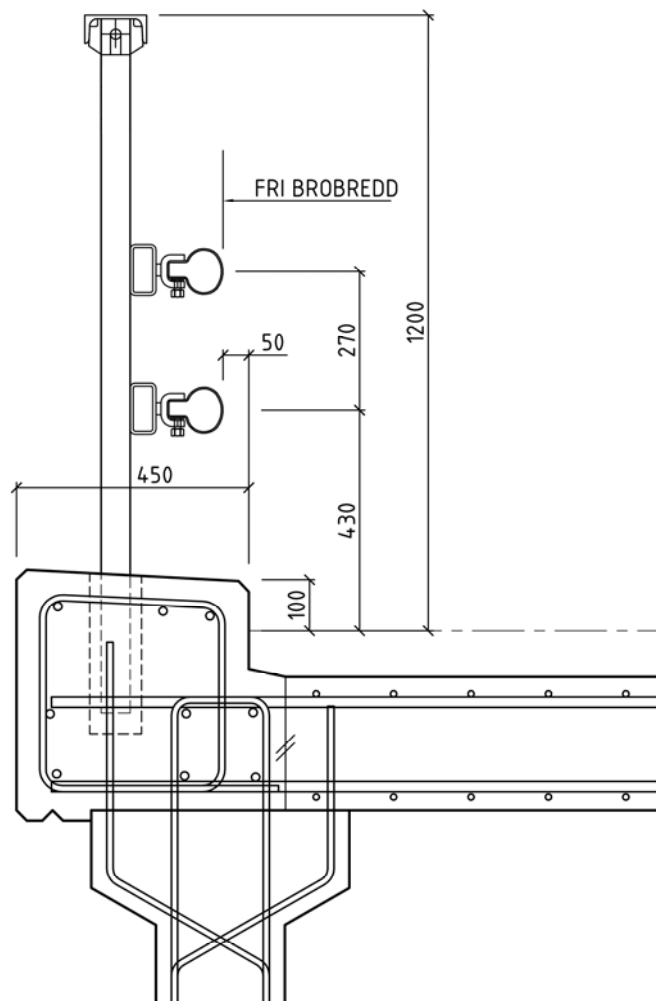
|   |
|---|
| - Skarvar mellan brobaneplattan och kantbalken (underhållsarbete) |
| - Kostnadskrävande?   |
| - Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan)                   |

**Övriga kommentarer/frågor**

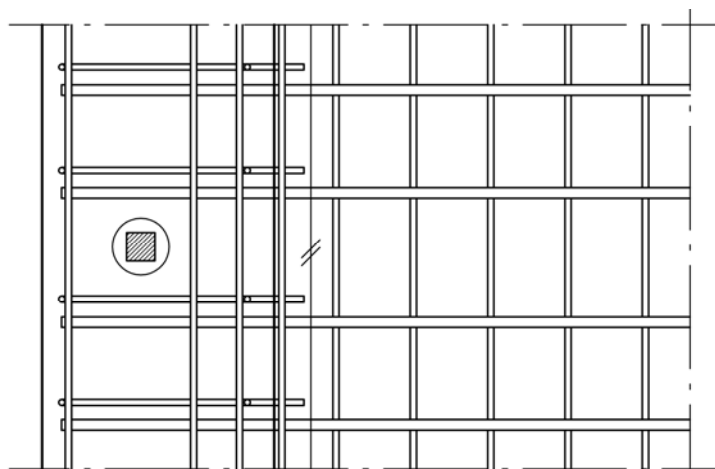
- Rostfria fästbultar? (Jämför danska erfarenheter)
- Bör skruvarna ha helst lika lång livslängd som brobaneplattan?
- Skarvarna måste hållas täta (annars fås dropp och istappar)
- Svårt med passning?
- Kan klaras att vatten gå ner vid de vertikala skruvarna med formtoleranser?
- Alternativet finns redan utförd (inga skador efter 20 år).
- Isoleringmatta? Robalon?

### 5.4.6 Kantbalkstyp 16

Prefabricerad kantbalk som gjuts ihop med huvudbalk.



Figur 16.1 a) *Kantbalk typ 16, sektion*



Figur 16.1 b) *Kantbalk typ 16, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja  |
| - Avvattning                                   | Ja  |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Nej   |
| - Utbytbar                                     | Nej   |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell) |

**Fienderna**

|                        |  |
|------------------------|--|
| - Tösalt               | Bra  |
| - Vanligt vatten       | Bra  |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (kantbalken måste skyddas mot vatten innan brobaneplattan gjuts) |
| - Saltkristallisation  | Bra  |
| - Sulfatangrepp        | Bra  |
| - Urlakning            | Bra  |
| - Sprickor             | Bra  |

**Fördelar**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| - Förbättrat kvalitét |  |
| -                     |  |

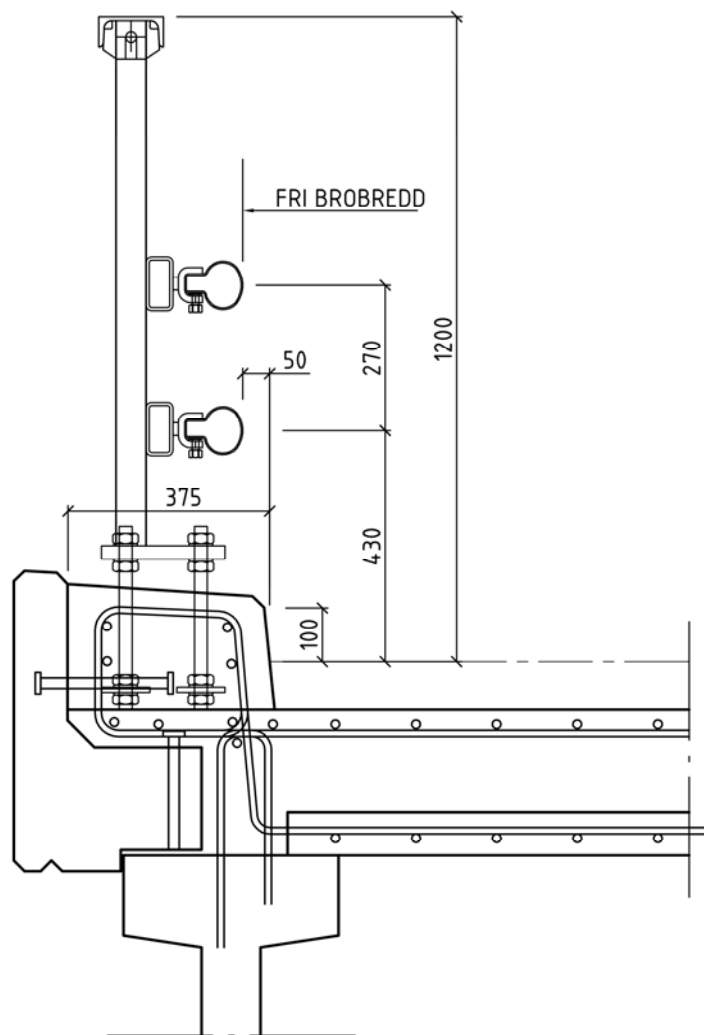
**Nackdelar**

|   |
|---|
| - Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan) |
|---|

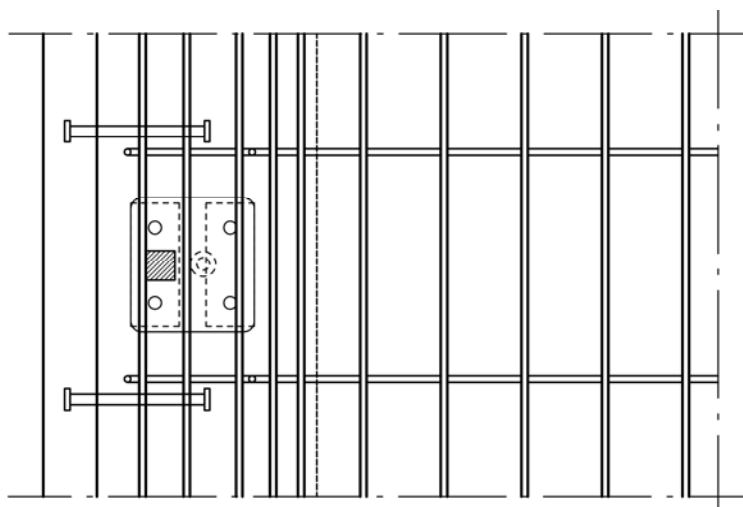
**Övriga kommentarer/frågor**

- Denna typ passar bra på en prefabricerad balkbro med platsgjuten brobana.
- Alternativet finns redan utförd. Samverkar med överbyggnaden.
- Platsgjuten kantbalk i förväg. Det lyftas senare och brobaneplattan gjuts (Betong som ”kvarsittande form”).
- Vad är den maximala brolängd där denna typ kan användas för? (Undvika skarvar i mellan)
- Gjutfog antas inte som ett problem eftersom storleken har inte mycket betydelse. Om det är så kan kantbalken värmas upp.
- Avsedd för nybyggande i första hand.
- Problem med skarvar mellan balken och kantbalken?
- Jämföra med alternativ nr 18.

### 5.4.7 Kantbalkstyp 18



Figur 18.1 a) *Kantbalk typ 18, sektion*



Figur 18.1b *Kantbalk typ 18, plan.*



**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnings)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja  |
| - Avvattning                                   | Ja  |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Nej   |
| - Utbytbar                                     | Nej   |
| - Infästning för räcke                         | Ja  |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell) |

**Fienderna**

|                        |  |
|------------------------|--|
| - Tösalt               | Bra  |
| - Vanligt vatten       | Bra  |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (kantbalken måste skyddas mot vatten innan brobaneplattan gjuts) |
| - Saltkristallisation  | Bra  |
| - Sulfatangrepp        | Bra  |
| - Urlakning            | Bra  |
| - Sprickor             | Bra  |

**Fördelar**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| - Förbättrat kvalitet |  |
| -                     |  |

**Nackdelar**

|   |
|---|
| - Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan) |
| -   |

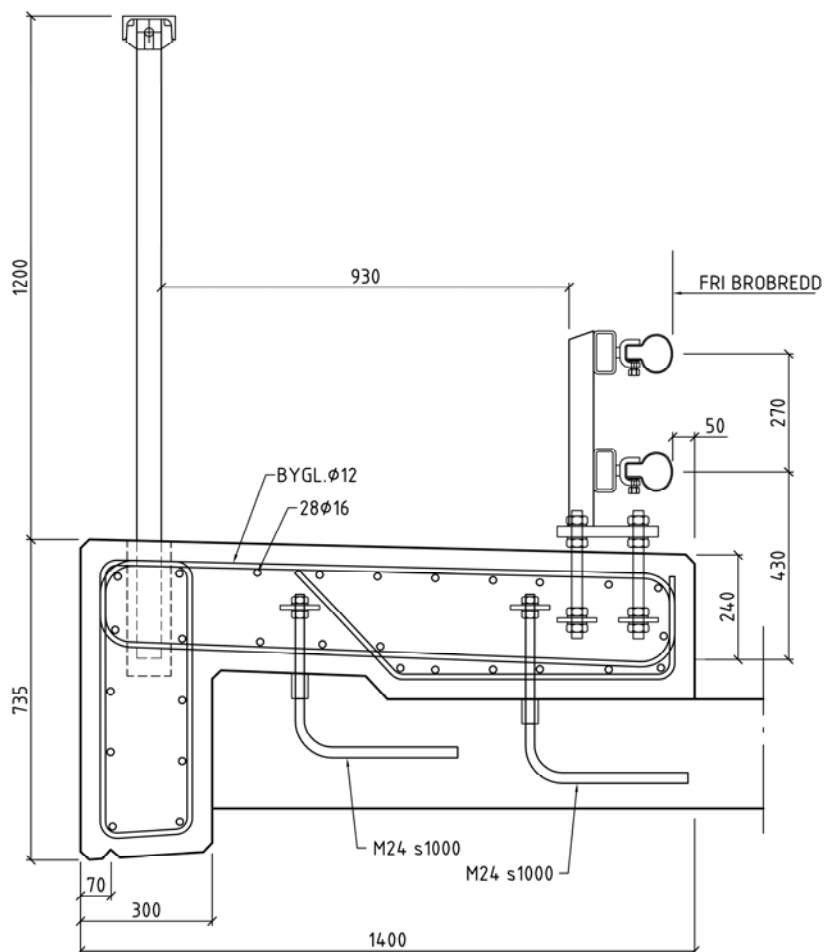
**Övriga kommentarer/frågor**

- Denna typ passar bra på en prefabricerad balkbro med platsgjuten brobana.
- Platsgjuten kantbalk i förväg. Det lyftas senare och brobaneplattan gjuts (Betong som ”kvarsittande form”).
- Vad är den maximala brolängd där denna typ kan användas för? (Undvika skarvar i mellan)
- Gjutfog antas inte som ett problem eftersom storleken har inte mycket betydelse. Om det är så kan kantbalken värmas upp.
- Avsedd för nybyggande i första hand.
- Problem med skarvar mellan balken och kantbalken?
- Infästning mellan kantbalken och balken?
- Jämföra med alternativ #16.

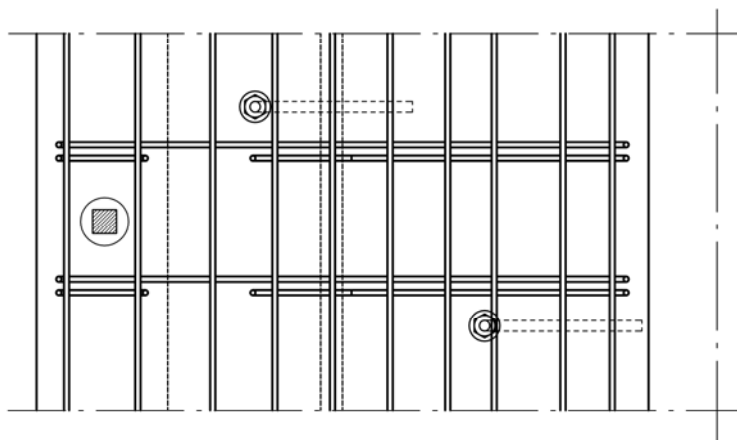
## 5.5 V. Kantbalkar med inspektionsbana

### 5.5.1 Kantbalk typ 17

Brokoppa av den typ som ofta används på kontinenten. Ger plats för gång- eller inspektionsbana. Jämför förslag #13.



Figur 17.1 a) *Kantbalk typ 17, sektion*



Figur 12.1 b) *Kantbalk typ 17, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggningsen)      | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |  |
|--|--|
| - Stöd för beläggning                          | Ja   |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Nej  |
| - Avvattning                                   | Ja   |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja   |
| - Reparationsvänlig                            | Nej (Skarvar gör det svårt att inspektera betong; små ytan reparationer med ”repair mortars”; sprickor som inträffar kan tryckas ihop eller impregneras) |
| - Utbytbar                                     | Ja (Kantbalk utbytes utan skada brobaneplattan med ”high pressure water jetting”).   |
| - Infästning för räcke                         | Nej (det andra räckets måste skruvas fast)   |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell)  |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Dålig (risk att tösalter tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Vanligt vatten       | Dålig (risk att vatten tränger in i skarven mellan brobaneplattan och kantbalken)   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobaneplatta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobaneplattan, sprickriks i innerhörnet) |

**Fördelar**

- Förbättrat utbyte
- Gångbana för inspektioner

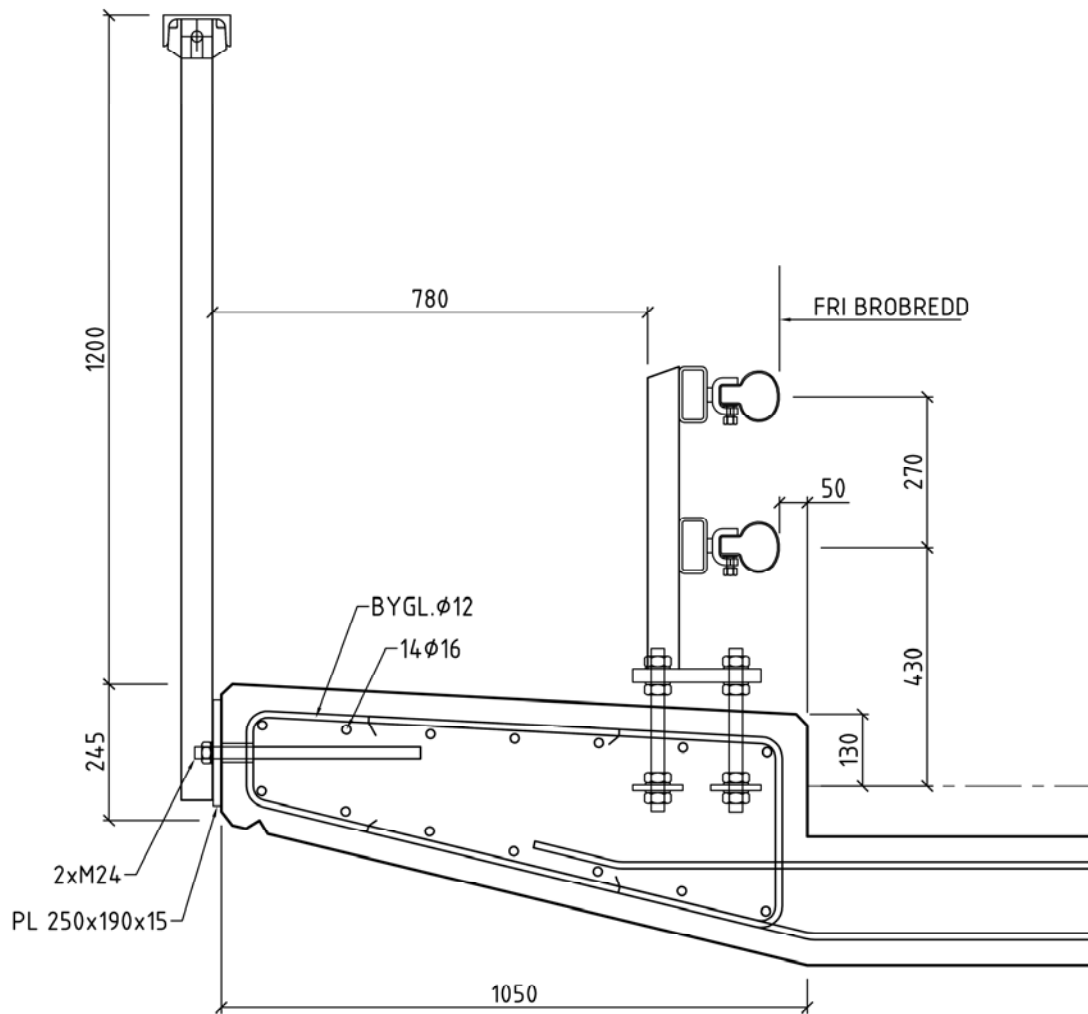
**Nackdelar**

- Skarvar mellan brobaneplattan och kantbalken (underhållsarbete)
- Ökad brobredd, Större kostnader (5-6%)
- Ej lämplig för långa broar (skarvar i mellan)

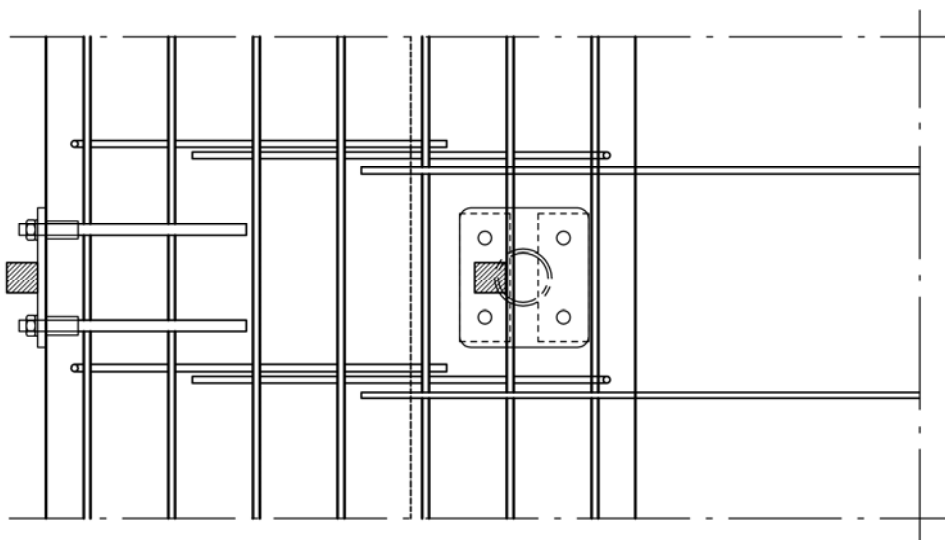
**Övriga kommentarer/frågor**

- Rostfria fästbultar? (Jämför danska erfarenheter)
- Bör skruvarna ha helst lika lång livslängd som brobaneplattan?
- Skarvarna måste hållas täta (annars fås dropp och istappar)
- Svårt med passning?
- Gjuts på plats med ett avskiljande mot överbyggnaden?
- Skadas tätskiktet?
- Jämföra med alternativ #13.
-

### 5.5.2 Kantbalkstyp 20



Figur 20.1 a) *Kantbalk typ 20, sektion*



Figur 20.1 b) *Kantbalk typ 20, plan.*

**Krav enligt TRVK Bro 11**

|                                 |                    |                                 |    |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----|
| B.1.11.1<br>(Droppnäsa)         | Ja                 | G.3.2.6<br>(Beläggnigen)        | Ja |
| B.1.11.2<br>(Förhöjning)        | Ja                 | G.9.1.2.1<br>(Räcke utformning) | Ja |
| D.1.4.1.6<br>(Sprickfördelning) | Ja? (måste provas) | G.9.1.6.5<br>(Ståndare)         | Ja |
|                                 |                    | G.9.1.6.6<br>(Räckesinfästning) | Ja |

**Kraven**

|  |   |
|--|---|
| - Stöd för beläggning                          | Ja  |
| - Ingå i konsolens (eller plattans) bärförmåga | Ja  |
| - Avvattning                                   | Ja  |
| - Trafiksäkerhetsförmåga                       | Ja  |
| - Reparationsvänlig                            | Ja  |
| - Utbytbar                                     | Nej (men livslängden kan vara samma än bron)                  |
| - Infästning för räcke                         | Nej (kan det anpassas till dagens testade räcken?)            |
| - Samhällsoptimal (LCC)                        | Det skulle bero på scenarierna (det måste visas i LCC modell) |

**Fienderna**

|                        |   |
|------------------------|---|
| - Tösalt               | Bra   |
| - Vanligt vatten       | Bra   |
| - Is/frost nedbrytning | Dålig (problem med frostsprängning inträffa)  |
| - Saltkristallisation  | Bra   |
| - Sulfatangrepp        | Bra   |
| - Urlakning            | Bra   |
| - Sprickor             | Dålig (ofrivillig samverkan mellan brobaneplatta och kantbalk kan ge ogynnsam koncentration av sprickor i brobaneplattan, sprickriks i innerhörnet) |

**Fördelar**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| - Förbättrat utbyte         |  |
| - Gångbana för inspektioner |  |

**Nackdelar**

|  |
|--|
| - Ökad brobredd, Större kostnader (5-6%) |
| -  |

**Övriga kommentarer/frågor**

- Räcken installeras i sidan av bron?
- Lämplig för långa broar
- Effektiv droppnäsa?
- Ett sätt att ordna en serviceväg över bron men större egentygnd och ytterligare större moment av egentygnd gör att användningen på befintliga broar är begränsad.
- Gångbana lutas utanför eller innanför

## 5.6 Värdering av de olika förslagen

### 5.6.1 Allmänt

I arbetet inom arbets- och referensgrupp har ett stort antal förslag och varianter studerats och värderats. De förslag som redovisas är sådana som uppfyller eller kan modifierats så att de uppfyller de funktionskrav som ansetts rimliga och lämpliga, såväl med hänsyn till givna krav i bronormerna som med hänsyn arbetsutförande, kostnader m.m.

### 5.6.2 Problem

På en produkt som kantbalkssystemet ställs många krav och flera av dessa krav står i motsats till varandra och att hitta optimala lösningar med de bi- och gränsvillkor som gäller är mycket svårt. Mycket möda har därför lagts ner för att utveckla nya lösningar, men många av dessa förslag har visats sig ha brister av olika slag.

Dyker det upp en ny idé måste den testas såväl när det gäller ekonomi som funktion. Misslyckas man vid ett första försök att prova en ny lösning förkastas ofta den idén, medan man kanske skulle gjort fler något modifierade försök och kanske hade det då visat sig att lösningen hade fungerat. I många andra branscher har man längre serier och det blir då naturligt att man har möjlighet att iterera sig fram till en optimal lösning.

De funktionskrav som visat sig svårast att uppfylla har visat sig vara

- Kantbalkssystemets beständighet mot påverkningar från miljö och fysisk påverkan
- Räckets integration med kantbalken eftersom utveckling av räckan som uppfyller krocksäkerhetskrav kräver fullskaleprovning.
- Tillverkning och byggande av kantbalkar är arbets- och därmed kostnadskrävande, och lösningar som kanske teoretiskt skulle fungera kan ofta bli dyra att bygga.
- ... (här behöver jag hjälp)
- ... bla bla

I Kapitel 6 studeras 4 olika förslag till lösningar för kantbalkssystemet med LCC-analys. Det har bedömts att dessa 4 förslag någorlunda täcker in möjliga principiellt viktiga varianter.

Utöver att vara ekonomiskt gynnsamma är det troligt att sådana förslag också kräver mindre mängd material och därmed också kan vara miljömässigt gynnsamma eftersom utsläppen av miljöfarliga substanser blir mindre. Stål och betong är ofta miljöbovar då tillverkning och byggande ger upphov till stora miljöskadliga globala substanser.

Det har inte varit möjligt – att inom ramen för detta projekt – studera arbetsmiljö och ergonomi. Man vet att byggande av kantbalkssystemet innebär ogynnsamma arbetsställningar och påfrestningar för rygg och nacke, se **Figur 5.1**. Arbete längs brokanten kräver säkra fallskydd, men under arbetet med att sätta upp skyddsräcken kan farliga situationer uppstå.

Figur 5.1

**Figur 5.1** *Detaljarbete med gjutning av kantbalk. Bro över Mellösasjön.*

Här finns plats för mer text!!??

## 6. Nyttan och kostnad för en konstruktion, LCC-analyser

### 6.1 Allmänt

Det finns många krav på en konstruktion som ingår i den trafiktekniska infrastrukturen. Vi skulle kunna göra följande kravsystematik:

- 1) Hållfasthet
- 2) Ekonomi
- 3) Beständighet
- 4) Miljö
- 5) Uthållig utveckling
- 6) Estetik
- 7) Socialt ansvar

Med utgångspunkt från ovanstående aspekter skulle man kunna gradera vad som kan ingå i begreppet ”optimal konstruktion”.

#### *Hållfasthet och ekonomi*

Kombinerar man de två första två aspekterna 1) och 2) får man den klassiska uppgiften för en konstruktör, nämligen att konstruera en bro med tillräcklig hållfasthet till lägsta investeringskostnad, se **Figur 6.1**.

Eftersom denna arbetsuppgift är konventionell kommer den inte att behandlas mer omfattande i denna rapport. Några idéer kommer dock att presenteras.



**Figur 6.1** *En klassisk uppgift för konstruktörer är att konstruera broar till lägsta anläggningskostnad.*

Vi har inte gjort någon särskild sökning inom detta område när det gäller allmänt om investeringskostnader för broar. I *Sundquist (2011)* ges en del litteraturreferenser, med



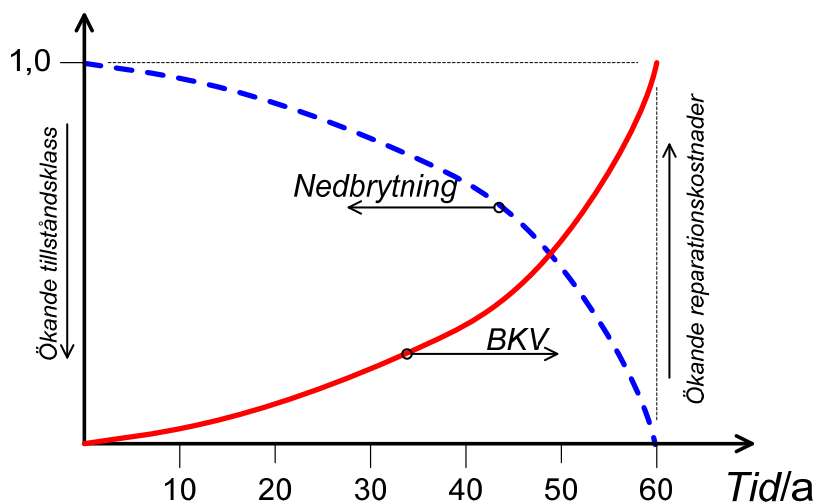
nordisk anknytning, inom detta område. Vägverkets publikationer 1996:63 och 1998:114 presenterar indirekt vilka brotyper som visat sig mest gynnsamma i praktiken.

### *Hållfasthet, ekonomi och beständighet*

Lägger man till kravet 3) ovan får man behov av att analyserna också skall inkludera kostnader för drift, underhåll och reparation under bronns livstid.

Under den senaste 30-årsperioden har mycket möda lagts ner för att studera broars nedbrytning av last och miljö. Detta har lett till att man skapat regler för ökad livslängd för broarna. Ofta har dessa regler givits utan att konsekvenserna beträffande kostnader och övriga bivillkor beaktats.

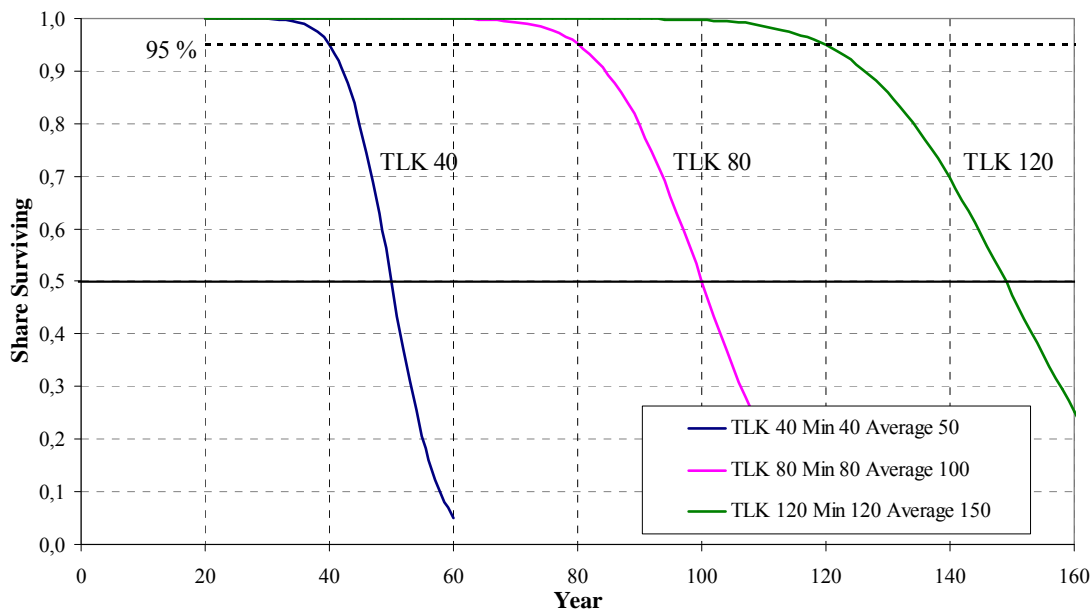
Typiska nedbrytningskurvor för konstruktionselement kan se ut som i **Figur 6.2**. En typisk brobaneplatta kanske har en total livslängd av säg 60 år. Nedbrytningsfarten ökar med tiden och om ingen reparation görs kan själva broplattan vara skadad så att hela systemet brobaneplatta måste bytas ut. Denna process kan också beskrivas i ekonomiska termer, där nedbrytningen beskrivs som kostnaden i ett visst ögonblick för att reparera bron till ”nyskick”. Denna kostnad kan betecknas BKV ”Brist i Kapital Värde” och kan också kallas underhållsskuld. På något intuitivt sätt är en BKV kurva inversen av nedbrytningskurvan.



**Figur 6.2** *En produkt utsatt för olika typer av påverkningar kommer med tiden att brytas ner. Detta kan mätas dels som just "nedbrytning" men också mätas som kostnaden att reparera produkten till "nyvärde". Den kostnaden brukar kallas brist i kapitalvärde BKV.*

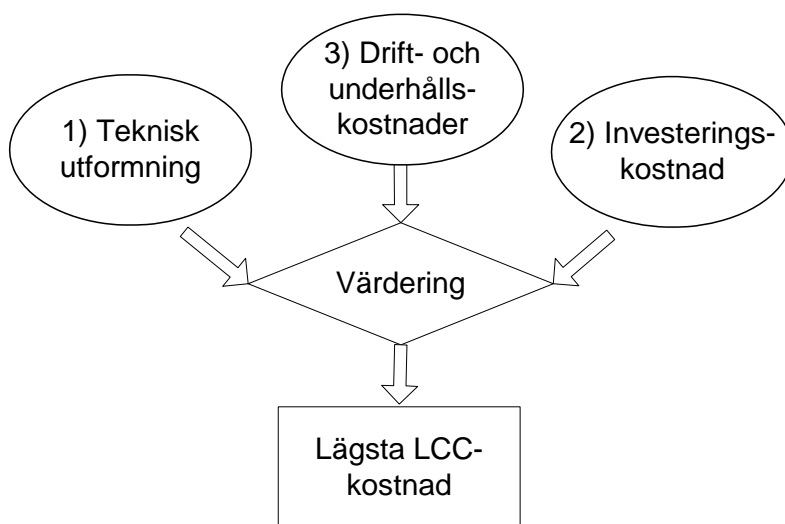
Ett viktigt och ofta missbrukat begrepp är ”livslängd”. Krav på livslängd brukar anges i standarder som fixa tal. Så kan det naturligtvis inte vara utan verkliga livslängder har naturligtvis en statistisk spridning på samma sätt som last och hållfasthet.

Ett rimligt synsätt är att ange krav på livslängd som den nedre percentilen av en fördelningskurva på ungefär det sätt som illustreras i **Figur 6.3**.



**Figur 6.3** En möjlig metod för definition av begreppet livslängd. Naturligtvis handlar det om tänkta fördelningar för en större population av broar eller broelement.

Ekonomisk värdering av broar med hänsyn till deras hela livslängd brukar kallas *LCC*<sup>1</sup> (livscykelkostnad).



**Figur 6.4** I en *LCC*-analys värderar man in kostnader för framtida drift, underhåll och rivning av bron.

En *LCC*-analys av enklare slag innebär att man till investeringskostnaderna adderar kostnader för drift och underhåll, se **Figur 5.3** och **Figur 5.4**. Vanligtvis nuvärdesberäknas alla framtida kostnader och kostnad för rivning till tidpunkten för investeringen enligt ekv. (5-1)

<sup>1</sup> I denna rapport skiljer vi på *LCC*, d.v.s. livscykelkostnad och *LCI* livscykelintäkt.

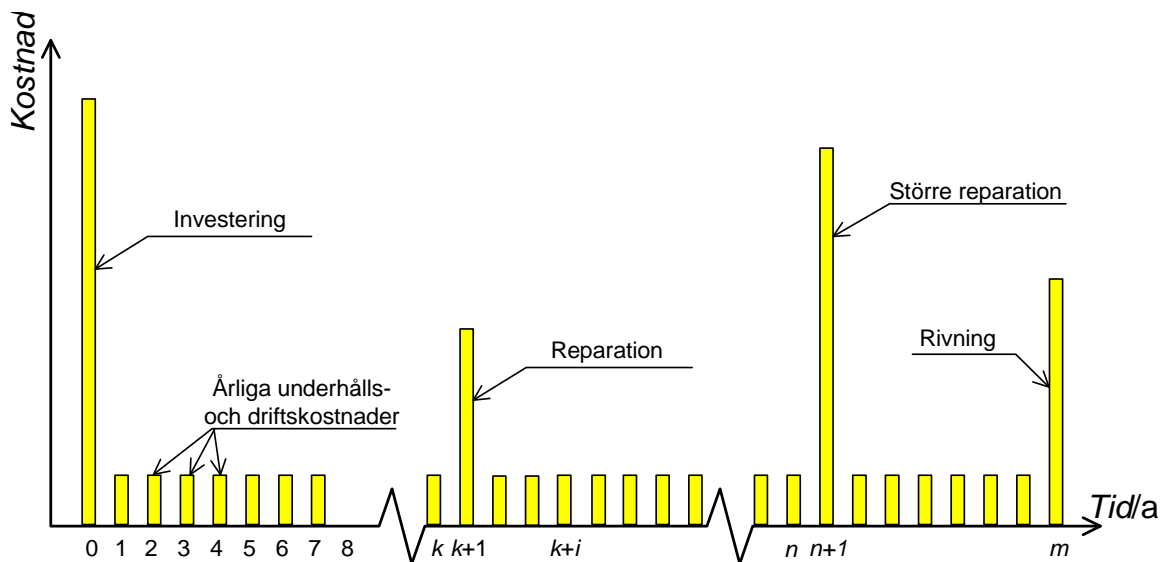
$$LCC = \sum_{i=0}^L f_i C_i \quad (6-1)$$

I ekv. (5-1) är  $C_i$  den årliga kostnaden från investeringsåret år  $0^2$  inklusive den totala investeringskostnaden till rivningsåret  $L$  och  $f_i$  nuvärdesfaktorn som beror på den aktuella kalkylräntan.

Om man säkert vet vilken livslängd som man önskar och man känner nedbrytningsförloppet, t.ex. som det visas i **Figur 5.4** blir beräkningarna ganska enkla och rakt på sak. I en sådan LCC-kostnad finns möjlighet att välja material som håller hela livslängden eller att välja lösningar som innebär utbyte av delar och material under den tilltänkta livslängden. Exempel på referenser ges i *Jutila & Sundquist (2007)* och *Solokangas (2009)*.

I *Troive (1998)* diskuteras optimering även av livslängden utifrån nedbrytningsmodeller för i bron ingående material.

En viktig fråga är vilka livslängder som ska appliceras vid beräkning av livstidskostnaden. Denna fråga är nära kopplad till samhällsutvecklingen och de förändringar som kan förväntas. I den brotekniska litteraturen finns denna fråga inte mycket diskuterad. Den enda litteratur där denna fråga diskuterats kopplat till konstruktion av broar är *Troive (1998)*. Vanligtvis antas broars livslängd given och bestämd i normer och liknade, men i trafikverkets anvisningar anges olika livslängder för olika brotyper, men på vilka grunder dessa ska bestämmas diskuteras inte mer i detalj och dessutom måste man på något sätt ta hänsyn till en rimlig variation av den livslängd som bör inarbetas i kalkylen.



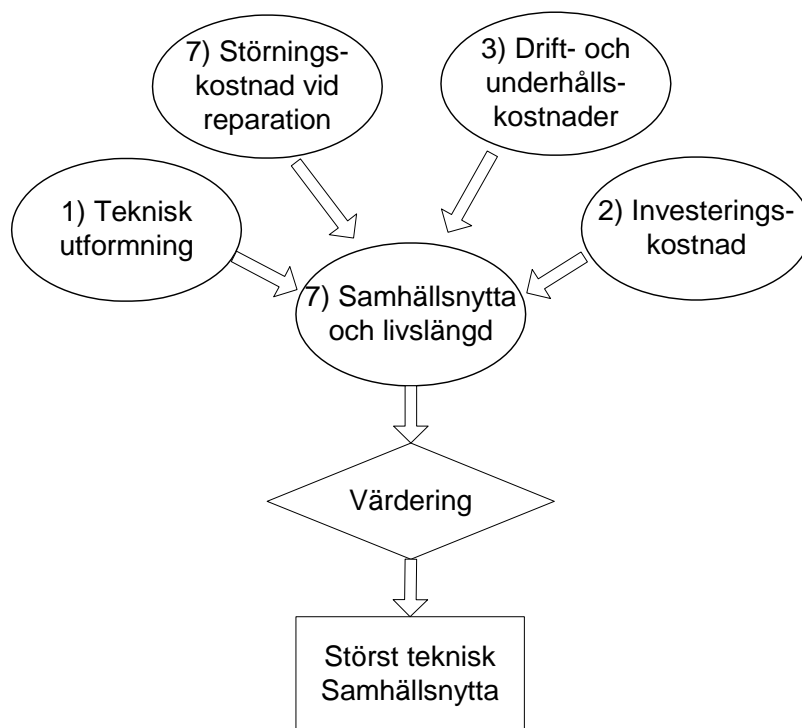
**Figur 6.5** I en traditionell LCC-analys för en bro räknar man ihop alla kostnader, t.ex. investering, drift, underhåll, reparation och rivning, som uppstår för bron under hela dess livslängd. Vanligen diskonterar man dessa kostnader med hjälp av nuvärdesanalys till investeringstidpunkten.

<sup>2</sup> Schematiskt och för pedagogikens skull tänker vi oss analysen baserad på hela år. I verkligheten är ju många av delarna i denna typ av analys bråkdelar av år.

LCC-analys av broar kommer att behandlas i en särskild förstudie och diskuteras därför ej mer djupgående i denna rapport.

**Hållfasthet, ekonomi, beständighet och trafikstörningar**

Vid ombyggnader uppstår störningar för den trafik som bron är till för att betjäna. Dessa kostnader kan bli mycket stora. Normalt ingår dock inte dessa kostnader i förutsättningarna, eftersom de uppstår utanför den organisation som ansvarar för byggandet av bron. Naturligtvis är denna typ av kostnader beroende av många faktorer som kan vara mycket svåra att beakta i samband med projekteringen av en ny bro. Prissättning av samhällskostnader blir i mångt och mycket en politisk fråga där värdering av olika faktorer beror på ur vilket synsätt de betraktas. Enkla analyser som t.ex. jämförelser mellan olika alternativ vid ombyggnad är dock fullt möjliga att utföra direkt.



**Figur 6.6** Läger man utöver krav på lägsta LCC även till kostnader för trafikstörningar, minskad tillgänglighet och liknade får man ytterligare variabler att beakta.

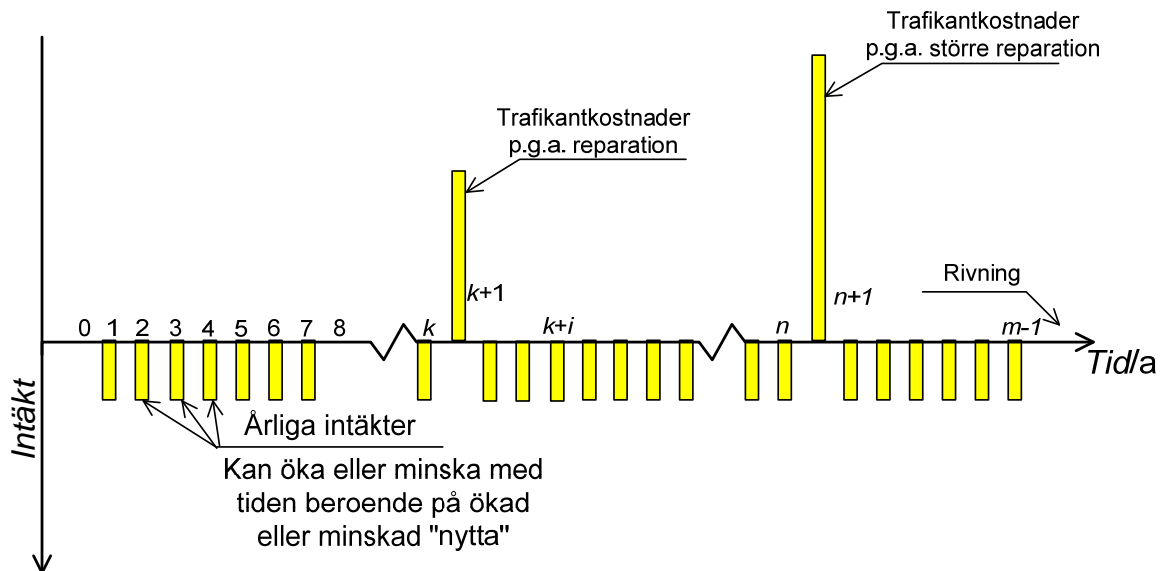
Principen vid hänsynstagande till trafikantstörningar och liknade är att man på liknade sätt som vid bestämning av LCC-kostnad tar fram en livscykelintäkt, LCI, se **Figur 6.7**.

Livscykelintäkten kan t.ex. skrivas

$$LCI = \sum_{i=1}^{L-1} f_i I_i \tag{6-2}$$

I ekv. (6-2) är  $I_i$  den årliga intäkten från öppningsåret för vägen med tillhörande bro och till det sista året  $m - 1$  då bron är i drift. Trafik- och andra störningar insätts i analysen med negativa värden.  $f_i$  är nuvärdesfaktorn som beror på den aktuella kalkylräntan.

En bro är till för att betjäna trafiken. Detta kan tolkas som en intäkt för samhället och ekonomin för detta beräknas med hjälp av s.k. samhällsekonomiska kalkyler. I "samhällsnyttan" kan man inkludera en lång rad faktorer utöver de rent tekniskt-ekonomiska aspekterna såsom kulturella, sociala och estetiska negativa eller positiva värden.



**Figur 6.7** En bro är till för att betjäna trafiken. Uppstår reparationsbehov minskar intäkterna och trafikantstörningar uppstår som ger negativa bidrag i den samhällsekonomiska kalkylen.

Behöver bron repareras uppstår störningar som dels kan tolkas som minskad samhällsintäkt under reparationstiden eller sett från trafikanterna synpunkt som en störning. Olika metoder för denna typ av beräkningar finns. Finns bron på plats och fungerar på avsett sätt, men reparationen medför störningar och dessa störningar värderas ur trafikanternas synpunkt uppstår mycket höga kostnader för trafiken och samhället.

Nuvärdesfaktorn  $f_i$  överför en framtida kostnad eller intäkt till invigningsåret. Denna beräknas enligt formeln

$$f_i = \frac{1}{(1+r)^i} \quad (6-3)$$

I ekv. (6-3) är  $r$  en ränta med vilken nuvärdet ska bedömas.

Sett strikt ekonomiskt och under stationära förhållanden kan denna ränta ( $p$ ) baseras på den s.k. realräntan som utgör skillnaden mellan den ränta man får betala för lån på lång sikt, den s.k. 'långa räntan' ( $r_L$ ) minus inflationen ( $r_i$ ) mätt i procent. Vi erhåller då

$$r = r_L - r_i \quad (6-4)$$

Nu är dock inte förhållandena stationära eftersom värdet för vår konstruktion ändras med tiden. Ändringen kan vara både positiv och negativ. Den blir positiv om bron med tiden får ökad nytta genom att mer trafik använder vår bro. Nyttoförändringen kan dock vara negativ om vi byggt bron och vägen på fel plats, i de fall då samhällsutvecklingen bäst skulle gynnas av en bro på annan plats eller byggd på annat sätt. Normalt har vi dock att räkna med ökad nytta med tiden. Denna ökade nytta sätter vi ett räntevärde ( $p_0$ ) i procent. Vi får då

$$r = r_L - r_i - r_0^3 \quad (6-5)$$

och där således sammanfattningsvis

- $r_L$  är ränta på långa lån,
- $r_i$  är inflationen samt där
- $r_0$  är den ökade eller minskade nytta (mätt i %) som konstruktionen medför. Vi kan t.ex. tänka oss att trafiken ökar med någon viss procent per år och att vår konstruktion därmed blir mer värdefull med tiden.

Vanligtvis brukar man vid kalkyler sätta in,  $r_i$ , som den allmänna inflationen i samhället t.ex. beräknad som nettoprisindex. Kostnaderna inom byggområdet visar sig dock öka snabbare än kostnaderna generellt i samhället. Detta betyder att en högre ”inflation” kanske ska användas i LCC-kalkyler för anläggningsprojekt. Å andra sidan kräver Riksdagen i Sverige att Trafikverket ska ha en ökad produktivitet över tid. Detta skulle i så fall öka den ränta som ska tillämpas.

Tar man hänsyn till vad som nämnts ovan, så bör man använda ett begrepp som skulle kunna kallas ’kalkylränta’ och kan i en del sammanhang bestämmas med utgångspunkt från politiska eller andra samhällsliga mål.

## 6.2 Syfte

Målet är att skapa en omfattande livscykelkostnadsmodell för att:

- Värdera *LCC* för varje kantbalkstyp för hela brons livslängd.
- Jämföra olika kantbalkstyper i syfte att kunna hjälpa beslutsfattare att avgöra vilken typ som är den mest samhällsoptimala lösningen för varje brofall.
- Kunna identifiera de faktorer som ger skillnad mellan olika typer av kantbalkar och visa hur deras värde kan påverka resultaten.
- Visa hur olika underhållsstrategier kan påverka den totala *LCC*. En strategi där kontinuerligt underhåll utförs ska också redovisas.

---

<sup>3</sup> Kanske uttrycken för real- och kalkylräntan ska divideras med faktorn  $(1 + p_i)$  för att få ett teoretiskt mer riktigt uttryck. Med hänsyn till osäkerheten i bestämningen av realräntan är denna korrektion onödig.

- Uppskatta livscykelkostnaderna för en lösning där rostfritt stål används i den integrerade platsgjutna kantbalken.
- Uppskatta hur förbättring av arbetsmiljö och byggteknik inverkar på den totala *LCC*.

## 6.3 Livscykelkostnader för ett broelement

### 6.3.1 Definitioner

För en viss konstruktion är livscykelkostnad (*LCC*, *Life-cycle Cost*) normalt totalkostnaden för en viss konstruktion under hela dess livslängd, från det att den börjar projekteras eller byggs till dess den slutligt tas ur bruk eller man gör sig av med den. Livscykelkostnadsanalys (*LCCA*) är det verktyg eller en metod som brukar användas för att värdera en struktur och kunna jämföra med övriga utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

*LCC* består ofta av fyra delar:

- Beställarkostnader
- Användarkostnader
- Samhällskostnader
- Kostnader som uppstår för, det extremt osannolika fallet, att konstruktionen havererar

Summan av de olika delarna livscykelkostnaderna för t.ex. ett broelement byggs upp av olika delarna enligt ovan enligt Ekv. (6-6)

$$LCC_{\text{struktur}} = LCC_{\text{beställare}} + LCC_{\text{användare}} + LCC_{\text{samhällskostnader}} + LCC_{\text{haveri}} \quad (6-6)$$

Eftersom arbetet fokuseras på kantbalkar antas att inverkan av haverikostnaderna är obetydlig.

#### *Övriga frågor i en LCC-analys*

I Avsnitt 6.1 diskuteras fler faktorer som skulle kunna ingå i en *LCC*-analys av kantbalkar, t.ex. miljöfrågor, estetik, sociala frågor och uthållig utveckling. Eftersom denna rapport endast handlar om en del av en bro, så väljs att endast beakta de fyra första delarna i Ekv. (6-6).

### 6.3.2 Beställarkostnader

Beställarkostnader (också kallade ägar- eller byggherrekostnader) delas in i investering (*INV*, *Investment*) och livscykelåtgärder (*LCM*, *Life Cycle Measures*). Investering betecknar kostnader för planering och projektering och byggande.

Livscykelåtgärder består av:

- Inspektioner (*INS*, *Inspection*),
- Drift och underhåll (*O&M*, *Operation and Maintenance*),

- Reparation, utbyte och rehabilitering (RRR, Repair, Replacement and Rehabilitation)
- Rivning och återvinning (R&D, Recycling and Disposal).

Eftersom LCM kommer att utföras i framtiden får nuvärdesfaktorn inkluderas för att diskontera dessa kostnader. Därför beräknas beställarkostnader enligt formeln:

$$LCC_{\text{beställare}} = INV + LCM = I_0 + \sum_{t=0}^L \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (6-7)$$

- $I_0$  (INV) är investeringskostnaden
- $C_t$  är totalkostnaden av LCM vid tiden  $t$
- $r$  är räntan som avser ränta på långa lån, inflationen och den ökade eller minskade nytta som konstruktionen medför.
- $L$  är den förväntade livslängden för konstruktionen.

**Figur 6.5** visar principiellt kostnader som beräknas i en traditionell LCC-Analys som sker under bronns livslängd:

### 6.3.3 Användarkostnader

Användarkostnader (också kallade trafikantkostnader) inkluderar kostnader kopplade till trafikanter (förseningar och fordonsdrift), obekvämheter och andra ökade risker. I analysen kommer endast kostnaderna relaterade till trafikanter att inkluderas.

$$LCC_{\text{användar}} = C_{\text{förseningar}} + C_{\text{fordonsdrift}} \quad (6-8)$$

Kostnaderna för förseningar ( $TDC$ , Traffic Delay Cost) beräknas enligt:

$$LCC_{\text{förseningar}} = \sum_{t=0}^L T_f \cdot ADT_t \cdot N_t (r_L w_L + (1-r_L)w_P) \frac{1}{(1+r)^t} \quad (6-9)$$

$T_f$  är den förväntade restidsförseningen i händelse av vägarbete som kan beräknas enligt

$$T_f = \left( \frac{S}{v_r} - \frac{S}{v_n} \right) \quad (6-10)$$

och  $ADT_t$  är årsdygnstrafiken vid tiden  $t$  som kan beräknas enligt

$$ADT_t = ADT_0 (1+r_{tg})^{(Year_t - Year_0)} \quad (6-11)$$

I Ekv. (6-9) – Ekv. (6-11) är

$ADT_0$  (fordon/dygn) är årsdygnstrafiken vid tiden  $t = 0$

$r_{tg}$  är trafiktillväxt



$Year_t$  är det år då  $ADT$  ska beräknas

$Year_0$  är det år då  $LCC$ -kalkylen görs

$r_L$  andelen lastbilar

$w_L$  (SEK/h) är tidskostnad för lastbil

$w_P$  (SEK/h) är tidskostnad för personbil

$N_t$  är antal dagar då åtgärder,  $LCM$ , måste göras

$S$  (m) är den vägsträcka som berörs av åtgärder,  $LCM$

$v_r$  (m/s) är den reducerade farten vid vägarbetet

$v_n$  (m/s) är den normala farten vid det aktuella vägarbetet

Kostnaderna för fordonsdrift ( $VOC$ , *Vehicle Operation Cost*) beräknas enligt:

$$C_{\text{fordonsdrift}} = \sum_{t=0}^L T_f \cdot ADT_t \cdot N_t \cdot (r_L O_L + (1 - r_L) O_P) \frac{1}{(1+r)^t} \quad (6-12)$$

$O_L$  (SEK/h) är genomsnittlig driftskostnad för lastbil inklusive dess varuproduktion

$O_P$  (SEK/h) är genomsnittlig driftskostnad för personbil

### 6.3.4 Samhällskostnader

Samhällskostnader avser olyckor, miljöpåverkan, användning av icke-förnybart material och övriga relaterade frågor. Eftersom dessa frågor är mer lämpliga att analysera i en livscykelanalys (LCA, Life-Cycle Assessment) ska endast olyckskostnader inkluderas och de kommer att rymmas in under användarkostnader. De beräknas enligt formeln:

$$LCC_{\text{samhälls}} = \sum_{t=0}^L S \cdot ADT_t \cdot N_t \cdot C_{\text{acc}} \cdot (A_r - A_n) \frac{1}{(1+r)^t} \quad (6-13)$$

- $S^4$  (km) är den drabbade vägbanans längd [km]
- $C_{\text{acc}}$  (SEK/olycka) är samhällskostnaden för en olycka
- $A_r$  (olycka/fordonskilometer) är olycksfrekvens under ett visst arbete
- $A_n$  (olycka/fordonskilometer) är olycksfrekvens under normala förhållanden

---

<sup>4</sup> Observera att enheten har bytts ut för att ansluta till vanligen använda enheter.

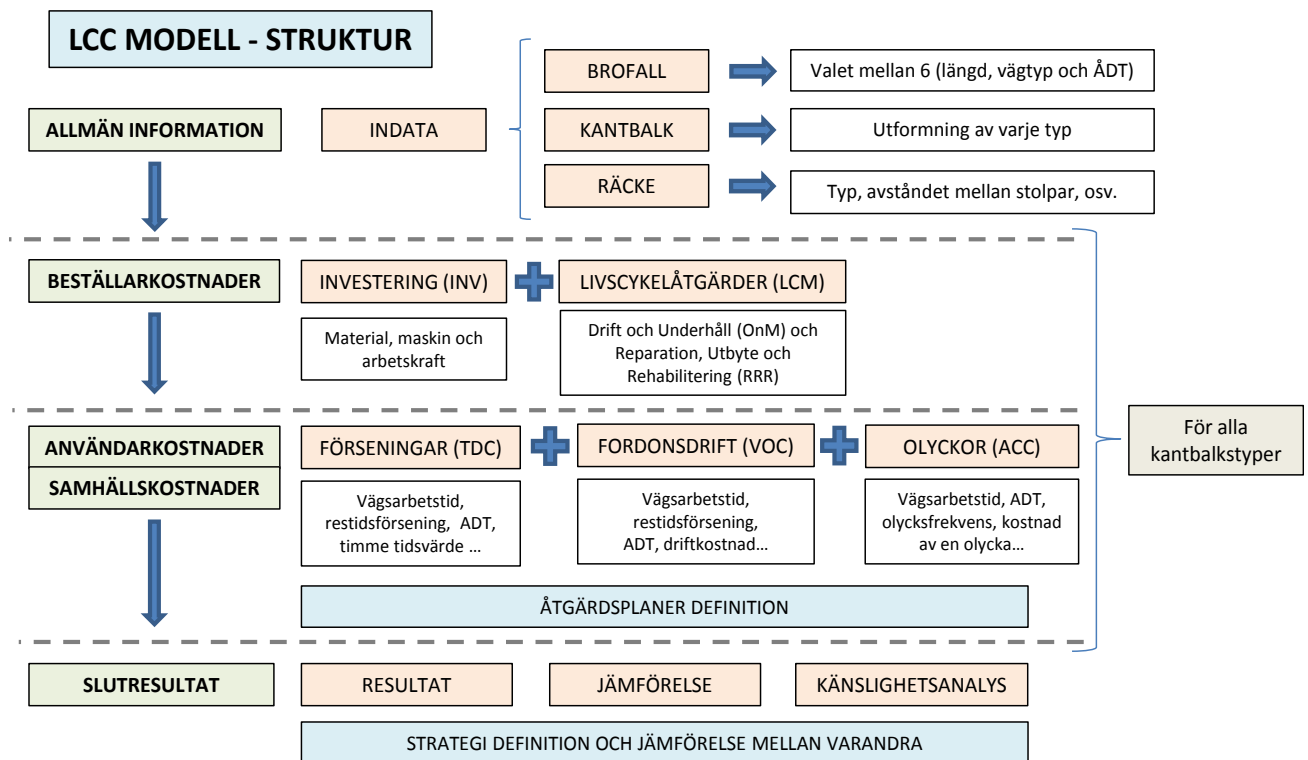
## 6.4 LCC för kantbalkar

### 6.4.1 Metodik och LCC-modellens uppbyggnad

För att kunna göra en omfattande analys ska alla broar först kategoriseras enligt de vanligast förekommande brofallen i Sverige enligt vissa parametrar som presenteras längre fram i Avsnitt 6.5. Sedan ska utformningen av kantbalkstypen definieras utifrån ett alternativ som anses representativt för varje kantbalksgrupp, se Avsnitt 6.6. Antaganden och begränsningar presenteras i Avsnitt 6.7. Därefter presenteras LCC-beräkningar avseende beställar- och användarkostnader i Avsnitt 6.8. Slutligen visas resultaten och en jämförelse görs mellan olika kantbalkstyper och brofall vilket presenteras i Avsnitt 6.9. Under arbetet visas påverkan i värdena av vissa faktorer som anses viktiga, vilket visas i en känslighetsanalys. En definierad strategi baserad dels på verklig information, dels på antagande ska tillämpas i varje kantbalkstyp. Olika strategier redovisas längre fram i syfte att kunna se påverkan av strategisvalet, se Avsnitt 6.10). En studie om användningen av rostfritt stål och påverkan på totala LCC av byggteknik och arbetsmiljö visas längre fram i Avsnitt 6.11 och Avsnitt 6.12.

LCC-modellen integreras i ett Excel-baserat program och dess struktur framgår av **Figur 6.8**.

För mer information om modellen hänvisas till *Veganzones (2014)*.



**Figur 6.8** LCC-modellens struktur. Först introduceras indata för val av brofall, kantbalks- och räckesutformning. Sedan utförs LCC-beräkningar i form av Beställarkostnader som delas in i Investering och Livscykelåtgärder och Användarkostnader som delas in i Förseeningar, Fordonsdrift och Olyckor. Slutligen redovisas resultaten och en jämförelse görs mellan tillämpningen av kantbalkstyperna för varje brofall. Känslighetsanalys för vissa faktorer presenteras.

























## 6.5 Brofall

LCC-analysen påverkas av om kantbalken bl.a. finns på en kort eller lång bro, vägtypen samt om det är stor trafik på bron. Här introduceras begreppet ”brofall”. I denna rapport har valts att dela in fallen i tre klasser

- Brolängd: korta broar (10-15 m) och långa broar (100 m - 200 m)
- Vägtyp: en eller två körfält i vardera riktningen
- Stadsområde eller ej stadsområde: hög eller låg daglig trafik

Den valda indelningen innebär att det blir 6 brofall som studeras. Alla 6 brofall som beaktas visas i **Tabell 6.1**.

**Tabell 6.1** Studerade brofall som avses täcka in vanligen förekommande situationer för kantbalkar.

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| <b>BROFALL 1</b>  |   |   | Väg E45 – Åsarna (Jämtlands län)   |
|    |    |    |    |
| Kort bro<br>(10-15 m)   | Vägartyp 1<br>V2,0+K3,5+K3,5+V2,0   | Ej stadsområde<br>Låg ÅDT (5000 f/d)  |  |
| <b>BROFALL 2</b>  |   |   | Väg 249 – Fellingsbro (Örebro län)   |
|    |    |    |    |
| Lång bro<br>(10-15 m)   | Vägartyp 1<br>V2,0+K3,5+K3,5+V2,0   | Ej stadsområde<br>Låg ÅDT (5000 f/d)  |  |
| <b>BROFALL 3</b>  |   |   | S Kungsvägen – Lidingö (Stockholms län)  |
|   |   |   |   |
| Kort bro<br>(10-15 m)   | Vägartyp 1<br>V2,0+K3,5+K3,5+V2,0   | Stadsområde<br>Hög ÅDT (20000 f/d)  |  |
| <b>BROFALL 4</b>  |   |   | Mariebergbron (Stockholms län)   |
|  |  |  |  |
| Kort bro<br>(10-15 m)   | Vägartyp 1<br>V2,0+K3,5+K3,5+V2,0   | Stadsområde<br>Hög ÅDT (20000 f/d)  |  |
| <b>BROFALL 5</b>  |   |   | Väg 73 – Haninge (Stockholms län)  |
|  |  |  |  |
| Kort bro<br>(10-15 m)   | Vägartyp 2<br>V2,0+2K3,5+M2,5+2K3,5+V2,0  | Stadsområde<br>Hög ÅDT (40000 f/d)  |  |
| <b>BROFALL 6</b>  |   |   | Väg 50 – Karlslundsgatan (Örebro län)  |
|  |  |  |  |
| Kort bro<br>(10-15 m)   | Vägartyp 2<br>V2,0+2K3,5+M2,5+2K3,5+V2,0  | Stadsområde<br>Hög ÅDT (40000 f/d)  |  |

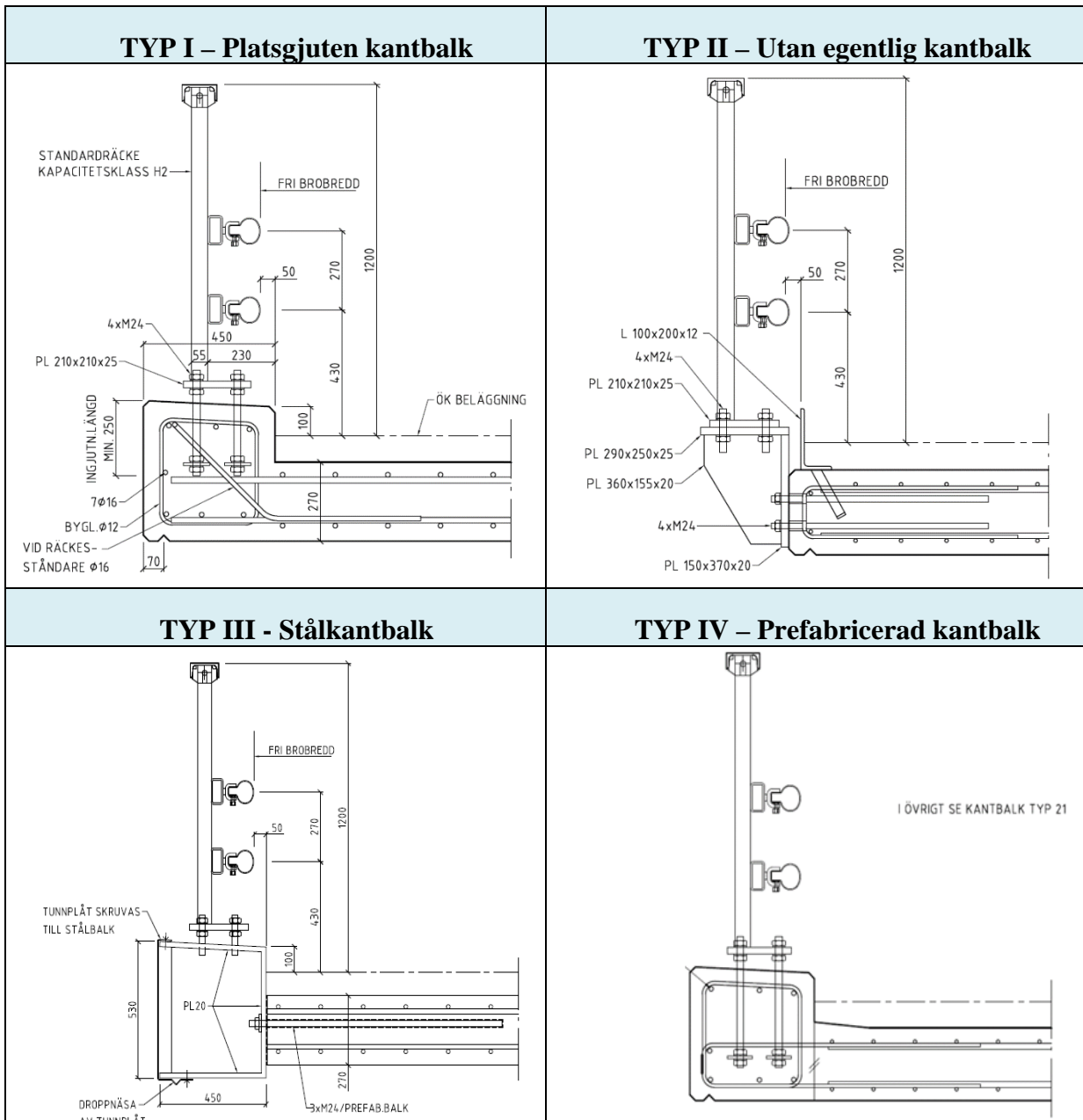
Det finns naturligtvis flera fall som skulle kunna anses vara representativa, men dessa har beslutats inte vara representativa för arbetet eftersom deras förekomst inte är så vanlig i Sverige, till exempel lång eller kort bro med två körfält i vardera ritningen med låg daglig trafik. Dock kan man redigera modellen för att se hur resultaten skulle se ut i de andra brofallen.

## 6.6 Kantbalkstyper

Alla förslag i kantbalksgruppen grupperades i 5 olika typer:

- I. Platsgjutna kantbalkar
- II. Utan egentlig kantbalk
- III. Stålkantbalkar
- IV. Prefabricerade kantbalkar
- V. Kantbalkar med inspektionsbana

Kantbalkstyp V beaktas inte eftersom den kan antas vara en variation av de övriga förslagen. I det här arbetet har valts att välja ut ett förslag av varje typ I – IV, som ansetts vara representativt för respektive typ, se **Figur 6.9**.



**Figur 6.9** Kantbalkstyper som ska värderas i -analys. Alternativ 21 representerar Typ I platsgjuten kantbalk, alternativ 3 Typ II utan egentlig kantbalk, alternativ 24 Typ III stålkantbalk och alternativ 11 Typ IV prefabricerad kantbalk.

Den prefabricerade kantbalken som ska tas fram ska byggas på förhand och sedan lyftas till formen där brobaneplattan senare ska gjutas. På så sätt kommer den slutligen att stå som en platsgjuten kantbalk under hela bronns livslängd. Man kan se ett exempel i bron i Askersund som beskrivs närmare i *Kelindeman (2014)* och *Duran (2014)*.

## 6.7 Antaganden och begränsningar

Följande antaganden har gjorts:

- Analysen fokuserar enbart på vägbroar.

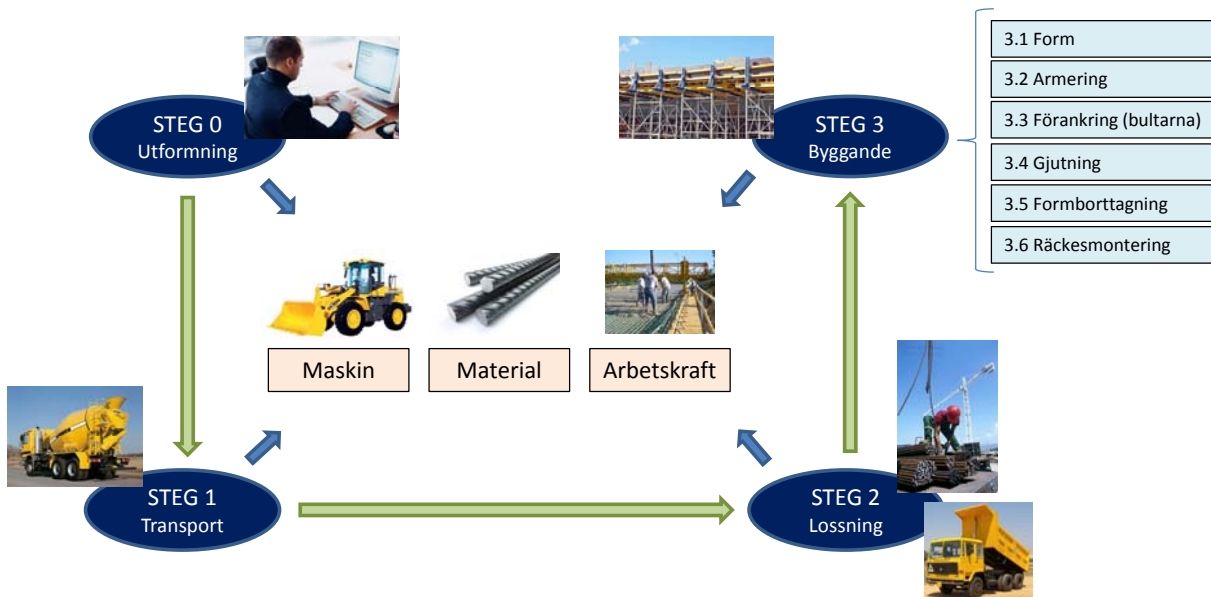
- Kantbalken byggs ny från början samtidigt med bron. Därför är kantbalksutbyte på en befintlig bro inte en del av projektet. Alla kantbalkar byggs samtidigt med broarna. Däremot ingår naturligtvis framtida kantbalksutbyte på de nya broar som studeras.
- Brolivslängden är 120 år. Det här valet påverkar inte märkbart resultaten eftersom det i beräkningarna förutsätts att pengarnas värde diskonteras. Det innebär att de åtgärder som sker i slutet av bron livslängd är av mindre betydelse än de ”tidiga” åtgärderna.
- Kantbalkslivslängden beror inte på *ÅDT*. Det skulle kunna antas att det finns ett samband mellan de två parametrarna eftersom sannolikheten att kantbalken skulle kunna försämrats ökar för broar med högre *ÅDT*. Detta på grund av ökad sannolikhet för att en olycka händer, större mängd salt används, ökad mängd vatten skvätter, o.s.v. Dock är det svårt att ta hänsyn till detta faktum eftersom alla dessa processer samverkar och påverkar varandra och det finns ännu inte ett lämpligt sätt som skulle kunna tillämpas för LCC-analys, *Karoumi (2012)*. Därför antas att kantbalkslivslängden är densamma oavsett *ÅDT*. På samma sätt har det antagits att kantbalkslivslängden inte ska bero på vägtyp.
- Alla kantbalksförslag antas att vara säkra avseende belastningsmotstånd. Således ska endast kostnader hanteras.
- Kantbalkssystemets element som inkluderas i modellen är kantbalken själv och räckena. Tätskikt ska beaktas för att välja och definiera de livscykelåtgärder som utförs. Detta förklaras längre fram.
- Estetiska frågor beaktas inte som tidigare nämnts.
- En begränsning av det här arbetet är att 6 olika brofall beaktas i den här analysen. De anses vara typiska för majoriteten av broar i Sverige. Dock skiljer det sig från bro till bro och för specifika fall skulle man kunna behöva utföra en noggrannare analys. På samma sätt har de 4 olika kantbalkstyper som analyseras antas vara representativa i varje grupp tagits fram under arbetet av 21 förslag. I båda fallen kan man använda LCC-modellen och redigera brofall och kantbalksutformning för att nå de önskade resultaten i resp. speciellt fall nås.

## 6.8 LCC-Modell

### 6.8.1 Del 1: Ägarkostnader

#### 6.8.1.1 Investeringskostnader

Kantbalkarnas investeringskostnader för kantbalkstyper I och IV har uppskattats enligt verkliga data tagna från broarna beskrivna i *Kelindeman (2014)*. Eftersom typ II och III inte har byggts ännu har data extrapolerats från dessa. Följande steg kommer att beaktas: utformning, transport, lossning och byggande. Byggande kan bestå av form, armering, förankring av bultarna, betonggjutning, formborttagning och räckesinstallation. Alla stegen delas in i material-, maskin- och arbetskraftskostnader se **Figur 6.10**.



**Figur 6.10** Figuren beskriver schematiskt de olika steg som tillämpats för att analysera investeringskostnaderna i LCC-kalkylen.

Mer detaljerad information om varje steg avseende maskin, material och arbetskraft och hur investeringskostnader beräknas kan hittas i *Veganzones (2014)*.

### 6.8.1.2 Livscykelåtgärder

Livscykelåtgärder (LCM, Livscykelåtgärder) delas in i Inspektion (INS, Inspection), Drift och Underhåll (O&M, Operation and Maintenance), Reparation, Utbyte och Rehabilitering (RRR, Repair, replacement and rehabilitation) och Rivning och återvinning (R&D, Recycling and disposal). Eftersom inspektioner utförs på samma sätt för alla broar ska dessa inte beaktas i analysen. De åtgärder som beaktas i analysen redovisas i det följande.

#### *Drift och Underhåll (O&M)*

- Rengöring från salter, grus och sand som antas göras varje år
- Borttagning vegetation, vilket antas göras vartannat år

#### *Reparation, Utbyte och Rehabilitering (RRR)*

- Impregnering
- Betongreparation
- Kantbalksutbyte
- Ommålning av stål
- Räckesåtgärder, t.ex. ommålning, justering och utbyte av navföljare, stolpar och fotplattor
- Övriga åtgärder



Mer detaljerad information om när varje åtgärd ska utföras och hur lång tid det ska ta redovisas i *Veganzones (2014)*. De åtgärder som medtagits antas vara de viktigaste, men om man vill inkludera andra åtgärder för Drift och Underhåll, och Reparation, Utbyte och Rehabilitering till finns möjligheter i modellen att göra det.

### Rivning och Återvinning (R&D)

Rivning och återvinning antas uppgå till 10 % av investeringskostnaden, *Safi (2012a)*.

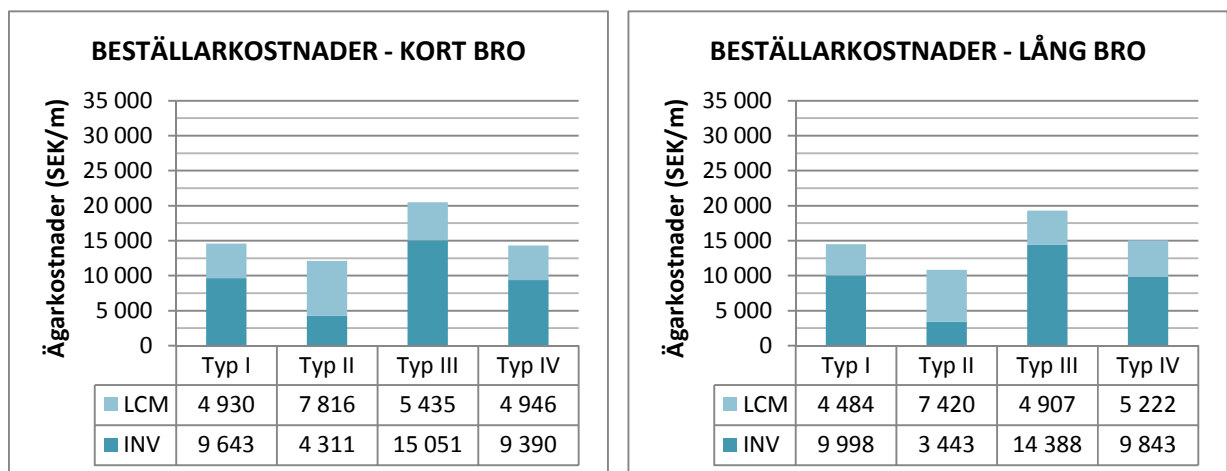
#### 6.8.1.3 Kommentarer

I modellen kan alla åtgärder definieras i termer av sannolikhet för handlings nödvändighet. Med det menas att ett visst arbete inte alltid ska utföras för varje bro. Till exempel ska inte alla kantbalkar i alla broar i Sverige bytas ut. *Safi [6]* föreslår att sannolikheten för att byta ut kantbalken är 20 % efter 50 år. Man kan öka kantbalkens livslängd så att sannolikheten för att den byts ut ökar ända tills 100 % sannolikhet nås. Det innebär att om man exempelvis antar att livslängden i stället är 70 år, skulle man kunna säga att sannolikheten ökar till 50 % eftersom kantbalken skulle vara mer försämrade. Dock förutsätts i den här analysen att åtgärderna kommer att utföras med en sannolikhet av 100 % för att kunna göra en rättvis jämförelse och undvika osäkerheter som skulle göra arbetet mer komplext. Förutom detta ska analysen göras utifrån ett konservativt perspektiv.

Dessutom kan man bestämma om ett visst arbete ska utföras ett fast år eller på ett cykliskt sätt enligt ett definierat intervall. Avseende priserna har alla tagits från BaTMan databas *Trafikverket (2013)* och *Safi (2013b)*.

#### 6.8.1.4 Resultat

I **Figur 6.11** visas totala beställarkostnader i SEK/m som delas in i Investeringskostnader (INV) och Livscykelåtgärder (LCM) för korta (brofall 1, 3 och 5) resp. långa (brofall 2, 4 och 6) broar för de fyra typfallen typer av kantbalkar:



**Figur 6.11** Beställarkostnader dels Investeringskostnader (INV) dels Livscykelåtgärder (LCM) för korta resp. långa broar

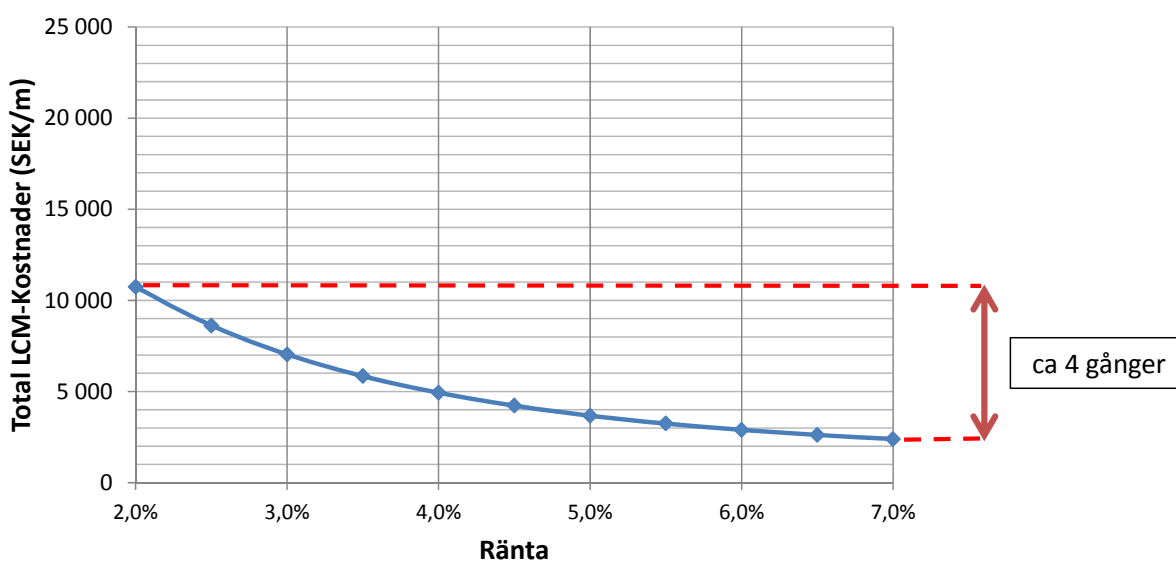
Man kan se att skillnaden mellan de två fallen knappt är märkbar. Den kan förklaras av olika faktorer: maskinen som används är annorlunda, mängden av arbetskraft, livscykelåtgärds-kostnader som beror på längden, o.s.v. Som tidigare nämnts påverkas inte beställarkostnader av *ÅDT* och vägtyp.

*INV* blir den största delen av de totala beställarkostnaderna för typerna I (platsgjutna kantbalkar), IV (prefabricerade kantbalkar) och särskilt III (stålkantbalkar). Dock är *LCM* också en viktig del, vilken kan öka till runt 35 %. Avseende typ II (utan egentlig kantbalk) är *INV* inte så stor som väntat. De består endast av stålstöd, L-stål-profiler och räcken, se **Figur 3.2**. Emellertid blir *LCM* högre på grund av det kontinuerliga underhållet av L-stål-profilerna. De resultaten visar att *LCM* i allmänhet bidrar på ett betydande sätt i alla typerna vilket innebär att man måste ta hänsyn till dem när kantbalkarna utformas.

### 6.8.1.5 Känslighetsanalys

#### *Kalkylräntan (realräntan)*

Som tidigare visats vid beräkning av kostnader för framtida åtgärder diskonteras pengarnas värden genom användning av räntan. Därför utför man ofta känslighetsanalys med den här parametern. Följande graf visar livscykelåtgärds-kostnader när man ändrar räntan från 2 % till 7 % för brofall 1 med kantbalkstyp I, se **Figur 6.12**.



**Figur 6.12** Känslighetanalys avseende realräntan med ett värde som går från 2 % till 7 % för Livscykelåtgärds-kostnader (*LCM*).

Total kostnad för livscykelåtgärder kan öka upp till fyra gånger mer än i det här exemplet. Räntan har ofta ett värde som ligger mellan 3,5 % och 4,5 %. Räntan, den s.k. realräntan, beror på räntan på långa lån, inflationen samt den ökade eller minskade nytta som konstruktionen medför. Vanligtvis brukar man vid kalkyler bestämma inflationen på samma sätt som den bestäms i samhället, t.ex. beräknad som nettoprisindex. Kostnaderna inom byggområdet visar sig dock öka snabbare än kostnaderna i samhället generellt. Detta betyder att en högre ”inflation” kanske ska användas i LCC-kalkyler för anläggningsprojekt. Å andra sidan kräver Riksdagen i Sverige att Trafikverket ska ha en ökad produktivitet över tid. Detta skulle

i så fall öka den ränta som ska tillämpas. *Sundquist (2011)*.

## 6.8.2 Del 2: Användarkostnader

### 6.8.2.1 Broförvaltning och livscykelåtgärdsplaner

Hur broförvaltningen fungerar är en av de viktigaste faktorerna. Vem som bestämmer och när han anser att en specifik åtgärd måste utföras påverkar kantbalksprestandan. Till exempel kan det vara mindre nödvändigt att reparera eller att byta ut en kantbalk i en bro som ligger i en sekundärväg även om den har skadats mycket. Medel för underhåll används bättre till en bro med högre trafik i staden, *Maglica (2014)*.

Detta får tas hänsyn till när sammanfattningar görs. *Sobhit (2014)* visade genom en ”Survival Analysis” med hjälp av BaTMan databas för livscykelåtgärder att ej förhöjda kantbalkar är det bästa alternativet när det gäller drift och underhåll. Det kan se konstigt ut eftersom de här typerna låter vattnet rinna av bron och utsätter betongen för fler ogynnsamma förhållanden. Dock har detta alternativ visats korrespondera till vägkategori 3 eller lägre (som motsvarar sekundära länsvägar) som kan förklara dess ”lysande motstånd”. *Mattsson et al. (2007)* visar att kantbalkarna i E4-broar byts ut tidigare än resten, se **Figur 3.4**.

Mattsson och Sundquist menar att de viktigaste orsakerna till kortare livslängd av E4-kantbalkar kan vara nötning på grund av högt ÅDT och användning av större mängd salt. Man kan fråga sig om detta i stället skulle kunna förklaras av broförvaltningsfrågor, exempelvis tillgång till medel för underhåll. I sådana fall skulle man kunna säga att i händelse av två försämrade kantbalkar, en förvaltare skulle ”föredra” att byta ut kantbalken i en bro som ligger i staden än i en bro på landsbygden.

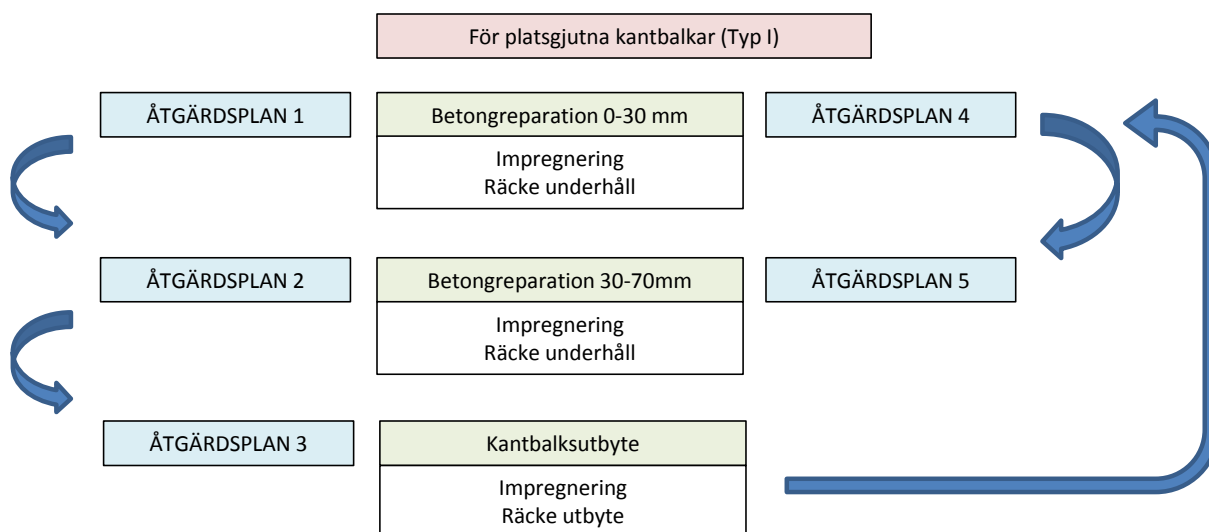
Dessutom finns strategier för att optimera processen av broförvaltning. Som nämndes inledningsvis talar vi om kantbalkssystemet, inte bara kantbalken. När kantbalken repareras eller byts ut tar Trafikverket ofta chansen att utföra andra livscykelåtgärder kring räcke eller isoleringsmatta, och vice versa *Maglica (2014)*.

Därför är principen att *när flera olika livscykelåtgärder måste utföras bör de åtgärdas samtidigt*. Med det åsyftas att målet för att optimera är att upphandla alla livscykelåtgärder i samma paket för att minska trafikstörningar.

I den här analysen ska alla kantbalkstyper ha en viss strategi bestående av olika åtgärdsplaner som inbegriper olika arbeten. För att bestämma precis när en plan kommer att utföras ska väljas en aktivitet som antas som ”Master” och resten benämns ”Slav”. Eftersom vi tar hänsyn till trafikantkostnader måste ”Master”-arbetet vara det som, förutom att ha en betydande påverkan på kantbalksprestandan, tar längre tid att utföra. Därför påverkar inte ”Slav”-arbeten trafikantkostnaderna i märkbar omfattning, i jämförelse med ”Master”.

Exempelvis för kantbalkstyp I (platsgjuten kantbalk) kan den första planen bestå av ett ”Master”-arbete som är betongreparation 0 - 30 mm och andra åtgärder som impregnering och aktiviteter relaterade till räcketsom utförs efter 20 år. Den andra planen kan vara betongreparation 30 mm - 70 mm (”Master”) och samma åtgärder som tidigare nämnts följer med. I den tredje planen blir kantbalksutbyte ”Master”-arbete och räckesutbyte ”Slav”-arbete. Sedan har bron en ny kantbalk och planerna 1 och 2 (som blir 4 och 5) upprepas som de gjordes i

början till dess brolivslängden nås, se **Figur 6.13**.



**Figur 6.13** Exempel av en åtgärdsplan för platsgjutna kantbalkar. I grön visas "Master"-aktivitet och med de följande "Slav" i vitt.

Som nämnts tidigare är de element i kantbalkssystemet som inkluderas kantbalken själv och räcket. Dock kan tätskikt och även beläggningen avses i modellen i termer av åtgärdsplaner. I det här exemplet kan man byta ut tätskikt samtidigt som åtgärdsplanen nummer 2 som sker år 40 eller även åtgärdsplanen nummer 3 som skulle ske år 60. För mer detaljer kring åtgärdsplaner hänvisas till *Veganzones (2014)*.

Naturligtvis är strategin som har beskrivits teoretisk och i jämförelse med verkligheten idealistisk. Generellt sett kan anses att 5 åtgärder under en kantbalks livslängd är väl mycket. *Maglica (2014)* anser att kantbalken borde kunna klara sig på 1 à 2 åtgärder plus impregnering beroende på strategi. Det är också relaterat till sannolikheten för nödvändighet av en viss åtgärd, som tidigare nämnts. Man skulle kunna justera åtgärdsplanerna i modellen för att de mer ska efterlikna verkligheten. Dock har i det här arbetet antagits, som sagt, att alla åtgärder kommer att utföras för att på ett rättvist sätt kunna jämföra alla kantbalksförslagen eftersom det inte finns någon verklig erfarenhet kring typ II (utan egentlig kantbalk) och III (stålkantbalk).

Driftsarbeten bidrar inte till trafikantkostnaderna eftersom de utförs på nätet och inte innebär någon trafikstörning.

### 6.8.2.2 Parametrar som definierar trafikantkostnader

Följande parametrar, se **Tabell 6.2**, måste definieras för att beräkna användarkostnader:

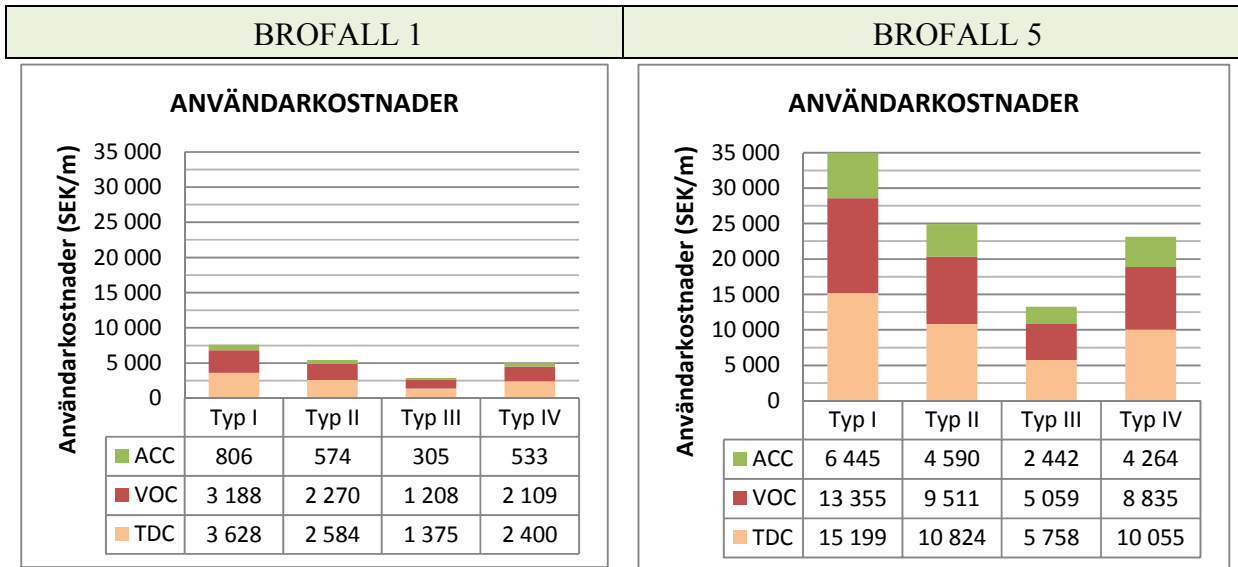
**Tabell 3.2** Antagna trafikantkostnader, allmänna parametrar

| Parameter   | Symbol      | Enhet              | Värde    |
|---|-------------|--------------------|----------|
| Trafiktillväxt  | $r_{tg}$    | -                  | 1,1 %    |
| Procentandelen av lastbilar från alla ÅDT                 | $r_L$       | -                  | 7 %      |
| Förväntade restidsförsening i händelse av vägarbete       | $T_f$       | h (tim)            |          |
| Drabbad vägbanans längd                                   | $S$         | m                  |          |
| Kort bro  |             |                    | 500      |
| Lång bro  |             |                    | 2000     |
| Hastighetsreduktion                                       | $v_n - v_r$ | km/h               |          |
| Vägartyp 1, Låg ÅDT                                       |             |                    | 80-60    |
| Vägartyp 1, Hög ÅDT                                       |             |                    | 60-50    |
| Vägartyp 2, Låg ÅDT                                       |             |                    | 110-60   |
| Vägartyp 2, Hög ÅDT                                       |             |                    | 90-50    |
| Tidsvärde för en lastbil                                  | $w_L$       | SEK/h              | 540      |
| Tidsvärde för en personbil                                | $w_P$       | SEK/h              | 145      |
| Driftkostnad per timme för en lastbil inkl. varuoperation | $O_L$       | SEK/h              | 440      |
| Driftkostnad per timme för en personbil                   | $O_P$       | SEK/h              | 130      |
| Olycksfrekvens under normala förhållanden                 | $A_r$       | olyckor/fordons-km | 3,15E-07 |
| Olycksfrekvens under åtgärdsarbete                        | $A_n$       | olyckor/fordon-km  | 1,15E-06 |
| Olyckskostnad för samhället                               | $C_{acc}$   | MSEK/olycka        | 4,8      |

Trafikantkostnadernas allmänna parametrar baseras på olika litteraturreferenser, *Karim (2011)*, *Jutila & Sundquist (2007)*, *Fender & Pierce (2013)*, *Ohjeita (2010)*, *Safi (2013)*, *Federal Highway Administration (2014)*, *The State of New Jersey (2001)*, *WSP (2007)*, och är anpassade till det här arbetet. Lastbilar inkluderar bussar till 35 %. Förväntad restidsförsening i händelse av vägarbete beräknas genom den drabbade vägsbanans längd ( $S$ ), som beror på brons längd, och hastighetsreduktion, som i sin tur beror på vägartyp och ÅDT. I tidsvärde för personbil och lastbil ingår arbetstiden för resor, pendlingsresor samt transferering och andra fritidsresor. I driftkostnad per timme ingår bränslekostnader, reparation och underhåll, försäkringspremier, tillstånd och licenser, däck och vägtullar, betalningar för fordonsuthyrning- eller köp och förarens lön och förmåner. Olycksvärdering för samhället har beräknats med beaktande av sannolikheten för dödsfall (1,9 %), för svårt och lindrigt skadade (9,8 % och 29,4 %), och för egendomsskada (58,9 %).

### 6.8.2.3 Resultat

**Figuren 6.14** visar totala Användarkostnader i SEK/m som delas in i Förseingskostnader ( $TDC$ ), Fordonsdrift ( $VOC$ ) och Olyckskostnader ( $ACC$ ) för brofall 1 och 5 för alla kantbalkstyper:

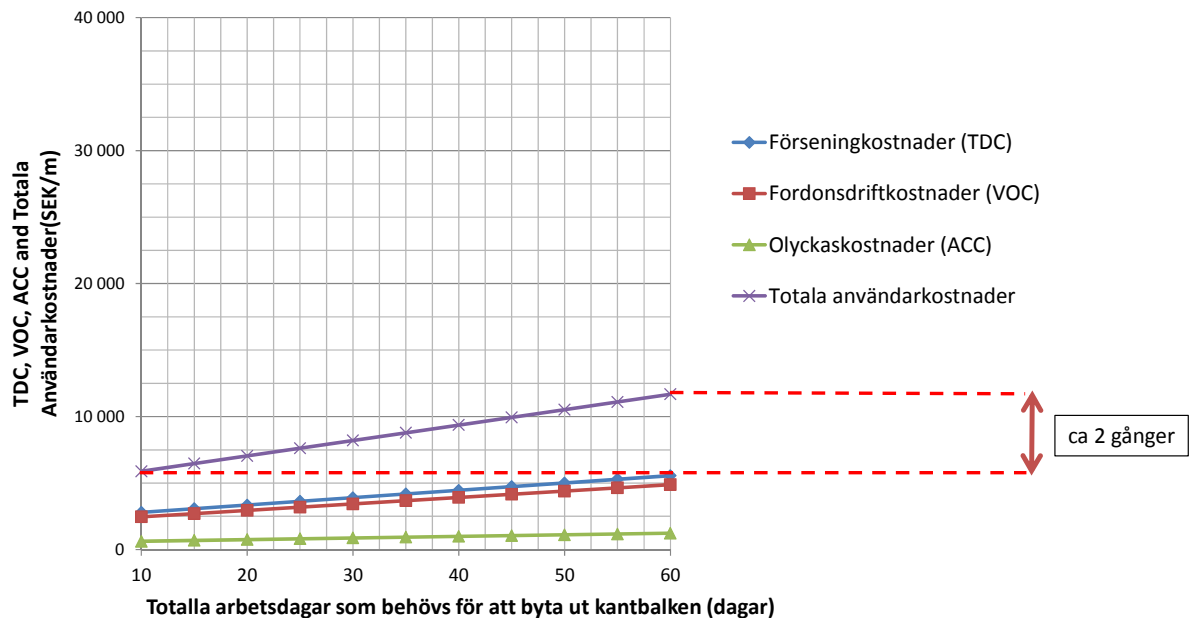


**Figur 6.14** Användarkostnader för Brofall 1 och 5 där ACC är Olyckskostnader, VOC Fordonsdriftskostnader och DC Förseningskostnader.

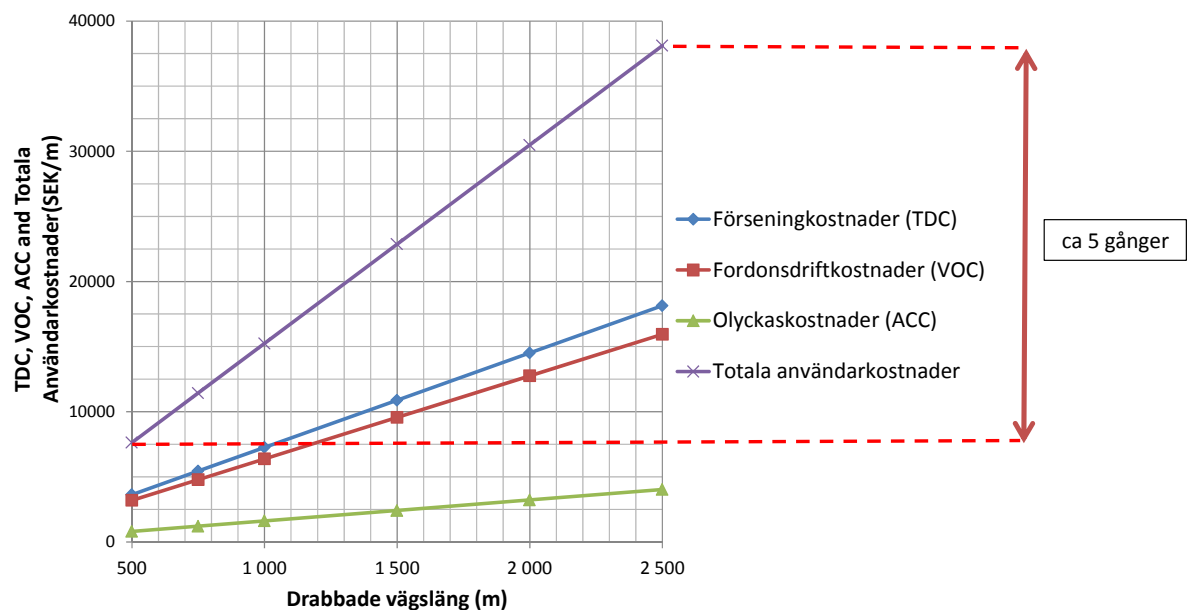
Man kan se att i det här fallet utgör först TDC och sedan VOC den största delen av de totala trafikantkostnaderna medan ACC är av mindre betydelse. Den första grafen motsvarar ett brofall där ÅDT är mycket lägre och så är användarkostnaderna i jämförelse med beställarkostnaderna. I de andra fallen med högre daglig trafik ökar användarkostnaderna till max 60 % -70 % av totala LCC beroende på fall, se Veganzones (2014).

#### 6.8.2.4 Känslighetsanalys

Inflytandet av parametrarna som beräkningarna av trafikantkostnaderna består av är av stort intresse. I det här arbetet kommer en känslighetsanalys att visas med totalt antal dagar som behövs för att byta ut kantbalken och vägbanans längd där trafikstörningar förekommer på grund av åtgärderna. Båda två antas påverka på ett betydande sätt jämfört med de andra parametrarna eftersom deras värde antas vara mer tillförlitligt. I **Figur 6.15** och **Figur 6.16** speglas resultatet för brofall 1 med kantbalkstyp 1.

**Totalt antal dagar som behövs för kantbalksutbyte**

**Figur 6.15** Känslighetsanalys avseende det totala antalet av dagar som behövs för kantbalksutbyte. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.

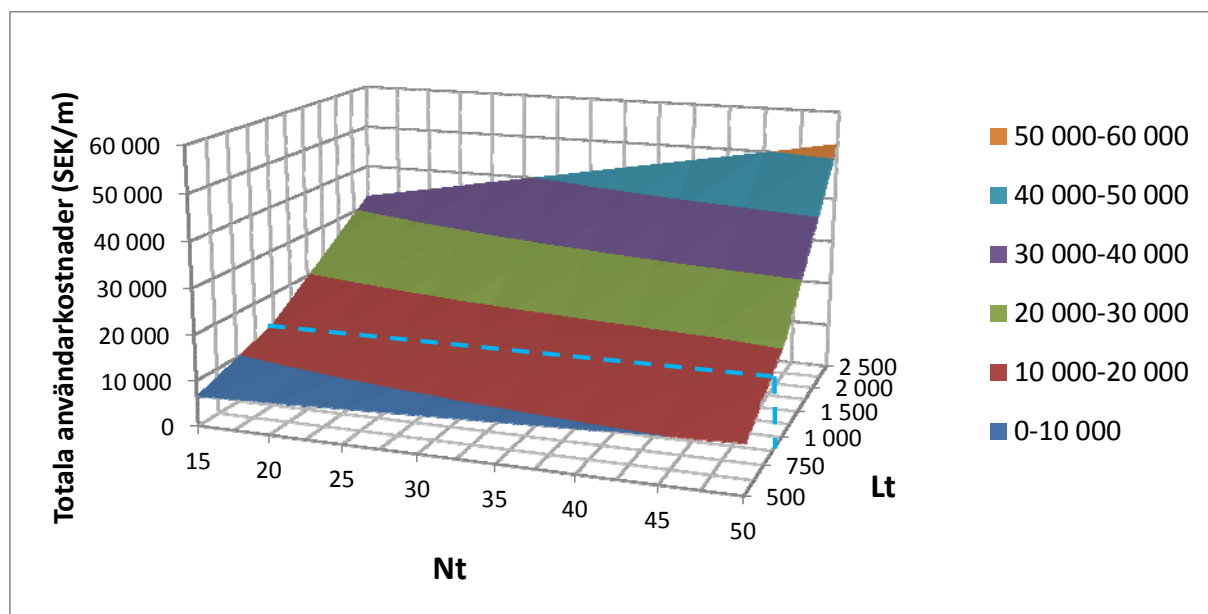
**Vägbansans längd där trafikstörningar förekommer på grund av kantbalksutbyte**

**Figur 6.16** Känslighetsanalys avseende väglängden där trafikstörningar förekommer på grund av kantbalksutbyte. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.

Det totala antal dagar som behövs för att byta ut kantbalken kan öka livscykelkostnaderna upp till 2 gånger medan vägbanelängd där trafikstörningar förekommer upp till 5 gånger mer. Därför är den förstnämnda av mindre betydelse än den andra. Det förklaras av det faktum att totalt antal dagar varierar från 10 till 60 dagar medan vägbansans längd varierar från 500 m

upp till 2500 m. Det kan även förstås på så sätt att det spelar mindre roll hur länge arbetena tar sammanlagt än hur stora trafikstörningarna är i termer av vägbanelängd. Naturligtvis finns restidsföreningen alltid även om den drabbade vägsbanans längd reduceras på grund av hastighetsreduktion på vägen i händelse av ett arbete, men de totala användarkostnaderna skulle minska avsevärt.

I **Figur 6.17** visar en kombination av båda parametrarna:



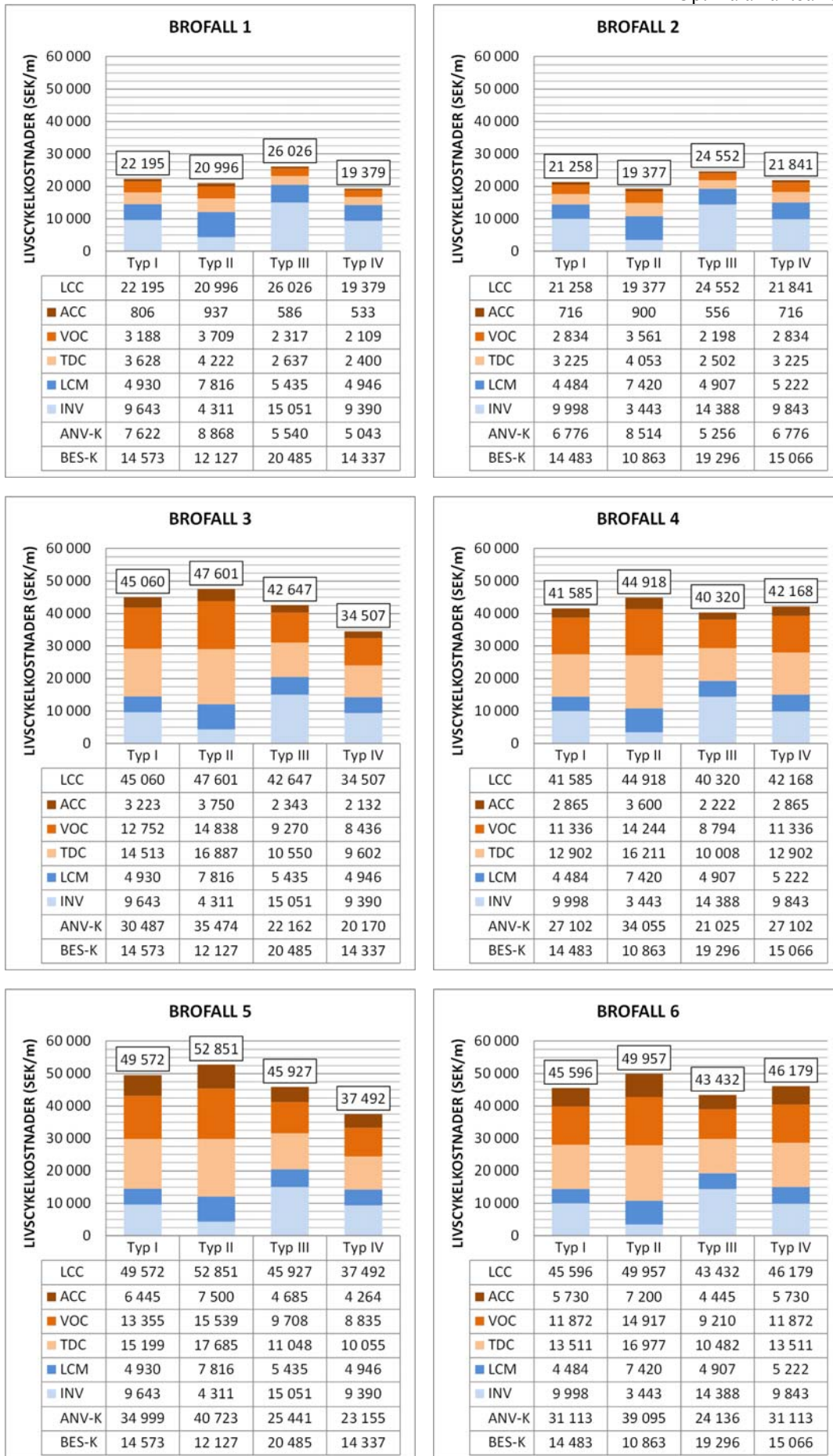
**Figur 6.17** Känslighetsanalys avseende vägbanans längd där trafikstörningar förekommer på grund av kantbalksutbyte. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.

**Figur 6.17** visar det som nämnts tidigare, nämligen att vägbanans längd där trafikstörningar förekommer påverkar mer än det totala antalet arbetsdagar som behövs för att byta ut kantbalken. Det innebär att vi till viss del kan styra vad en viss livscykelåtgärd kommer att kosta. Om vi följer exempelvis den blå linjen som motsvarar ca 875 m spelar det ingen roll hur länge ett kantbalksutbyte tar. Det skulle alltid kosta mellan 10 000 och 20 000 kr.

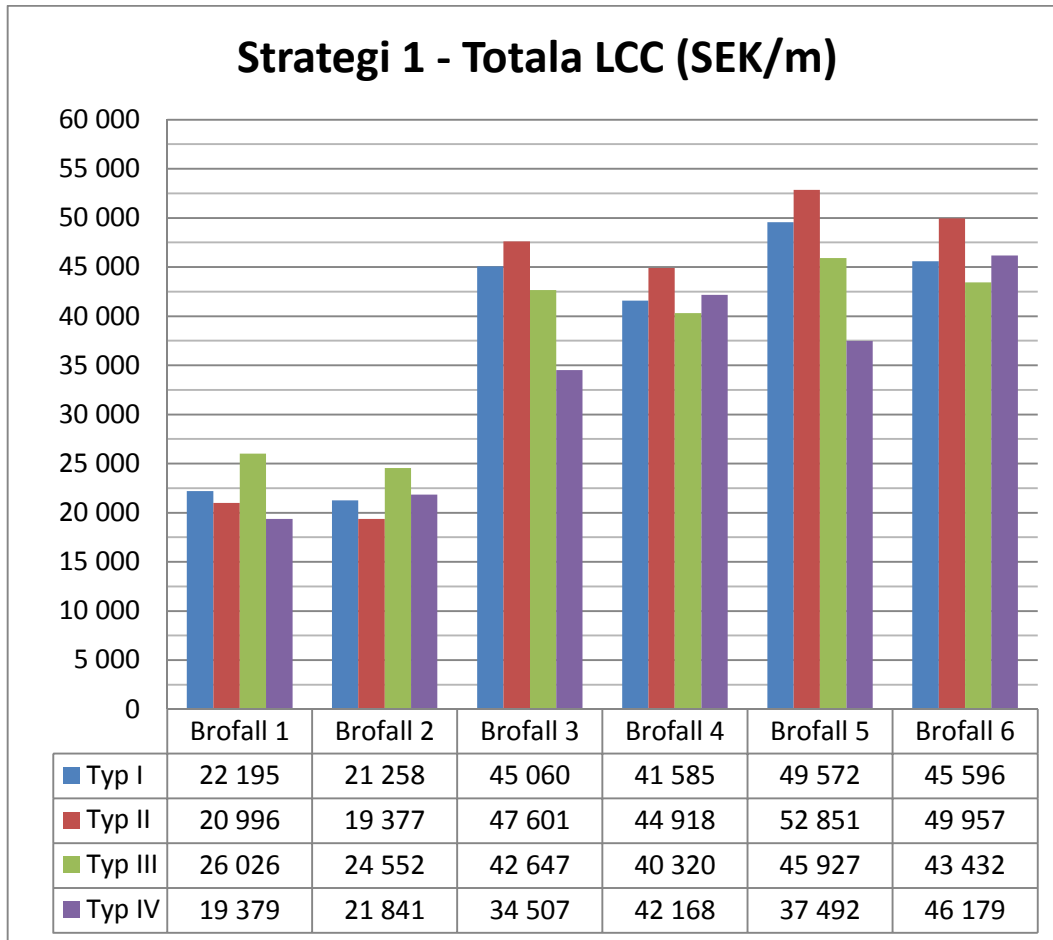
## 6.9 Resultaten för alla brofall

I **Figur 6.18** och **Figur 6.19** visas resultaten för alla brofall med alla kantbalkstyper. För mer information om beräkning och analys av kostnader för varje kantbalkstyp, se *Veganzones (2014)*. Den strategi som tillämpats som underlag för **Figur 6.18**, Strategi I, framgår av **Tabell 6.3**.





Figur 6.18 Sammanställning av LCC för 6 Brofall och för de 4 studerade kantbalkarna.



**Figur 6.19** Resultat av LCC-Analys för alla brofall när Strategi 1 tillämpas. Platsgjuten kantbalk (typ I) i blått, utan egentlig kantbalk (typ II) i rött, stålkantbalk (typ III) i grönt och prefabricerad kantbalk (typ IV) i lila.

Man ser att för alla korta broar (brofall 1, 3 och 5) är den prefabricerade kantbalken (typ IV) den som passar bäst på grund av bättre kvalitet i betongen. Förhöjda kantbalkar är svåra att gjuta ihop med plattan, vilket livligt diskuterats inom projektet. Den prefabricerade kantbalken gjuts först i sidan av bron, vilket ger förbättrad arbetsmiljö. Sedan lyfts den in i brobaneplattformen och gjuts ihop med denna så att det skapas en integrerad kantbalk.

För långa broar (brofall 2, 4 och 6) skiljer det från fall till fall och olika kantbalkstyper är lämpliga. Man skulle kunna säga att den platsgjutna kantbalken (typ I) allmänt sett passar bra för långa broar. I det här fallet är den prefabricerade kantbalken inte så lämplig på grund av en mer komplicerad arbetsmiljö, särskilt avseende kransfrågor och vertikala skarvar som skulle byggas mellan element *Kelindeman (2014)* och *Duran (2014)*. Osäkerheter finns avseende typ II (utan egentlig kantbalk) och typ III (stålkantbalkar). Den förstnämnda ser ut att vara lämplig för korta broar. Å andra sidan passar den sistnämnda bättre för långa broar och sämre för korta broar på grund av höga investeringskostnader och låga trafikantkostnader.

Det är också viktigt att se hur daglig trafik påverkar resultaten. För brofall 3, 4, 5 och 6 ökar alla kostnader särskilt trafikantkostnader på grund av ökad dygnstrafik (ÅDT). Brofall 5 och 6

ger något högre *LCC* i allmänhet på grund av högre *ÅDT*. Skillnaden är inte så stor eftersom vägen är bredare (består av två körfält i varje ritning) som gör att restidsförseningen blir lägre.

## 6.10 Åtgärdsstrategier

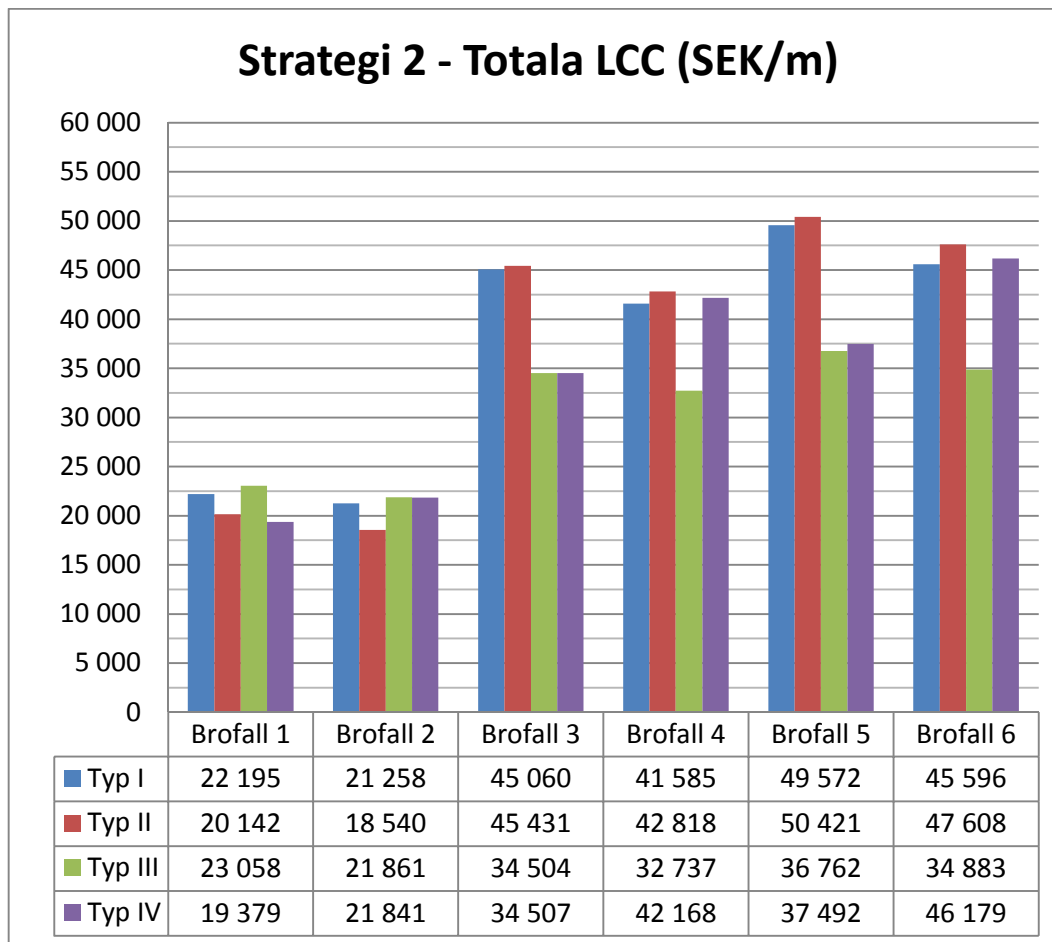
### 6.10.1 Allmänt

De resultat som visats motsvarar en viss strategi där man har bestämt hur åtgärdsplanerna ska utföras, till exempel när kantbalken ska bytas ut. Man får ändra de här strategierna för att nå andra slutsatser. Eftersom alternativ I (platsgjutna) och IV (prefabricerad) redan byggts är kunskapen kring dem omfattande. Därför är det intressant vad som skulle hända om vi ändrar parametrarna för kantbalkstyp II (utan egentlig kantbalk) och III (stål). För det första är en av de kritiska faktorerna L-stål-profilen som fungerar som stöd för beläggningen eftersom denna kan bli skadad av snöplog. En annan betydelsefull faktor är vilken livslängd skulle vara för stålstödet till räckena. För det andra skulle det vara av intresse vilken livslängden är för stålkantbalkarna. Ytan mellan stålet och betongen måste skyddas från salter och vatten som kan tränga in.

I **Figur 6.20** och **Figur 6.21** speglas resultaten ifall strategin ändras. **Tabell 6.3** visar antaganden som gjorts för varje strategi:

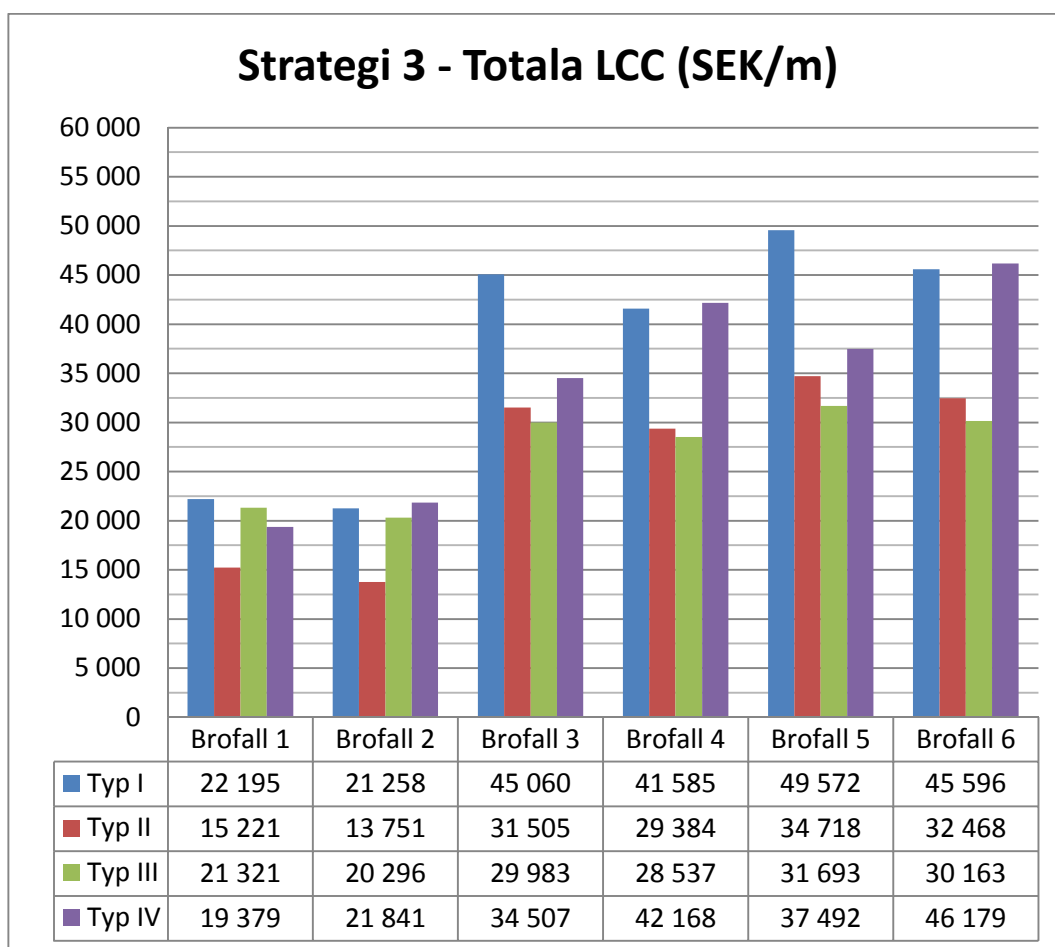
**Tabell 6.3** Antaganden för strategier 2 och 3.

|            | TYP II – UTAN EGENTLIG KANTBALK (år) |                    | Typ III - STÅLKANTBALK (år) |                        |
|------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|
|            | L-stål-profil livslängd              | Stålstöd livslängd | Ommålning                   | Stålkantbalkslivslängd |
| Strategi 1 | 20                                   | 60                 | 25                          | 50                     |
| Strategi 2 | 20                                   | 80                 | 30                          | 60                     |
| Strategi 3 | 30                                   | 60                 | 35                          | 70                     |



**Figur 6.20** Resultat av LCC-Analys för alla brofall när Strategi 2 tillämpas. Platsgjuten kantbalk (typ I) i blått, utan egentlig kantbalk (typ II) i rött, stålkantbalk (typ III) i grönt och prefabricerad kantbalk (typ IV) i lila.

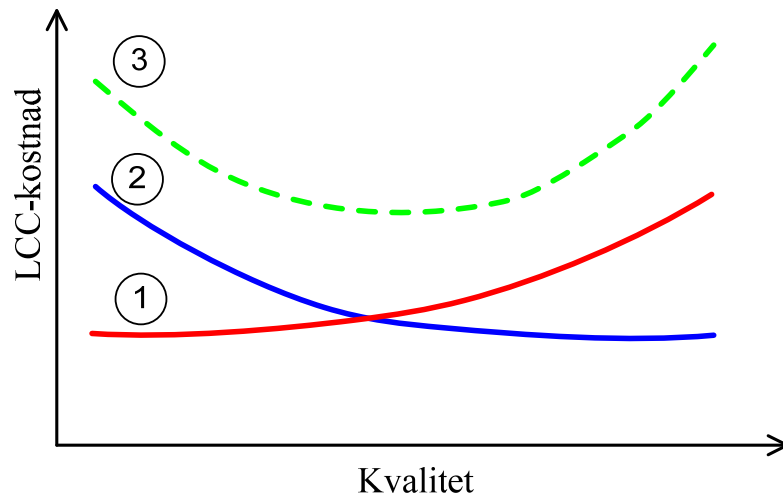
Man kan se att totala LCC av kantbalkstyp II och III minskar i betydande grad jämfört med strategi 1. Således kan de passa bäst för vissa fall. Som tidigare nämnts är det svårt att förutse hur kantbalken försämras. I det här fallet minskar totala LCC mycket för typ II om underhållet av L-stålprofilen förlängs med 10 år. Avseende typ III blir totala LCC lägre eftersom kantbalken behöver bytas ut bara en gång under hela bronns livslängd. Frågan är dock om L-stålprofilen och stålkantbalken kan klara sig under de här förhållandena. Därför är väldigt viktigt att när kantbalkarna utformas man vet hur åtgärdsplanen ska se ut.



**Figur 6.21** Resultat av **LCC**-Analys för alla brofall när Strategi 3 tillämpas. Platsgjuten kantbalk (typ I) i blått, utan egentlig kantbalk (typ II) i rött, stålkantbalk (typ III) i grönt och prefabricerad kantbalk (typ IV) i lila.

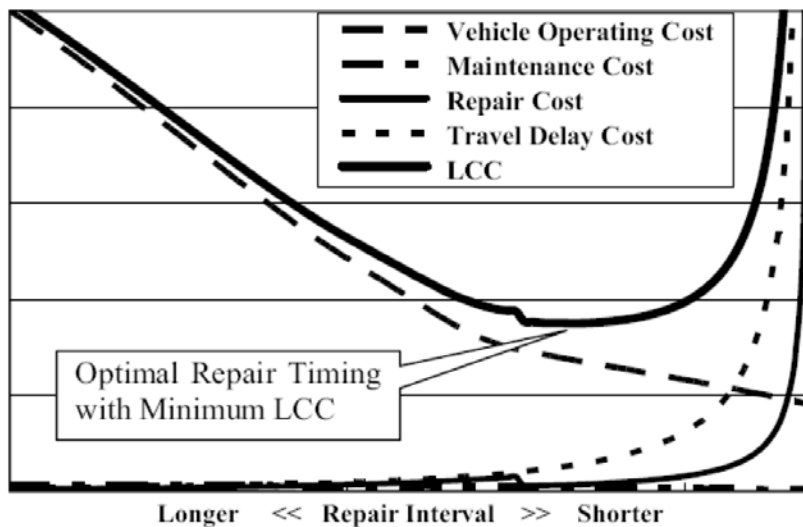
### 6.10.2 Strategi med ett Kontinuerligt Underhåll (KU)

Sambandet mellan Investeringskostnader (*INV*) och Livscykelåtgärds kostnader (*LCM*) är av stort intresse. **Figur 6.22** visar att ökad kvalitet ökar *INV* men minskar *LCM*, och vice versa *Sundquist (2011)*. Enligt denna idé skulle en optimal utformning som ger lägsta totala *LCC* och maximal nytta kunna finnas.



**Figur 6.22** Schematiska kurvor som visar att ökad kvalitet ökar investeringskostnaderna, ①, men minskar underhållskostnaden, ②, och vice versa. Vidare forskning behövs för att hitta ett optimum, ③, för den totala LCC.

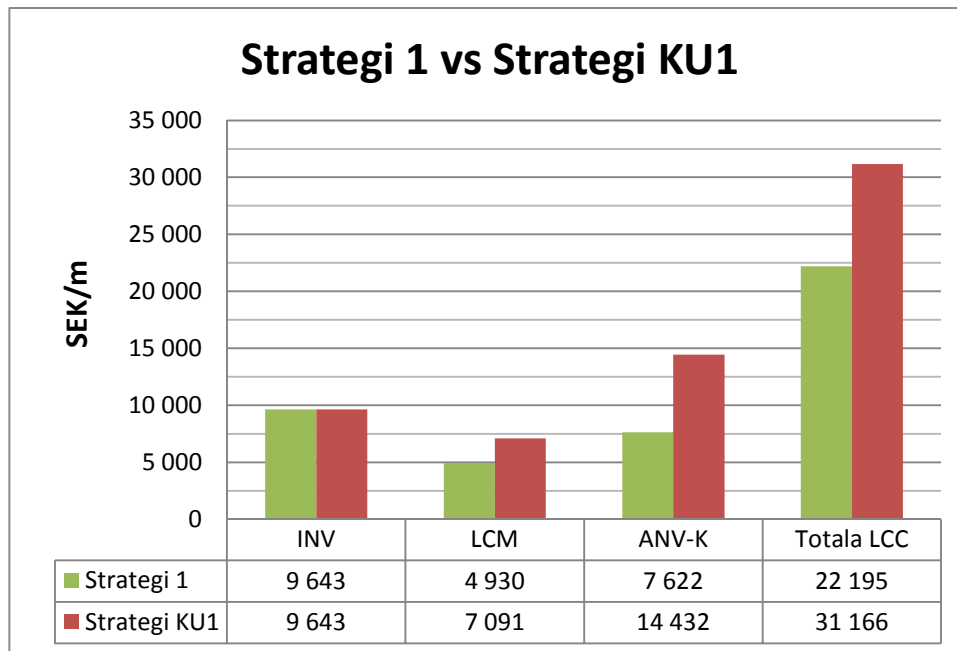
Nishibayashi et al. (2006) visar de sambandet mellan den totala LCC inkl. användarkostnader och -åtgärdsintervall för broar, se **Figur 6.23**. Enligt denna graf skulle även en optimal strategi med vissa åtgärdsplaner kunna finnas.



**Figur 6.23** Schematiskt diagram som visar sambandet mellan intervallet av reparationsintervall och LCC för broar enligt Nishibayashi et al.

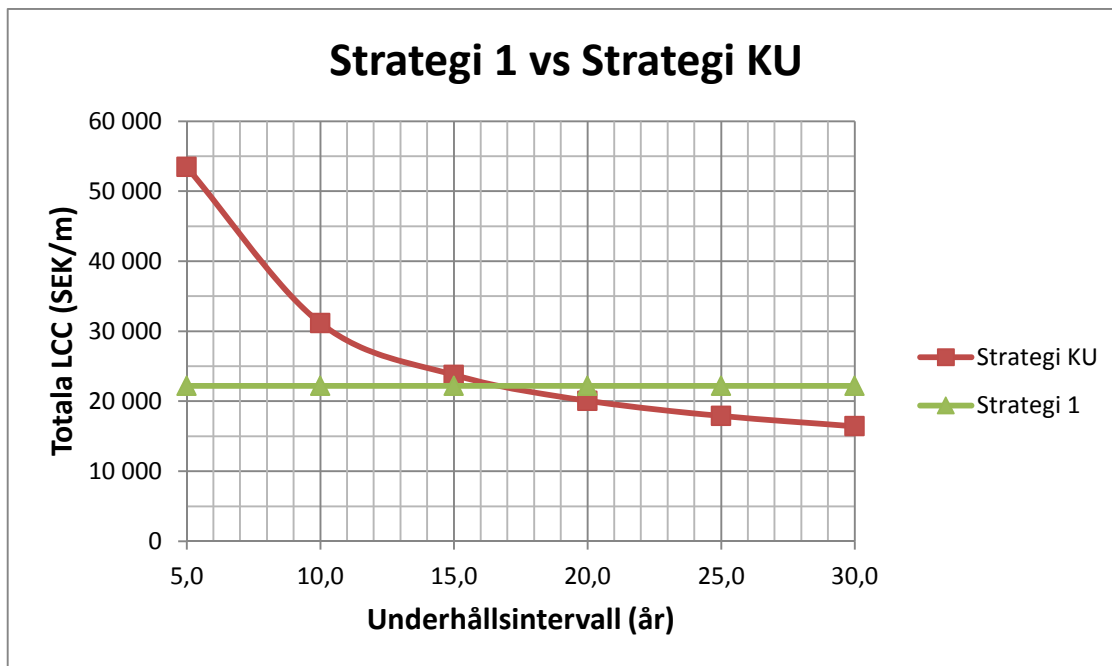
**Figur 6.23** hänvisar till broar i allmänhet. I samband med detta kan man också fråga sig hur diagrammet skulle kunna anpassas till kantbalkar och hur det skulle påverka den totala LCC om exempelvis kantbalken underhålls på ett kontinuerligt sätt. Det här fallet skulle innebära att kantbalken inte skulle behöva bytas ut, vilket skulle ge lägre -kostnader och, som är av större betydelse, lägre Användarkostnader eftersom de här åtgärderna tar längst tid och hela bron drabbas. **Figur 6.24** speglar en jämförelse av den totala LCC mellan Strategi 1 och en Strategi som kan kallas KU1 där det antas att kantbalken kan klara sig genom impregnering och

reparation av betong vart tionde år för platsgjuten kantbalk i Brofall 1. Små räcketåtgärder kan inkluderas i en åtgärdsplan.



**Figur 6.24** Jämförelse mellan Strategi 1 (grön) och Strategi KU1 - Kontinuerligt underhåll (röd)

Man kan se att det blir dyrare i det här fallet att tillämpa Strategi KU1. Även om kantbalksutbyte inte sker ökar LCC-kostnader på grund av kontinuerliga underhåll. Man skulle kunna undra hur långt måste intervallet vara för att Strategi KU1 ska bli billigare. Det visas i **Figur 6.25**.



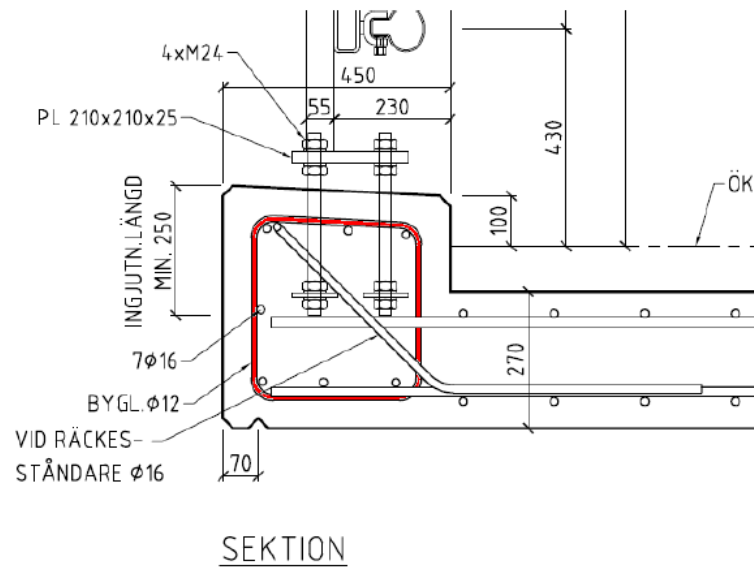
**Figur 6.25** Jämförelse mellan Strategi 1 och olika Strategier KU (Kontinuerligt underhåll) med olika underhållsintervaller.

För en platsgjuten kantbalk för brofall 1 visas att Strategin KU skulle vara billigare än Strategi 1 om den utförs ungefär vart 16:e år. Dock är en begränsning avseende den här slutsatsen frågan om kantbalken skulle klara sig under hela livslängden.

## 6.11 Platsgjutna kantbalkar med rostfritt stål

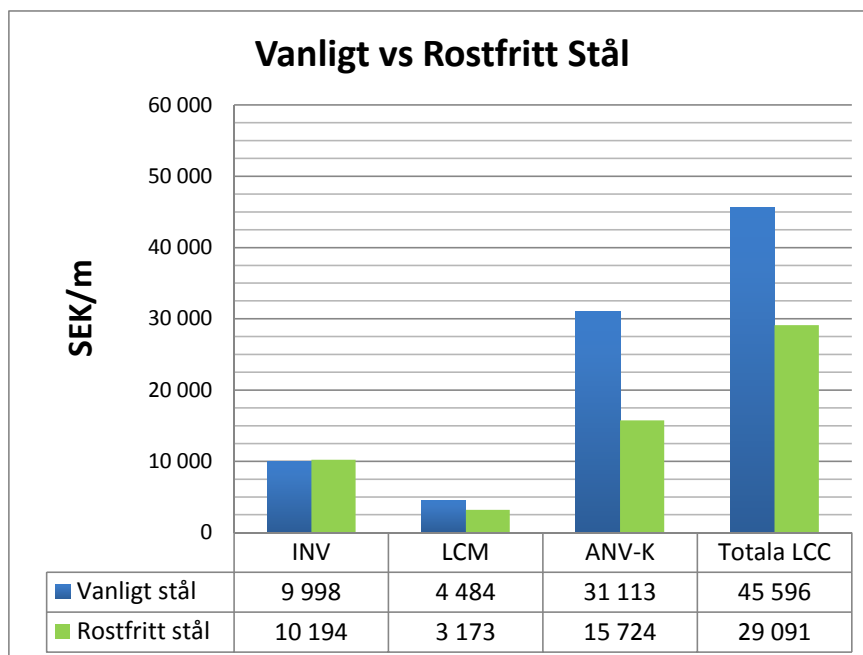
En fråga som kan ställas är om en kantbalk med rostfritt stål skulle vara en lösning. Utformningen skulle kunna se ut som följer, där bygelarmeringen (tvärrarmeringen) i kantbalken är av rostfritt stål, se **Figur 6.26**.





**Figur 6.26** Förslag till utformning med kantbalkstvärmering av rostfritt stål (röd), Borderon (2014).

Rostfritt stål blir relativt dyrt i jämförelse med vanligt stål i termer av materialpris. Dock är frågan om rostfritt stål i slutändan blir billigare än vanligt stål under hela bronns livslängd. Om man antar att armeringen inte korroderar får man säga att utbyte av kantbalken inte behövs. Korrosion är det största problemet när det gäller kantbalksprestandan i Sverige, *Ronnebrant (2014)*. Det är också den faktorn som är av större betydelse när betongen försämras, *PSA (2014)*. Således, om korrosion undviks, kan man säga att kantbalken har samma livslängd som bron. De enda åtgärderna som man skulle utföra skulle vara betongreparation på grund av karbonatisering och sprickor, samt räckeaktiviteter. **Figur 6.27** visar en jämförelse mellan kantbalk typ 1 med vanligt och rostfritt stål från ett LCC-perspektiv.



**Figur 6.27** Jämförelse mellan värdering av LCC av kantbalkar när vanligt (blå) och rostfritt (grön) stål används. Grafen visar att rostfritt stål blir billigare i längden. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.

Man kan i figuren se att de totala livscykelkostnaderna minskas i betydande grad (15 % - 20 %), särskilt LCM (livscykelåtgärder) och användarkostnader (ANV-K). För INV (investeringarkostnader) ökar de upp till c:a 200 SEK/m. Detta resultat stämmer med kostnaderna som uppskattades för några år sedan i betongbron mellan Stockholm och Lidingö Eriksson (2003). Dock behövs mer forskning och erfarenhet för att visa att det faktiskt blir billigare i längden. Vanlig armering med tillräckligt täckande betongskikt kan fortfarande vara tillräckligt. Nya bronormer kommer att ta med rostfri armering som en möjlighet Eriksson (2003). Man kan naturligtvis tänka sig att även utför resten av armeringen i kantbalken i rostfritt stål, men då ökar investeringskostnaden väsentligt

## 6.12 Våra kantbalkar idag

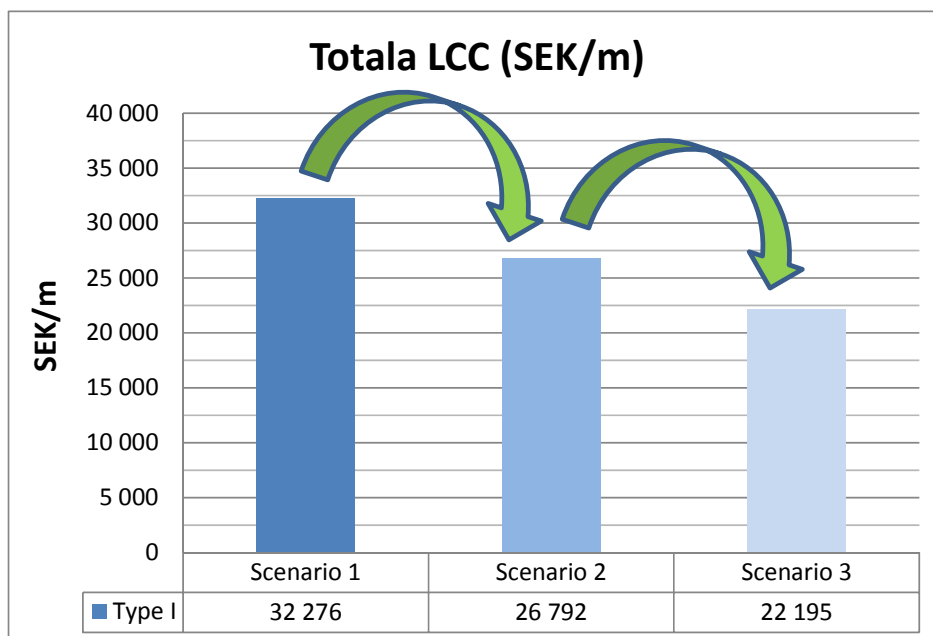
I Sverige är platsgjutna kantbalkar (typ I) den typ som används mest, Safi (2013). Nuförtiden har byggteknik och material förbättrats. Ronnebrant (2014) har till Arbetsgruppen informerat om att äldre kantbalkar inte är byggda för den miljö de är utsatta för. Frostbeständig betong började användas i Sverige i mitten av 60-talet, Ronnebrant (2014). Idag gjuts räcken gjuts inte ihop med kantbalken, utan skruvas istället fast med bultar, vilket troligen ökar livslängden, men kostnaden för denna lösning är något högre än för borrade och ingjutna räckesståndare. Således behöver kantbalkarna som byggts under 50- och 60-talet troligen bytas ut tidigare än de som byggts under 70- och 80-talet.

Man kan också undra hur mycket bättre våra kantbalkar är idag jämfört med de gamla vad gäller totala livscykelkostnader. Tre olika scenarier har beaktats där livslängden och intervall av vissa åtgärder ökar och antalet totala utbyten minskar. Antaganden speglas i **Tabell 6.4**.

Detaljerade åtgärdsplaner kan hittas i *Veganzones (2014)*. Den här grafen visar hur de har påverkat totala LCC, se **Figur 6.28**.

**Tabell 6.4** Antaganden för Scenario 1, 2 och 3. Impregnering och betongreparation utförs efter det att en ny kantbalk byggs.

|            | Impregnering/Betongreparation | Livslängd |
|------------|-------------------------------|-----------|
| Scenario 1 | efter 15 år                   | 30 år     |
| Scenario 2 | efter 20 år                   | 40 år     |
| Scenario 3 | efter 20-40 år                | 60 år     |



**Figur 6.28** Jämförelse mellan olika scenarier som hänvisar till gamla och nya kantbalkar. Livslängden och intervall av vissa åtgärder ökar, antalet totala utbyten minskar. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.

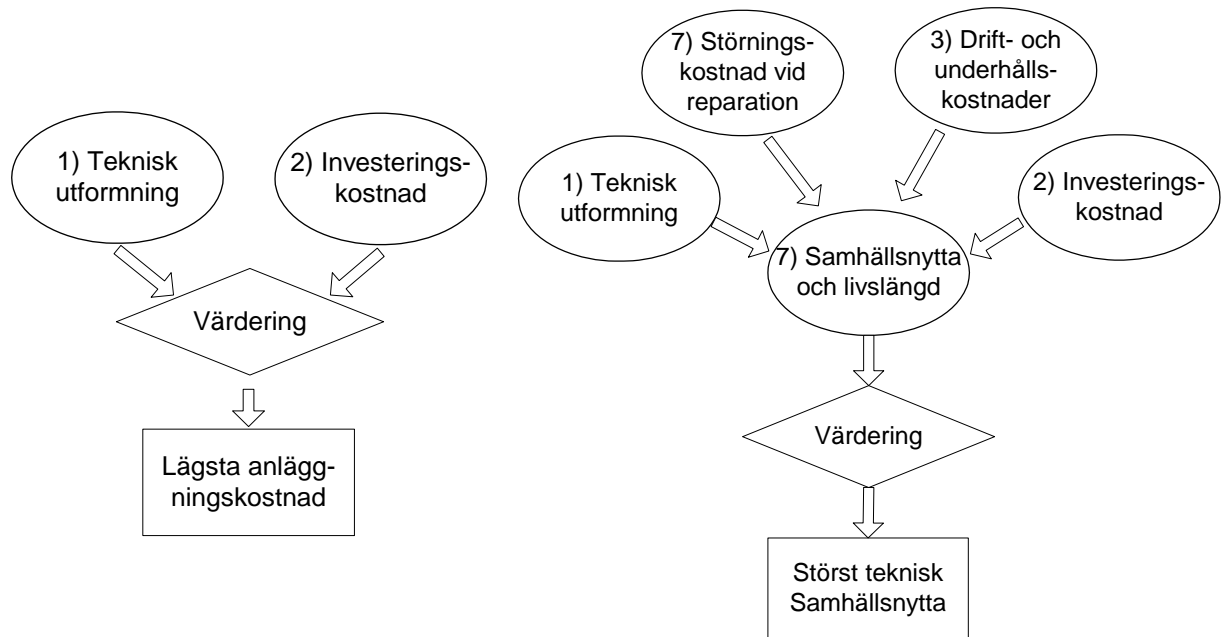
LCC av hela kantbalksystemet blir ca 30 % mindre nuförtiden jämfört med äldre kantbalkar. Därför kan man säga att nytt material och byggteknik påverkar totala LCC på ett betydande sätt.

### 6.13 Slutsatser från LCC-analyserna

Följande slutsatser kan dras utifrån arbetet:

- För korta broar kan prefabricerade kantbalkar vara en samhällsoptimal lösning på grund av en förbättrad miljö som garanterar bättre betongkvalitet. Därigenom förväntas att kantbalkens livslängd ökar.

- Däremot kan troligen platsgjutna kantbalkar vara en samhällsoptimal lösning för långa broar, eftersom vertikala skarvar måste utföras mellan element vilket skulle ge sämre prestanda på grund av risken för att salter, kloridsvatten och andra farliga komponenter tränger in i bron. De finns också risk för att de uppstår krympsprickor i broplattan mitt för varje skarv i kantbalkselementen. Prefabricerade kantbalkar har dock fördelar för arbetsmiljön, så om man lyckas lösa sprickproblemen bör prefabricerade kantbalkar vara en attraktiv lösning.
- Osäkerheter finns avseende kantbalkstyp II och III. Den första ger betydligt lägre investeringskostnader men det bör forskas mer kring livscykelåtgärds kostnader för L-stål-profilen och räckesstöd. Investeringskostnaderna för den andra typen är emellertid mycket högre men livscykelåtgärder skulle spela en mindre roll. På grund av ett stort antal parametrar relaterade till prestandan av typerna II och III kan man definiera olika strategier för att underhålla dessa kantbalkar.
- Känslighetsanalysen visar vikten av värdena viktiga parametrar. I det här arbetet har räntans och vägarbetets egenskaper presenterats. Man kan även forska vilken påverkan åtgärds kostnader, sannolikheten att utföra en viss aktivitet eller timme tidsvärde av en person- eller lastbil skulle ha.
- Kantbalkstyp I (platsgjuten) med rostfritt stål kan vara en bra lösning om den klarar sig under hela brons livslängd och endast mindre underhållsarbete måste utföras. Den kan även användas i prefabricerade kantbalkar.
- Vi har bättre kantbalkar nuförtiden och deras prestanda har förlängts. Arbetsmiljö och byggt teknik har förbättrats betydligt och det innebär att livscykelkostnaderna har minskat avsevärt.
- Det är viktigt med en lämplig teknisk utformning för varje aktuellt brofall. Samtidigt är det betydelsefullt att veta drift- och underhållsåtgärder, i första hand under preliminär utformning (**Figur 6.28**). Nuförtiden ökar tillämpningen av LCC-Analys för att välja den samhällsekonomiskt mest lönsamma lösning. En sådan analys har exempelvis använts i Ölandsbron för att hitta en optimal underhållsstrategi som kunde hålla minst 75 år, *Maglica (2012)*. I det här arbetet har det förutsatts att 4 eller 5 åtgärdsplaner, beroende på kantbalkstypen, behöver ske under dess livslängd. Detta kan se *idealiskt* ut från en förvaltares perspektiv men överensstämmer inte fullt ut med verkligheten på grund av olika faktorer som exempelvis broläge och tillgången på ekonomiska medel. Dock måste man komma ihåg att i den här analysen har hänsyn tagits till kantbalkssystemet, inte bara kantbalken, som inkluderar räcke, avvattning, tätskikt och även beläggningen. Dessutom har åtgärdsplaner strukturerats på så sätt att det finns möjlighet att utföra livscykelåtgärder som är relaterade till andra broelement, exempelvis övergångs-konstruktioner.



**Figur 6.29**

*Jämförelse mellan en klassisk uppgift för konstruktörer med syfte att konstruera till lägsta anläggningskostnad (till vänster) och en uppgift där man lägger på krav på lägsta samhällskostnad, Sundquist (2011).*

## 7. Förslag till fortsatt arbete

Det föreliggande projektet handlar om produktutveckling där avsikten är att finna optimala lösningar på broarnas sorgebarn, nämligen kantbalkarna inkl. räcke och andra tillhörande system. Kantbalkssystemet hör till broelement som drar mest kostnader för drift, underhåll och reparation på Sveriges vägbroar.

Produktutveckling handlar om att för en befintlig produktlösning finna en nyare produkt som är

- billigare än den befintliga lösningen,
- bättre än den befintliga lösningen, men helst förstås
- både bättre och billigare än den befintliga lösningen

Denna uppgift är inte lätt eftersom befintliga lösningar har utvecklats under lång tid, och troligen ligger ganska nära den optimala lösningen.

De förutsättningar och funktionskrav som gäller idag är dock kanske delvis något förändrade bl.a. med hänsyn till olika miljöfrågor. Allmänt gäller att uppgiften vid utveckling av broar - och de element som ingår i brokonstruktionen - är de ska uppfylla krav på

- 1) hållfasthet,
- 2) beständighet,
- 3) estetik,
- 4) ekonomi,
- 5) miljö,
- 6) uthållig utveckling och
- 7) sociala frågor.

Lyckas man få med optimering av alla punkter enligt ovan så skulle man kanske kunna hävda att man nått fram till en samhällsoptimal lösning, men kanske är ett sådant mål alltför högt ställt. I föreliggande arbete har fokus legat på punkterna 2), 4) och 6). Eftersom kunskaper beträffande hållfasthets- och dimensioneringsfrågor, 1), har ansetts vara någorlunda välkända har dessa frågor endast berörts principiellt. Estetiska frågor 3) har ej heller varit en del av utredningen även om intresset är stort för kantbalkssystemets utseende, eftersom det är en del av bron som vanligtvis är väl synlig. Miljöfrågor 5) och 6) är ett brett område och omfattar bl.a. arbetsmiljö, som är en integrerad del av det arbete som gjorts inom projektet, även om detaljerade undersökningar av t.ex. ergonomi inte hunnits med. Miljöcykelanalys har inte ingått i projektet, men det är troligt att effektiva materialsparande lösningar också är det bästa för att minska utsläpp av miljöstörande substanser. Sociala frågor är naturligtvis också ett brett område, men inom projektet har användarnas, trafikanternas upplevelser och kostnader i samband med underhåll och reparationer varit en viktig del av projektet.

Alla krav som kan tänkas rymmas inom begreppet samhällsoptimal har således inte kunnat rymmas inom projektet, även om många viktiga steg har behandlats.

Vad återstår då?

- Naturligtvis bör de innovativa förslag som kommit fram prövas i verkligheten, helst i form av demonstrationsprojekt för nya broar. Det är troligt att helt nya lösningar kommer att kräva visst fortsatt utvecklingsarbete och att det första projektet kommer att ha ”barnsjukdomar”, men det får inte hindra att man fortsätter utveckla.
- Konstruktions-och dimensioneringsfrågor för kantbalken – särskilt i interaktion med broplattan – bör bli föremål för forskning eftersom många svåra frågor återstår t.ex. när det gäller att minska sprickrisker m.m.
- Miljölivscykelanalys (LCA) för kantbalkar kan nog inte ses som ett prioriterat område då tillräcklig kunskap troligen kan hämtas direkt från LCC-analyserna.
- I detta projekt har det gjorts omfattande LCC-analyser. Dessa baseras i många fall på osäkert underlag och det är lämpligt att utsätta de resultat som erhållits för prövning och diskussion och kanske mer inhämtande av data från aktuella projekt.

## 8. Referenser och Litteratur

|  |  |
|--|--|
| Bakht B., Jaeger L., G., (1985)  | <i>Bridge Analysis Simplified</i> , Mc Graw-Hill Book Company, New York 1985.  |
| Bettigole, N., Robison, R. (1997)  | <i>Bridge Decks: Design, Construction, Rehabilitation, Replacement</i> . ASCE Press, New York, USA, 118 pp.  |
| Borderon, A. (2014)  | Email interview, 2014.   |
| Bygginnovationen (2010)  | Delrapport BRO, November 2010.   |
| Cusens A. R., Pama R. P., (1975)   | <i>Bridge deck analysis</i> , John Wiley & Sons, Bristol 1975.   |
| Department of Transportation - The State of New Jersey, (2001)           | <i>Road User Cost Manual</i> . Department of Transportation, New Jersey (2001). URL: <a href="http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/RUCM/pdf/RUCManual.pdf">http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/RUCM/pdf/RUCManual.pdf</a> .   |
| Duran, E., (2014)  | <i>Design of Edge Beams</i> , Master Thesis. KTH Royal Institute of Technology. TRITA -BKN. Master Thesis 427, 2014, ISSN 1103-4297, ISRN KTH/BKN/EX--380--SE Stockholm, 2014.   |
| Ehrengren, E., (2000)  | <i>Kantbalkar och räckesinfästningar – nya tekniska lösningar?</i> , Uppsala universitet, ISRNUTH-INGUTB-EX—B-2000/02—SE.  |
| Eriksson, L., (2003)   | Rostfri armering är billigare i längden, <i>NyTeknik</i> .   |
| Fasheyi, A., (2013)  | <i>Optimal Edge Beam System: International Study</i> . KTH Royal Institute of Technology. TRITA-BKN Tekniska rapport 2013:04, ISSN KTH/BKN/R-04-SE Stockholm, 2013.  |
| Federal Highway Administration - US. Department of Transportation (2014) | <i>Work Zone Road User Costs: Concepts and Applications</i> , US Department of Transportation, Federal Highway Administration FHWA-HOP-12-005 183 pp. URL: <a href="http://ops.fhwa.dot.gov/wz/resources/publications/fhwahop12005/fhwahop12005.pdf">http://ops.fhwa.dot.gov/wz/resources/publications/fhwahop12005/fhwahop12005.pdf</a> |
| Fender K. J., & Pierce, D. A. (2013)                                     | An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2013 Update, Arlington, Virginia: American Transportation Research Institute.  |
| Hambly E., C., (1991)  | <i>Bridge Deck Behaviour, 2nd ed.</i> , E& FN Spon, London 1991.   |
| Hedman, O., Losberg A., (1975)   | Dimensionering av betongkonstruktioner med hänsyn till tvärkrafter, <i>Nordisk Betong</i> , No 5, 1975.  |
| Hedman, O., Losberg A., (1976)   | <i>Skjuvhållfasthet hos tunna betongplattor belastade med rörliga punktlaster. Preliminär delrapport till Vägverket maj 1976.</i>  |



|  |   |
|--|---|
| Jutila A.,<br>Sundquist H.,<br>(Editors) (2007)                  | <i>ETSI Project (Stage 1): Bridge Life Cycle Optimisation</i> . Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering. ISBN 978-951-22-8645-4, ISSN 1456-6273. Tampere, 2007. URL: <a href="http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI_Stage1.pdf">http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI_Stage1.pdf</a>     |
| Karim, H., (2011)  | <i>Road Design for Future Maintenance – Life-cycle Cost Analysis for Road Barriers</i> , Doctoral Thesis. KTH Royal Institute of Technology. TRITA-VBT 11:04, ISSN 1650-867X, ISRN KTH/VBT 11/04-SE ISBN 978-91-7415-902-8. Stockholm, 2011.  |
| Karoumi, R.,<br>(2011)   | <i>Whole Life Costing of Bridges</i> , KTH Royal Institute of Technology. Lecture notes from course Advanced Bridge Design. Stockholm, 2011.  |
| Kelindeman, M.,<br>(2014)  | <i>Edge Beams: Evaluation of Investment Costs for its application to LCC Analysis</i> , Master Thesis. KTH Royal Institute of Technology. TRITA - BKN. Master Thesis 428, 2014, ISSN 1103-4297, ISRN KTH/BKN/EX--380--SE Stockholm, 2014.   |
| Maglica, A.,<br>(2012)   | Ölandsbrons kantbalkar har fått katodiskt skydd, <i>Husbyggaren</i> .   |
| Maglica, A.,<br>(2014)   | Interview 14-04-13, Stockholm, 2014.  |
| Mattsson, H-Å.,<br>Sundquist, H.,<br>Silfwerbrand, J.,<br>(2007) | The Real Service Life and Repair Costs for Bridge Edge Beams, <i>Restoration of Buildings and Monuments</i> , Vol.13, N. 4, pp 215-228 (2007)   |
| Menn C., (1990)  | <i>Prestressed Concrete Bridges</i> , Birkhäuser Verlag, Basel 1990.  |
| Nishibayashi, M.,<br>Kanjo N., &<br>Katayama, D.,<br>(2006)      | Toward more practical BMS: Its application on actual budget and maintenance planning of a large urban expressway network in Japan, <i>Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost</i> . Taylor and Francis Group., 2006.  |
| O'Connor C.,<br>(1971)   | <i>Design of Bridge Superstructures</i> , John Wiley & Sons, Inc, New York 1971.  |
| Ohjeita, L., (2010)  | Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2010, Helsinki: Liienneviraston Ohjeita  |
| PCA, America's<br>Cement Manu-<br>facturers (2014)               | <i>Corrosion of Embedded Materials</i> . PCA America's Cement Manufacturers. URL: <a href="http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/durability/corrosion-of-embedded-materials">http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/durability/corrosion-of-embedded-materials</a> |
| Racutanu G.,<br>(2000)   | <i>The Real Service Life of Swedish Road Bridges - A case study</i> . Doctoral Thesis TRITA-BKN. Bulletin 59, 2000, ISSN 1103-4270, ISRN KTH/BKN/B--59—SE.  |
| Rantala, T., (2010)  | <i>Life Cycle Analysis of three Finnish Standard Bridges</i> . Finnish Transport Agency, (Liikenneviraston ohjeita. ISBN 978-952-255-544-1  |

|   |  |
|---|--|
| Rautakorpi H., (1988)                                     | Material Quantity and Cost Estimation Models for the Design of Highway Bridges, <i>Acta Polytechnica Scandinavia</i> , Civil Engineering and Building Construction Series No. 90, Helsinki 1988.   |
| Ronnebrant (2014)   | <i>Underlag till kantbalksgruppen.</i>   |
| Safi, M., (2013b)   | <i>Life-cycle Costing: Applications and Implementations in Bridge Investment and Management.</i> Doctoral Thesis. KTH Royal Institute of Technology. TRITA-BKN. Bulletin 121, 2013, ISSN 1103-4270, ISRN KTH/BKN/B-59-SE. Stockholm, 2014.                                 |
| Safi, M., (2012a)   | <i>LCC Applications for Bridges and Integration with BMS.</i> Licentiate Thesis. KTH Royal Institute of Technology. TRITA-BKN. Bulletin 111, 2012, ISSN 1103-4270, ISRN KTH/BKN/B-111-SE. Stockholm, 2012.   |
| Safi, M., Sundquist, H., Karoumi R., (2013)               | <i>Procurement of the most cost-efficient bridge through incorporating LCCA with BMSs: Case of the Karlnäs Bridge in Sweden.</i> Journal of Bridge Engineering – American Society of Civil Engineers (ASCE).   |
| Safi, M., Sundquist, H., Karoumi R., Racutanu, G. (2012b) | <i>Development of the Swedish bridge management system by upgrading and expanding the use of LCC.</i> Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, 9:12, pp 1241-1250, DOI: 10.1080/157324789.2012.682588.        |
| Sagemo, A. & Storck, L., (2013)                           | <i>Comparative study of bridge concepts based on life-cycle cost analysis and life-cycle assessment,</i> Chalmers University of Technology, Master Thesis 2013:55. Göteborg, 2013.   |
| Salokangas L., (Editor) (2009)                            | <i>ETSI Project (Stage 2): Bridge Life Cycle Optimisation.</i> Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering. ISBN 978-951-22-9828-0, ISSN 1797-4925  |
| Salokangas, L. Red., (2013)                               | <i>ETSI Project (Stage 3): Bridge Life Cycle Optimisation.</i> Aalto University School of Engineering. ISBN 978-952-60-5052-2, ISSN-L 1799-4896, ISSN ISSN 1799-490X. Espoo, 2009.   |
| Schlaich J., Scheef H., (1982)                            | <i>Concrete Box-Girder Bridges,</i> IABSE Structural Engineering Documents 1e, Zürich 1982.  |
| Silfwerbrand, J., (2002)                                  | <i>Aktivt brounderhåll: en förstudie.</i> KTH Royal Institute of Technology. TRITA-BKN. Bulletin 65, Brobyggnad 2002, ISSN 1103-4289, ISRN KTH/BKN/B--65--SE.  |
| Silfwerbrand, J., (2008)                                  | Impregnation of Concrete Bridge Elements Exposed to Severe Environment – Is It Cost Effective?, Proceedings, <i>Hydrophobe V - the 5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials.</i> Brussels, Belgium, April 15-16, 2008, pp. 341-354. |
| Sobhit, C., (2014)  | Survival Analysis and Regression Analysis of Swedish Bridges' Edge   |

|  |  |
|--|--|
|  | Beams, KTH, Stockholm.   |
| Sundquist, H., (2007)                                | <i>Safety, Loads and Load distribution on Structures, TRITA-BKN. Report 108, Structural Design &amp; Bridges, KTH, ISSN 1103-4289 ISRN KTH/BKN/R -- 108 – SE, Stockholm 2007.</i>  |
| Sundquist, H., (2007):                               | Infrastructure Structures, TRITA-BKN. Report 116, 2007, Structural Design & Bridges, KTH, ISSN 1103-4289 ISRN KTH/BKN/R -- 116 – SE, Stockholm 2007  |
| Sundquist, H., (2008)                                | <i>Elastic Plate Theory for Bridge Superstructures, TRITA-BKN. Report 120, Structural Design &amp; Bridges, KTH, 2007, ISSN 1103-4289 ISRN KTH/BKN/R -- 120 – SE, Stockholm 2008.</i>  |
| Sundquist, H., (2008)                                | <i>Elastic Plate Theory for Bridge Superstructures, TRITA-BKN. Report 120, Structural Design &amp; Bridges, KTH, 2007, ISSN 1103-4289 ISRN KTH/BKN/R -- 120 – SE, Stockholm 2008.</i>  |
| Sundquist, H., (2011)                                | <i>Robustare brobanepatta – State-of-the-art och förslag till FUDprogram, Structural Engineering and Bridges, KTH Royal Institute of Technology. TRITA-BKN, report 140, ISSN 2203-4289, ISRN KTH/BKN/R--140--SE. Stockholm, 2011.</i>  |
| Trafikverket, (2013)                                 | <i>A` prislista för broåtgärder år 2013. BaTMan (Bridge and Tunnel Management). Trafikverket. Stockholm, 2013.</i>   |
| Trafikverket, (2014)                                 | <i>Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.1. Kapitel: 3, 7, 8, 9, 13, 14, 22. Trafikverket. URL: <a href="http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomska-analys-och-trafikanalys/ASEK---arbetsgruppen-for-samhallsekonomska-kalkyl--och-analysmetoder-inom-transportområdet/">http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomska-analys-och-trafikanalys/ASEK---arbetsgruppen-for-samhallsekonomska-kalkyl--och-analysmetoder-inom-transportområdet/</a></i> |
| Troive, S., (2008)                                   | Utformning av kantbalkar – State-of-the-art, Arbetsmaterial, Vägverket, Borlänge 2008.   |
| Veganzones, J., J., & Moran Quijano, F. d. B. (2013) | <i>Comparative Life-cycle Cost Analysis for Two Road Bridges. Master Thesis. KTH Royal Institute of Technology. TRITA -BKN. Master Thesis 380, 2014, ISSN 1103-4297, ISRN KTH/BKN/EX--380--SE Stockholm, 2014.</i>   |
| Veganzones, J., J., 2014                             | <i>Rapport 152</i>   |
| WSP, (2007)  | <i>Trafikanter värdering av tid - Resultat från den nationella tidsvärdesstudien 2007/08, WSP Sverige AB. Stockholm, 2010. URL:<a href="http://www.trafikverket.se/PageFiles/51331/rapport_2010_11_trafikanters_vardering_av_tid.pdf">http://www.trafikverket.se/PageFiles/51331/rapport_2010_11_trafikanters_vardering_av_tid.pdf</a></i>   |
| Vägverket (1996):                                    | <i>Broprojektering – en handbok. Vägverket, Publ 1996:63, 130 sid.</i>   |
| Vägverket (2011)                                     | BaTMan, A`-prislista för broåtgärder år 2011.  |
| Vägverket,   | Referens från detta arbete ges i Troive (2008)   |

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Kantbalksgruppen<br>(2000) |   |
| Wästlund G.,<br>(1964)     | <i>Kompendium i Brobyggnad</i> , del II. KTH, Stockholm 1964. |