KANTBALKAR – LIVSCYKELKOSTNADER

José Javier Veganzones Muñoz

Innehåll

1. Syfte ... 3
2. Livscykelkostnader ... 3
   2.1 Definitioner ... 3
   2.2 LCC-delar ... 4
      2.2.1 Beställarkostnader ... 4
      2.2.2 Användarkostnader ... 5
      2.2.3 Samhällskostnader ... 5
3. LCC av kantbalkar ... 6
   3.1 Metoden och LCC-modellens struktur ... 6
   3.2 Brofall ... 7
   3.3 Kantbalkstyper ... 9
   3.4 Antaganden och begränsningar ... 10
   3.5 LCC-Modell ... 11
      3.5.1 Del 1: Ägarkostnader ... 11
      3.5.2 Del 1: Användarkostnader ... 14
   3.6 Resultaten av alla brofall ... 20
   3.7 Åtgärdsstrategier ... 22
      3.7.1 Strategi med ett Kontinuerligt Underhåll (KU) ... 24
   3.8 Platsgjutna kantbalkar med rostfritt stål ... 27
   3.9 Våra kantbalkar idag ... 28
4. Slutsatser ... 29
5. Litteraturförteckning ... 31
Bilaga A: Investeringskostnader ... 33
   A.1 Direktkostnader ... 33
   A.2 Indirektkostnader ... 34
   A.3 Investeringskostnader ... 34
Bilaga B: Livscykelåtgärdsplaner (Strategi 1) ... 35
Bilaga C: Resultat för alla Brofall (Strategi 1) ... 36
Bilaga D: Livscykelåtgärdsplaner för varje scenario ... 39
Bilaga E: LCC-modell ... 40
   E.1 Framsidan ... 40
   E.2 Allmän information ... 41
   E.3 Kantbalksutformning ... 42
   E.4 Investeringskostnader ... 43
   E.5 Livscykelsåtgärder ... 44
   E.6 Livscykelsåtgärdsplaner ... 45
   E.7 Användarkostnader ... 46

E.8 Resultaten och jämförelse 47
E.9 Strategier..... 48

1. Syfte

Målet är att skapa en omfattande livscykelkostnadsmodell (LCC-modell) för att:

- Värdera LCC av varje kantbalkstyp under hela brons livslängd.
- Jämföra olika kantbalksgrupper i syfte att kunna hjälpa beslutsfattare avgöra vilken typ som är den mest samhällsoptimala lösningen för varje brofall.
- Kunna identifiera faktorerna som gör skillnad mellan olika typer av kantbalkar och visa hur deras värde kan påverka resultaten.
- Visa hur olika underhållsstrategier kan påverka totala LCC. En strategi där kontinuerligt underhåll utförs ska också redovisas.
- Uppskatta livscykelkostnaderna av en lösning där rostfritt stål används i den integrerade platsgjutna kantbalken.
- Uppskatta hur förbättring av arbetsmiljö och byggteknik inverkar på totala LCC.

2. Livscykelkostnader

2.1 Definitioner

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

LCC består ofta av fyra delar:

- Beställarkostnader
- Användarkostnader
- Samhällskostnader
- Brottkostnader

$$LCC_{\text{struktur}} = LCC_{\text{beställar}} + LCC_{\text{användar}} + LCC_{\text{samhäll}} + LCC_{\text{brott}} \tag{2-1}$$

Eftersom arbetet ska fokusera på kantbalkar antas att brottkostnaderna är obetydliga.

Estetiska frågor

Mer detaljerade analyser skulle visa också andra faktorers påverkan, till exempel estetiska aspekter som kan utöva inflytande på ett positivt sätt (samhällsnytta). De kan spela en viktig roll eftersom kantbalkar är en av de mest synliga delarna i en bro, särskilt om de är lång. Därför bör utformingen vara attraktiv för användare om bron ligger i ett välbesökt område, till exempel en stad. Som en konsekvens är arkitekter intresserade av att påverka utformningen på ett sätt som kan leda till lösningar som skulle kunna vara ineffektiva utifrån ett tidsperspektiv och ett ekonomiskt perspektiv.

Den här frågan inverkar dock inte bara på investeringskostnaderna. I vissa fall kan estetiska aspekter i kantbalken eller räcken ses som så viktig att livscykelåtgärder försummas och som en följd därav spenderas en stor summa pengar under strukturens livslängd [1]. I den här modellen ska de estetiska aspekterna inte beaktas.

2.2 LCC-delar

2.2.1 Beställarkostnader

Beställarkostnader (också kallade ägarkostnader) delas in i investering (INV, *Investment*) och livscykelåtgärder (LCM, *Life Cycle Measures*). Investering betecknar kostnaderna kring planering och projektering, och byggande. Livscykelåtgärder består av:

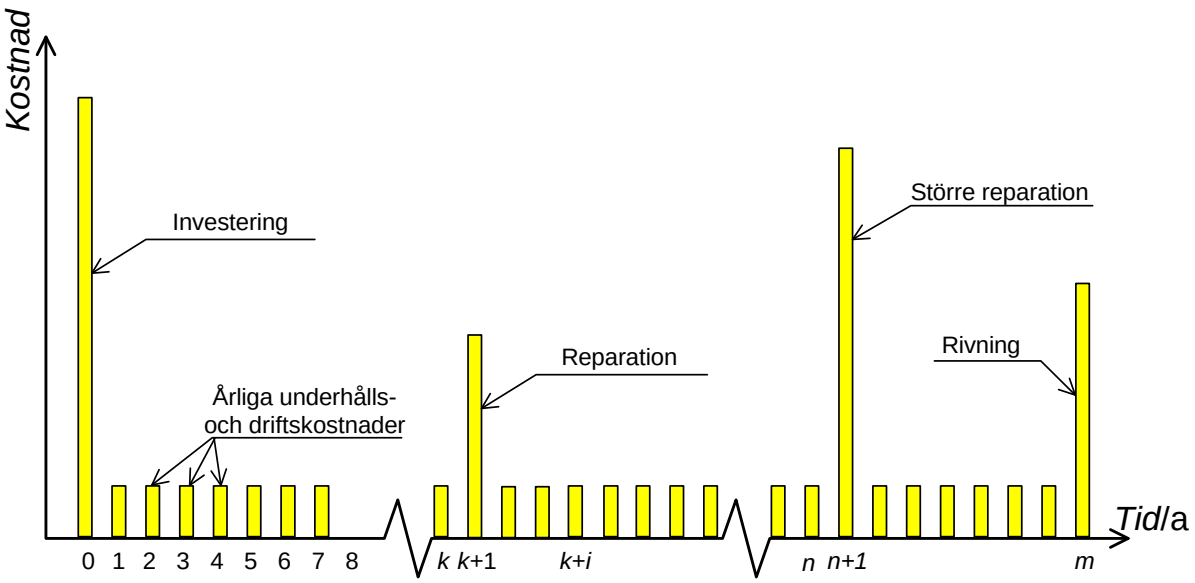
- Inspektioner (INS, *Inspections*),
- Drift och underhåll ($O\&M$, *Operation and Maintenance*),
- Reparation, utbyte och rehabilitering (RRR, *Reparation, Replacement and Rehabilitation*)
- Rivning och återvinning ($R\&D$, *Recycling and Disposal*).

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

$$LCC_{\text{beställar}} = INV + LCM = I_0 + \sum_{t=0}^{L} \frac{C_t}{(1+p)^t} \tag{2-2}$$

- I_0 (INV) är investeringskostnader.
- C_t är totalkostnaden av LCM vid en tid t.
- p är räntan som avser ränta på långa lån, inflationen och den ökade eller minskade nytta som konstruktionen medför.
- L är den förväntade livslängden av konstruktionen.

Figur 2.1 visar kostander som beräknas i en traditionell LCC-Analys som sker under brons livslängd:



Figur 2.1 *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* [2].

2.2.2 Användarkostnader

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

$$LCC_{\text{användar}} = C_{\text{förseningar}} + C_{\text{fordonsdrift}} \tag{2-3}$$

Kostnaderna kring förseningar (TDC, *Trafic Delay Cost*) beräknas enligt:

$$C_{\text{förseningar}} = \sum_{t=0}^{L} T \cdot ADT_t \cdot N_t \cdot \left(r_{\text{t}} w_{\text{t}} + (1 - r_{\text{t}})\, w_{\text{p}}\right) \frac{1}{(1+p)^t} \tag{2-4}$$

- T är den förväntade restidsförseningen i händelse av vägarbete.
- ADT_t är årsdygnstrafik vid en tid t som beräknas enligt:

$$ADT_t = ADT \cdot \left(1 + r_{\text{tg}}\right)^{Year_t - Year_0} \tag{2-5}$$

  - ADT är årsdygnstrafik vid en tid $t = 0$ [fordon/dag]
  - r_{tg} är trafiktillväxt
  - $Year_t$ är året när ADT ska beräknas
  - $Year_0$ är året av nuvarande ADT

- N_t är totaldagarna som behövs för att utföra en viss LCM vid en tid t.
- r_{t} är procentandelen av lastbilar
- w_{t} är timme tidsvärde för en lastbil [SEK/timme]
- w_{p} är timme tidsvärde för en personbil [SEK/timme]

Kostnaderna kring fordonsdrift (VOC, *Vehicle Operation Costs*) beräknas enligt:

$$C_{\text{fordonsdrift}} = \sum_{t=0}^{L} T \cdot ADT_t \cdot N_t \cdot \left(r_{\text{t}} O_{\text{t}} + (1 - r_{\text{t}})\, O_{\text{p}}\right) \frac{1}{(1+p)^t} \tag{2-6}$$

- O_{t} är genomsnitt per timme driftkostnad för en lastbil inklusive dess varuoperation [SEK/timme]
- O_{p} är genomsnitt per timme driftkostnad för en personbil [SEK/timme]

2.2.3 Samhällskostnader

Samhällskostnader avser olyckor, miljöpåverkan, användning av icke-förnybart material och övriga relaterade frågor. Eftersom de övriga frågorna 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:

$$LCC_{samhälls} = \sum_{t=0}^{T} L_{\text{t}} \cdot ADT_t \cdot N_t \cdot\ C_{\text{acc}}\ \cdot (A_{\text{r}} - A_{\text{n}}) \frac{1}{(1+p)^t} \tag{2-7}$$

- L_{t} är drabbade vägbanans längd [km].
- C_{acc} är samhällskostnaden för en olycka [SEK/olycka].

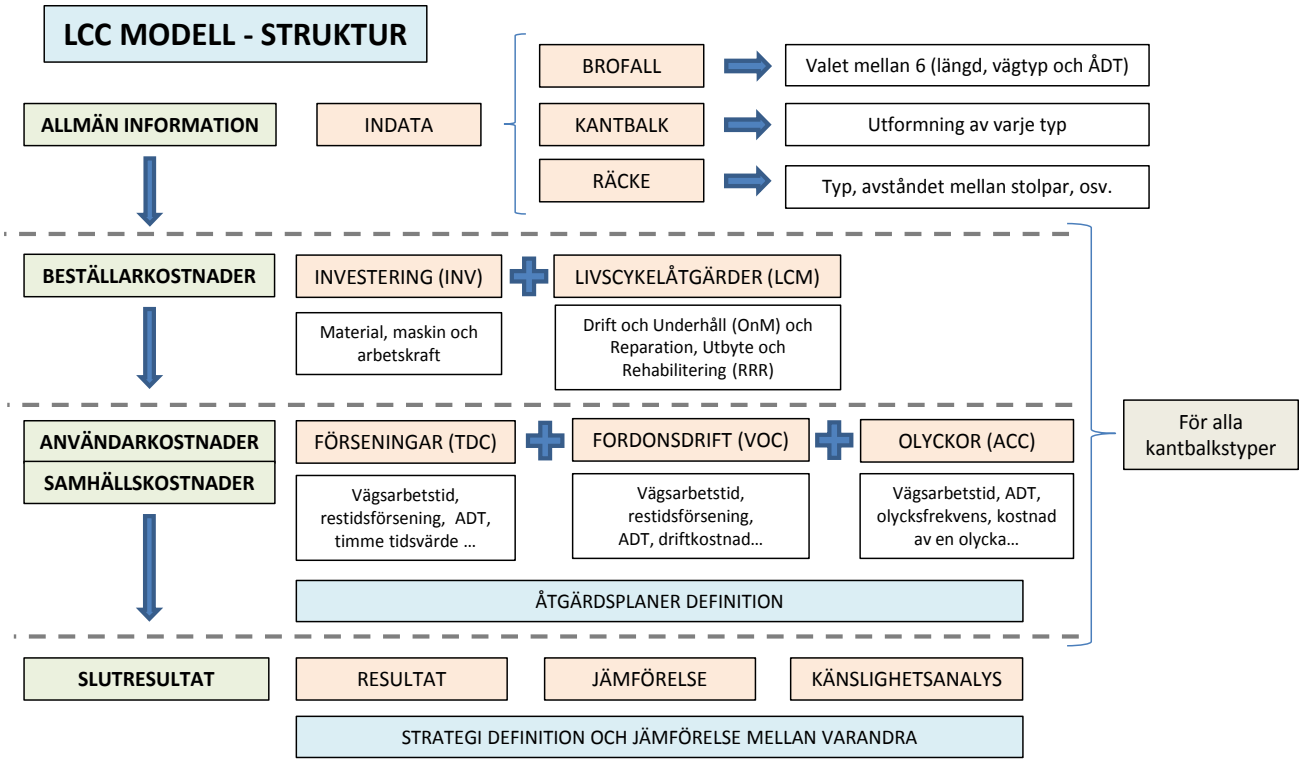
- A_{r} är olycksfrekvens under ett visst arbete [olycka/fordon-km].
- A_{n} är olycksfrekvens under normala förhållanden [olycka/fordon-km].

3. LCC av kantbalkar

3.1 Metoden och LCC-modellens struktur

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 3.2. Sedan ska utformingen av kantbalkstypen definieras utifrån ett alternativ som anses representativt för varje kantbalksgrupp (avsnitt 3.3). Antaganden och begränsningar ska presenteras (avsnitt 3.4). Därefter ska LCC-beräkningar utföras avseende beställar- och användarkostnader (avsnitt 3.5). Slutligen ska resultaten visas och en jämförelse mellan olika kantbalkstyper och brofallen presenteras i avsnitt 3.6. Under arbetet ska påverkan av värdena av vissa faktorer som anses viktiga redovisas i känslighetsanalys. En definierad strategi baserad dels på verklig information, dels på antagningar ska tillämpas i varje kantbalkstyp. Olika strategier redovisas längre fram i syfte att kunna se påverkan av strategisvalet (avsnitt 3.7). En studie om användningen av rostfritt stål och påverkan på totala LCC av byggteknik och arbetsmiljö visas längre fram i avsnitt 3.8 och 3.9.

LCC-modellen integreras i ett Excel-baserat program och dess struktur är följande (**figur 3.1**). Några skärmdumpar av modellen kan hittas i **Bilaga E**:



Figur 3.1 *LCC-modellens struktur. Först introduceras indata kring valet av brofall, kantbalks- och räckesutformning. Sedan utförs LCC-beräkningar i termer av Beställarkostander som delas in i Investering och Livscykelåtgärder, och Användarkostnader som delas in i Förseningar, Fordonsdrift och Olyckor. Slutligen redovisas resultaten och en jämförelse mellan tillämpningen av kantbalkstyperna i varje brofall. Känslighetsanalys för vissa faktorer presenteras. Tillfälle för att vissa resultaten av olika underhållsstrategier finns.*

3.2 Brofall

För att kunna samla upp alla brofall som finns ska 3 faktorer kombineras för att definiera dem:

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

Alla 6 brofall som beaktas med ett generellt exempel visas i **Tabell 3.1**.

Tabell 3.1 *Alla brofall som kan hittas i Sverige med ett generellt exempel*

BROFALL 1			Väg E45 – Åsarna (Jämtlands län)
Kort bro (10-15 m)	Vägtyp 1 V2,0+K3,5+K3,5+V2,0	Ej stadsområde Låg ÅDT (5000 f/d)	

BROFALL 2			Väg 249 – Fellingsbro (Örebros län)
Lång bro (10-15 m)	Vägtyp 1 V2,0+K3,5+K3,5+V2,0	Ej stadsområde Låg ÅDT (5000 f/d)	

BROFALL 3			S Kungsvägen – Lidingö (Stockholms län)
Kort bro (10-15 m)	Vägtyp 1 V2,0+K3,5+K3,5+V2,0	Stadsområde Hög ÅDT (20000 f/d)	

BROFALL 4			Mariebergsbron (Stockholms län)
Kort bro (10-15 m)	Vägtyp 1 V2,0+K3,5+K3,5+V2,0	Stadsområde Hög ÅDT (20000 f/d)	

BROFALL 5			Väg 73 – Haninge (Stockholms län)
Kort bro (10-15 m)	Vägtyp 2 V2,0+2K3,5+M2,5+2K3,5+V2,0	Stadsområde Hög ÅDT (40000 f/d)	

BROFALL 6			Väg 50 – Karlslundsgatan (Örebros län)
Kort bro (10-15 m)	Vägtyp 2 V2,0+2K3,5+M2,5+2K3,5+V2,0	Stadsområde Hög ÅDT (40000 f/d)	

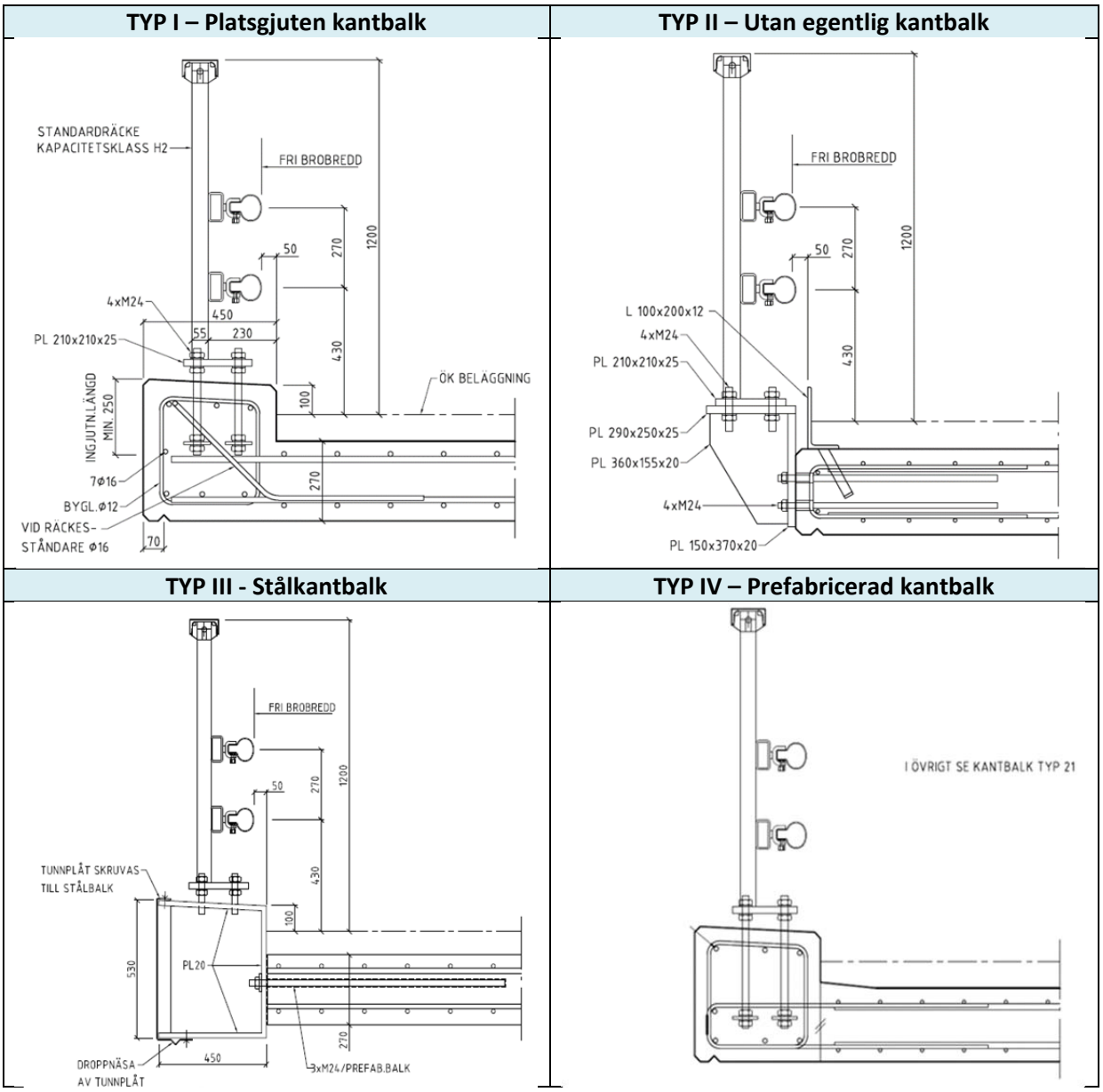
De andra brofallen som följer av kombinationen har beslutats inte vara representativa för arbetet eftersom deras förekomst inte är så vanlig i Sverige, till exempel lång eller kort bro med två körfält i vardera ritningen med låg daglig trafik. Dock kan man redigera modellen för att se hur resultaten skulle se ut i de andra brofallen.

3.3 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 5 förbises eftersom den kan antas vara en variation av de övriga förslagen. I det här arbetet ska det tas fram ett alternativ som representerar varje typ (**Figur 3.2**):



Figur 3.2 *Kantbalkstyper som ska värderas i LCC-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 brons livslängd. Man kan se ett exempel i bron i Askersund som beskrivs närmare i [3] och [4].

3.4 Antaganden och begränsningar

Följande antaganden har gjorts:

- Analysen fokuserar enbart på vägbroar. Då exkluderas järnbroar.
- Kantbalken byggs ny från början samtidigt med bron. Därför är kantbalksutbyte inte en del av projektet. Alla kantbalkar byggs samtidigt med broarna.

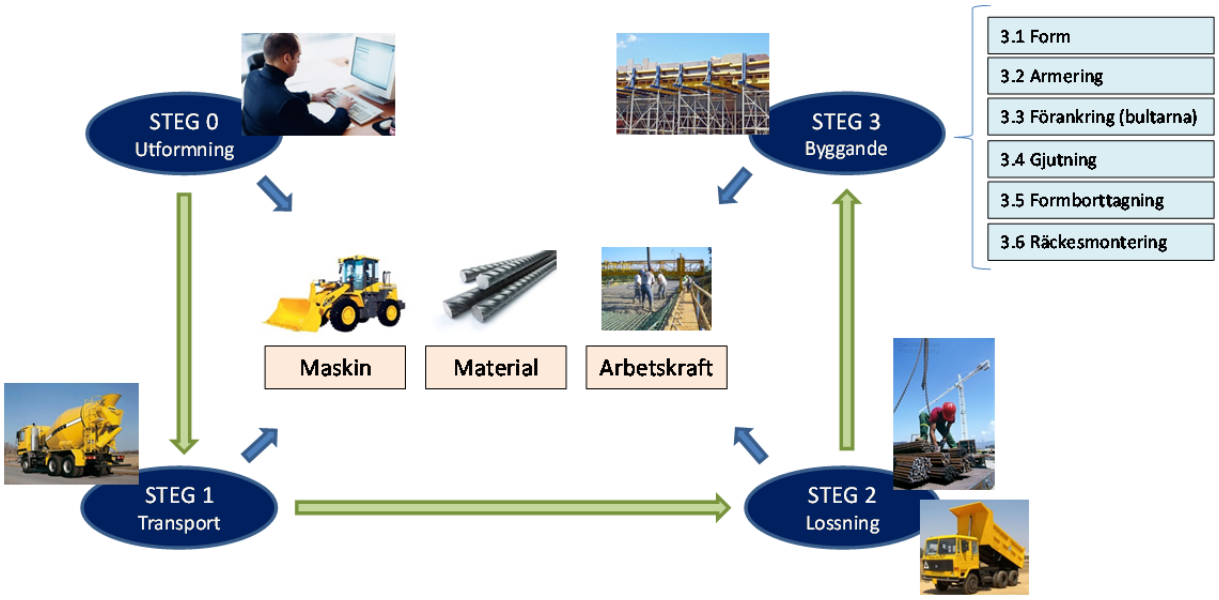
- Brolivslängden är 120 år. Det här valet påverkar inte märkbart resultaten eftersom det i beräkningarna förutsätts att pengarnas värde diskonteras. Det innebär att de åtgärder som sker i slutet av brons livslängd är av mindre betydelse än de ”tidiga” åtgärderna.
- Kantbalkslivslängden beror inte på $\text{ÅD}T$. Det skulle kunna antas att det finns ett samband mellan de två parametrarna eftersom sannolikheten att kantbalken skulle kunna försämras ökar för broar med högre $\text{ÅD}T$. Detta på grund av ökad sannolikhet för att en olycka händer, större mängd salt används, ökad mängd vatten skvätter, osv. 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 [5]. Därför antas att kantbalkslivslängden är densamma oavsett $\text{ÅD}T$. På samma sätt har det bestämts att kantbalkslivslängden inte ska bero på vägtyp.
- Alla kantbalksförlag 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 livscykelsåtgärder som utförs. Detta förklaras längre fram.
- Estetiska frågor ska inte beaktas som tidigare nämnts.
- En begränsning av det här arbetet är att 6 olika brofall ska beaktas i den här analysen. De anses vara typiska för majoriteten av broar i Sverige. Dock skiljer det från bro till bro och för specifika fall skulle man kunna behöva utföra en noggrannare analys. På samma sätt har 4 olika kantbalkstyper som anses representativa i varje grupp tagits fram under arbetet utav 23 förslag. I båda situationerna kan man använda LCC-modellen och redigera brofall och kantbalksutformning för att de önskade resultaten i ett speciellt fall nås.

3.5 LCC-Modell

3.5.1 Del 1: Ägarkostnader

3.5.1.1 Investeringskostnader

Kantbalkarnas investeringskostnader för kantbalkstyper I och IV har uppskattats enligt verkliga data tagna från broarna [3]. Eftersom typ II och III inte har byggts ännu har data extrapolerats till 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 (**Figur 3.3**).



Figur 3.3 *Metoden som ska följas för att värdera LCC av kantbalkar*

Mer detaljerad information om varje steg avseende maskin, material och arbetskraft och hur investeringskostnader beräknas kan hittas i **Bilaga A**.

3.5.1.2 Livscykelåtgärder

Livscykelåtgärder (LCM, *Livscykelåtgärder*) delas in i Inspektioner (INS, *Inspections*), Drift och Underhåll ($O\&M$, *Operation and Maintenance*), Reparation, Utbyte och Rehabilitering (RRR, *Reparation, replacement and rehabilitation*) och Rivning och återvinning ($R\&D$, *Recycling and disposal*). Eftersom inspektioner utförs på samma sätt i alla broar ska dessa inte beaktas i analysen. De åtgärder som ska beaktas i analysen är följande:

<u>Drift och Underhåll ($O\&M$)</u>

- Rengöring från salter och grus, vilket utförs varje år.
- Rengöring från vegetation, vilket utförs vartannat år.

<u>Reparation, Utbyte och Rehabilitering (RRR)</u>

- Impregnering
- Betongreparation
- Kantbalksutbyte
- Stål ommålning
- Räckesåtgärder: 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 speglas i **Bilaga B**. Åtgärder som visas antas vara de viktigaste som oftare utförs i broar. Om man vill inkludera andra åtgärder kring Drift och Underhåll, och Reparation, Utbyte och Rehabilitering till finns tillfälle i modellen att göra det.

<u>Rivning och Återvinning ($R\&D$)</u>

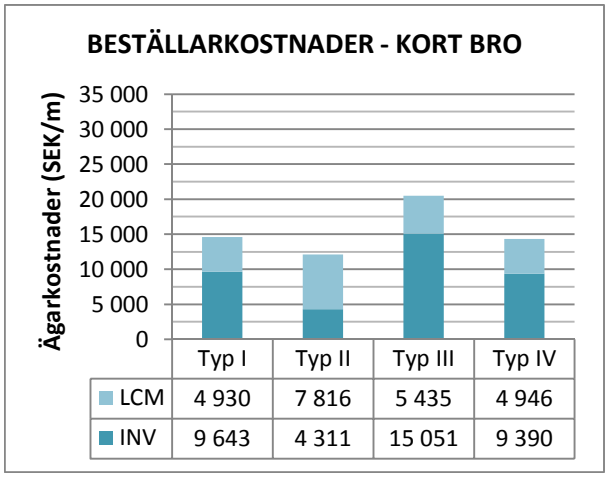
Rivning och återvinning antas uppgå till 10 % av investeringskostnaderna [6].

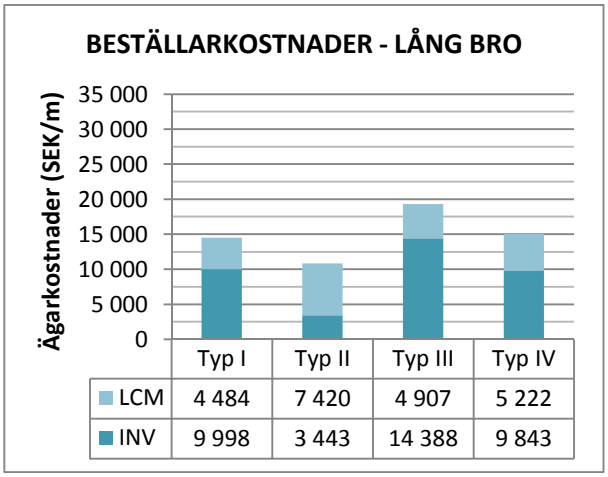
I modellen kan alla åtgärder definieras i termer av sannolikhet för handlings nödvändighet. Med det menas att ett visst arbete inte alltid ska utföras för varje bro. Till exempel ska inte alla kantbalkar i alla broar i Sverige bytas ut. Safi [6] föreslår att sannolikheten för att byta ut kantbalken är 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 försämrad. 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 2013 databas [7] och Safis arbete [6].

3.5.1.3 Resultat

I **Figur 3.4** visas totala beställarkostnader i SEK/m som delas in i Investeringskostnader (INV) och Livscykelåtgärder (LCM) för korta (brofall 1, 3 och 5) och långa (brofall 2, 4 och 6) broar för alla typer av kantbalkar:





Figur 3.4 *Beställarkostnader dels Investeringskostnader (INV) dels Livscykelåtgärder (LCM) för korta och långa broar*

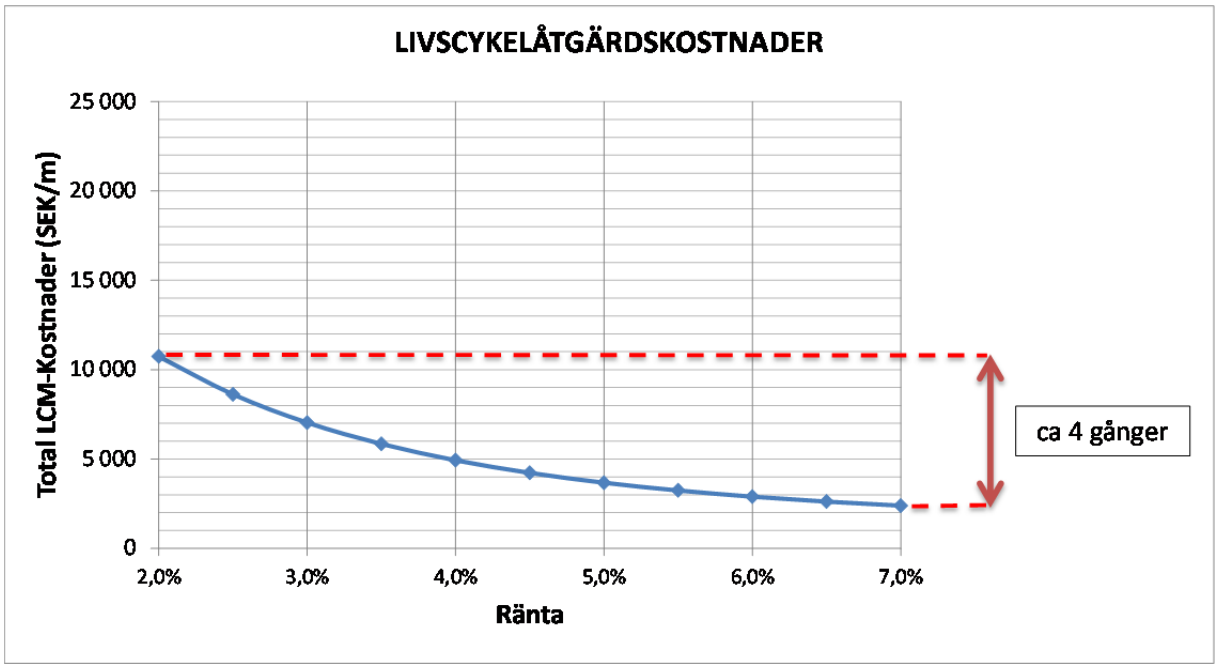
Man kan se att skillnaden mellan de två är knappt märkbar. Den kan förklaras av olika faktorer: maskinen som används är annorlunda, mängden av arbetskraft, livscykelåtgärdskostnader som beror på längden, osv. Som tidigare nämnts påverkas inte beställarkostnader av $ÅDT$ och vägtyp.

INV blir den största delen av de totala beställarkostnaderna för typerna 1 (platsgjutna kantbalkar), 4 (prefabricerade kantbalkar) och särskilt 3 (stålkantbalkar). Dock är LCM också en viktig del, vilken kan öka till runt 35 %. Avseende typ 2 (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-profiler. 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.

3.5.1.4 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 livscykelåtgärdskostnader när man ändrar räntan från 2 % till 7 % för brofall 1 med kantbalkstyp I (**Figur 3.5**):



Figur 3.5 *Känslighetanalys avseende realräntan med ett värde som går från 2 % till 7 % för Livscykelåtgärdskostnader (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 [2].

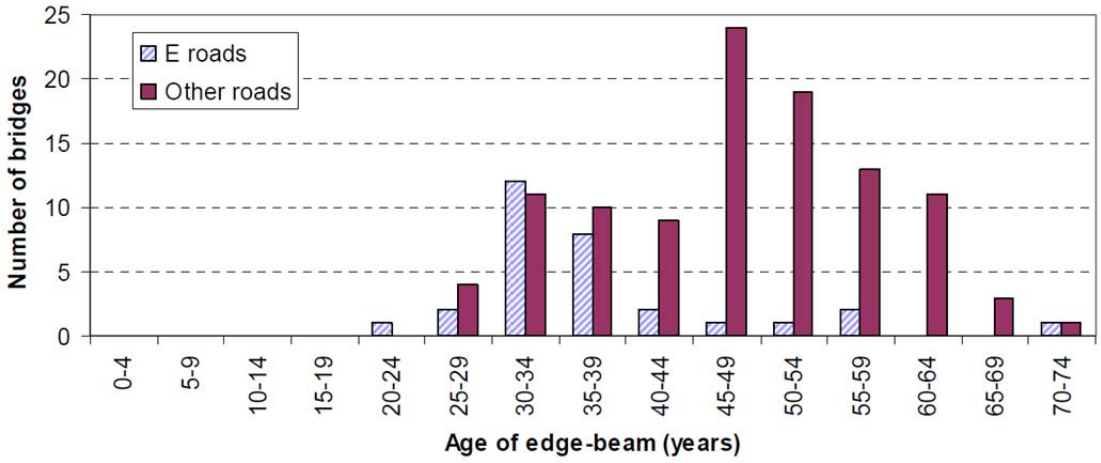
3.5.2 Del 1: Användarkostnader

3.5.2.1 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 sekunderväg även om den har skadats mycket. Medel för underhåll används bättre till en bro med högre trafik i staden [8].

Detta får tas hänsyn till när sammanfattningar görs. Sobhit [9] 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 och Sundquist [10] visar att kantbalkarna i E4-broar byts ut tidigare än resten (**Figur 3.6**):



Figur 3.6 *Jämförelse mellan kantbalkens livslängd i E4-vägar (blå) och andra vägar (röd). Analysen omfattar 135 av Trafikverkets broar i Mälardalen 1990-2005* [10].

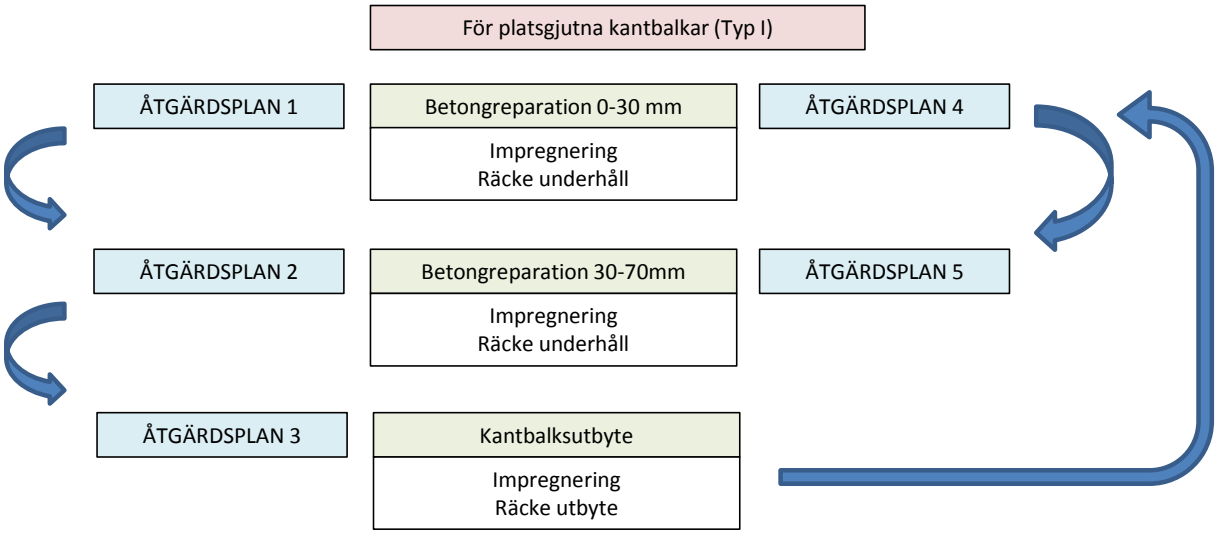
Mattsson och Sundquist menar att de viktigaste orsakerna till kortare livslängd av E4-kantbalkar kan vara nötning på grund av högt $\text{Å}DT$ och användning av större mängd salt. Man kan fråga sig om detta i stället skulle kunna förklaras av broförvaltningsfrågor, exempelvis tillgång till medel för 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 bytes ut tar Trafikverket ofta chansen att utföra andra livscykelåtgärder kring räcke eller isoleringsmatta, och vice versa [8].

Därför är principen att *när flera olika livscykelåtgärder måste utföras ska de vidtas 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 1 (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 räcket som utförs efter 20 år. Den andra planen kan vara betongreparation 30-70 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 (**Figur 3.7**).



Figur 3.7 *Exempel av en åtgärdsplan för platsgjutna kantbalkar. I grön visas "Master"-aktivitet och med de följande "Slav" i vitt.*

Som nämndes tidigare är de element i kantbalkssystemet som inkluderas kantbalken själv och räcket. Dock kan tätskikt och även beläggningen avses i modellen i termer av åtgärdersplaner. 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. Alla antagna åtgärdsplaner för varje kantbalkstyp visas detaljerat i **Bilaga B**.

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 [8] anser att kantbalken borde kunna klara sig på 1-2 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).

Drift- och underhållsarbeten kontribuerar inte till trafikantkostnaderna eftersom de utförs på nätet och inte innebär någon trafikstörning.

3.5.2.2 Parametrar som definierar trafikantkostnader

De följande parametrarna måste definieras för att beräkna användarkostnader (**Tabell 3.2**):

Tabell 3.2 *Antagna trafikantkostnader, allmänna parametrar*

Parameter	Symbol	Enhet	Värde
Trafiktillväxt	r_{tg}	-	1,1 %
Procentandelen av lastbilar från alla ÅDT	r_t	-	7 %
Förväntade restidsförsening i händelse av vägarbete	T	t	
- Drabbade vägbanans längd	L_t	m	
o Kort bro			500
o Lång bro			2000
- Hastighetsreduktion	$v_s - v_r$	km/t	
o Vägtyp 1, Låg ADT			80-60

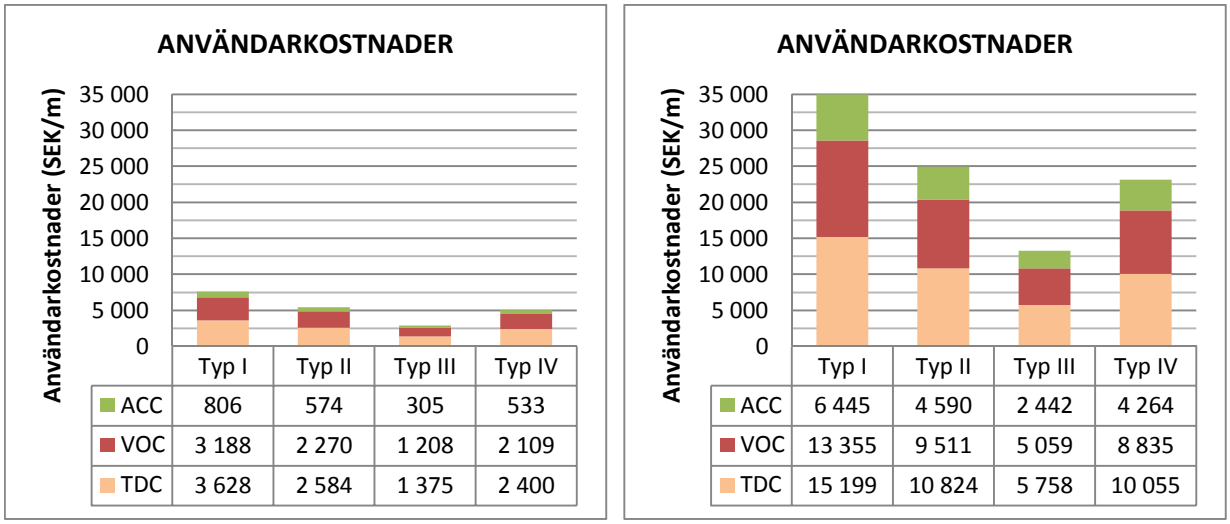
Parameter	Symbol	Enhet	Värde
o Vägtyp 1, Hög ADT o Vägtyp 2, Låg ADT o Vägtyp 2, Hög ADT			60-50 110-60 90-50
Timme tidsvärde för en lastbil	w_t	SEK/t	540
Timme tidsvärde för en personbil	w_p	SEK/t	145
Driftkostnad per timme för en lastbil inkl. varuoperation	O_t	SEK/t	440
Driftkostnad per timme för en personbil	O_p	SEK/t	130
Olycksfrekvens under normala förhållanden	A_r	olyckor/fordon-km	3,15E-07
Olycksfrekvens under ett visst arbete	A_n	olyckor/fordon-km	1,15E-06
Olyckskostnad för samhället	C_{acc}	MSEK/olycka	4,8

Trafikantkostnadernas allmänna parametrar baseras på olika litteraturreferenser [1] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] och är anpassade till det här arbetet. Lastbilar inkluderar bussar till 35 %. Förväntad restidsförsening i händelse av vägarbete beräknas genom drabbade vägsbanans längd, som beror på brons längd, och hastighetsreduktion, som beror på vägtyp och $ÅDT$. Vid timme tidsvärde för en personbil och en lastbil ingår arbetstiden för resor, pendlingsresor samt transaktion och andra fritidsresor. Vid 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 %).

3.5.2.3 Resultat

Figuren 3.8 visar totala Användarkostnader i SEK/m som delas in i Förseningskostnader (TDC), Fordonsdrift (VOC) och Olyckskostnader (ACC) för brofall 1 och 5 för alla kantbalkstyper:

BROFALL 1	BROFALL 5



Figur 3.8 *Användarkostnader för Brofall 1 och 5 där ACC är Olyckskostnader, VOC Fordonsdriftskostnader och TDC Förseningskostnader.*

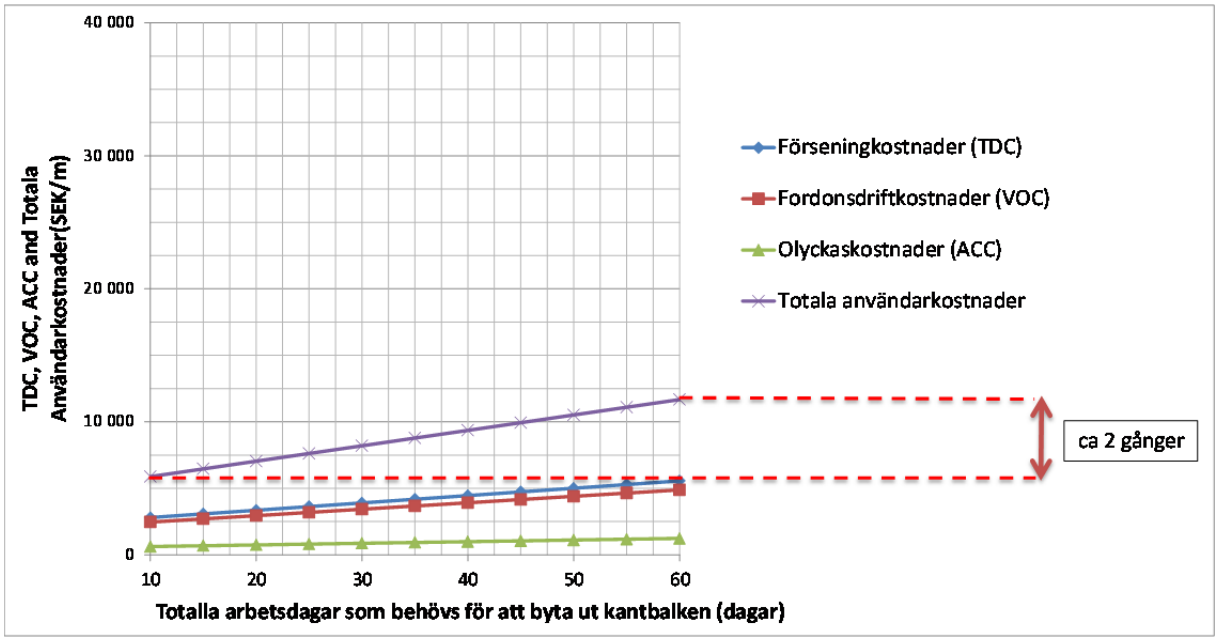
Man kan se att i det här fallet utgör först TDC och sedan VOC den största delen av de totala trafikantkostnaderna medan ACC är av mindre betydelse. Den första grafen motsvarar ett brofall där $ÅDT$ är mycket lägre och så är användarkostnaderna i jämförelse med beställarkostnaderna. I de

andra fallen med högre daglig trafik ökar användarkostnaderna till max 60-70 % av totala LCC beroende på fall (se bilaga 1).

3.5.2.4 Känslighetsanalys

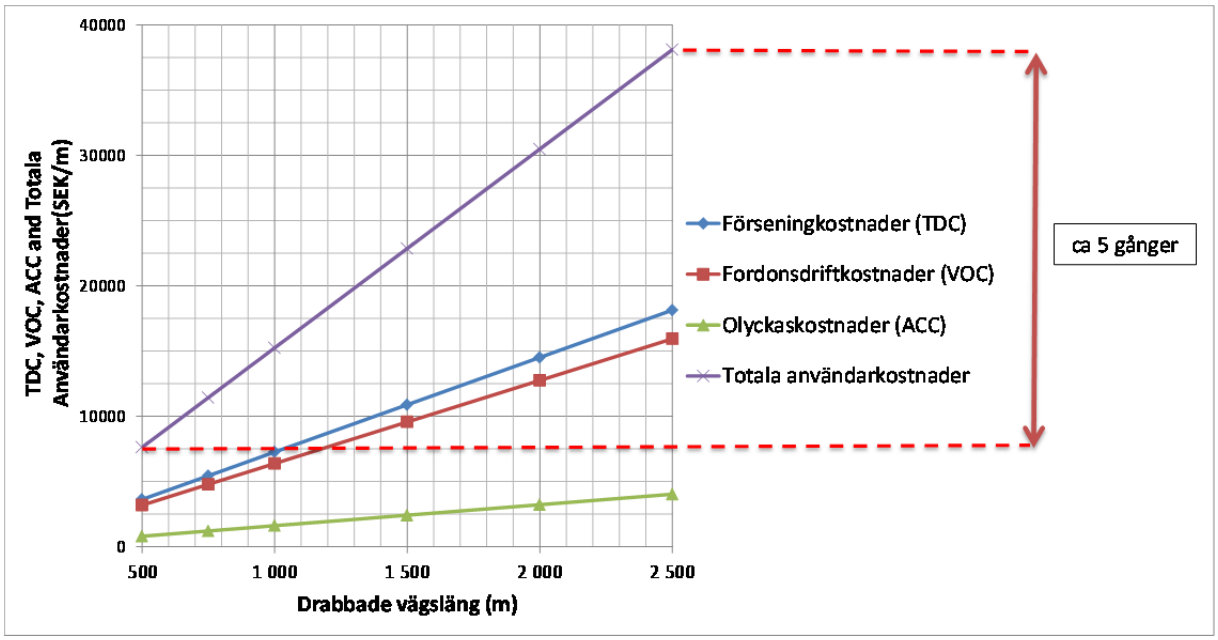
Inflytandet av parametrarna som beräkningarna av trafikantkostnaderna består av är av stort intresse. I det här arbetet kommer en känslighetanalys att visas med totalt antal dagar som behövs för att byta ut kantbalken och vägbanans längd där trafikstörningar förekommer på grund av åtgärderna. Båda två antas påverka på ett betydande sätt jämfört med de andra parametrarna eftersom deras värde antas vara mer tillförlitligt. I **Figur 3.9** och **Figur 3.10** speglas resultatet för brofall 1 med kantbalkstyp 1.

<u>Totalt antal dagar som behövs för kantbalksutbyte</u>



Figur 3.9 *Känslighetsanalys avseende det totala antalet av dagar som behövs för kantbalksutbyte. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.*

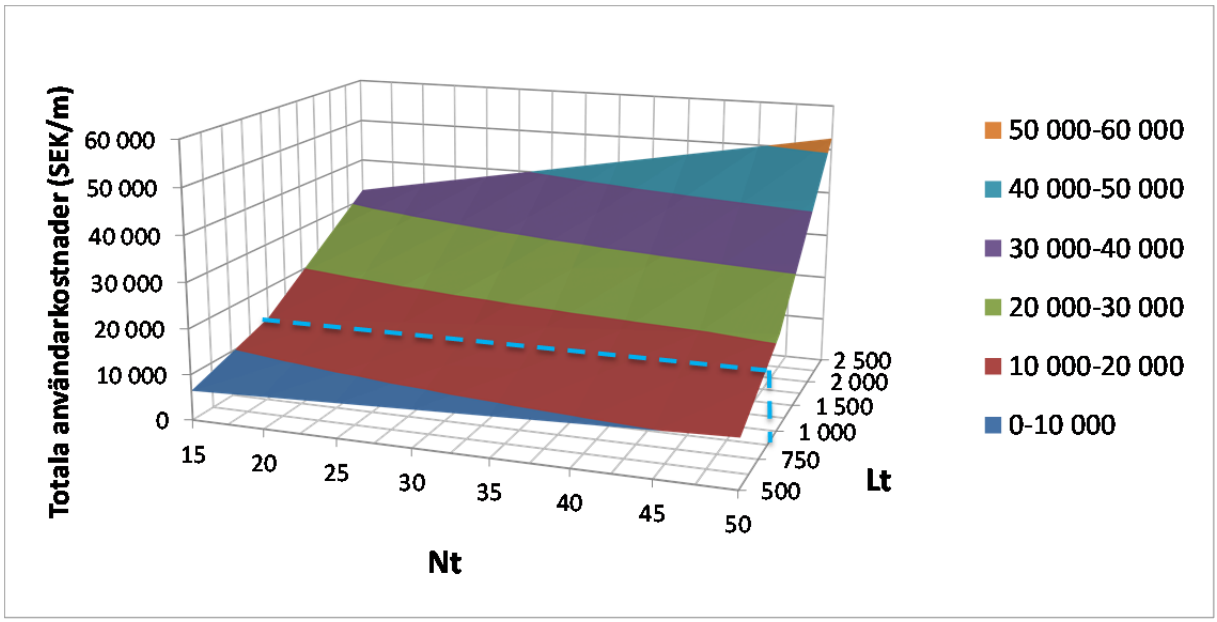
Vägbanans längd där trafikstörningar förekommer på grund av kantbalksutbyte



Figur 3.10 *Känslighetsanalys avseende väglängden där trafikstörningar förekommer på grund av kantbalksutbyte. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.*

Totalt antal dagar som behövs för att byta ut kantbalken kan öka livscykelkostnaderna upp till 2 gånger mer medan vägbanelängd där trafikstörningar förekommer upp till 5 gånger mer. Därför är den förstnämnda av mindre betydelse än den andra. Det förklaras av faktumet att totalt antal dagar varierar från 10 till 60 dagar medan vägbanans 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 sammanlagda än hur stora trafikstörningarna är i termer av vägbanelängd. Naturligtvis finns restidsförseningen 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 3.11** visar en kombination av båda parametrarna:

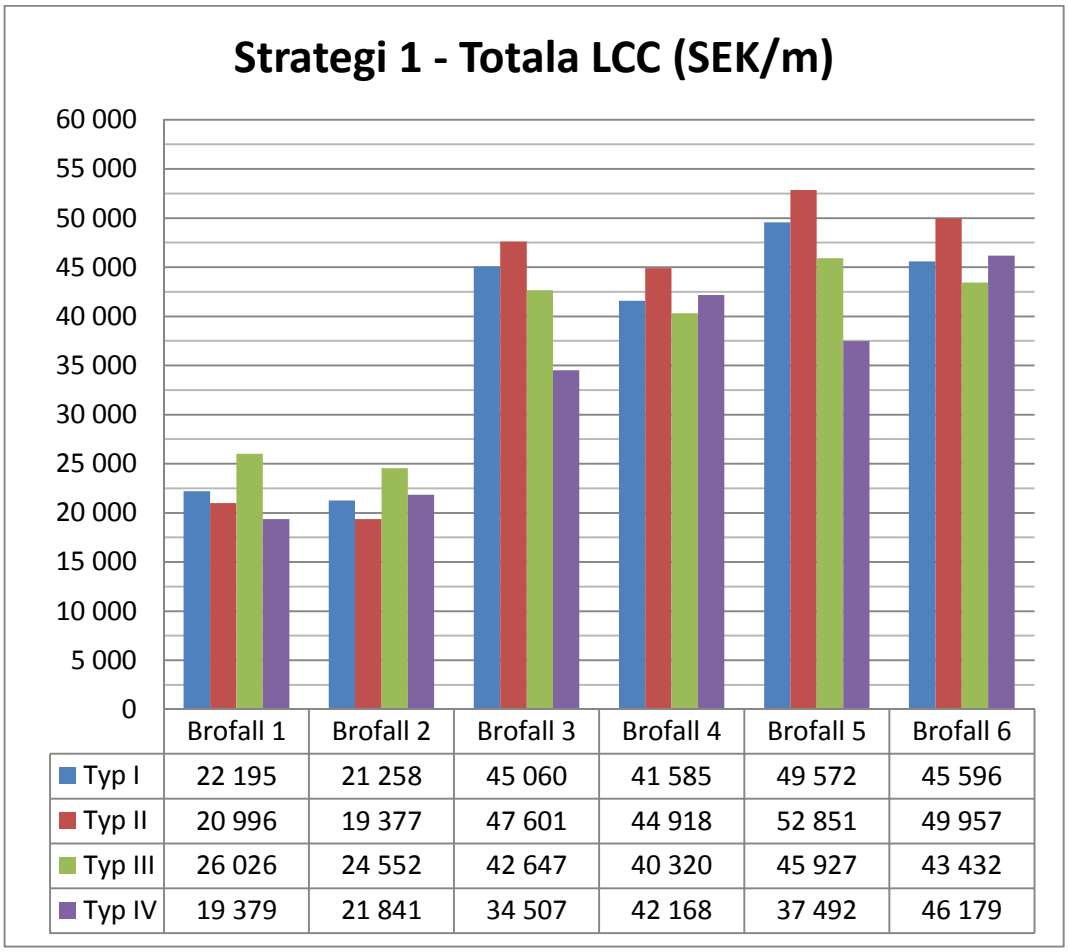


Figur 3.11 *Känslighetsanalys avseende vägbanans längd där trafikstörningar förekommer på grund av kantbalksutbyte. Resultatet motsvarar kantbalkstyp I i brofall 1.*

Den här figuren visar det som nämnts tidigare. 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 kantbalkensutbyte tar. Det skulle alltid kosta mellan 10000 och 20000 kr.

3.6 Resultaten av alla brofall

I **Figur 3.12** visas resultaten för alla brofall med alla kantbalkstyper. Mer detaljerad information avseende beställar- och användarkostander för varje kantbalkstyp speglas i bilaga C.



	Brofall 1	Brofall 2	Brofall 3	Brofall 4	Brofall 5	Brofall 6
Typ I	22 195	21 258	45 060	41 585	49 572	45 596
Typ II	20 996	19 377	47 601	44 918	52 851	49 957
Typ III	26 026	24 552	42 647	40 320	45 927	43 432
Typ IV	19 379	21 841	34 507	42 168	37 492	46 179

Figur 3.12 *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 [18]. 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 [3] och [4]. Osäkerheter finns avseende typ II (utan egentlig kantbalk) och typ III (stålkantbalkar). Den första ser ut att vara lämplig för korta broar. Å andra sidan passar den sista 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. 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.

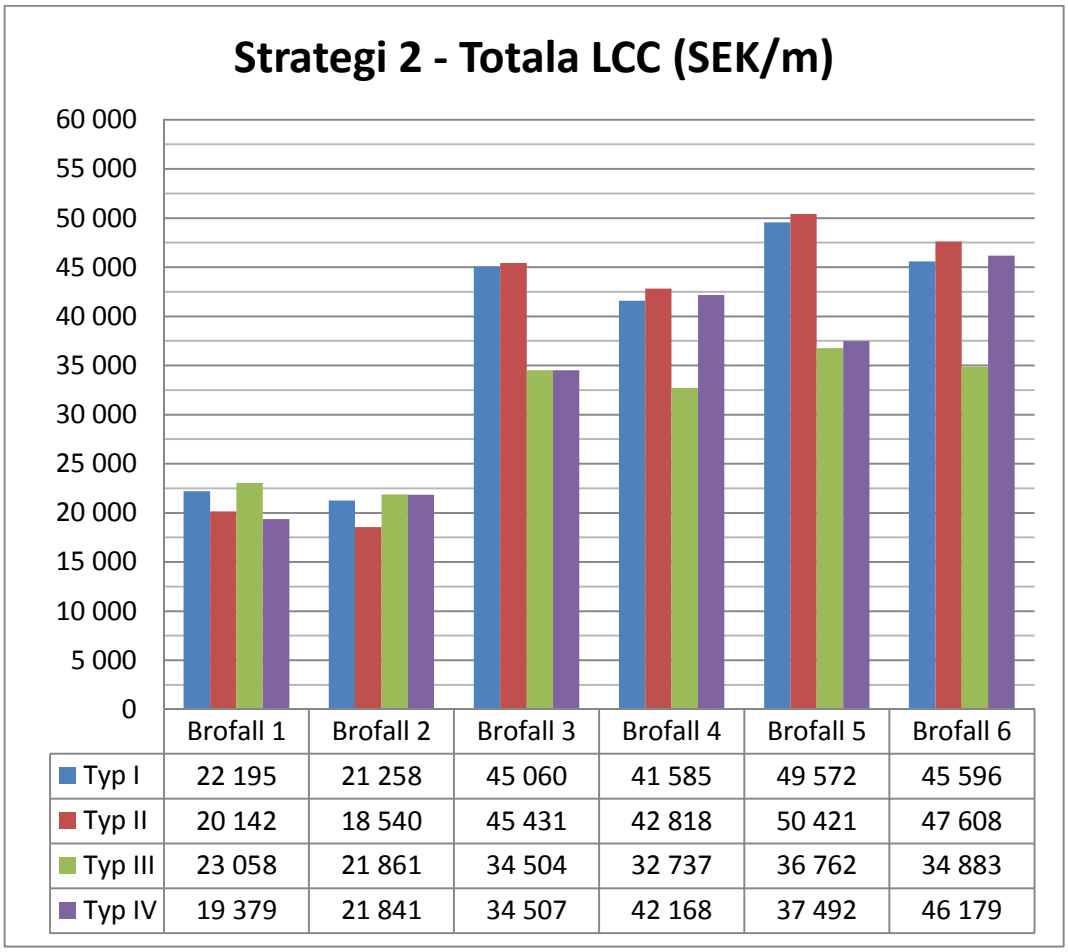
3.7 Åtgärdsstrategier

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 livslängden 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 3.13** och **Figur 3.14** speglar resultaten ifall strategin ändras. **Tabell 3.3** visar antaganden som gjorts för varje strategi:

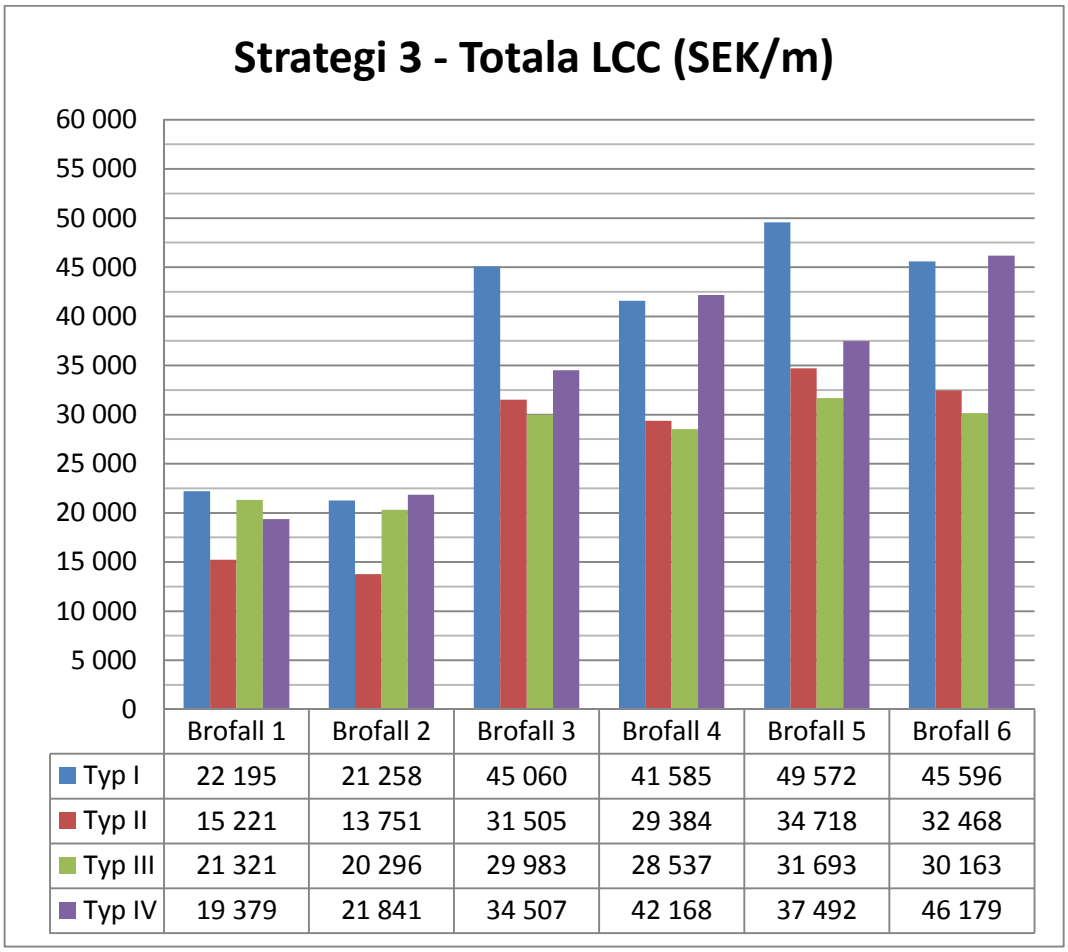
Tabell 3.3 *Antaganden för Strategier 2 och 3.*

	TYP II – UTAN EGENTLIG KANTBALK (år)		**Typ III - STÅKANTBALK (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



	Brofall 1	Brofall 2	Brofall 3	Brofall 4	Brofall 5	Brofall 6
Typ I	22 195	21 258	45 060	41 585	49 572	45 596
Typ II	20 142	18 540	45 431	42 818	50 421	47 608
Typ III	23 058	21 861	34 504	32 737	36 762	34 883
Typ IV	19 379	21 841	34 507	42 168	37 492	46 179

Figur 3.13 *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.*



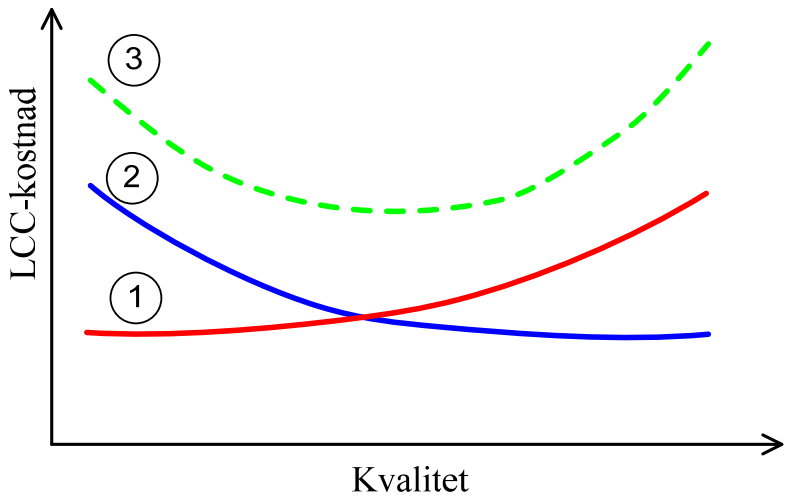
	Brofall 1	Brofall 2	Brofall 3	Brofall 4	Brofall 5	Brofall 6
Typ I	22 195	21 258	45 060	41 585	49 572	45 596
Typ II	15 221	13 751	31 505	29 384	34 718	32 468
Typ III	21 321	20 296	29 983	28 537	31 693	30 163
Typ IV	19 379	21 841	34 507	42 168	37 492	46 179

Figur 3.14 *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.*

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-stål-profilen förlängs med 10 år. Avseende typ III blir totala LCC lägre eftersom kantbalken behöver bytas ut bara en gång under hela brons 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.

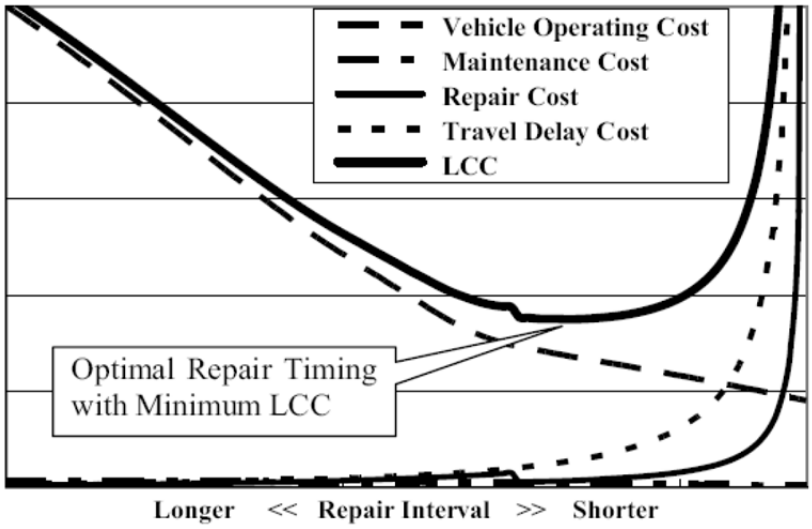
3.7.1 Strategi med ett Kontinuerligt Underhåll (KU)

Sambandet mellan Investeringskostnader (INV) och Livscykelåtgärdskostnader (LCM) är av stort intresse. **Figur 3.15** visar att ökad kvalitet ökar INV men minskar LCM, och vice versa [2]. Enligt denna idé skulle en optimal utformning som ger lägsta totala LCC och maximal nytta kunna finnas.



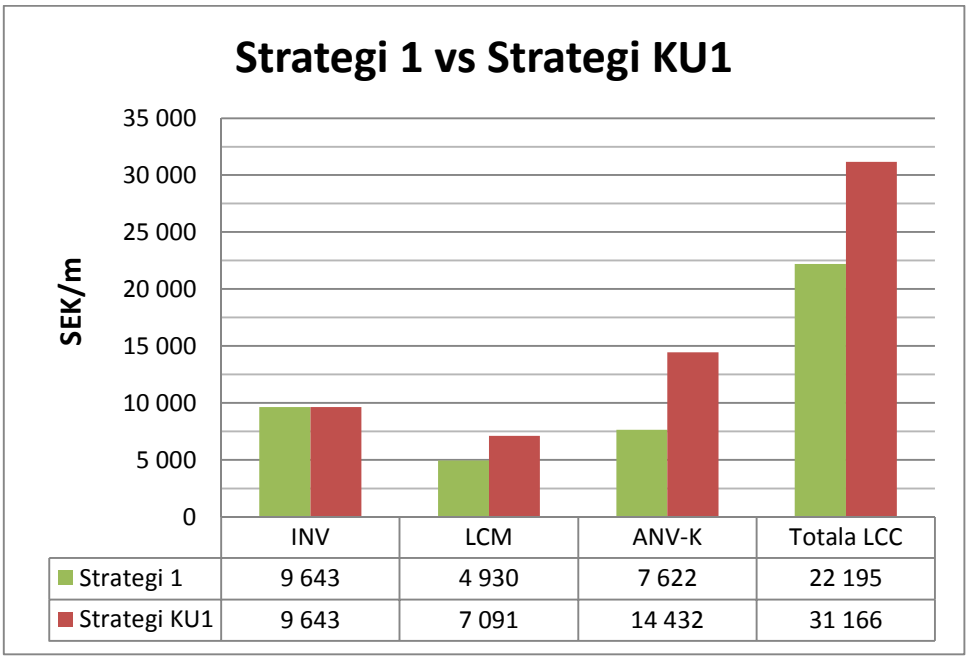
Figur 3.15 *Schematiska kurvor som visar att ökad kvalitet ökar investeringskostnaderna men minskar underhållskostnaden, och vice versa. Vidare forskning behövs för att hitta ett optimum för den totala LCC*

Nishibayashi et al. (2006) [19] visade sambandet mellan totala LCC inkl. användarkostnader och LCM-åtgärdsintervall för broar (**Figur 3.16**). Enligt denna graf skulle även en optimal strategi med vissa åtgärdsplaner kunna finnas.



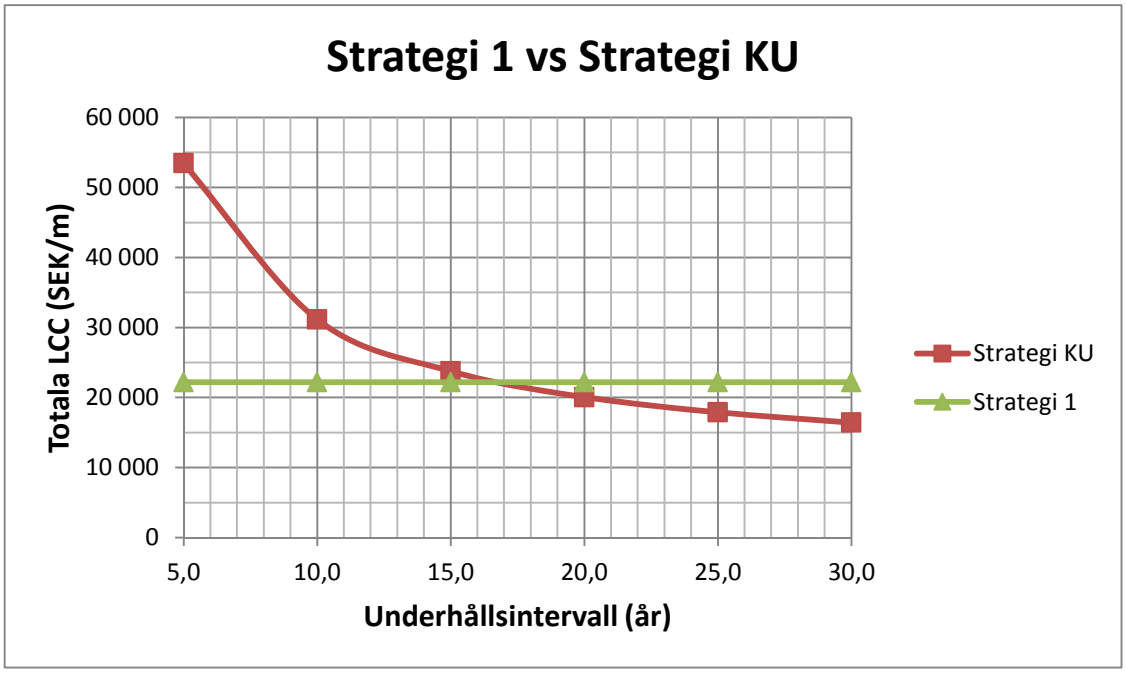
Figur 3.16 *Schematiskt diagram som visar sambandet mellan intervallet av reparationsintervall och LCC för broar enligt Nishibayashi et al.* [19]

Figur 3.16 hänvisar till broar i allmänhet. I samband med detta kan man också fråga sig hur diagramet skulle kunna anpassas till kantbalkar och hur det skulle påverka 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 LCM-kostnader och, som är av större betydelse, lägre Användarkostnader eftersom de här åtgärderna tar längst tid och hela bron drabbas. **Figur 3.17** speglar en jämförelse av totala LCC mellan Strategi 1 och en Strategi som ska 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 räckesåtgärder kan inkluderas i en åtgärdsplan.



Figur 3.17 *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 LCM-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 3.18**:

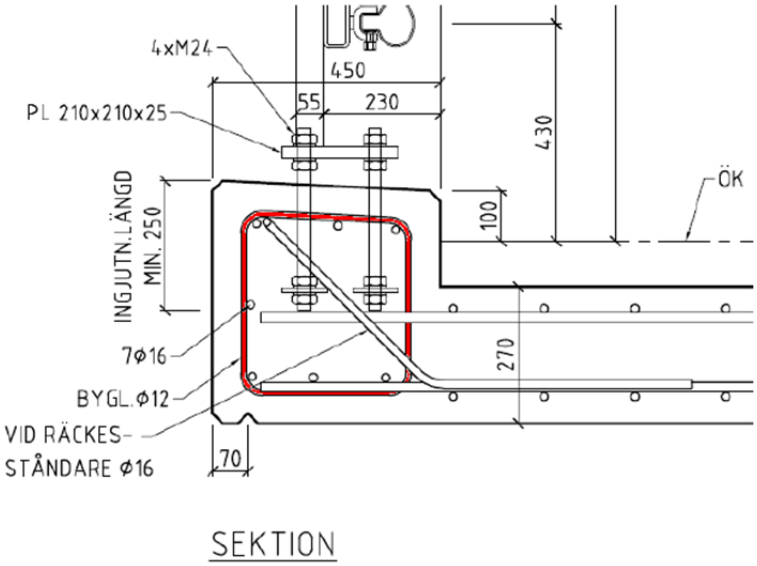


Figur 3.18 *Jämförelse mellan Strategi 1 och olika Strategier KU (Kontinuerligt underhåll) med olika underhållsintervaller.*

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.

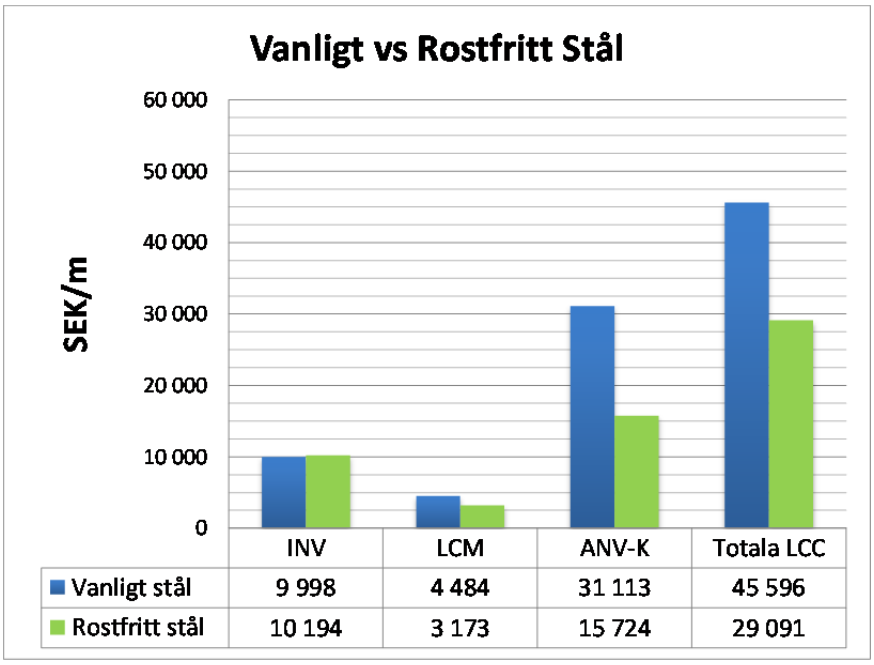
3.8 Platsgjutna kantbalkar med rostfritt stål

En fråga som kan ställas är om en kantbalk med rostfritt stål skulle vara en lösning. Utformingen skulle se ut som följer, där tvärarmeringen i kantbalken skulle vara rostfri (**Figur 3.19**):



Figur 3.19 *Förslag till utformning med kantbalkstvärarmering av rostfritt stål (röd)* [20]

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 brons 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 [18]. Det är också den faktorn som är av större betydelse när betongen försämras [21]. 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 3.20** visar en jämförelse mellan kantbalk typ 1 med vanligt och rostfritt stål från ett LCC-perspektiv:



Figur 3.20 *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 ($ANV - K$). Kring INV (investeringskostnader) ökas de upp till ca 200 SEK/m. Detta resultat stämmer med kostnaderna som uppskattades för några år sedan i betongbron mellan Stockholm och Lidingö [22]. Dock behövs mer forskning och erfarenhet för att visa att det faktisk 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 [22].

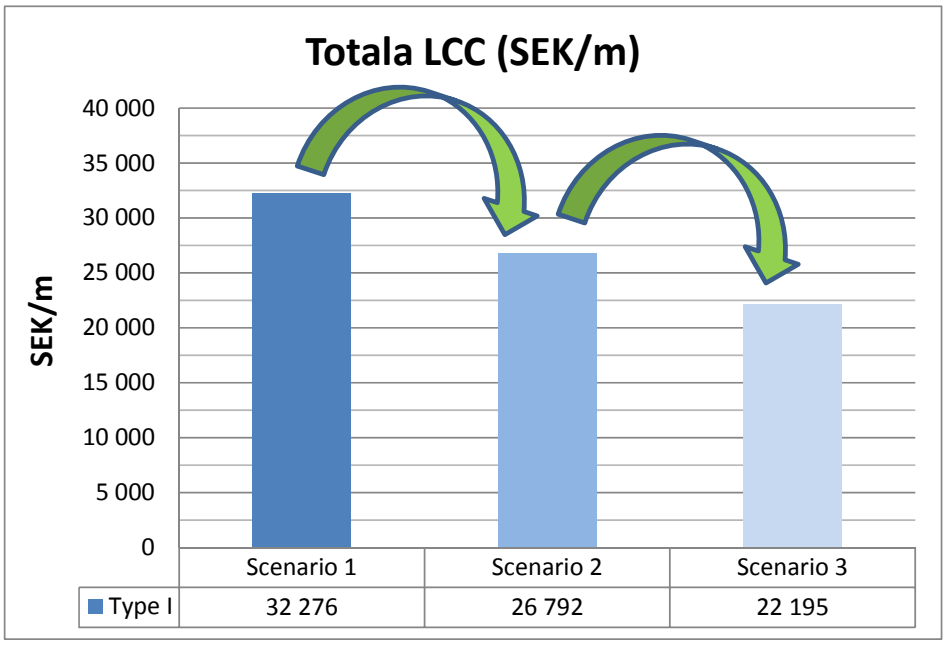
3.9 Våra kantbalkar idag

I Sverige är platsgjutna kantbalkar (typ I) den typ som används mest [6]. Nuförtiden har byggteknik och material förbättrats. Robert Ronnebrant (Trafikverket) informerar om att äldre kantbalkar inte är byggda för den miljö de är utsatta för [18]. Frostbeständig betong började användas i Sverige i mitten av 60-talet [18]. Räckena gjuts inte ihop med kantbalken, utan skruvas istället fast med bultar. Således behöver kantbalkarna som byggts under 50- och 60-talet bytas ut tidigare än de som byggts under 70- och 80- talet. Man kan 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 3.4**. Detaljerade åtgärdsplaner kan hittas i **Bilaga D.** Den här grafen visar hur de har påverkat totala LCC (**Figur 3.21**):

Tabell 3.4 *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 3.21 *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.

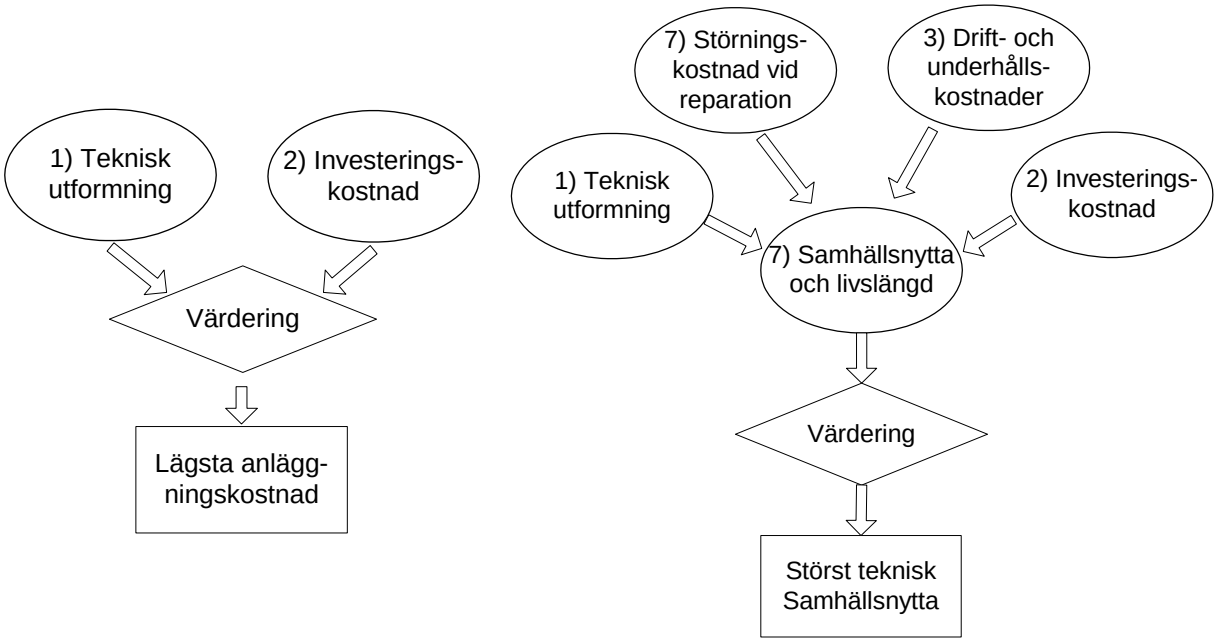
4. Slutsatser

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 platsgjutna kantbalkar vara en samhällsoptimal lösning för långa broar. I det här fallet skulle den prefabricerade kantbalken rekommenderas eftersom arbetsmiljön i det förstnämnda fallet skulle försvåras. Dessutom skulle vertikala skarvar behöva byggas mellan element vilket skulle ge sämre prestanda på grund av risken för att salter, kloridsvatten och andra farliga komponenter tränger in.
- Osäkerheter finns avseende kantbalkstyp II och III. Den första ger betydligt lägre investeringskostnader men det bör forskas mer kring livscykelåtgärdskostnader 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 de kantbalkarna.

- Känslighetsanalysen visar vikten av värdena av vissa parametrar. I det här arbetet har räntans och vägarbetets egenskaper presenterats. Man kan även forska i vilken påverkan åtgärdskostnader, sannolikheten att utföra en viss aktivitet eller timme tidsvärde av en person- eller lastbil skulle ha.
- Kantbalkstyp 1 (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 byggteknik 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 4.1**). Nuförtiden ökar tillämpningen av LCC-Analyser 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 [23]. 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 medel. Dock måste man komma ihåg att i den här analysen har hänsyn tagits till kantbalkssystemet, inte bara kantbalken, som skulle kunna inkludera räcke, avvattning, tätskikt och även beläggningen. Dessutom har åtgärdersplaner strukturerats på så sätt att det skulle kunna finnas möjlighet att utföra livscykelåtgärder som är relaterade till andra broelement, exempelvis övergångs-konstruktioner.



Figur 4.1 *Jämförelse mellan en klassisk uppgift för konstruktörer med syfte att konstruera till lägsta anläggningskostnad (till vänster) och en uppgift där man lägger utöver krav på lägsta LCC* [2].

5. Litteraturförteckning

[1] H. Karim, Road Design for Future Maintenance - Life-cycle Cost Analyses for Road Barriers, Stockholm: KTH, 2011.

[2] H. Sundquist, Robustare brobaneplatta, Luleå: KTH, Chalmers och LTH, 2011.

[3] M. Kelindeman, Edge Beams. Evaluation of Investment Costs for its application to LCC Analysis, Stockholm: KTH, 2014.

[4] E. Duran, Design of Edge Beams, Stockholm: KTH, 2014.

[5] R. Karoumi, Whole Life Cycle Costing of Bridges, Stockholm: KTH, 2012.

[6] M. Safi, Life-Cycle Costing. Applications and Implementations in Bridge Investment and Management - Doctoral Thesis, Stockholm: KTH, 2013.

[7] Trafikverket, A´ prislista för broåtgärder år 2013, Stockholm: Trafikverket, 2013.

[8] A. Maglica, Interview 140413, Stockholm, 2014.

[9] C. Sobhit, Survival Analysis and Regression Analysis of Swedish Bridges' Edge Beams, Stockholm: KTH, 2014.

[10] H.-Å. Mattson och H. Sundquist, The Real Service Life and Repair Costs for Bridge Edge Beams, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

[11] A. Jutila och H. Sunquist, Red., ETSI Project (Stage 1): Bridge Life Cycle Optimization, Helsinki: Helsinki University of Technology, 2007.

[12] K. J. Fender och D. A. Pierce, An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2013 Update, Arlington, Virginia: American Transportation Research Institute, 2013.

[13] L. Ohjeita, Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2010, Helsinki: Liienneviraston Ohjeita, 2010.

[14] M. Safi, LCC Aplications for Bridges and Integration with BMS - Licentiate Thesis, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, 2012.

[15] Federal Highway Administration - US. Department of Tranpostation, Work Zone Road User Costs, Federal Highway Administration - US. Department of Tranpostation, 2014.

[16] Department of Transportation - The State of New Jersey, Road User Cost Manual, New Jersey: Department of Transportation - The State of New Jersey, 2001.

[17] WSP, Trafikanters värdering av tild - Den nationella tidsvärdesstudien 2007/8, Stockholm: Trafikverket, 2007/8.

[18] Kantbalksgruppen, Optimala Kantbalkar - Minnesanteckningar från möte, Stockholm, 2012-2014.

[19] M. Nishibayashi, N. Kanjo och D. Katayama, Toward more practical BMS: Its application on actual budget and maintenance planning of a large urban expressway network in Japan, Bridge Maintenace, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost. Taylor and Francis Group., 2006.

[20] A. Borderon, Email interview, 2014.

[21] PCA, Corrosion of Embedded Metals, America's Cement Manufacturers, 2014.

[22] L. Eriksson, Rostfri armering är billigare i längden, NyTeknik, 2003.

[23] A. Maglica, Ölandsbrons kantbalkar har fått katodiskt skydd, Hussbyggaren, 2012.

[24] Trafikverket, Samhällsekonomiska principer och kalylvärden för transportsektorn: ASEK 5.1, Borlänge: Trafikverket, 2014.

[25] A. Fasheyi, Optimal Edge Beam System - International study, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskola, 2013.

[26] J. J. Veganzones och F. d. B. Moran Quijano, Comparative Life-Cycle Cost Analysis for Two Road Bridges, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, 2013.

[27] T. Rantala, Life Cycle Analysis of three Fininish Standard Bridges, Helksinki: Liikennevirasto, 2010.

[28] A. Sagemo och L. Storck, Comparative study of bridge concepts based on life-cycle cost analysis and life-cycle assessment, Göteborg: Chalmers University of Technology, 2013.

[29] L. Salokangas, Red., ETSI Project (Stage 2): Bridge Life Cycle Optimisation, Helsinki: Helsinki University of Technology.

[30] ETSI Project (Stage 3): Bridge Life Cycle Optimization, Helsinki: Aalto University - School of Engineering, 2013.

Bilaga A: Investeringskostnader

A.1 Direktkostnader

Information om direktkostnader (C_D) presenteras i **Tabell A.1**:

Tabell A.1 *Beskrivning av direktkostnader av de fyra kantbalkstyperna som delas in i 4 steg: Utformning, Transport, Lossning och Byggande. Samtidigt delas varje steg in i Material, Maskin och Arbetskraft. Information om priserna inklusive moms har tagits från* [3].

STEG	KANTBALK TYP I	KANTBALK TYP II	KANTBALK TYP III	KANTBALK TYP IV
Steg 0: Utformning				
Arbetskraft	- Civilingenjör	- Civilingenjör	- Civilingenjör	- Civilingenjör
Steg 1: Transport				
Maskin*	- Transportlastbilar: • Form • Armering • Fastbultar • Övriga	- Transportlastbilar: • Stålstöd • Fastbultar • Övriga	- Transportlastbilar: • Kantbalk • Övriga	- Transportlastbilar: • Form • Armering • Fastbultar • Övriga
Steg 2: Lossning				
Maskin	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**
Arbetskraft	- Maskinsarbetare - Lossningsarbetare	- Maskinsarbetare - Lossningsarbetare	- Maskinsarbetare - Lossningsarbetare	- Maskinsarbetare - Lossningsarbetare
Steg 3: Byggande				
3.1 Form				
Material	- Form	- Form****		- Form
Maskin	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**		- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**
Arbetskraft	- Maskinsarbetare - Träarbetare - *Lantmätare*	- Maskinsarbetare - Träarbetare - *Lantmätare*		- Maskinsarbetare - Träarbetare - *Lantmätare*
3.2 Armering				
Material	- Stål armering B500S			- Stål armering B500S
Maskin	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**			- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**
Arbetskraft	- Maskinsarbetare - Armerare - *Lantmätare*			- Maskinsarbetare - Armerare - *Lantmätare*
3.3 Förankring				
Material	- Bultgrupper	- Fastbultar för stöd - Bultgrupper - Vinkeljärnet		- Fastbultar för stöder - Bultgrupper - Vinkeljärnet
Maskin	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**		
Arbetskraft	- Maskinsarbetare - Armerare - *Lantmätare*	- Maskinsarbetare - Armerare - *Lantmätare*		- Armerare - *Lantmätare*
3.4 Gjutningen				
Material	- Betong C35/45			- Betong C35/45
Maskin	- Betongbil - Betongpump - Betongvibratorer			- Betongbil - Betongvibratorer - Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**

STEG	KANTBALK TYP I	KANTBALK TYP II	KANTBALK TYP III	KANTBALK TYP IV
Arbetskraft	- Maskinsarbetare - Betongarbetare - Betongtestare - *Lantmätare*			- Maskinsarbetare - Betongarbetare - Betongtestare - *Lantmätare*
3.5 Formborttagning				
Maskin	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**		
Arbetskraft	- Maskinsarbetare - Träarbetare - *Lantmätare*	- Maskinsarbetare - Träarbetare - *Lantmätare*		- Träarbetare
3.6 Kantbalkslyft				
Maskin				- Mobilkran
Arbetskraft				- Maskinsarbetare - Betongarbetare
3.7 Räcke montering				
Material***	- Räcke H2	- Räcke H2 - Stål sidostöd - L-stål-profil	- Stålkantbalk - Bultgrupper - Fastbultarna för brobaneplatan	- Räcke H2
Maskin		- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	- Kran Pontain Igo 50 eller Teleskoplift**	
Arbetskraft		- Maskinsarbetare - Armerare	- Maskinsarbetare - Armerare - *Lantmätare*	

*Arbetskraft inkluderas i priset
** För korta broar används Kran Pontain Igo 50 och för långa broar används Teleskoplift.
*** Maskin och arbetskraft avseende Räcke H2 inkluderas i priset
**** För kantbalkstyp 2 har det bestämts att formen inkluderas i investeringskostnader på grund av det finns arbetet kring hålar som behöver byggs för fastbultarna för stål sidostöd.

A.2 Indirektkostnader

Information om indirektkostnader (C_{I}) presenteras i **Tabell A.2**:

Tabell A.2 *Indirektkostnadselement som ska beaktas i beräkningarna*

f_1	Entreprenör- och projektledarvinst	25 %
f_2	Ledning, overhead och oförutsedda kostnader	3 %

A.3 Investeringskostnader

Totala Investeringskostnader (I_0) beräknas enligt formeln:

$$I_0 = C_{\mathrm{D}} + C_{\mathrm{I}} = C_{\mathrm{D}} + (f_1 + f_2) \cdot C_{\mathrm{D}} = (1 + f_1 + f_2) \cdot C_{\mathrm{D}} \qquad (2\text{-}2)$$

Bilaga B: Livscykelåtgärdsplaner (Strategi 1)

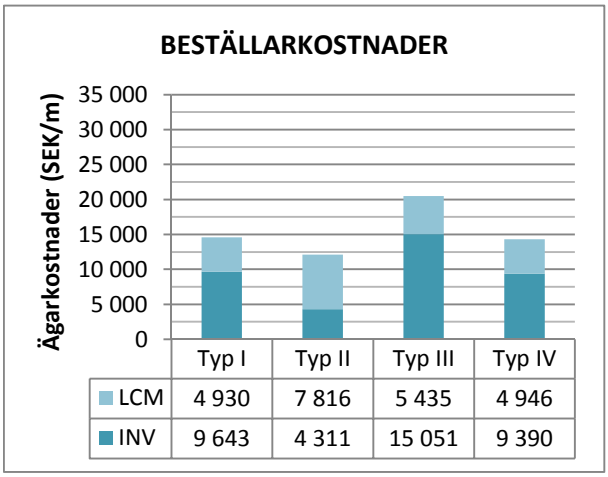
Tabell B.1 *Livscykelåtgärdsplaner för Typ I, II, III och IV i Strategi I.*

	Typ I – PLATSGJUTNA KANTBALKAR				Typ II – UTAN EGENTLIG KANTBALK				Typ III - STÅLKANTBALKAR				Typ IV – PREFABRICERAD KANTBALK				
	Åtgärdsplan	**År**	**Dagar**		**Åtgärdsplan**	**År**	**Dagar**		**Åtgärdsplan**	**År**	**Dagar**		**Åtgärdsplan**	**K**		**L**	
			K	**L**			**K**	**L**			**K**	**L**		**År**	**Dagar**	**År**	**Dagar**
1	**Åtgärdsplan 1**	20	5	15	**Åtgärdsplan 1**	20	10	30	**Åtgärdsplan 1**	25	5	15	**Åtgärdsplan 1**	25	5	20	15
	Betongrepar. 0-30 mm				L-stål-profilen utbyte				Stål ommålning				Betongrepar. 0-30 mm				
	Impregnering				*Betongrepar. 0-30 mm*				*Små räckesåtgärder*				*Impregnering*				
	Små räckesåtgärder				*Små räckesåtgärder*								*Små räckesåtgärder*				
2	**Åtgärdsplan 2**	40	8	20	**Åtgärdsplan 2**	40	10	30	**Åtgärdsplan 2**	50	5	15	**Åtgärdsplan 2**	50	8	40	20
	Betongrepar. 30-70 mm				L-stål-profilen utbyte				Kantbalksutbyte				Betongrepar. 30-70 mm				
	Impregnering				*Små räckesåtgärder*				*Betongrepar. 30-70 mm*				*Impregnering*				
	Små räckesåtgärder				*Betongrepar. 0-30 mm*				*Räckesutbyte*				*Små räckesåtgärder*				
3	**Åtgärdsplan 3**	60	25	70	**Åtgärdsplan 3**	60	15	45	**Åtgärdsplan 3**	75	17	50	**Åtgärdsplan 3**	75	25	60	70
	Kantbalksutbyte				Kantbalksutbyte				Stål ommålning				Kantbalksutbyte				
	Räckesutbyte				*L-stål-profilen utbyte*				*Små räckesåtgärder*				*Räckesutbyte*				
	Impregnering				*Betongrepar. 30-70 mm*								*Impregnering*				
					Räckesutbyte												
4	**Åtgärdsplan 4**	80	5	15	**Åtgärdsplan 4**	80	10	30	**Åtgärdsplan 4**	100	5	15	**Åtgärdsplan 4**	100	5	80	15
	Betongrepar. 0-30 mm				L-stål-profilen utbyte				Kantbalksutbyte				Betongrepar. 0-30 mm				
	Impregnering				*Betongrepar. 0-30 mm*				*Betongrepar. 30-70 mm*				*Impregnering*				
	Små räckesåtgärder				*Små räckesåtgärder*				*Räckesutbyte*				*Små räckesåtgärder*				
5	**Åtgärdsplan 5**	100	8	20	**Åtgärdsplan 5**	100	10	30					**Åtgärdsplan 5**	-	-	100	20
	Betongrepar. 30-70 mm				L-stål-profilen utbyte								Betongrepar. 30-70 mm				
	Impregnering				*Betongrepar. 0-30 mm*								*Impregnering*				
	Små räckesåtgärder				*Små räckesåtgärder*								*Små räckesåtgärder*				

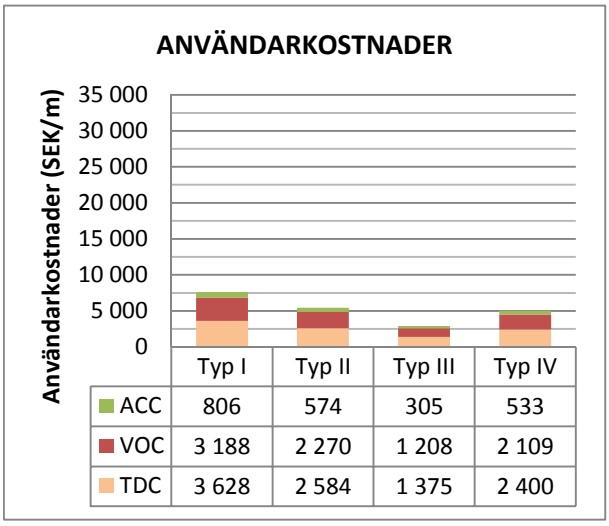
Bilaga C: Resultat för alla Brofall (Strategi 1)

Tabell C.1 *Resultaten för alla Brofall (Strategi 1). Beställar-, användar- och livscykelkostnader.*

BROFALL 1

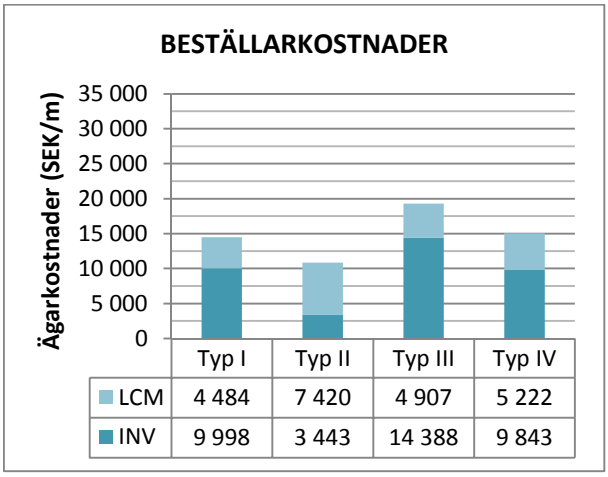


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
LCM	4 930	7 816	5 435	4 946
INV	9 643	4 311	15 051	9 390

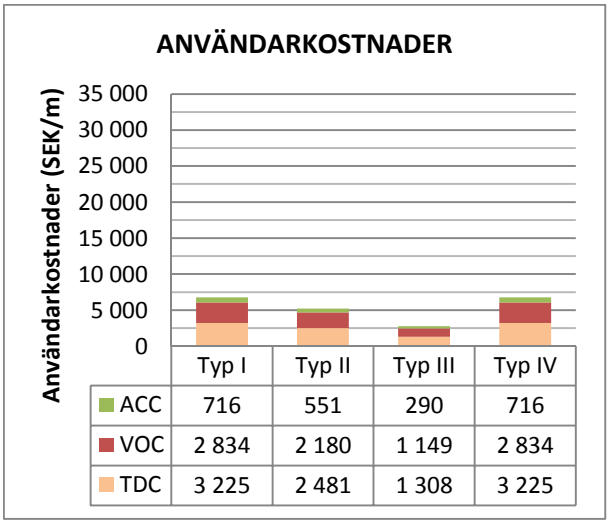


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ACC	806	574	305	533
VOC	3 188	2 270	1 208	2 109
TDC	3 628	2 584	1 375	2 400

BROFALL 2

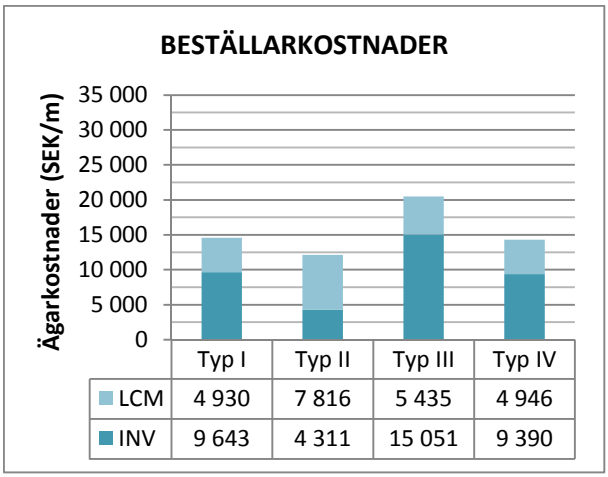


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
LCM	4 484	7 420	4 907	5 222
INV	9 998	3 443	14 388	9 843

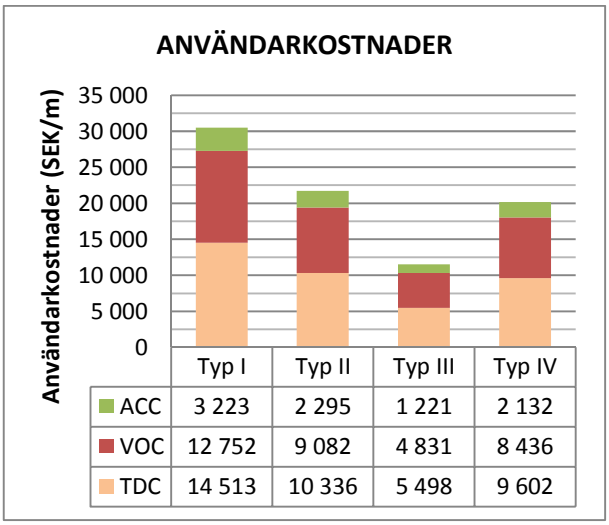


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ACC	716	551	290	716
VOC	2 834	2 180	1 149	2 834
TDC	3 225	2 481	1 308	3 225

BROFALL 3

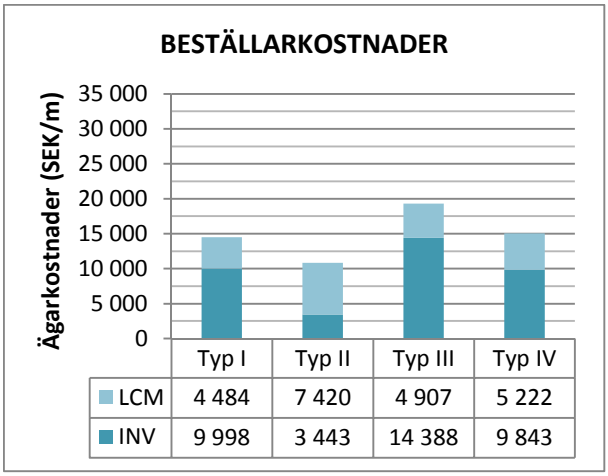


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
LCM	4 930	7 816	5 435	4 946
INV	9 643	4 311	15 051	9 390

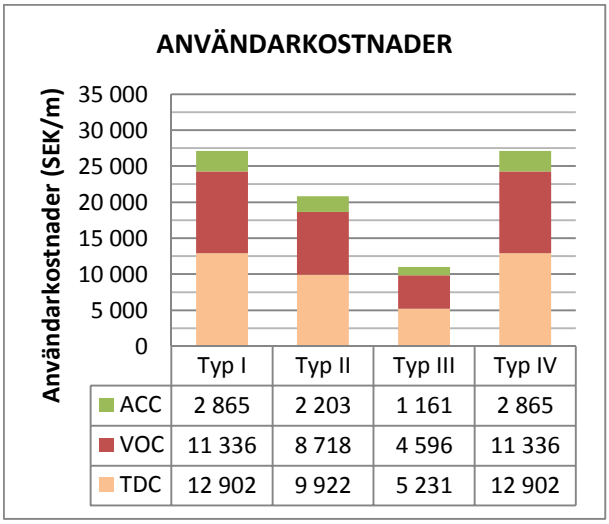


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ACC	3 223	2 295	1 221	2 132
VOC	12 752	9 082	4 831	8 436
TDC	14 513	10 336	5 498	9 602

BROFALL 4

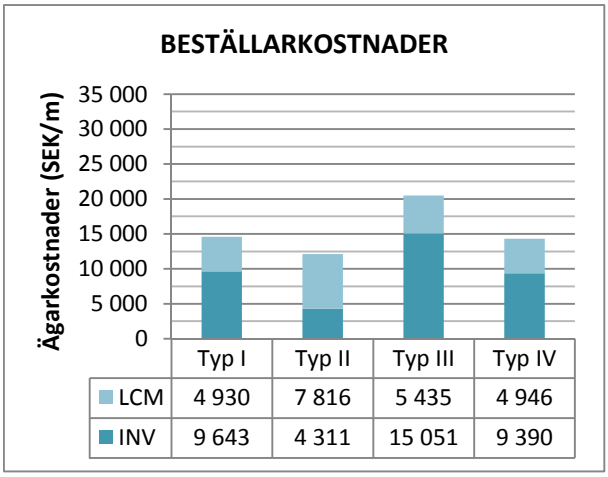


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
LCM	4 484	7 420	4 907	5 222
INV	9 998	3 443	14 388	9 843

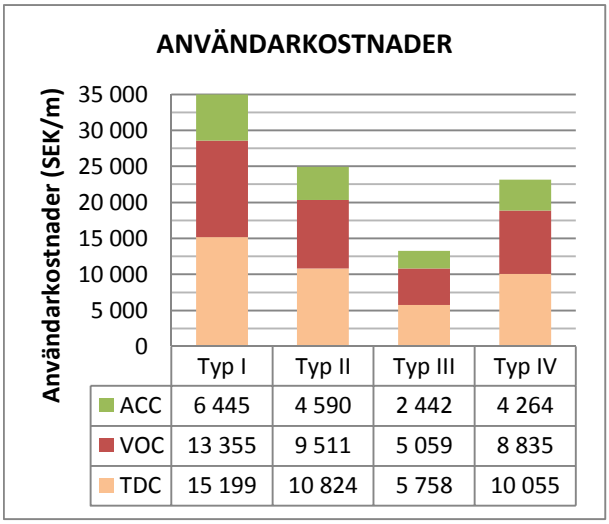


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ACC	2 865	2 203	1 161	2 865
VOC	11 336	8 718	4 596	11 336
TDC	12 902	9 922	5 231	12 902

BROFALL 5

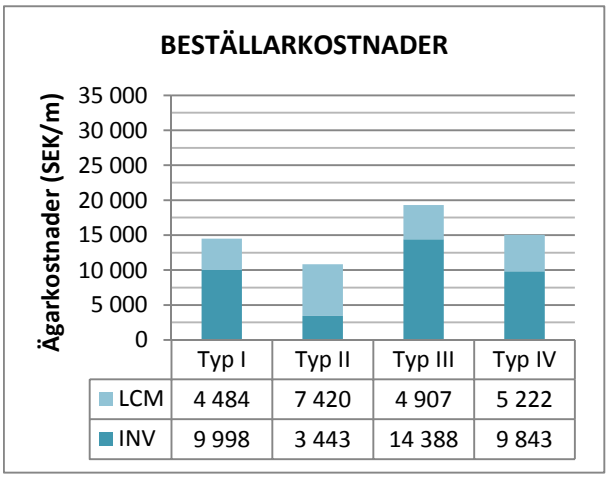


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
LCM	4 930	7 816	5 435	4 946
INV	9 643	4 311	15 051	9 390

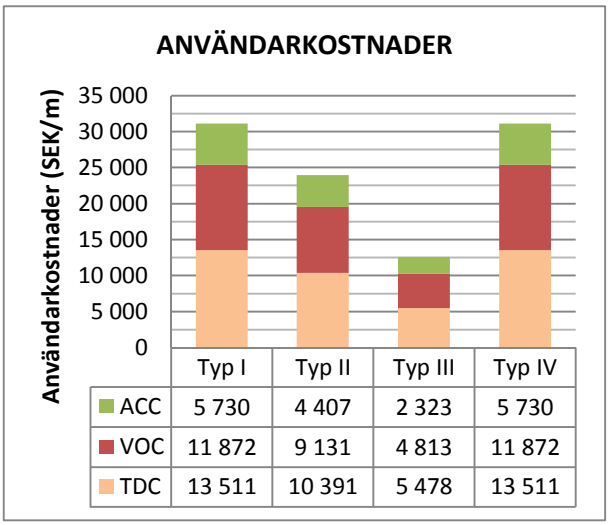


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ACC	6 445	4 590	2 442	4 264
VOC	13 355	9 511	5 059	8 835
TDC	15 199	10 824	5 758	10 055

BROFALL 6

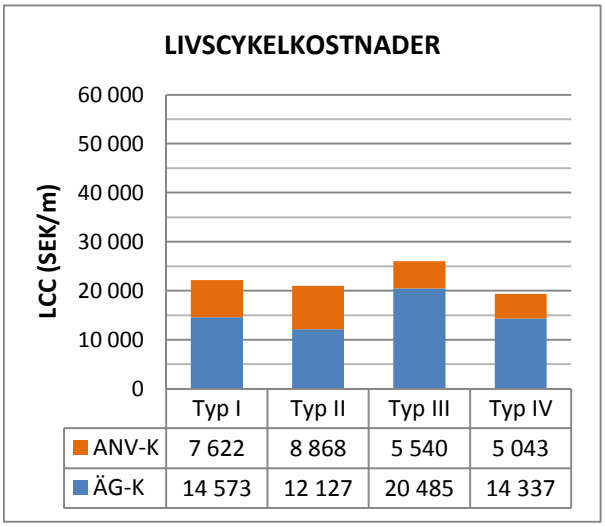


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
LCM	4 484	7 420	4 907	5 222
INV	9 998	3 443	14 388	9 843

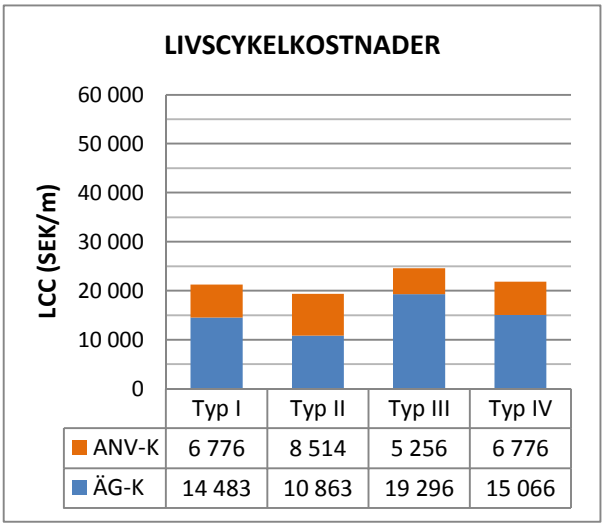


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ACC	5 730	4 407	2 323	5 730
VOC	11 872	9 131	4 813	11 872
TDC	13 511	10 391	5 478	13 511

BROFALL 1	BROFALL 2

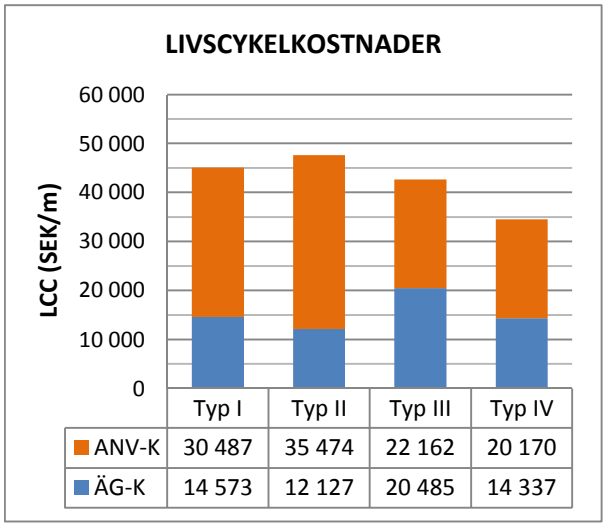


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ANV-K	7 622	8 868	5 540	5 043
ÄG-K	14 573	12 127	20 485	14 337

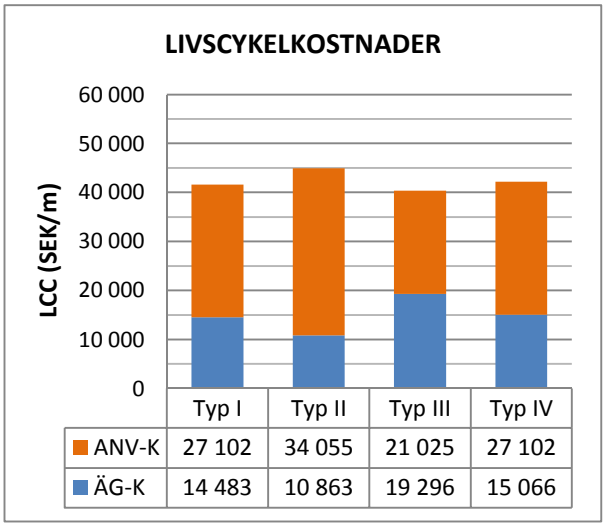


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ANV-K	6 776	8 514	5 256	6 776
ÄG-K	14 483	10 863	19 296	15 066

BROFALL 3	BROFALL 4

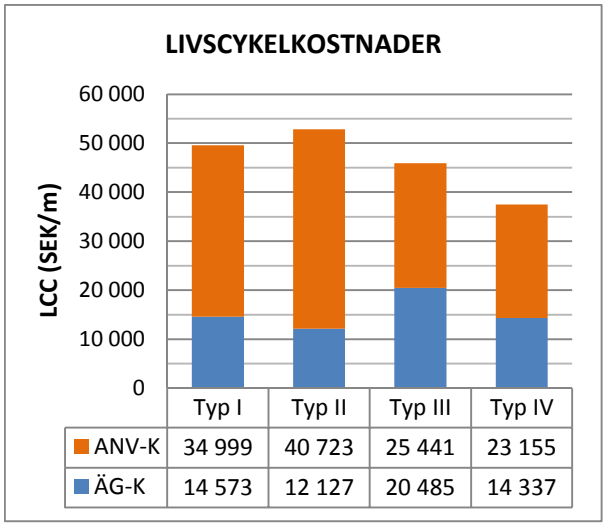


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ANV-K	30 487	35 474	22 162	20 170
ÄG-K	14 573	12 127	20 485	14 337

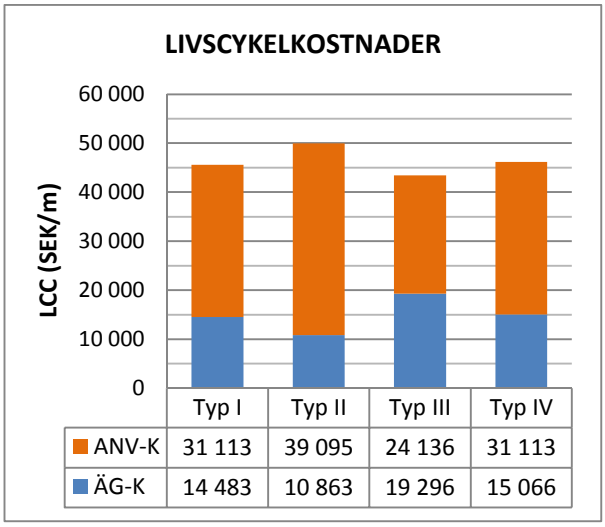


	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ANV-K	27 102	34 055	21 025	27 102
ÄG-K	14 483	10 863	19 296	15 066

BROFALL 5	BROFALL 6



	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ANV-K	34 999	40 723	25 441	23 155
ÄG-K	14 573	12 127	20 485	14 337



	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
ANV-K	31 113	39 095	24 136	31 113
ÄG-K	14 483	10 863	19 296	15 066

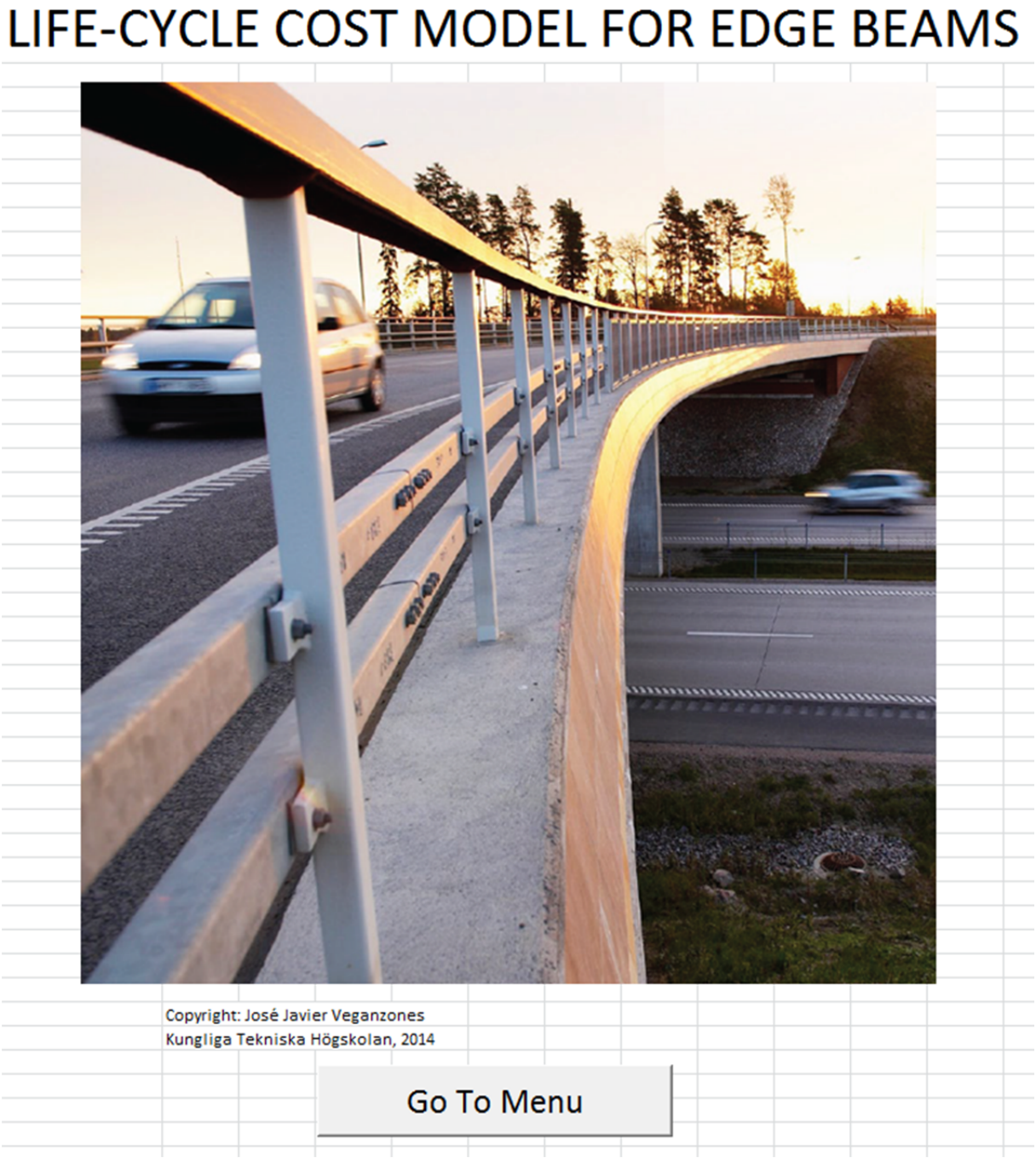
Bilaga D: Livscykelåtgärdsplaner för varje scenario

Tabell D.1 *Definition av livscykelåtgärdsplaner för olika scenarier som hänvisar till gamla och nya kantbalkar. Livslängden av och intervallet mellan vissa åtgärder ökar, och antalet totala utbyten minskar.*

	SCENARIO 1				SCENARIO 2				SCENARIO 3			
	Åtgärdsplan	**År**	**Dagar**		**Åtgärdsplan**	**År**	**Dagar**		**Åtgärdsplan**	**År**	**Dagar**	
			K	**L**			**K**	**L**			**K**	**L**
1	**Åtgärdsplan 1**	15	5	15	**Åtgärdsplan 1**	20	5	15	**Åtgärdsplan 1**	20	5	15
	Betongrepar. 0-30 mm				Betongrepar. 0-30 mm				Betongrepar. 0-30 mm			
	Impregnering				*Impregnering*				*Impregnering*			
	Små räckesåtgärder				*Små räckesåtgärder*				*Små räckesåtgärder*			
2	**Åtgärdsplan 2**	30	25	70	**Åtgärdsplan 2**	40	25	70	**Åtgärdsplan 2**	40	8	20
	Kantbalksutbyte				Kantbalksutbyte				Betongrepar. 30-70 mm			
	Räckesutbyte				*Räckesutbyte*				*Impregnering*			
	Impregnering				*Impregnering*				*Små räckesåtgärder*			
3	**Åtgärdsplan 3**	45	5	15	**Åtgärdsplan 3**	60	5	15	**Åtgärdsplan 3**	60	25	80
	Betongrepar. 0-30 mm				Betongrepar. 0-30 mm				Kantbalksutbyte			
	Impregnering				*Impregnering*				*Räckesutbyte*			
	Små räckesåtgärder				*Små räckesåtgärder*				*Impregnering*			
4	**Åtgärdsplan 4**	60	25	70	**Åtgärdsplan 2**	80	8	20	**Åtgärdsplan 4**	80	5	15
	Kantbalksutbyte				Kantbalksutbyte				Betongrepar. 30-70 mm			
	Räckesutbyte				*Räckesutbyte*				*Impregnering*			
	Impregnering				*Impregnering*				*Små räckesåtgärder*			
5	**Åtgärdsplan 5**	75	5	15	**Åtgärdsplan 3**	100	25	70	**Åtgärdsplan 5**	100	8	20
	Betongrepar. 0-30 mm				Betongrepar. 0-30 mm				Betongrepar. 30-70 mm			
	Impregnering				*Impregnering*				*Impregnering*			
	Små räckesåtgärder				*Små räckesåtgärder*				*Små räckesåtgärder*			
6	**Åtgärdsplan 6**	90	8	20								
	Kantbalksutbyte											
	Räckesutbyte											
	Impregnering											

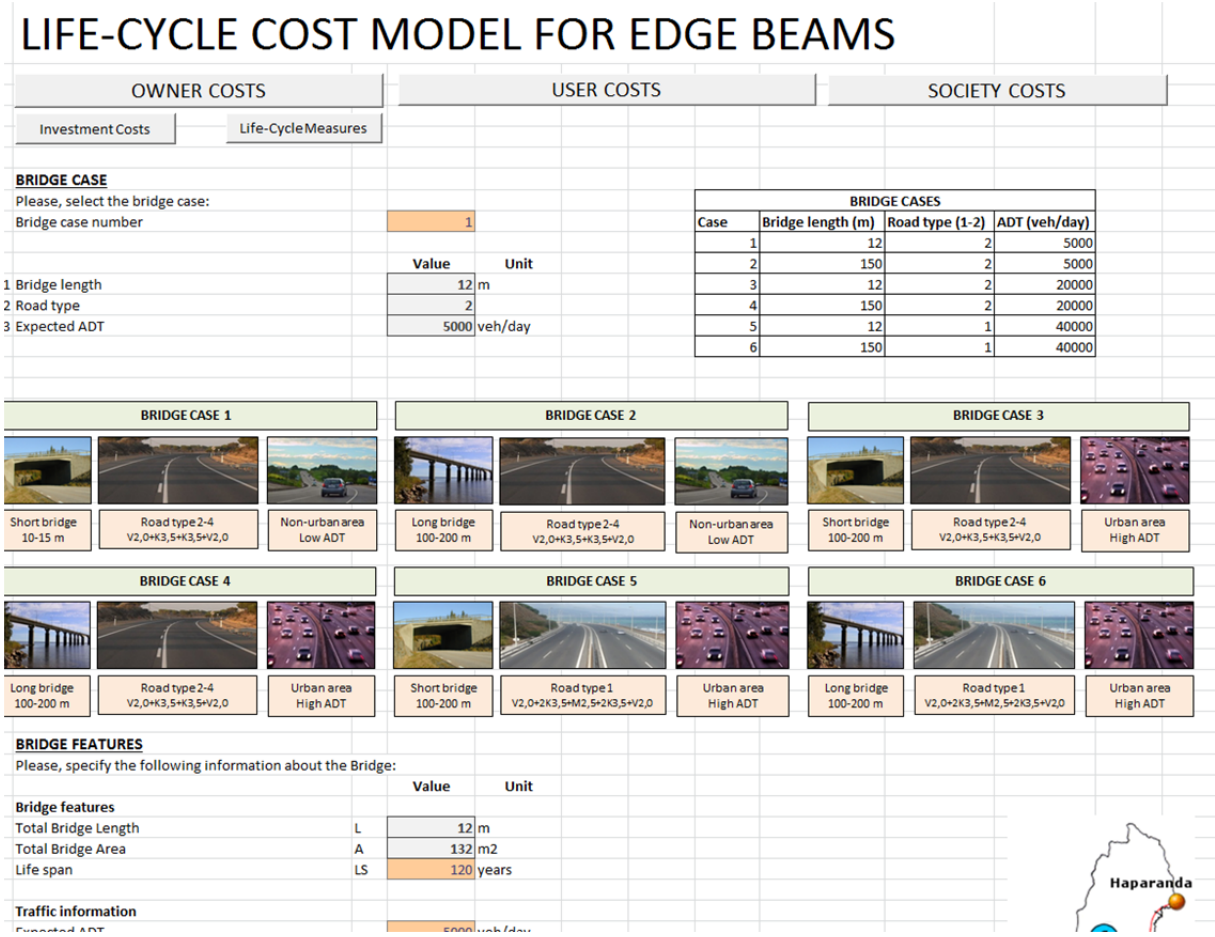
Bilaga E: LCC-modell

E.1 Framsidan

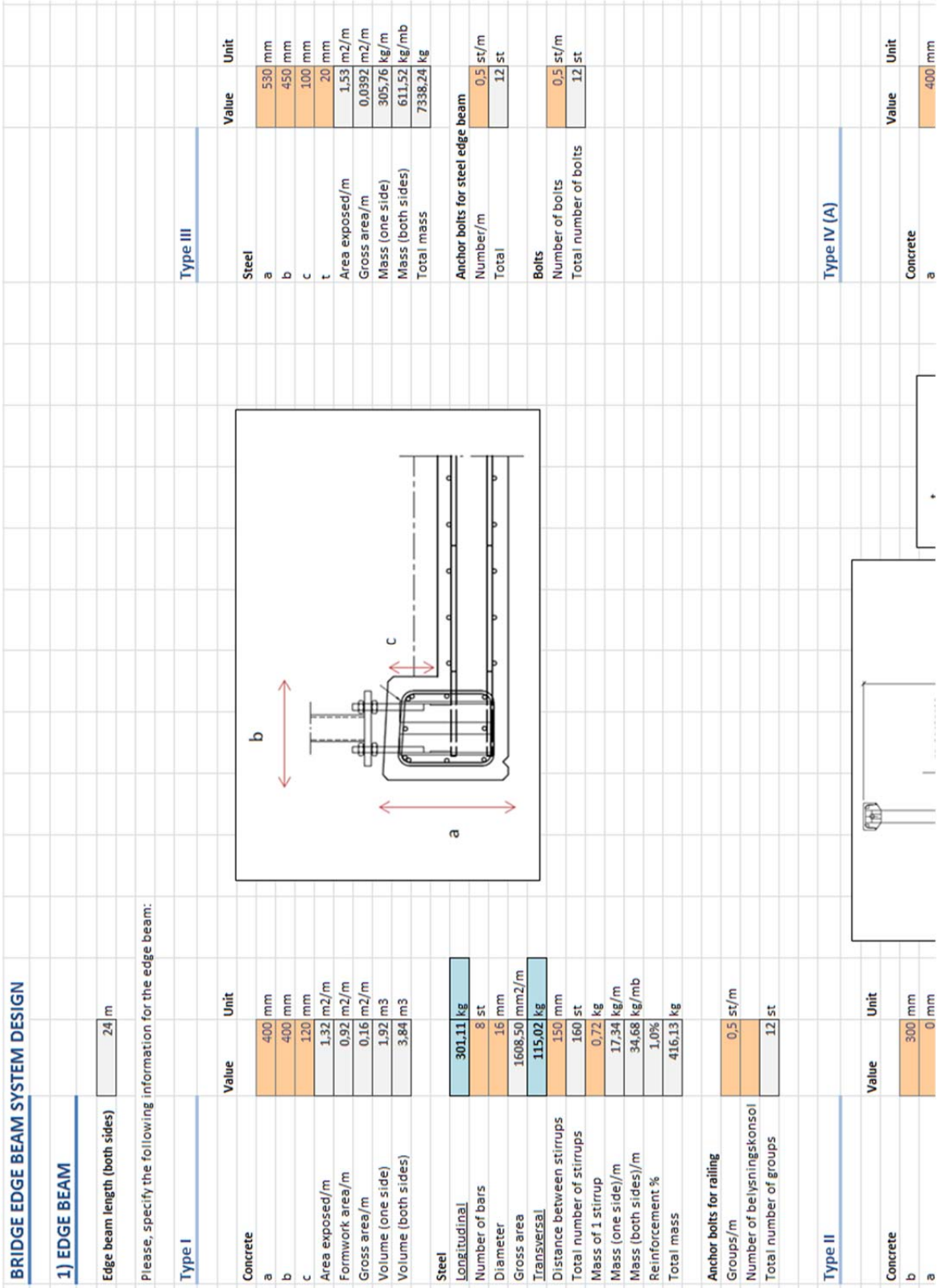


Figur E.1 *LCC-modellens framsida.*

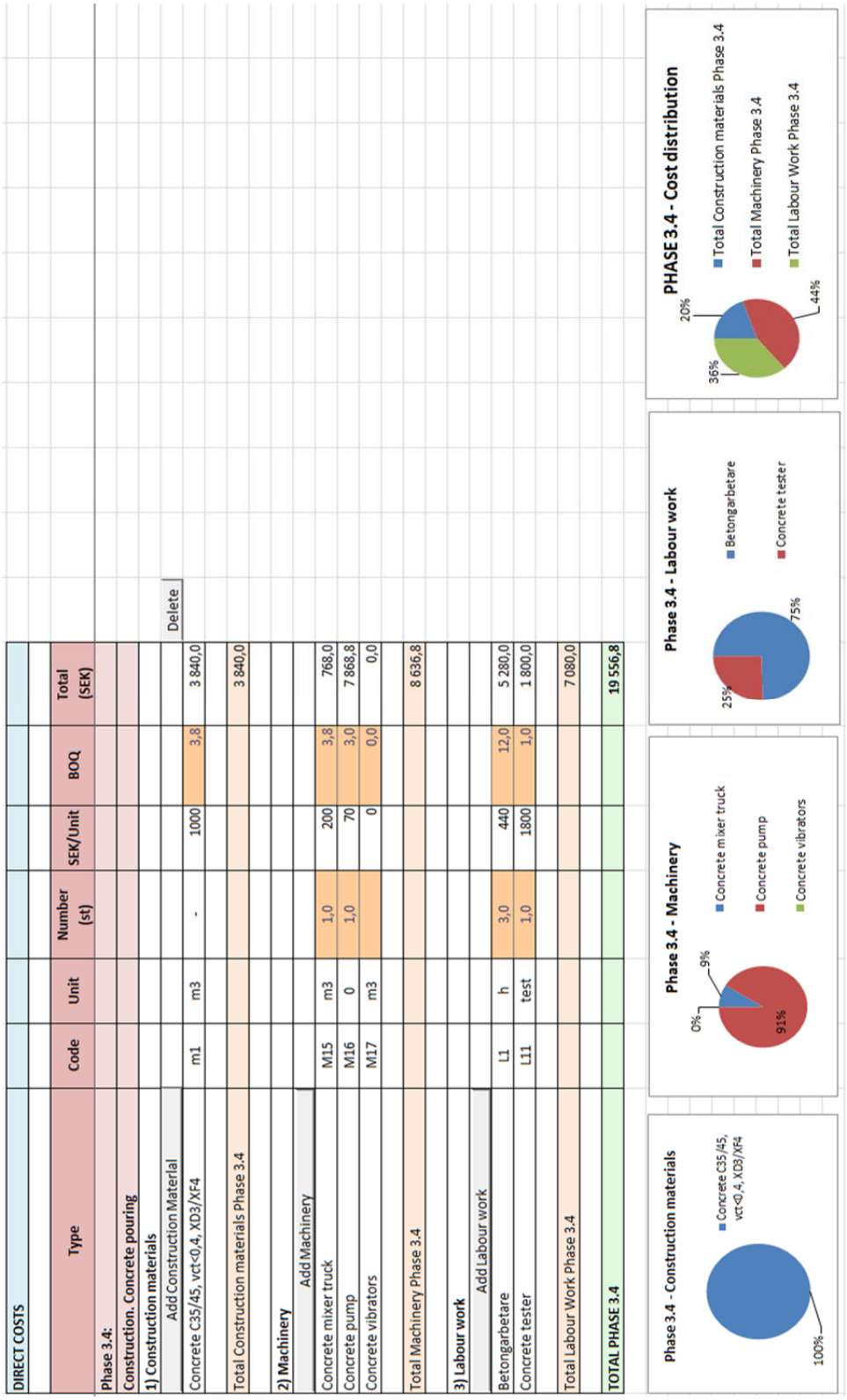
E.2 Allmän information



Figur E.2 *Allmän information. Man kan välja brofall och lägga till generell information om bron.*

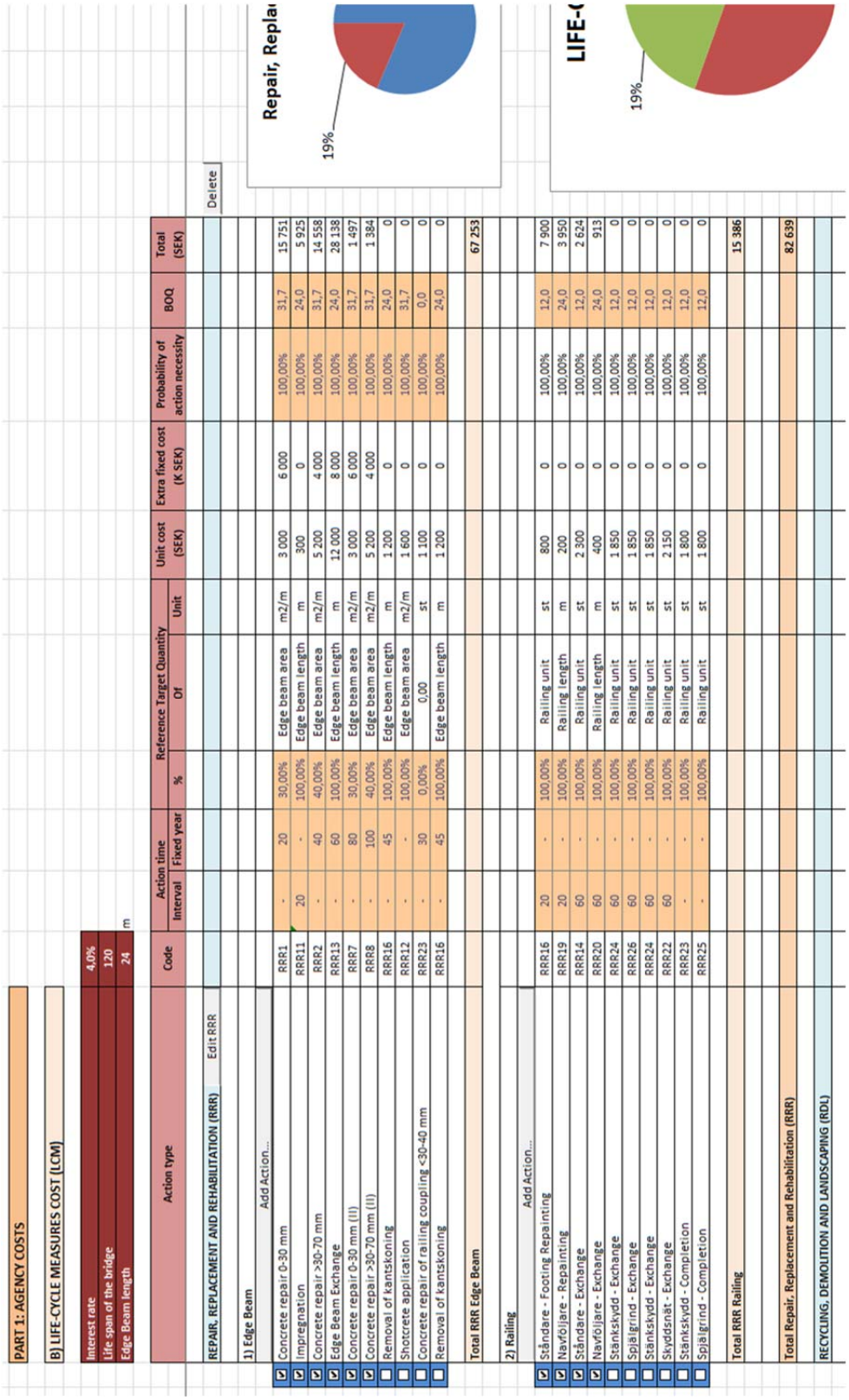


Figur E.3 *Definition av kantbalksutformning av de fyra typerna.*



DIRECT COSTS						
Type	Code	Unit	Number (st)	SEK/Unit	BOQ	Total (SEK)
Phase 3.4:						
Construction. Concrete pouring						
1) Construction materials						
Add Construction Material						Delete
Concrete C35/45, vct<0,4, XD3/XF4	m1	m3	-	1000	3,8	3 840,0
Total Construction materials Phase 3.4						3 840,0
2) Machinery						
Add Machinery						
Concrete mixer truck	M15	m3	1,0	200	3,8	768,0
Concrete pump	M16	0	1,0	70	3,0	7 868,8
Concrete vibrators	M17	m3		0	0,0	0,0
Total Machinery Phase 3.4						8 636,8
3) Labour work						
Add Labour work						
Betongarbetare	L1	h	3,0	440	12,0	5 280,0
Concrete tester	L11	test	1,0	1800	1,0	1 800,0
Total Labour Work Phase 3.4						7 080,0
TOTAL PHASE 3.4						19 556,8

Figur E.4 *Investeringskostnader som delas in i material, maskin och arbetskraft.*



PART 1: AGENCY COSTS

B) LIFE-CYCLE MEASURES COST (LCM)

Interest rate	4,0%	
Life span of the bridge	120	
Edge Beam length	24	m

Action type	Code	Action time		Reference Target Quantity			Unit cost (SEK)	Extra fixed cost (K SEK)	Probability of action necessity	BOQ	Total (SEK)
		Interval	Fixed year	%	Of	Unit					
REPAIR, REPLACEMENT AND REHABILITATION (RRR) Edit RRR											Delete
1) Edge Beam											
Add Action...											
☑ Concrete repair 0-30 mm	RRR1	-	20	30,00%	Edge beam area	m2/m	3 000	6 000	100,00%	31,7	15 751
☑ Impregnation	RRR11	20	-	100,00%	Edge beam length	m	300	0	100,00%	24,0	5 925
☑ Concrete repair >30-70 mm	RRR2	-	40	40,00%	Edge beam area	m2/m	5 200	4 000	100,00%	31,7	14 558
☑ Edge Beam Exchange	RRR13	-	60	100,00%	Edge beam length	m	12 000	8 000	100,00%	24,0	28 138
☑ Concrete repair 0-30 mm (II)	RRR7	-	80	30,00%	Edge beam area	m2/m	3 000	6 000	100,00%	31,7	1 497
☑ Concrete repair >30-70 mm (II)	RRR8	-	100	40,00%	Edge beam area	m2/m	5 200	4 000	100,00%	31,7	1 384
☐ Removal of kantskoning	RRR16	-	45	100,00%	Edge beam length	m	1 200	0	100,00%	24,0	0
☐ Shotcrete application	RRR12	-	-	100,00%	Edge beam area	m2/m	1 600	0	100,00%	31,7	0
☐ Concrete repair of railing coupling <30-40 mm	RRR23	-	30	0,00%	0,00	st	1 100	0	100,00%	0,0	0
☐ Removal of kantskoning	RRR16	-	45	100,00%	Edge beam length	m	1 200	0	100,00%	24,0	0
Total RRR Edge Beam											67 253
2) Railing											
Add Action...											
☑ Ståndare - Footing Repainting	RRR16	20	-	100,00%	Railing unit	st	800	0	100,00%	12,0	7 900
☑ Navföljare - Repainting	RRR19	20	-	100,00%	Railing length	m	200	0	100,00%	24,0	3 950
☑ Ståndare - Exchange	RRR14	60	-	100,00%	Railing unit	st	2 300	0	100,00%	12,0	2 624
☑ Navföljare - Exchange	RRR20	60	-	100,00%	Railing length	m	400	0	100,00%	24,0	913
☐ Stänkskydd - Exchange	RRR24	60	-	100,00%	Railing unit	st	1 850	0	100,00%	12,0	0
☐ Spjälgrind - Exchange	RRR26	60	-	100,00%	Railing unit	st	1 850	0	100,00%	12,0	0
☐ Stänkskydd - Exchange	RRR24	60	-	100,00%	Railing unit	st	1 850	0	100,00%	12,0	0
☐ Skyddsnät - Exchange	RRR22	60	-	100,00%	Railing unit	st	2 150	0	100,00%	12,0	0
☐ Stänkskydd - Completion	RRR23	-	-	100,00%	Railing unit	st	1 800	0	100,00%	12,0	0
☐ Spjälgrind - Completion	RRR25	-	-	100,00%	Railing unit	st	1 800	0	100,00%	12,0	0
Total RRR Railing											15 386
Total Repair, Replacement and Rehabilitation (RRR)											82 639
RECYCLING, DEMOLITION AND LANDSCAPING (RDL)											

Figur E.5 *Livscykelsåtgärder som delas in i Drift och Underhåll, Reparation, Utbyte och Rehabilitering, och Rivning och Återvinning.*

E.6 Livscykelsåtgärdsplaner

PART 2: USER COSTS			
LCM Actions plan - Strategy			
Choose the "Master" LCM Action			
	Year	Cyclic action	Days
☑ Action plan 1	20	☐	5
Concrete repair 0-30 mm			
Impregnation			
Ståndare - Footing Repainting			
Navföljare - Repainting			
☑ Action plan 2	40	☐	8
Concrete repair >30-70 mm			
Impregnation			
Ståndare - Footing Repainting			
Navföljare - Repainting			
☑ Action plan 3	60	☐	25
Edge Beam Exchange			
Impregnation			
Ståndare - Exchange			
Navföljare - Exchange			
☑ Action plan 4	80	☐	5
Concrete repair 0-30 mm (II)			
Impregnation			
Ståndare - Footing Repainting			
Navföljare - Repainting			
☑ Action plan 5	100	☐	8
Concrete repair >30-70 mm (II)			
Impregnation			
Ståndare - Footing Repainting			
Navföljare - Repainting			
Edge Beam length	24	m	

Type	Code	Unit	BOQ
Interest rate	r	-	4,00%
Interval		years	
Length of the affected roadway because of the works	Lr	m	500,0
Normal allowed traffic speed	vr	km/h	
Traffic speed during the bridge work activity	vs	km/h	
Travel time delay for one vehicle in the case of a work zone	T	h	
Average Daily Traffic (t=0)	ADT0	veh/day	5000
Traffic growth rate (rtg)	rtg	%	1,10%
Expected Average Daily Traffic (t)	ADTt		
Number of days needed to perform the work at time t	Nt	day	
Percentage of trucks from all ADT	rt	%	7,00%
Hourly time value for one truck	wt	SEK/h	540
Hourly time value for one passenger car	wp	SEK/h	145
Average hourly operating cost for one truck incl. goods op.	OT	SEK/h	440
Average hourly operating cost for one passenger car	OP	SEK/h	130

$$C_{TDC} = \sum_{t=0}^{L} T \times$$

$$C_{VOC} = \sum_{t=0}^{L} T \times$$

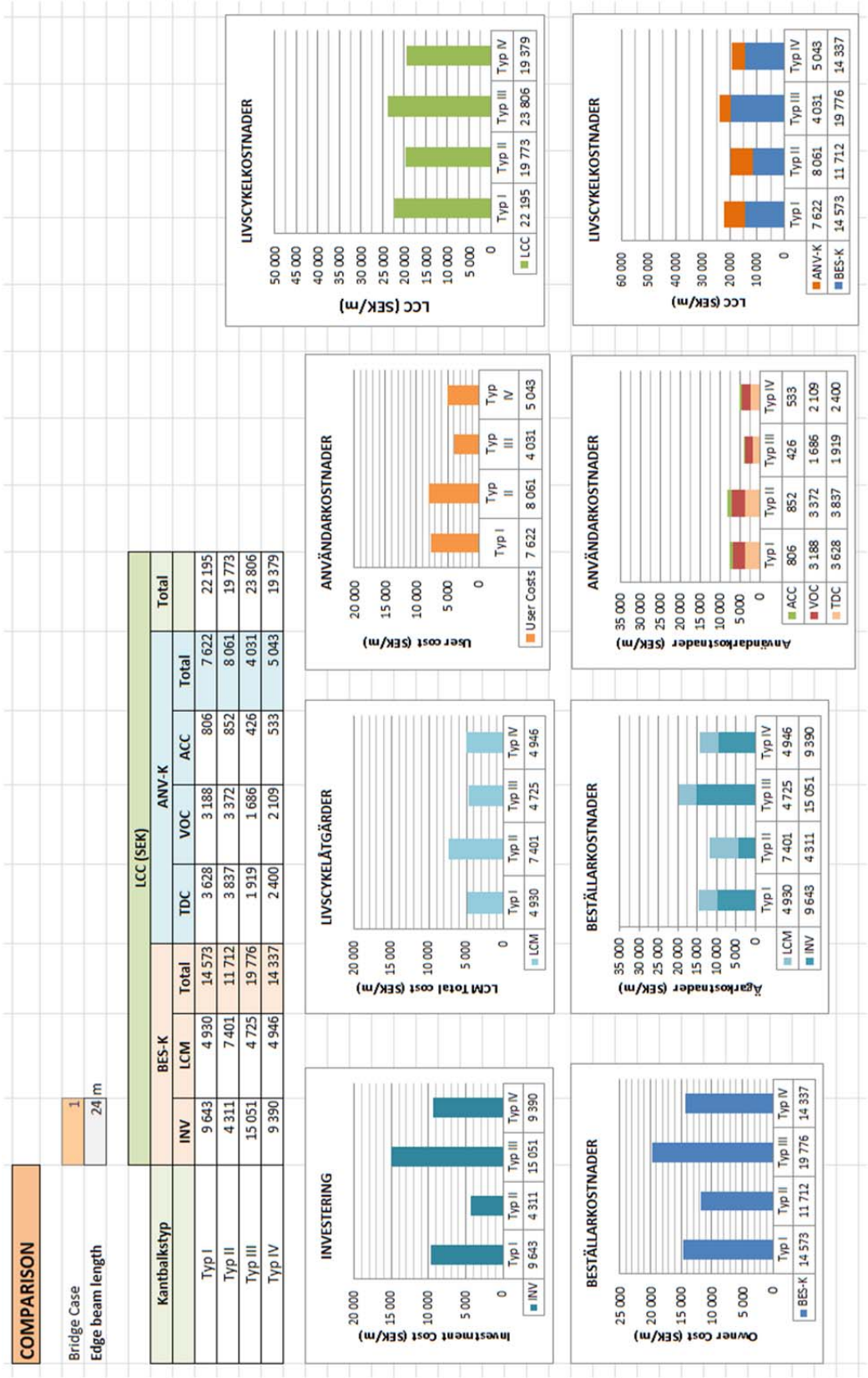
Figur E.6 *Åtgärdsplaner definition. Definition av parametrar som definierar trafikantkostnader*

ACTION PLAN	I (years)	Lr (m)	vs (km/h)	vr (km/h)	T (h)	ADT (veh/day)	Nt (days)	rt (%)	wt (SEK/h)	wp (SEK/h)	OT (SEK/h)	OP (SEK/h)	An acc/veh/day	At acc/veh/day	LS (years)	Traffic Delay Cost (TDC) (SEK)	Vehicle Operation Cost (VOC) (SEK)	Accident Cost (ACC) (SEK)	VOC + TDC per Action Plan (SEK)
Action plan 1	20	500,0	30	80	0,01	6223	5	7,00%	540	145	440	130	1,6E-07	5,8E-07	120	25 538	22 439	5 671	53 649
Action plan 2	40	500,0	30	80	0,01	7745	8	7,00%	540	145	440	130	1,6E-07	5,8E-07	120	23 210	20 393	5 154	48 757
Action plan 3	60	500,0	30	80	0,01	7745	25	7,00%	540	145	440	130	1,6E-07	5,8E-07	120	33 102	29 085	7 351	69 537
Action plan 4	80	500,0	30	80	0,01	7745	5	7,00%	540	145	440	130	1,6E-07	5,8E-07	120	3 021	2 655	671	6 347
Action plan 5	100	500,0	30	80	0,01	7745	8	7,00%	540	145	440	130	1,6E-07	5,8E-07	120	2 206	1 939	490	4 635

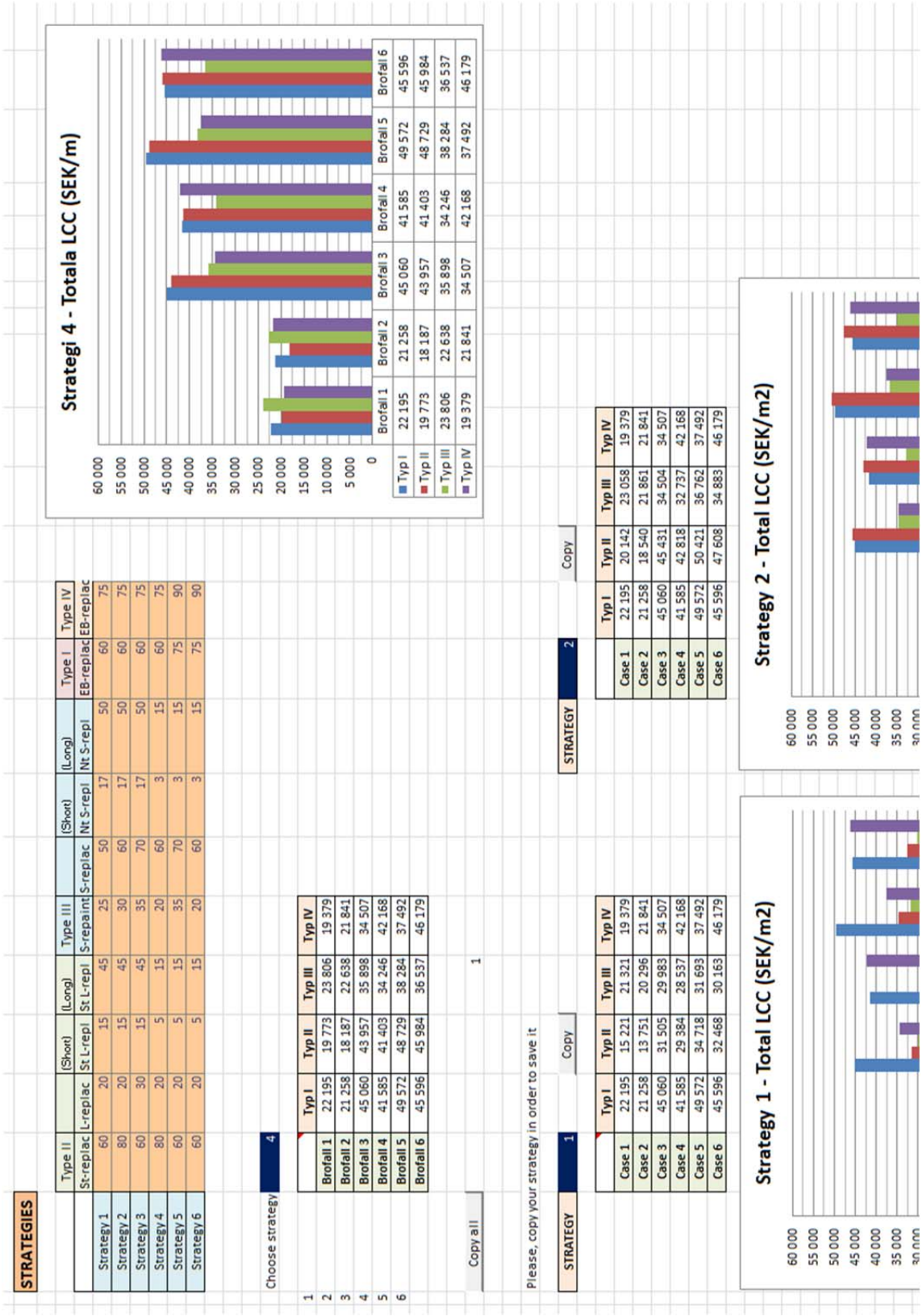
Total Traffic Delay Cost (SEK)	Total Vehicle Operation Cost (SEK)	Total Accident Cost (ACC) (SEK)	Total User Cost (SEK)
87 077	76 511	19 336	182 925

r	Total Traffic Delay Cost (SEK)	Total Vehicle Operation Cost (SEK)	Total Accident Cost (ACC) (SEK)	Total User Cost (SEK)
	87 077	76 511	19 336	182 925
2,0%	223 920	196 748	49 723	470 392
2,5%	173 886	152 786	38 613	365 284
3,0%	136 589	120 015	30 331	286 935
3,5%	108 483	95 319	24 090	227 891
4,0%	87 077	76 511	19 336	182 925
4,5%	70 609	62 041	15 679	148 329
5,0%	57 813	50 797	12 838	121 448
5,5%	47 774	41 977	10 609	100 359
6,0%	39 824	34 992	8 843	83 659
6,5%	33 471	29 410	7 433	70 314
7,0%	28 350	24 910	6 295	59 556

Figur E.7 *Trafikantkostnader som delas in i Försenings-, Fordonsdrift- och Olyckskostnader.*



Figur E.8 *Resultaten och jämförelse mellan olika typer av kantbalkar för ett visst brofall.*



Figur E.9 *Jämförelse mellan olika strategier som kan tillämpas.*