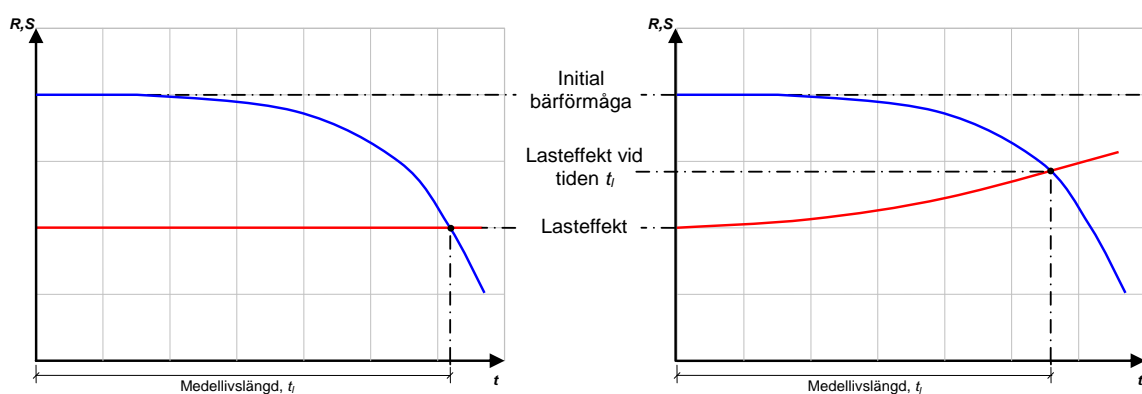


## LCC och LCA gällande anläggningskonstruktioner

*En förstudie*



**Thomas Blanksvärd / Hans Hedlund / Björn Täljsten,  
Skanska Sverige AB / LTU**

**2015-03-11**

# Förord

---

Projektet har genomförts av Luleå Tekniska Universitet och Skanska Sverige AB med stöd av SBUF. Större delen av projektet genomfördes vid Luleå Tekniska Universitet och har under projektets gång haft en stark anknytning till Skanska Sverige AB och då speciellt Skanskas teknikresurs Teknik.

Vi i projektgruppen vill tacka alla finansiärer enligt nedan som gjort det möjligt att genomföra detta projekt.

- SBUF - Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond
- Skanska Sverige AB
- Luleå Tekniska Universitet

Vi vill också tacka;

- Kristina Nilsson för sitt fina examensarbete inom reparation och underhåll ur ett livcykelperspektiv.
- Alla som bidragit till arbetet inom det FP7 finansierade projektet Mainline och då särskilt alla som arbetat inom WP5.

Luleå, mars 2015

Thomas Blanksvärd, Hans Hedlund och Björn Täljsten

# Sammanfattning

---

Det är svårt att avgöra om de totala investeringssatsningarna i infrastruktur varit för låga eller inte. Dock så råder det just nu enighet om att underhållet, däribland reparation och uppgradering, av den offentliga infrastrukturen varit kraftigt eftersatt under lång tid. Anledningen till det eftersatta underhållet ingår inte i omfattningen av denna rapport men generellt sett så är underlaget vad gäller kostnaderna för drift och underhåll ”relativt knapphändiga” i de samhällsekonomiska analyserna. Av denna anledning så blir det alltså väldigt svårt att förutse framtida kostnader. Underhållskostnaderna skulle alltså med lätthet underskattas vid tidpunkterna då investeringar beslutas vilket medför att tillräckliga resurser för underhåll inte kommer att avsättas. Under de senaste årtiondena har dock infrastrukturinvesteringarna prioriterats, men motsvaras fortfarande inte av den ökade trafikmängden. Detta innebär alltså att belastningen på infrastrukturen har ökat under de senaste åren, konsekvensen av detta blir alltså att underhållsbehovet torde ha underskattats avsevärt. Bristfälligt underhåll leder alltså till försämrad kvalitet på den befintliga infrastrukturen och ger därför i sin tur större behov av investeringar.

I och med att underhållet på svensk infrastruktur i vissa avseenden kan verka eftersatt så är det väldigt viktigt att utveckla verktyg så att rätt åtgärder utförs på rätt sätt och i rätt tid så att kostnaderna och investeringarna tas om hand på ett effektivt sätt. Utöver kostnaderna så är det även av yttersta vikt att miljön påverkas i så låg utsträckning som möjligt. Av dessa anledningar är det alltså väldigt viktigt att undersöka och utveckla framtagandet av hjälpmedel för val förvaltningsstrategier i samband med underhålls-, reparations- och uppgraderingsåtgärder sett ur en konstruktions hela livslängd.

Den här rapporten beskriver översiktligt de standarder, metoder och riktlinjer som finns för framtagandet av livscykelkostnader (LCC) och livscykelanalyser (LCA). Både LCC och LCA analyser används vid fastställandet av investeringar samt vilka investeringar som ger högst kostnadseffektivitet samt minst miljöpåverkan. Både LCC och LCA analyser kan bli relativt komplicerade att genomföra och en hel del osäkra faktorer kan med lätthet föras in i analysen. Det finns flertalet kommersiellt tillgängliga mjukvaror som kan underlätta analysarbetet, dessa beskrivs i denna rapport. Utöver de kommersiellt tillgängliga verktygen så beskrivs även delar av den pågående forskningen kring just LCC och LCA.

Rapporten beskriver även en metod för att på ett enkelt sätt kunna jämföra resultaten från LCC och LCA med varandra. Denna metod benämns som *LCAT – Life Cycle Analysis Tool* och går ut på att LCC och LCA analyserna utförs parallellt för olika strategier/alternativ och utifrån befintliga databaser, mjukvara och nationella riktlinjer. Vid val av strategier och åtgärder så är nedbrytningsprocessen/modellerna under konstruktionens livslängd en central del. När sedan analyserna har genomförts så viktas LCA resultaten mot gällande beskattning av CO<sub>2</sub> utsläpp och avfall. I och med att LCA resultaten multipliceras med skattefaktorer så återfås dessa resultat i monetära enheter och kan adderas till LCC resultaten och på detta sätt så fås resultaten för den kombinerade LCC och LCA analysen. De olika konsekvenserna för de olika strategierna/alternativen kan således jämföras beroende på hur de belastar både ekonomi och miljö. Nyckelparametrar som identifierats är bl.a. diskonteringsränta, studerad tidsperiod, nuvärde (net present value – NPV), klassificering av konstruktion och konstruktionsdelar, tillståndsbedömning, bedömd livslängd, nedbrytningsprofil, åtgärdsval, förvaltarkostnader, brukarkostnader, miljökostnader etc.



# Innehåll

---

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE	3
1.3	AVGRÄNSNINGAR	3
1.4	METODIK	3
<b>2</b>	<b>LIVSCYKELPERSPEKTIV</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>LCA – LIFECYCLE ANALYSIS</b>	<b>7</b>
3.1	ALLMÄNT	7
3.1.1	<i>Livscykelanalysens arbetsgång och faser</i>	7
3.1.2	<i>Målbeskrivning och omfattning</i>	8
3.1.3	<i>Funktionell enhet</i>	8
3.1.4	<i>Systemgränser</i>	9
3.1.5	<i>Allokering</i>	9
3.1.6	<i>Inventeringsanalys</i>	9
3.1.7	<i>Miljöpåverkansbeskrivning</i>	10
3.1.8	<i>Livscykeltolkning</i>	11
3.1.9	<i>Allmänt</i>	11
3.1.10	<i>Tolkning</i>	12
<b>4</b>	<b>LCC – LIFECYCLE COST</b>	<b>15</b>
	LCC-analys på systemnivå	17
4.1.1	<i>LCC- Indata</i>	19
4.1.2	<i>Ekonomiska analysmetoder</i>	20
4.1.3	<i>LCC – beräkning</i>	22
4.1.3.1	Trafikantkostnad i samband med broreparationer	24
<b>5</b>	<b>LCAT – LIFECYCLE ANALYSIS TOOLS</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>LCAT - METOD FÖR ATT KOMBINERA LCC OCH LCA</b>	<b>27</b>
6.1	INLEDNING	27
6.2	EXISTERANDE VERKTYG FÖR LCC	29
6.2.1	<i>Normer och riktlinjer (guidelines)</i>	30
6.2.2	<i>Mjukvara</i>	34
6.2.3	<i>Forskning</i>	37
6.2.4	<i>Nyckelparametrar för LCC</i>	41
6.3	EXISTERANDE VERKTYG FÖR LCA	44
6.3.1	<i>Tillgängliga verktyg för LCA</i>	46
6.3.1.1	Athena Eco-Calculator, (Athena, 2013)	46
6.3.1.2	Sima-Pro Life Cycle Assessment Tool, (Sima-Pro, 2013)	46
6.3.1.3	Building for Environment and Economic Sustainability, (BEES, 2013)	47
6.3.1.4	GaBi (Ganzheitlichen Bilanzierung), (GaBi, 2013)	48
6.3.1.5	TEAM(Tools for Environmental Analysis and Management), (TEAM, 2013)	49
6.3.1.6	(ENVEST 2, 2013)	49
6.3.1.7	Waste Integrated Assessment for Recovery and Disposal, (WISARD, 2013)	50
6.3.1.8	Summering av befintliga LCA verktyg	52
6.4	SYSTEMBESKRIVNING FÖR LCAT	53
6.5	FÖRVÄNTAD OUTPUT	57
6.5.1	<i>Output från LCC</i>	58
6.5.2	<i>Output från LCA</i>	60
6.6	KOPPLA RESULTAT FRÅN LCC OCH LCA	62

<b>7</b>	<b>SLUTSATS OCH DISKUSSION</b> .....	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>FRAMTIDA FORSKNING</b> .....	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>69</b>
9.1	SKRIFTLIGA KÄLLOR .....	69
9.2	INTERNET KÄLLOR .....	73
9.3	MUNTLIGA KÄLLOR .....	77
9.4	OUTGIVET MATERIAL .....	77

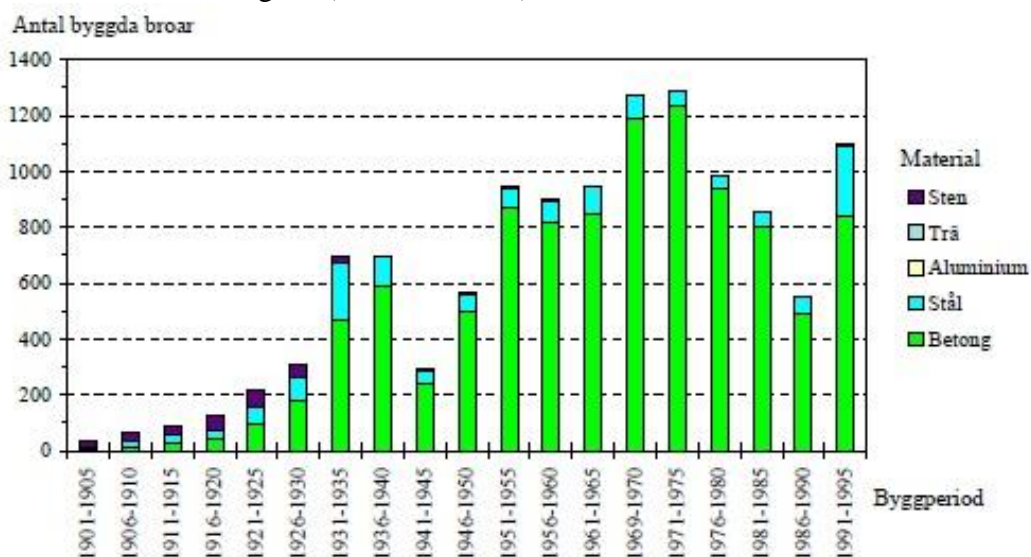
# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

En väl fungerande infrastruktur är av yttersta vikt för Sverige, detta återspeglas även i historien där det redan på medeltiden ingick i jordägarnas plikt att underhålla transportleden i landet. Kraven på ett väl fungerande transportssystem ökade ytterligare i samband med den industriella revolutionen i landet (Mattsson, 2006). Ser man till Sverige är landet fyllt av sjöar och vattendrag vilket gör att det krävs många broar för att transporter ska kunna komma hela vägen fram utan onödiga omvägar. Den här rapporten kommer att fokusera på broar som representant för anläggningskonstruktioner eftersom att de vanligtvis har en relativt lång livslängd, ska klara av trafikbelastning samt ofta är belägna i utsatta miljöer.

Broar kan delas in på olika sätt, t.ex. efter trafik, väg- och gatubroar, gång- och cykelbroar. Man kan även göra indelningen efter broars ingående material i huvudbärsystemet. De vanligaste ingående materialen är betong, stål, sten- och tegel, aluminium, trä och samverkansbroar där olika material material samverkar.

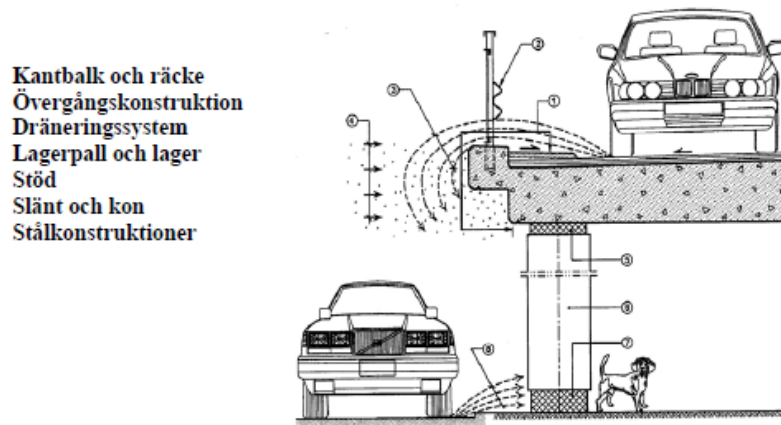
Som man kan se i Figur 1 är materialet i huvudbärsystemet för byggda broar i Sverige huvudsakligen betong. Men även materialet stål finns med i större utsträckning från 1990-talet och framåt. Indelningen av broar kan även ske efter konstruktionstyper vilka kan vara plattbro, balkbro, valvbro, bågbro, rörbro, snedkabelbro och hängbro (Mattsson, 2006).



Figur 1. Broar byggda 1901-1995 uppdelade efter material i huvudbärsystemet (Mattsson, 2006).

Broar dimensioneras vanligtvis för en livslängd upp mot 120 år och för att deras funktion ska uppfyllas under hela livslängden krävs stor kunskap om hur dessa ska konstrueras. Forskning kring betongkonstruktioners beständighet har under de senaste decennierna fått en allt större betydelse. Anledningen till detta är att en del av de äldre betongkonstruktionerna visat tecken på tidig och omfattande nedbrytning. Vilket, i vissa fall orsakas av dålig kvalitet vid utförandet men till största del av miljöpåfrestningen under driften så som exempelvis vägsalt och tyngre transporter. Som kan ses i Figur 2 utsätts en brokonstruktion för många faktorer som var och en slutligen påverkar funktionen hos bron negativt vilket leder till att reparationer krävs för att bron ska kunna fortsätta användas (Troive, 1998).

## Utsatta konstruktionsdelar



Figur 2. Utsatta konstruktionsdelar hos en brokonstruktion (Mattsson, 2006).

Det förekommer en acceptans för att betongkonstruktioner kontinuerligt behöver inspekteras och underhållas om en lång livslängd ska uppnås till rimliga kostnader. För konstruktionstyper, så som vägbroar har Trafikverket utvecklat ett förvaltningssystem, kallad för Batman ([www.batman.vv.se](http://www.batman.vv.se)) vilket har syftet att samordna livslängdskrav, budget och underhåll för att de tänkta livslängderna ska kunna nå upp till (Betonghandboken, 1994).

Enbart Trafikverket ansvarar idag för närmare 15 000 broar i Sverige där ca 70 procent är byggda av betong (Batman, 2010). Många av dessa broar börjar bli relativt gamla och det finns en stor andel broar som är i stort behov av reparation, underhåll och uppgradering. En stor del av broarna är uppförda i armerad betong vilket gör att en vanlig nedbrytningsmekanism är armeringskorrosion (Batman, 2010). Detta kostar pengar och kommer att kosta ännu mer pengar allt eftersom att bropopulationen blir äldre. Men hur ska broarna konstrueras för att undvika denna armeringskorrosion och vilka ingående byggnadsmaterial borde användas?

Årligen lägger Trafikverket ner mellan 500-700 miljoner kronor för att sköta drift och underhåll av dessa broar (Batman, 2010), denna kostnad kommer att öka framöver i takt med att broarna blir äldre och att trafiklasterna på broarna ökar. En stor utmaning ligger i att lägga rätt pengar på rätt sak vid rätt tidpunkt.



## 1.2 Syfte

Syftet med detta projekt är att studera utvalda nedbrytningsprocesser som sker i en brokonstruktion som leder till reparations-, underhåll och uppgraderingsåtgärder. Dessa åtgärder ska sedan kopplas till livscykelkostnadsanalys och livslängden för befintliga broanläggningar. I denna studie har det även valts att undersöka hur livscykelkostnaden och livslängden påverkas om material med bättre beständighet används. Vidare har en metodbeskrivning genomförts på hur livscykelkostnader (LCC) och livscykelanalyser (LCA) struktureras. Slutligen så redovisas även hur dessa två skilda analyser skulle kunna kombineras för att få en större överblick på de kostnader och miljöpåverkan som blir i anslutning till valda förvaltningsstrategier.

## 1.3 Avgränsningar

Det material som arbetet omfattas studera är knutet till generella analysmetoder för LCC och LCA. Metodbeskrivningarna är redovisade på generell basis med tillhörande inventering av befintlig mjukvara. Ett exempel är även redovisat och detta är avgränsat till hur LCC analysen påverkas för en befintlig vägbro av armerad betong beroende på förvaltningsstrategi sett ur ett livsperspektiv inklusive nedbrytningsmodeller. Tillståndsbedömningar av befintliga vägbroar har inte behandlats i någon större utsträckning. De nedbrytningsmekanismer som valts att studeras är endast sådana som är relaterade till armeringskorrosion och då i synnerhet karbonatisering och kloridinträngning. Det görs inga beräkningar på karbonatisering utan endast teorierna väljs att studeras. Detta eftersom karbonatiseringsberäkningar innehåller allt för många antaganden vilka i slutändan inte anses ge ett trovärdigt resultat som kan användas vidare för analyser i denna förstudie. Samma sak gäller livscykelanalysen (LCA) som beskrivs teoretiskt men som det inte genomförs några mer ingående beräkningar på. Att genomföra en full livscykelanalys är komplicerad och med en rad osäkerheter kopplade till de val som genomförs samt att resultatet ofta inte går att jämföra direkt mot en livscykelkostnad. Livscykelkostnadsberäkningar görs för en befintlig vägbro i Sverige där beräkningarna avgränsas till att varieras mellan tre olika diskonteringsräntor, 5, 6 och 7 procent, det eftersom dessa räntesatser förekommer i den litteratur som valts att utgå ifrån. Betongkvalitén i brokonstruktionen har valts att bytas ut där det beräknas på totalt tre olika betongkvaliteter med olika vct som varierar från 0,4 - 0,5. Även den ingående armeringen har valts att alterneras och beräknas för totalt tre olika armeringskvaliteter. Livslängdsberäkningarna har valts att genomföras endast för ovansidan av den befintliga bron, detta eftersom den delen har värsta exponeringsklassen och därmed är den mest kritiska delen på konstruktionen.

## 1.4 Metodik

Projektet har genomförts i tre delar; i) en litteraturstudie som undersöker livslängdsberäkningar, livscykelanalyser och livscykelkostnader, ii) hur dessa kan kopplas samman, iii) en resultatdel där en del av informationen i förstudien har tillämpats och kvantifierats.

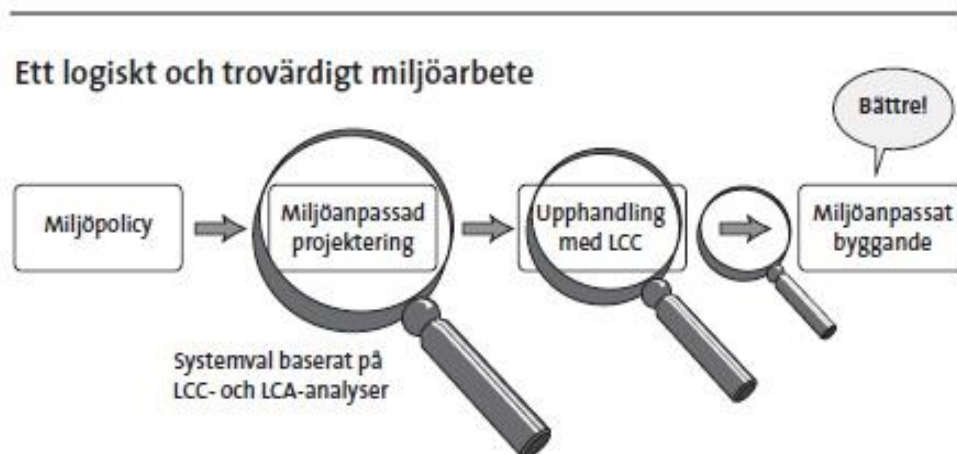
Litteraturstudien består i att undersöka existerande standarder och metoder som kan tillämpas på livslängdsberäkningar som sedan kopplas till miljöpåverkan (LCA) och kostnader (LCC). Allt detta sett ur perspektivet att anläggningen redan existerar och kommer att vara i behov av underhåll, reparation och/eller uppgradering.



## 2 Livscykelperspektiv

Byggnadsverk har en lång livslängd där ombyggnad och reparationer är återkommande inslag. Den långa driftstiden står för en stor del av miljöpåverkan under byggnadsverkens livslängd. Detta gör det viktigt att utforma allt som byggs och repareras idag med stor hänsyn till hela livscykeln och inte enbart utifrån det första, ursprungliga investeringsskedet. Om man idag projekterar med större hänsyn till byggnadsverkets livscykel kan miljöpåverkan minskas avsevärt.

För att få en rättvis heltäckande bild av en produkts energianvändning och klimatpåverkan krävs ett livscykelperspektiv, principerna kan ses i Figur 3 (Trafikverket, 2012).



Figur 3. Principen för trovärdigt miljöarbete (Boverket, 2002).

Vid diskussionerna kring livscykelperspektiv är det generellt två olika begrepp som diskuteras, livscykelanalys (*LCA*) och livscykelkostnad (*LCC*). I en *LCA* studeras en produkt eller tjänst ur ett miljöpåverkansperspektiv under hela dess livslängd. En *LCC* är den ekonomiska motsvarigheten till *LCA* och är en metod som bestämmer den totala kostnaden av en produkt under hela dess livscykel (Atterhög, 2008).



## 3 LCA - Lifecycle analysis

### 3.1 Allmänt

En LCA är en metod framtagen för att kunna få en helhetsbild hur exempelvis en bro påverkar den omgivande miljön under hela dess livscykel. Från tidpunkten att bron börjar uppföras med all dess resursanvändning till dess att bronns livstid är slut och den rivs. Detta innebär att den ekonomiska men främst den miljömässiga "kostnaden" från vaggan till graven kan bedömas, exempel på detta kan ses i Figur 4 (Rydh et al., 2002).



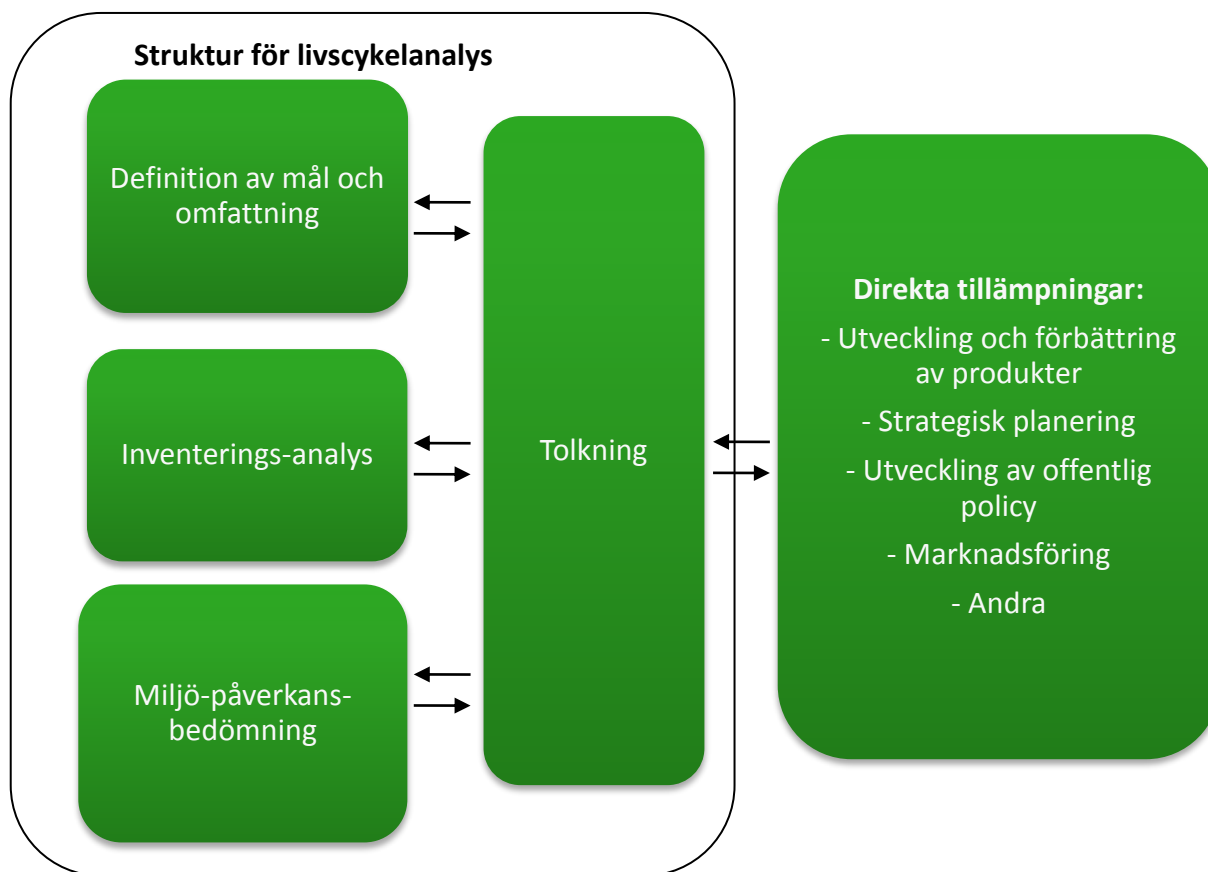
Figur 4. Livscykel för en platsgjuten konstruktion (Swerock, 2012).

Perspektivet livscykelanalys ger ett beslutsunderlag som ser till helheten kring valet av produkter. Genom att se till olika livscykelanalyser av produkter kan man välja den produkt som har den minsta miljöpåverkan sett under hela dess livscykel. Det huvudsakliga syftet med livscykelanalyser är att presentera samspelet mellan en produkt och miljö. Livscykelanalysen utvärderar miljöpåverkan från ett system, exempelvis hälsoeffekter, ekologiska effekter och resursförbrukning. Dock tar inte livscykelanalysen hänsyn till är ekonomiska och sociala synvinklar därför kan det vara en fördel att kombinera analysen med en ekonomisk modell vilken om möjligt kan sätta monetära enheter på miljön (Rydh et al., 2002). Detta diskuteras mer i kapitel 0 och 0

Föregångaren till livscykelanalysen finns inom förpackningsindustrin som fokuserade på att utveckla plast- och pappersförpackningar till att bli mer miljövänligare. Samtidigt som livscykelanalyserna ökade kom även kritiken där man hävdade att de analyser som gjordes berodde helt och hållet på vilket synsätt som tillämpades. En specifik produkt kunde ha ett flertal olika livscykelanalyser vilket gör det hela opålitligt. För att undvika denna opålitlighet eller känslig har en gemensam standardisering och metodik tagits fram vilka är ISO standarderna ISO 14040 och ISO 14041 (Moberg et al., 1999 & Rydh et al., 2002).

#### 3.1.1 Livscykelanalysens arbetsgång och faser

För att genomföra en livscykelanalys ska hela produktionsprocessen studeras vilket gör att en omfattande datainsamling krävs. Denna process består av fyra faser: *målbeskrivning och omfattning*, *inventeringsanalys*, *miljöpåverkansbedömning* samt *resultattolkning*, vilka kan ses i Figur 5.



Figur 5 Livscykelanalysens olika faser efter (Moberg et al., 1999) och SS-EN ISO 14040.

### 3.1.2 Målbeskrivning och omfattning

I första fasen ska målbeskrivningen formuleras där det ska framgå omfattningen av livscykelanalysen. Varför analysen ska genomföras, vilket resultat som ska uppnås och till vem som resultatet ska rikta sig åt (Baumann et al., 2004 & Rydh et al., 2002).

I livscykelanalysens första fas ska även syfte och avgränsningar formuleras och tas fram. Verkligheten ska transformeras om till en modell som passar en livscykelanalys och en sådan modellering kan ske på varierande sätt. Slutsatsen av analysen blir ett resultat av en studie utifrån de angivna avgränsningarna i analysens första fas (Träguiden, 2012 & IVF, 2002).

### 3.1.3 Funktionell enhet

Under syfte och avgränsningar ska den funktionella enheten definieras där dess primära syfte är att skapa en referensenhet där input- och outputdata kan relateras. Vad som behövs för att fastställa den definierade parametrarna, t.ex. mängden material, ska kvantifieras. För att beräkna input och output används flöden relaterade till den funktionella enheten. Syftet med denna definition är att det är en service eller prestanda/funktion från en produkt som ska jämföras med en service eller prestanda/funktion från en annan produkt och inte produkten själv. Ett konkret exempel på detta kan vara att det inte är meningen att jämföra en liter ytskyddsfärg av en sort med en liter av en annan sort då de nödvändigtvis inte ger samma prestanda eller uppfyller liknande funktion. Därför bör den funktionella enheten istället vara "en kvadratmeter målad yta med en bestämd karbonatiseringsmotstånd och livstid på 10 år" (Träguiden, 2012 & IVF, 2002).

### 3.1.4 Systemgränser

Vilka processer som ska ingå i den aktuella modellen bestäms av systemgränserna. I en livscykelanalys kan man gå i princip hur långt bak som helst, vilket kanske alla gånger inte är relevant i analysen. En tumregel kring detta är att man bara ska ta med de produkter och processer som påverkar resultatet med mer än 2 procent. Utifrån detta kan man lättare välja systemgränser för livscykelanalysen (Träguiden, 2012 & IVF, 2002).

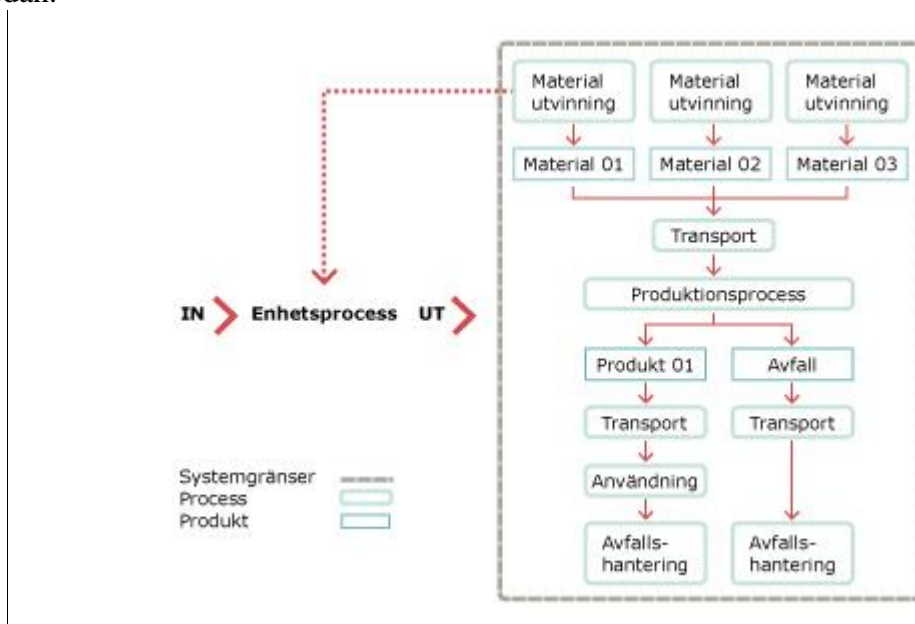
### 3.1.5 Allokering

Fördelningen mellan input – och outputflöden från en enhetsprocess till systemet under fokus definieras i livscykelanalyser som allokering. Input- och outputflöden kan ibland fördelas på flera olika sätt vilket gör att det krävs styrka principer för fördelningen. Detta innebär att allokeringsprinciper ibland tillämpas som är baserade på olika enheter. Dessa principer behöver definieras och motiveras i samband med framtagningen av syfte och avgränsningar för livscykelanalysen (Träguiden, 2012).

### 3.1.6 Inventeringsanalys

Den andra fasen består av en inventeringsanalys. Denna genomförs genom att samla in relevant data för att kunna bygga upp analysen utifrån den tidigare bestämda målbeskrivningen. I inventeringsanalysen tas ett flödesschema fram och där visas vilka delar som ingår i produktionen som exempelvis uttag av råmaterial från naturen, transport, förädling, försäljning och användning. Vidare ingår även att ta reda på faktorer som bland annat energiåtgång, tidsåtgång, utsläpp, emissioner och resursförbrukning (Baumann et al., 2004 & Rydh et al., 2002)

I arbetet med inventeringsanalysen kan det bli nödvändigt att ändra på systemgränserna och i vissa fall även syftet då det kan visa sig vara brist på relevant data. Processen för inventeringsanalysen kan ses i Figur 6 nedan.

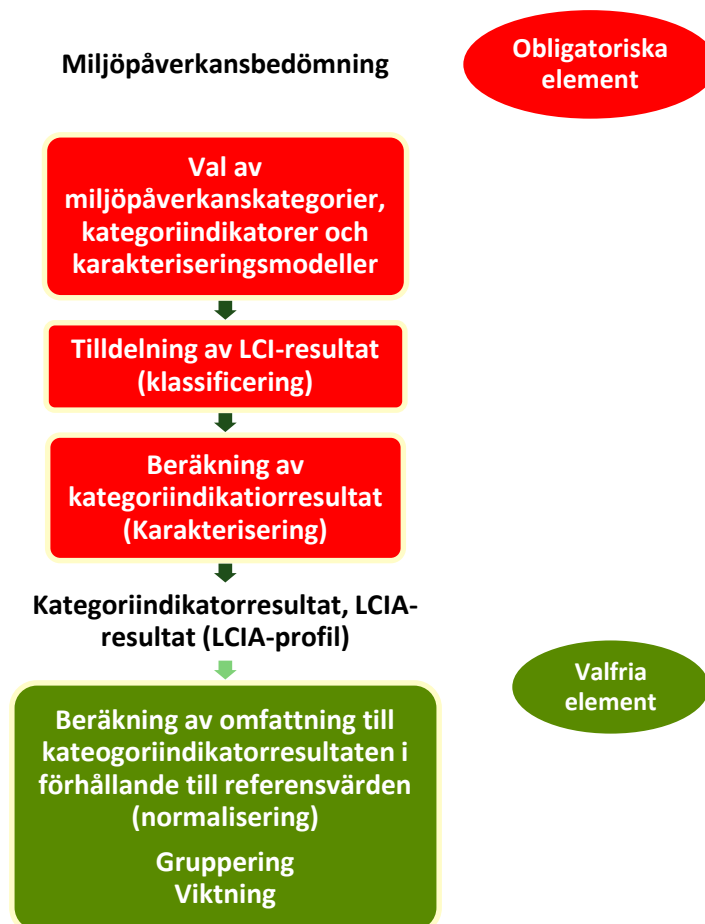


Figur 6. Processträd med enhetsprocesser (Träguiden, 2012).

Det resultat man fått fram hittills i analysen anges som livscykelinventering (LCI) och används sedan som input för miljöpåverkansbeskrivningen. LCI består av en lista med input- och outputdata. Man kan redan här dra slutsatser utifrån LCI men eftersom det endast är baserat på input och output och inte med miljöpåverkansbeskrivningen bör dessa slutsatser dras med viss försiktighet (SS-EN ISO 14040 & Träguiden, 2012).

### 3.1.7 Miljöpåverkansbeskrivning

Tredje fasen innefattar en miljöpåverkansbeskrivning eller som det också kallas, Life Cycle Impact Assessment (LCIA). Mer schematiskt hur denna beskrivning går till kan ses i Figur 7 nedan.



Figur 7. Miljöpåverkansbeskrivningens olika steg omarbetad efter (SS-EN ISO 14040).

Information som emissioner och resursanvändning vilka kommit fram ur inventeringsanalysen ska förenas med effekterna på omgivningen. Miljöpåverkansbeskrivningen inleds med att göra en klassificering utifrån den insamlade data i inventeringsanalysen. Denna klassificering innebär att de miljöproblem vilka emissionerna kan ge upphov till grupperas. För en fullständig livscykelanalys finns fem stycken effektkategorier som ska ingå; *resursförbrukning*, *hälsoeffekter*, *ekologiska effekter*, inflöden som inte följts ändå från "vaggan" samt *utflöden som inte följts ändå till "graven"*. Det är dock inte nödvändigt att samtliga kategorier ingår utan andelen bestäms utifrån den framtagna målbeskrivningen för analysen. Förekommer det föroreningar som kan kopplas till mer än en miljöeffektkategori så måste kategorin bestämmas som relevant just i denna livscykelanalys, exempel på miljöpåverkanskategorier ses i Tabell 1 nedan (Rydh et al., 2002 & Stripple, 1995).



Tabell 1. Exempel på miljöpåverkanskategorier samt kategoriindikatorer omarbetad efter Träguiden (2012).

Miljöpåverkanskategori	Kategoriindikator
Koldioxid	CO <sub>2</sub>
Växthuseffekt	CO <sub>2</sub> - ekvivalenter
Ozonuttunning	ODP (Ozone depletion potential)
Försurning	SO <sub>2</sub> - ekvivalenter
Övergödning	COD/BOD
Marknära ozon	POCP (eten – ekvivalenter)
Resursanvändning, material	Kg
Resursanvändning, energi	MJ (Mega-Joule)

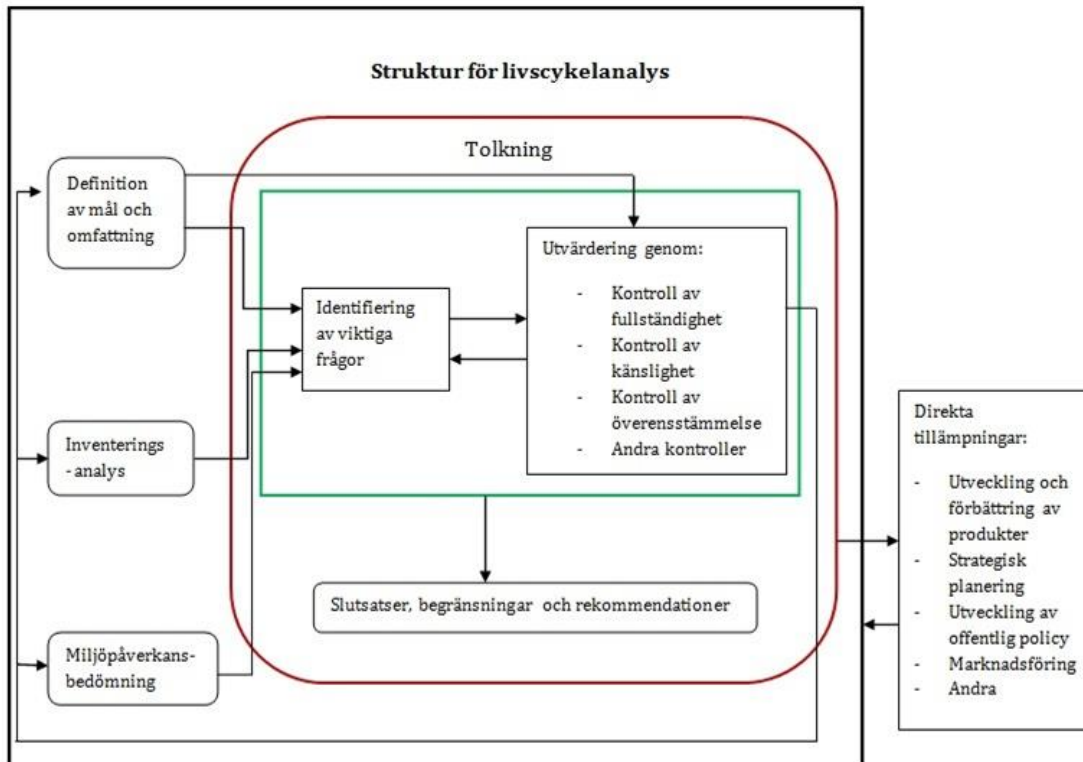
Nästa steg i miljöpåverkansbeskrivningen är att utvärdera och summera de ingående flödenas bidrag till effektkategorierna. Detta utförs genom att ett värde tilldelas till den ingående inventeringsdata i respektive kategori som visar storlek och effekt för flödena. Det gör man för att sedan kunna jämföra effekterna med ett index för att avgöra miljöbelastningen. Sista delen i miljöpåverkansbeskrivningen är att värdera de olika miljöproblemen där viktas dessa samman till ett gemensamt värde som åskådliggör den totala miljöpåverkan (Rydh et al., 2002, Stripple, 1995 & SS-EN ISO 14040).

### 3.1.8 Livscykeltolkning

Den sista fasen i livscykelanalysen består av att tolka det framtagna resultatet. Här ska den tidigare framtagna måldefinitionen ses över samt kontrolleras att denna har uppfyllts. Förutom att tolka resultatet ska, om det är möjligt, slutsatser och rekommendationer ges. Det är även bra om känslighetsanalys genomförs där modellens variationer i intervall och resultat redovisas för att försäkra sig om att den utförda livscykelanalysen är korrekt genomförd (Rydh et al., 2002 & Stripple, 1995).

### 3.1.9 Allmänt

Tolkningen i en LCA - studie omfattar flera olika delar vilket kan ses i Figur 8 nedan. Första fasen i LCA-analysen utgör studiens ramar medan de andra faserna som inventeringsanalys och miljöpåverkansbedömning ger information om produktionssystemet (SS-EN 14044:2006).



Figur 8. Samband mellan element i tolkningsfasen och andra faser i LCA omarbetad efter SS-EN 14044:2006.

Tolkningen av resultaten från livscykelanalysen ska studeras utifrån studiens uppsatta mål och omfattning vilka ska innehålla bedömning och kontroll av känslighet för inflöden, utflöden samt metodval för att göra osäkerheten i resultaten mer förståeliga (SS-EN 14044:2006).

I förhållande till studiens mål ska tolkningen av analysen ta följande i beaktning enligt SS-EN 14044:2006:

- Systemfunktionerna, den funktionella enheten och systemgränsens lämplighet i definitionerna.
- Datakvalitetsanalysen och känslighetsanalysens definierade begränsningar.

Inventeringsanalysen bygger på data från in- och utflöden och inte på miljöpåverkan, vilket gör att resultaten bör tolkas med försiktighet (SS-EN 14044:2006).

### 3.1.10 Tolkning

Första steget i tolkningen av analysen är identifieringen av viktiga frågor där syftet är att strukturera resultatet. Tanken med identifieringen är att få med konsekvenserna av använda metoder och gjorda antaganden. Ett exempel på viktiga frågor kan vara inventeringsdata såsom energi, emissioner och avfall. Men även miljöpåverkanskategorier som till exempel resursanvändning och klimatförändringar kan ses som viktiga frågor (SS-EN 14044:2006).

För att kunna identifiera de viktiga frågorna behövs fyra olika typer av information enligt SS-EN 14044:2006 som ska finnas framtaget från de tidigare faserna i livscykelanalysen:

1. Resultatet ska sammanställas och struktureras med information om kvaliteten på framtagen data.
2. Metodval såsom systemgränser och allokeringsregler som används i analysen.
3. Definitionen av mål och omfattning med dess värdegrunder i studien.
4. De berörda parternas roller och ansvar i förhållande till tillämpningen.

Resultatets signifikans bestäms först när resultaten från de föregående faserna uppfyller studiens mål och omfattning (SS-EN 14044:2006).

Nästa steg i tolkningen av analysen är utvärdering där syftet är att skapa trovärdighet och tillförlitlighet hos resultaten från livscykelanalysen. Resultaten bör presenteras på ett sådant sätt att det ger en förståelig bild hos den som är beställare av analysen. Tre metoder ska övervägas att användas under utvärderingen (SS-EN 14044:2006);

a. Kontroll av fullständighet

Kontroll av fullständighet går ut på att garantera att all relevant information och nödvändiga data för tolkningen är tillgängliga samt fullständiga (SS-EN 14044:2006).

b. Kontroll av känslighet

Kontroll av känslighet syftar till att bedöma tillförlitligheten hos de slutgiltiga resultaten. Detta kan ske genom att bestämma hur slutledningarna påverkas av osäkerheter i data. Ska en genomförd livscykelanalys presenteras för allmänheten ska utvärderingselementen innehålla förklaringar som bygger på detaljerade känslighetsanalyser. Den specifika detaljnivån bestäms utifrån resultaten från inventeringsanalysen och miljöpåverkansbedömningen. Resultaten av känslighetskontrollen kan direkt påvisa en tydlig effekt på studiens resultat. Om det skulle visa sig att kontrollen av känsligheten inte visar på några större skillnader är det inget misslyckade utan det kan vara slutresultatet av studien (SS-EN 14044:2006).

c. Kontroll av överensstämmelse.

Kontroll av överensstämmelse avser att bestämma om antaganden, metoder och data svarar mot mål och omfattning. Överensstämmer det med mål och omfattning ska följande fyra frågor enligt SS-EN 14044:2006 besvaras:

1. Är datakvalitetsskillnaderna under produktsystemets livscykel samt mellan produktsystem i enlighet med mål och omfattning?
2. Har konsekvent hantering av geografiska och/eller tidsmässiga skillnader skett?
3. Har konsekvent tillämpning skett av allokeringsregler och systemgränser i produktsystemen?
4. Har konsekvent miljöpåverkansbedömning av elementen skett?

Sista steget i tolkningen består av slutsatser, begränsningar och rekommendationer. Slutsatserna som ska dras av analysen bör göras iterativ med de andra elementen i fasen för livscykeltolkningen. De slutgiltiga slutsatserna ska ligga till grund för rekommendationerna och även vara en logisk och rimlig konsekvens av slutsatserna (SS-EN 14044:2006).



## 4 LCC – Lifecycle cost

Ett mål som samhället har generellt är att *maximera nyttan* och *minimera kostnaderna* där svårigheten är att *prissätta nyttan*. Offentliga investeringar inom infrastrukturen löper oftast över långa tidsperioder vilket också ökar svårigheten för förvaltaren att uppskatta nyttor och kostnader utan osäkerheter. Ett sätt som vuxit fram för att stimulera entreprenörer att komma med nya metoder är total- och funktionsentreprenader. I en funktionsentreprenad ligger ansvaret hos entreprenören att stå för drift och underhåll, en tid efter produktionens färdigställande. Detta medför att entreprenören inte bara kan se till produktionskostnaden utan tvingas tänka långsiktigt. Användandet av funktionsentreprenader medför att kostnader sett över en hel livscykel blir lägre vilket är av största intresse ur ett samhällsekonomiskt perspektiv (Olsson, 1993, Sund, 1996 & Sveriges Mekanförbund, 1984).

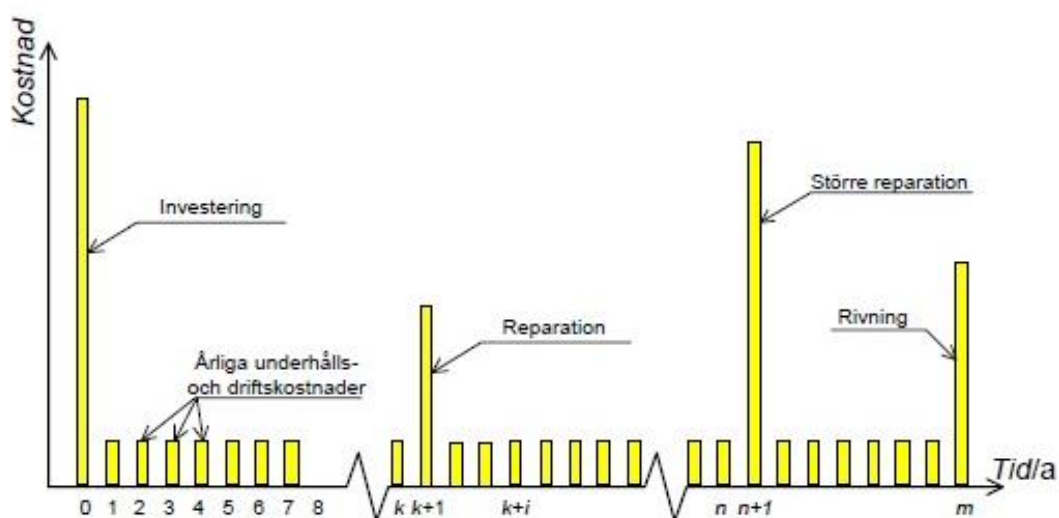
Tekniken kring LCC kan användas för att påverka totalkostnaden under en produkts hela livslängd. Där besluten som fattas ska baseras utifrån alla tänkbara påverkande kostnader. Livscykeln kan vara produktens tänkta livslängd men även vara ett bestämt antal år. En av anledningarna till att livscykelkostnader blivit ett allt mer intressant begrepp är att drift och underhåll av en produkt ibland är högre än själva investeringskostnaderna. Exempel på livscykelkostnader kan vara; inköp, uppförande, driftkostnad med personal och energi, underhållskostnad för förebyggande och avhjälpande underhåll, stilleståndskostnader, intäktsbortfall på grund av stillestånd samt avfalls- och återvinningshantering (Sveriges Mekanförbund, 1984).

När man vill påverka det slutgiltiga utförandet av ett framtida projekt i ett tidigt skede är LCC ett viktigt redskap. Tar man hänsyn till livscykelkostnader i ett tidigt skede kan man göra besparingar i drift- och underhållsfasen trots att den initiala kostnaden blir högre (Schaub, 1990 & Wittenfelt, 2004). Beställaren av ett projekt kan använda livscykelkostnader som ett sätt att uttrycka krav gentemot den som utför projektet. Om hänsyn tas till livscykelkostnaderna tvingas beställaren i ett tidigt skede att fundera och ange vilka krav denna har på projektet.

Olika alternativa utformningar på lösningar kan generera stor skillnad på kostnaderna men även kvaliteten på utförda arbeten är avgörande för vad den totala kostnaden blir för exempelvis en bros hela livstid. Som kan ses i

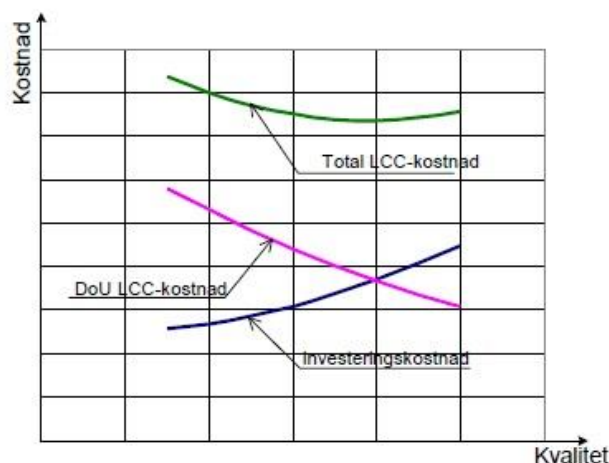
*Figur 9. Kostnader för en underhållsåtgärd (Sundqvist, 2003).*

nedan inträffar kostnader för en underhållsåtgärd vid olika tidpunkter, först sker en stor investering därefter årliga kostnader för drift och underhåll samt reparationer vilka inträffar med ojämna mellanrum (Sundqvist, 2003).



*Figur 9. Kostnader för en underhållsåtgärd (Sundqvist, 2003).*

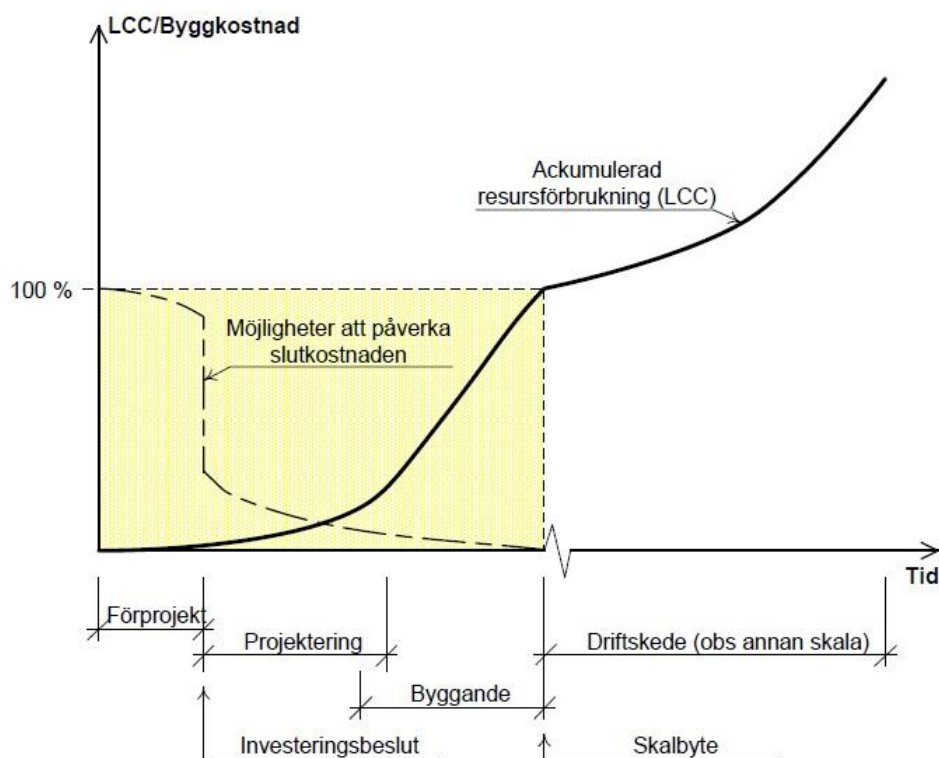
Grunden i LCC-beräkningar är ekonomiska optimeringsproblem där framtida kostnader läggs ihop med nutida kostnader och slutligen fås en total kostnad. Denna metodik syftar till att jämföra olika investeringsalternativ med varandra för att få fram den mest kostnadseffektiva lösningen för objektets hela livslängd. Det som man även bör ta hänsyn till är att det finns en brytpunkt mellan kostnad och kvalitet. Den mest kostnadseffektiva lösningen kanske inte är att lägga all fokus på kvaliteten eftersom att stora investeringar inte nödvändigtvis innebär att kvaliteten ökar. Det gäller att hitta brytpunkten, där sänkningen av underhållskostnaderna möter ökningen av kostnaden för kvaliteten. I Figur 10 nedan kan ses att hög kvalitet ger en hög investeringskostnad men vilket på sikt kan ge låga drifts- och underhållskostnader (Sundqvist, 2003).



Figur 10. Optimering av LCC (Sundqvist, 2003).

LCC-analyser är vanligt att de utförs på komponent nivå, där man vill hitta den komponent som ger lägst total kostnad. Det är sällan LCC-analyser sker på systemnivå där man jämför alternativa konceptlösningar och utförandesätt. En LCC-analys på systemnivå kräver mer arbete men skulle generera en större resultat skillnad om man jämför med en LCC-analys på komponent nivå (Levis et al., 2008).

En förutsättning som krävs för att genomföra LCC-analyser på systemnivå är att få metodiken att ingå redan i projekteringsstadiet, som är det skedet där störst möjlighet finns att påverka valet av lösningar. I Figur 11 nedan kan det konstateras att det är under projekteringsfasen som den slutliga kostnaden bestäms för projektet inklusive drift och underhåll (Sundqvist, 2003).



Figur 11. Möjlighet att påverka kostnader för ett byggnadskoncept (Sundqvist, 2003).

### LCC-analys på systemnivå

Redan på 1970-talet började anvisningar för hur LCC-beräkningar skulle genomföras dyka upp och idag är anvisningarna ännu fler (Levin et al., 2008). Fler alternativa lösningar kan tas fram genom att bestämma systemgränser och avsedd driftperiod. Den tekniska lösningen som blir billigast är den som har lägst LCC-värde och samtidigt uppfyller fastställda krav. Det som bör beaktas är däremot att en LCC-analys aldrig kan ge ett exakt värde på den slutgiltiga totalkostnaden, det värdet är ett endast ett uppskattat värde. Detta beror på att alla effekter i framtiden inte fullt ut kan förutspås. Slutsumman för ett systems livslängd kan inte fastställas först förrän brukstiden har passerat. I samband med LCC-beräkningar görs ett antal antaganden och utelämnanden/avgränsningar vilken kan påverka resultatet i stor utsträckning (Lindqvist et al., 1999).

Underhållskostnader för nya åtgärder, livslängder på nya ingående delar och framtida ekonomi- och prisutvecklingar är även det svårt att uppskatta. Det gör att man i första hand bör se LCC-värdet som ett jämförelsetal för värderingar av framtida alternativ och inte direkt som en konkret kostnadsuppgift (Levin et al., 2008 & Lindqvist et al., 1999).

När man genomför en LCC-analys bör man vara medveten om att LCC är ett kostnadsmått vilket är direkt beroende av en LCC-modell tillsammans med en given uppsättning data. När modellen och/eller indata förändras så förändras även utfallet, detta innebär att samma alternativ kan ha flera olika LCC-värden (Wååk, 1992). Förenklat kan tillvägagångssättet för en LCC-analys se ut som nedan enligt (Wååk, 1992).

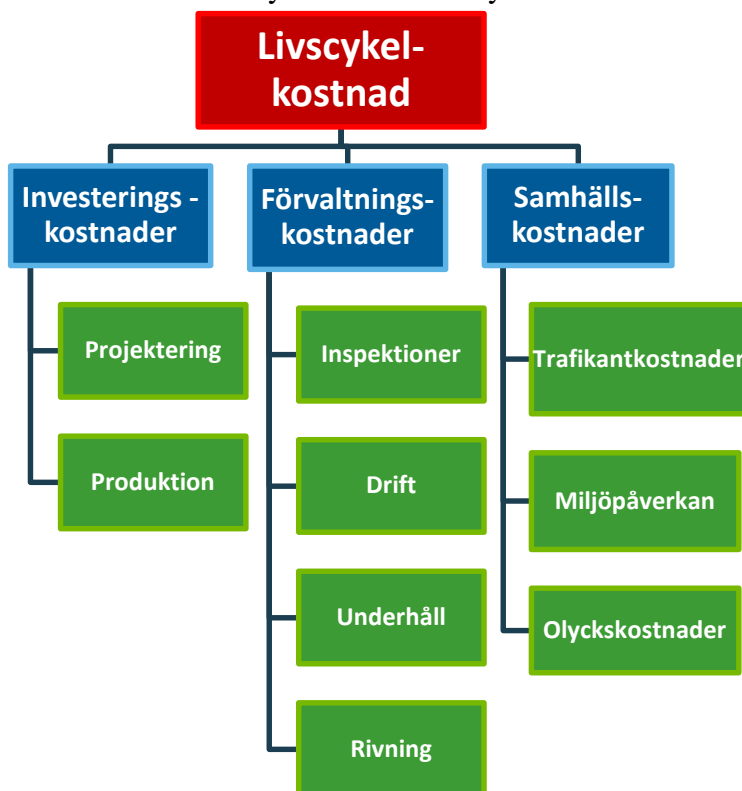
<b>1. Identifiera problemet</b>	I startskedet är det viktigt att identifiera problemet och även ta fram vad syftet med lösningen ska vara.
<b>2. Bestäm ambitionsnivå</b>	Fastlägg hur hög noggrannhet som ställs på indata och vilken precision som krävs på beräkningarna.
<b>3. Planlägg analysen</b>	Bestäm när analysen ska vara klar och planera bakifrån. När detta är gjort kan en tidsuppskattning genomföras för alla

	ingående moment.
<b>4. Klarlägg begränsningar, krav och förutsättningar</b>	Innan beräkningar börjar genomföras är det lämpligt att specificera avgränsningar, krav och förutsättningar som genomgående ska gälla. Förutsättningar för en analys utgörs även av: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ekonomiska förutsättningar</li> <li>b. Driftprofil och principer för värdering av driftsäkerhet</li> <li>c. Underhållskoncept</li> <li>d. Regler för utvärdering och rangordning av alternativ</li> </ul>
<b>5. Om det inte redan finns en för området skriven LCC - modell, ta fram en ny</b>	En LCC-modell består av ekvationer som beskriver hur LCC - värdet ska beräknas. Modellerna skiljer sig åt och kan utföras manuellt eller med hjälp av dator. Det viktiga här är att modellen för användarna är lättförståelig.
<b>6. Skapa alternativ, referenslösningar och fatta beslut. För varje framtaget alternativ utförs steg:</b>	<p><i>a. Generera data</i></p> <p>Indata hämtas lämpligtvis från ekonomiansvariga, förvaltare, projektledare, produktleverantörer, konsulter och entreprenörer. De största utmaningarna i en LCC-analys är svårigheten med att få fram indata. Om LCC-analysen ska användas för jämförelse av olika alternativ är exaktheten inte riktigt så viktig och det behövs i regel stora ändringar i indata för att alternativens rangordning ska förändras (Levin et al., 2008).</p> <p><i>b. Genomför beräkningar och analyser enligt modellen</i></p> <p>I detta skede sätts indata in i LCC - modellen och får ut värde i form av utdata. Sedan genomförs en känslighetsanalys av indata och resultat.</p> <p><i>c. Gör värderingar, jämförelser samt dokumentera</i></p> <p>En värdering av resultatet genomförs som sedan jämförs med referenslösningen. Sedan förkastas eller sätts en ny referenslösning upp för att avslutningsvis dokumentera alternativet.</p>
<b>7. Redovisa med en sammanfattning</b>	<p>Det sista som genomförs är en sammanfattning av LCC-analysen. Här det är viktigt att denna presenteras på ett förståeligt och överblickbart sätt. Enligt (Wååk, 1992) finns ett antal frågor som man bör kontrollera om svar finns på.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Speglar LCC-modellen problemet och uppnås syftet?</li> <li>b. Har en nedbrytning av kostnadselementen utförts genomgående och är samtliga kostnadselement beaktade?</li> <li>c. Vilka kostnadselement har exkluderats och varför?</li> <li>d. Har källorna för indata redovisats?</li> <li>e. Har alla antaganden som påverkar resultatet redovisats?</li> </ul> <p>Har alla rimliga alternativ studerats och har det valda alternativet rättfärdigats på basis av LCC?</p>



### 4.1.1 LCC- Indata

För att kunna värdera de ingående parametrarna i beräkningen av livscykelkostnaden är det bra att göra en känslighetsanalys. Genom att variera de indata som man är osäker kring mellan sannolika ytterligheter får man en bild utav variationen av resultatet (Berglund & Ntirabampa, 2009). I Figur 12 nedan visas exempel på olika indata i en livscykelkostnadsanalys för en bro.



Figur 12. Livscykelkostnadsanalysens struktur för en bro, omarbetad efter (Berglund & Ntirabampa, 2009).

#### Investeringskostnader

Investeringskostnader innefattar alla de kostnader som uppkommer innan en bro börjar användas. Kostnaderna kan vara materialkostnader, transporter, löner etc. Enkelt kan sägas att investeringskostnader innefattar kostnader som hör ihop med konstruktionen av bron som exempelvis projektering och produktion (Huvstig, 2000).

#### Förvaltningskostnader

En bro kräver regelbundna åtgärder såsom rengöring från smuts och snöröjning, dessa kostnader ingår under förvaltningskostnader. Det är av största vikt att sköta underhållet på en bro för att den tekniska livslängden ska kunna uppnås. Man brukar prata om två sorters underhåll; förebyggande och avhjälpande. Förebyggande underhåll kan ske utifrån ett förutbestämt intervall eller utifrån anläggningens tillstånd. Till förebyggande underhåll räknas åtgärder som reparation av sliten brobeläggning och renspolning. Avhjälpande underhåll är det som sker när ett funktionsfel uppstått på bron, exempelvis när man behöver byta ut vissa delar såsom broräcke eller brobalkar (Pousette & Fjellström, 2004).

#### Samhällskostnader

När man reparerar en bro bör även trafikant- och samhällskostnaderna värderas, eftersom att detta påverkas av reparationen. Till trafikantkostnader hör bland annat restids-, fordons-, gods-, och miljökostnader. Entreprenören bör i en LCC-kalkyl uppskatta hur lång tidsperiod trafiken kommer att påverkas av reparationsarbetet av en bro. I denna uppskattning måste man tänka på flera olika aspekter som om bron ska stängas helt, bredden på vägbanan minskas under en viss tid osv. Om bron ska stängas

helt, eller om en omväg ska upprättas, så är de effekter och kostnader som drabbar trafikanterna av största vikt (Huvstig, 2000).

Olyckskostnader består av de kostnader som uppstår i samband med broarbete eller som en följd av en miljöpåverkan såsom översvämning, brand och påkörning. Miljöpåverkanskostnader är svåra att veta exakt när i tiden de uppstår och förenklat kan sägas att dessa kostnader härrör från utsläpp av gaser och koldioxid, buller från fordon osv. (Huvstig, 2000).

#### 4.1.2 Ekonomiska analysmetoder

Livscykelkostnadsanalysen kan med hjälp av olika ekonomiska analysmetoder ge beslutsfattare underlag för den ekonomiska livslängden vid investeringar. Det finns två olika livslängder man pratar om, den *tekniska livslängden* och *ekonomiska livslängden*. Teknisk livslängd avser den tid som investeringsobjektet kan brukas med hänsyn till fysisk förslitning medan ekonomisk livslängd avser den tid fram till den tidpunkt som investeringen ger maximal lönsamhet. En LCC-modell skapas genom indata i form av investeringskostnader tillsammans med en bedömning av framtida ekonomiska konsekvenser (Sveriges Mekanförbund, 1984). För att genomföra dessa beräkningar och framtida ekonomiska bedömningar har diskonteringsräntan,  $r$  betydelse vilket presenteras mer ingående nedan.

##### **r – Diskonteringsränta**

Investeringsbedömningar genomgås av principen att en viss mängd pengar har olika värde vid olika tidpunkter. Med hjälp av ett prisindex kan kostnader och nyttor som uppkommer vid olika tillfällen under projektets livslängd transformeras med avseende på inflation och deflation. Med inflation menas att du för en viss summa kan köpa en specifik vara ett år medan du nästa år behöver betala en högre summa för samma specifika vara. Deflation avser motsatsen, där du behöver betala en mindre summa nästkommande år för samma specifika vara. Det som även bör beaktas är att de pengar som satsas i ett infrastrukturprojekt skulle lika gärna kunnat sättas in på banken och få en viss avkastning. För att uppfylla denna avkastning diskonterar man kostnaderna till en viss tidpunkt med en diskonteringsränta (kan liknas med kalkylränta). Syftet med detta är att kunna jämföra in- och utbetalningar vid olika tillfällen. Man diskonterar vanligtvis beloppen till nutid eller början av ett planerat projekt där värdet av en betalning vid tidpunkten benämns nuvärdet och summan av flera olika betalningars nuvärden kallas kapitalvärde (Sund, 1996 & Nilsson et al., 1993).

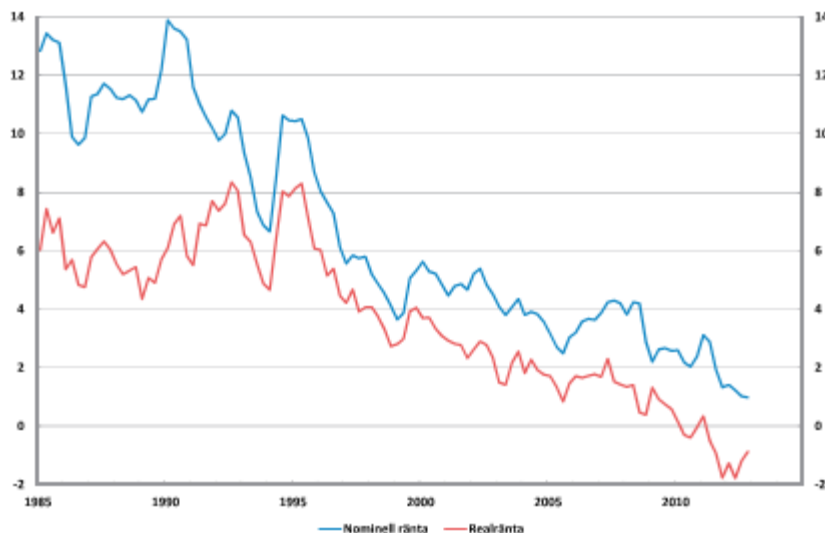
Diskonteringsräntan kan väljas på två sätt i ett infrastrukturprojekt. Där den antingen väljs så den överensstämmer med statens låneränta eller att den representerar den ränta som kunde fåtts om kapitalet funnits inom den privata sektorn. Diskontering av framtida kostnader och nyttor till ett nuvärde gör att dessa får mindre betydelse för beslut som tas vid den aktuella tidpunkten. Desto högre diskonteringsränta som väljs desto mindre blir effekten av framtida ekonomiska konsekvenser (Sund, 1996).

Valet av diskonteringsränta beror på om projektet finansieras med privata eller offentliga medel. När det gäller privata investeringar finns oftast en mer realistisk användning av pengarna vilket gör att en högre diskonteringsränta kan väljas. Offentliga medel som när samhället bestämt sig för att satsa pengar på ett projekt är inte kortsiktiga vinster målet utan långsiktiga. Orsaken till att offentliga medel är långsiktiga är för att det allt som oftast inte bara är ekonomi inblandat utan till stor del politik. Detta gör även att man inte kan använda samma tankesätt vid offentliga investeringar (Sund, 1996). Kalkylräntan sätts till ca 4 % för infrastrukturprojekt i Sverige inom den offentliga sektorn och rör det sig om en företagsekonomisk investering ligger kalkylräntan på ca 8 % (SIKA, 2005). Bedömningen av kalkylräntan är inte så trivial, kalkylsystemet för till exempel transportsektorn är idag mycket sofistikerat och tar hänsyn till många olika aspekter av trafiksystemen. Dock så används systemet främst till att ta fram underlag för utformning av och prioritering mellan enskilda investeringsobjekt. Detta förutsätter en stor omsorg på bestämningen av de parametrar, särskilt kalkylräntan, som avspeglar investeringsmedlen och hur investeringarna ska prioriteras.

För infrastrukturprojekt är idag den bedömda kalkylräntan i lägsta laget med tanke på den systematiska risk som beror på samvariationen mellan investeringarnas avkastning (trafikvolymerna) och

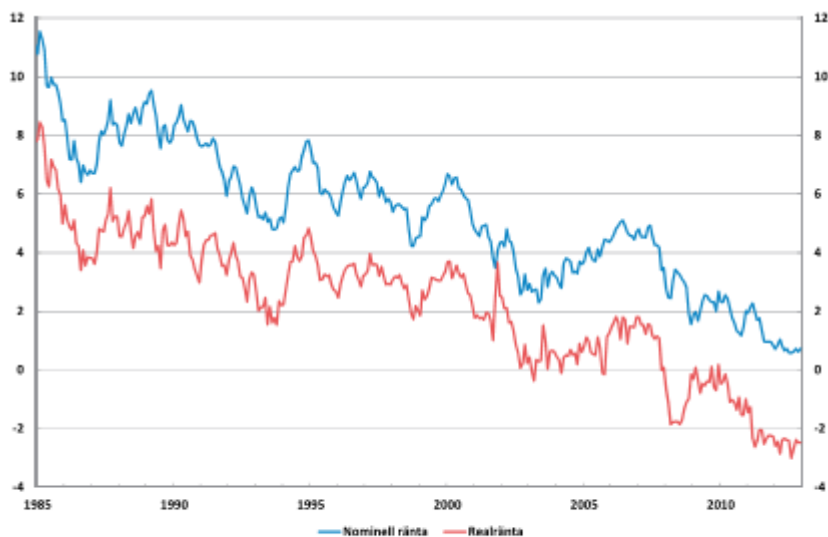
nationalinkosten. Om kalkylräntan undervärderas så innebär det att nuvärdet av intäkterna (Net Present Value - NPV) och därmed överskattas den samhällsekonomiska lönsamheten.

Det här innebär alltså att ju lägre ränteläge desto större avkastning ger de infrastrukturinvesteringar som är på längre sikt och konkurrerar alltså ut de investeringsmedel som skulle ge mer avkastning på kort sikt. Sett över väldigt långa tidsperioder så kan det vara rimligt att anta att ränteläget är ganska stabilt runt någon viss genomsnittlig nivå. Det bör dock notera att över så långa tidsperioder som 10-20 år så kan det ske stora fluktuationer på det makroekonomiska ränteläget, dvs. räntorna kan befinna sig på extrema höga respektive låga nivåer. Det senaste decenniet har ränteläget varit ovanligt lågt medan den för åren 1985-1995 låg runt 6 %, se Figur 13 Det bör även noteras att idag är realräntan negativ. Detta är inte något unikt för Sverige utan liknande situation gäller även USA som uppvisar liknande trend på nedåtgående realräntor de senaste 10-20 åren, se Figur 14.



Anm. Realräntan har beräknats som nominell 5-årsränta minus hushållens inflationsförväntningar ett år framåt enligt Konjunkturinstitutets hushållsbarometer.

Figur 13. Nominell och real ränta i Sverige, 5-årig statsobligationsränta [%], (Finansdepartementet, 2013).



Anm. Realräntan har beräknats som nominell 5-årsränta minus hushållens inflationsförväntningar ett år framåt enligt University of Michigans enkätundersökningar.

Källor: Reuters EcoWin och University of Michigan.

Figur 14. Nominell och realränta i USA, 5-årig statsobligationsränta [%],(Finansdepartementet, 2013).

### 4.1.3 LCC – beräkning

Livscykelkostnaden består av en teknisk-ekonomisk metod för att bedöma kostnaden för en konstruktion under sin livstid, från design/projektering till slutet av dess livslängd inklusive demontering. Därför är det en fråga om att kunna kvantifiera de diskonterade kostnaderna (kostnader uttryckt som nuvarande pengar) för de olika åtgärder som behöver tas under konstruktionens livstid. Summan av dessa olika diskonterade kostnader utgör det nettoaktuella anskaffningsvärdet av konstruktionen. Denna analys är en bedömning av de investeringar som krävs för att idag genomföra dessa åtgärder i framtiden. Det ger oss möjlighet att bestämma de totala kostnaderna för en konstruktion inklusive dess kostnader för utformning, konstruktion, underhåll, reparation, störningar och demontering (Cremona, 2011).

En sådan analys ska försöka att realistiskt uppskatta hur mycket en konstruktion kommer att kosta på långsikt och även hjälpa till med att hitta en bra ekonomisk förvaltning. Detta gör att livscykelkostnadsberäkningarna används för att jämföra olika lösningar emot varandra för att finna förbättringar.

Diskontering av kostnaderna vid beräkning av kapitalvärdeskostnaderna förklaras av behovet av att jämföra kostnaderna på samma monetära bas, se även föregående kapitel. Nuvärdet (nuvarande kostnad) är baserat på en investeringsprincip där ett kapital  $P$  investeras under en period  $t$  (vanligtvis uttryckt i år) till en räntesats av  $r$  vilket ger det slutliga värdet vid slutet av period  $t$ :

$$C = P(1 + r)^t \quad 4.1$$

Värdet  $P$  representerar den nuvarande kostnaden för utgifter  $C$  i år  $t$  för uppdaterad diskonteringsränta  $r$ :

$$P = \frac{C}{(1 + r)^t} \quad 4.2$$

I praktiken kan många kostnader uppkomma under konstruktionens användningsperiod, om  $(t_i)_{1 \leq i \leq n}$  representerar tiden att ingripa och  $(C_i)_{1 \leq i \leq n}$  de motsvarande kostnaderna kan det totala nuvärdet ges enligt:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1 + r)^{t_i}} \quad 4.3$$

Detta tillvägagångssätt gynnar jämförelsen av olika investeringar på ett rättvist sätt då det ger det lägsta nuvärdet, vilket i allmänhet är att föredra. Hela livscykelkostnadskonceptet definieras som summan av investeringskostnaderna och dess uppsättning av diskonterade kostnader  $\bar{P}$  relaterad till inspektion, underhåll, reparation och slutlig demontering (Cremona, 2011).

Ekvationerna 4.1 - 4.3 kan användas i LCC-beräkningar, nedan följer ett exempel där beräkningsgången för en brokonstruktion beskrivs i 6 steg.

#### 1) Beräkning av diskonterade kostnaden

LCC – beräkningen inleds med att beräkna den diskonterade kostnaden, där beräknas vad kostnaden för konstruktionen är värd i framtiden utifrån en given avkastning. Till detta behöver man veta olika sannolikhetsfall vilka presenteras i Tabell 2 nedan och som används i dessa beräkningar.

*Tabell 2 Fördelning av osäkerheten av kostnaden (Cremona, 2011).*

<b>Slutkostnad:</b>	10 % under nuvärdet	nuvärdet	10 % över nuvärdet	20 % över nuvärdet
<b>Sannolikhet:</b>	0,1	0,6	0,2	0,1

## 2) Beräkning av diskonterade inspektionskostnader

Normalt behöver en brokonstruktion att inspektioner genomförs med jämna mellanrum för att försäkra sig om att bron är bra skick och undersöka ifall reparationer behöver genomföras. Utifrån givna ekvationerna ovan, 4.1 - 4.3, beräknas denna kostnad fram där de ingående parametrarna beror av hur ofta inspektionerna ska genomföras samt vad denna inspektionskostnad kostar varje gång.

## 3) Beräkning kommande reparationskostnader

En brokonstruktion kommer antagligen med stor sannolikhet att någon gång under sin livslängd behöva repareras i form av ommålning av stålet om det rör sig om en stål bro, byte av beläggning osv. Kostnaderna för dessa kan vara svåra att uppskatta, men för att lättare kunna göra det använder man sig av ekvation 4.1 - 4.3 tillsammans med olika sannolikhetsfall vilka presenteras i *Tabell 3* nedan. Sedan för att beräkna reparationskostnaden behöver man bestämma ungefär hur stor den kommer att vara, procentuellt av totalkostnaden för investeringen av brokonstruktionen.

*Tabell 3 Fördelningen av slutkostnaden utifrån osäkerheter (Cremona, 2011).*

<b>Slutkostnad:</b>	20 % under nuvärdet	nuvärdet	20 % över nuvärdet
<b>Sannolikhet:</b>	0,2	0,6	0,2

## 4) Utbyte av beläggning

En beläggning på en bro håller inte hela bronns livscykel, utan den behöver bytas ut. För detta antar man hur ofta beläggningen behöver bytas ut samt med hur många års intervaller detta ska ske. Sedan tillämpas ekvation 4.3 för att beräkna fram den totala framtida kostnaden. Dock är det så att när en beläggning byts ut uppkommer även andra kostnader, som t.ex. trafikantkostnader, eftersom det under tiden beläggningsarbetet sker uppstår en trafikstörning. För att uppskatta denna trafikantkostnad behövs input om antalet fordon som kör över bron per dygn, hur stor dess försening uppskattas vara i minuter samt även hur stor kostnaden per fordon är. Trafikantkostnaden kommer även den att öka procentuellt med åren, vilket är något som behöver uppskattas och tas hänsyn till i beräkningarna (Cremona, 2011). Ett exempel för hur trafikantkostnaden kan beräknas, beskrivs mer utförligare i kapitel 4.1.3.1.

## 5) Beräkning av rivningskostnad

När brokonstruktionens livslängd har uppnåtts ska den rimligtvis rivas vilket också behöver tas hänsyn till vid LCC-beräkningen. Där behöver rivningskostnaden uppskattas, procentuellt av den totala investeringskostnaden. Sedan tillämpas ekvation 4.3 för att beräkna rivningskostnaden

## 6) Beräkning av det totala nuvärdet

Slutligen beräknas den totala nuvärdeskostnaden för bron genom att summera steg 1 till 5 ovan (Cremona, 2011).

### 4.1.3.1 Trafikantkostnad i samband med broreparationer

När en vägbro repareras uppkommer en störning hos de trafikanter som använder sig utav bron. Denna kostnad varierar beroende på om hela eller delar av bron stängs av. Stängs hela bron av under tiden reparationen utförs kommer trafikanterna behöva köra en omväg vilket ger ökade resekostnader och längre restid. Om istället halva bron stängs av under reparationen kommer endast trafikanterna drabbas av en extra väntetid för att vänta på mötande trafik innan trafikanterna kan köra över. Denna väntetid styrs av hur lång bron i fråga är och hur trafiktät den är (During, 2012).

För att beräkna trafikantkostnaden behövs vetskap om hur många fordon som passerar dagligen, hur lång väntetid genomsnittligt varje fordon har samt hur stor kostnaden är per timme (During, 2012).

Formeln är följande:

$$\text{Trafikantkostnad} = \text{väntetid (tim)} \cdot \text{kostnad} \left( \frac{\text{kr}}{\text{tim}} \right) \cdot \text{fordon} \left( \frac{\text{st}}{\text{dygn}} \right)$$

Den totala trafikantkostnaden fås sedan ut genom att multiplicera med antalet dagar reparationsarbetet håller på.

## 5 LCAT – Lifecycle analysis tools

Hittills har alltså kapitel 3 beskrivit kortfattat vad en livscykelanalys innebär (LCA) på samma sätt beskrev kapitel 1 kortfattat hur en livscykelkostnad kan genomföras. Ett av de största problemen med den här typen av livscykelperspektiv och dess metoder, förutom osäkerheterna kring uppbyggnaden av ramverk och modeller, är att LCA och LCC resulterar i olika enheter. En LCA resulterar i mängder med miljöpåverkande gaser och substanser, t.ex. ton CO<sub>2</sub> eller CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. En LCC resulterar i faktiska monetära enheter som förbrukas under en konstruktions livslängd från vagga till grav.

Ingen av de till dags dato tillgängliga verktygen för att bedöma LCA konverterar miljöpåverkningarna till monetära enheter. På detta sätt så blir det alltså svårt att jämföra olika åtgärdsalternativ om de beräknats utifrån både ett LCA- och LCC-perspektiv. Utvecklingen av ett verktyg med kapacitet att på något sätt jämföra och normalisera resultaten från både LCA och LCC skulle representera ett stort steg i en förändring av hur infrastrukturägare skulle kunna prioritera underhålls-, reparation och uppgraderingsåtgärder.

Nästa kapitel kommer inte att ge svaret eller lösningen på ett sådant verktyg. Utan mer beskriva de olika möjligheter som infinner sig vid framtagandet av LCA och LCC samt hur resultaten kan vägas samman för att hitta optimala lösningar från både ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv. Notera, att uppnå en sådan funktion i ett sådant verktyg kommer att frambringa flertalet utmaningar beroende på landsspecifika data, monetär viktning och beskattningsvärden. Det kan alltså vara opraktiskt i detta skede, då grunderna för LCA och LCC fortfarande är relativt osäkra, att med noggrannhet bedöma och jämföra olika åtgärder på infrastruktur på detta sätt. I tillägg, en jämförelse av olika åtgärdsförslag kan inte bara baseras på en optimering ur en ekonomisk eller miljömässig aspekt, utan åtgärdsförslag måste även optimeras genom att beakta minsta säkerhetsnivån för själva infrastrukturen/konstruktionen. Men mer om det längre fram i detta kapitel. De variabler som ska undersökas kan förenklat noteras i följande tre kategorier:

- Direkta ekonomiska kostnader
- Tillgänglighet (förseningskostnader, trafikantkostnader, fördelar för brukare etc.)
- Miljöpåverkanskostnader





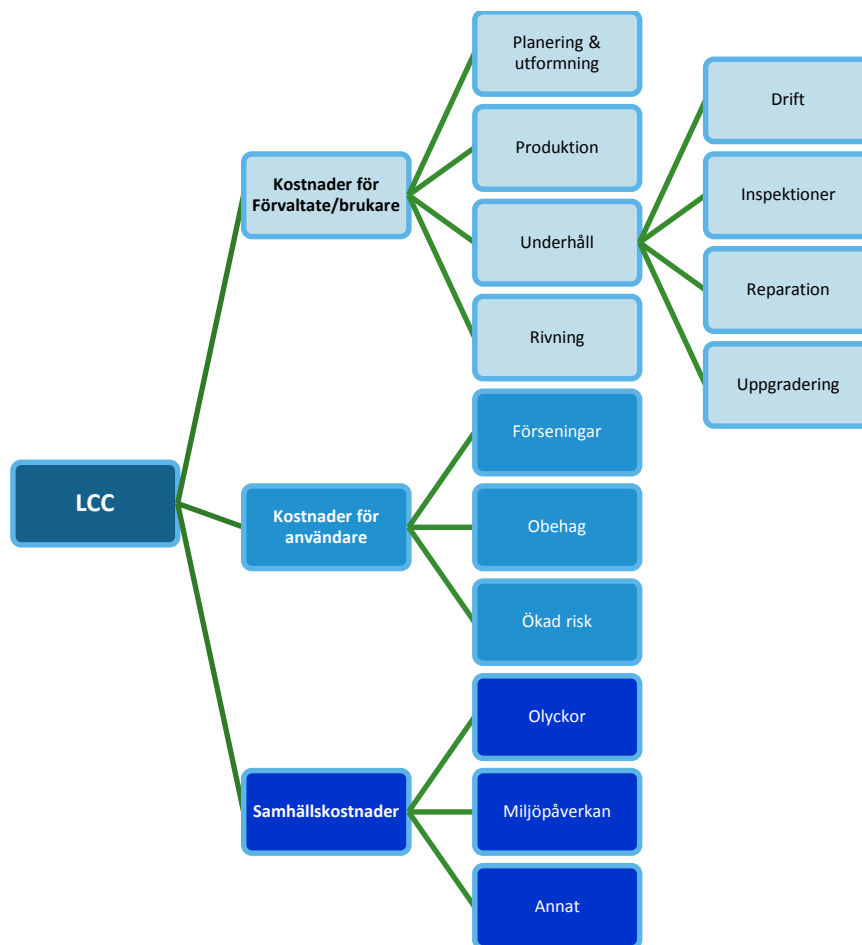
## 6 LCAT - Metod för att kombinera LCC och LCA

### 6.1 Inledning

Detta kapitel beskriver en möjlig metod för att jämföra olika underhålls- och ersättningsstrategier baserat på ett livscykelperspektiv. Detta verktyg för bedömning, sett ur ett livscykelperspektiv, kan på engelska mest rättvis benämnas som Life Cycle Assessment Tool (LCAT). Den här typen av livscykelutvärdering och bedömning ska alltså kunna ta hänsyn till och kvantifiera direkta ekonomiska kostnader och indirekta kostnader för tillgänglighet (exempelvis störning vid olika underhållsaktiviteter), i tillägg ska även verktyget kunna kvantifiera miljöpåverkanskostnader. Idealt så bör även verktyget beakta förutsatta hälso- och säkerhetsnivåer och baserat på vald input och resultat kunna optimera beslutsprocessen vid val av konstruktion samt underhåll, reparations och uppgraderingsåtgärd eller utbyte av sagd konstruktion. Det bör även förtydligas att detta kapitel egentligen endast beskriver en föreslagen metod/verktyg för att kunna bedöma och vikta olika åtgärder ur både en ekonomisk (LCC) och miljömässig synvinkel (LCA). Det är alltså inte en fullständig metod/verktyg och behöver därför vidareutvecklas innan den kan tillämpas. Av denna anledning så finns alltså inga resultat från en studie där metoden tillämpats i sin helhet.

I det här kapitlet så beskrivs alltså kortfattat vilka verktyg som existerar för framtagandet av livscykelkostnader (LCC) och livscykelanalyser (LCA). Dessa kan alltså, inte med enkelhet, sammanflätas för att få en bättre helhetssyn på hur olika val av åtgärder påverkar en konstruktion under dess livslängd. Metoden för hur LCC kan kopplas till LCA vid beslutsfattande beskrivs i slutet på detta kapitel.

Betraktas en LCC analys för infrastruktur så är blir det tydligt att godtycklig åtgärd under dess livslängd kommer att resultera i kostnader, antingen direkta eller indirekta, för de som är inblandade eller påverkas av åtgärden. Ett exempel skulle kunna vara den faktiska kostnaden för underhåll och reparation av sagda infrastruktur, t.ex. kostnad för material, kostnad för arbetstid etc., dessa kostnader betalas av förvaltare/ägare. Kostnader associerade till förseningar, förlängd färdväg och andra trafikantkostnader betalas i regel av brukarna. Det ter sig alltså naturligt att kategorisera de olika kostnadsposterna i en LCC analys beroende på vem det faktiskt är som står för kostnaderna. Figur 15 visar hur dessa kostnader kan kategoriseras, (ETSI 2007, 2009).



Figur 15. Livscykelkostnader, (ETSI 2007, 2009)

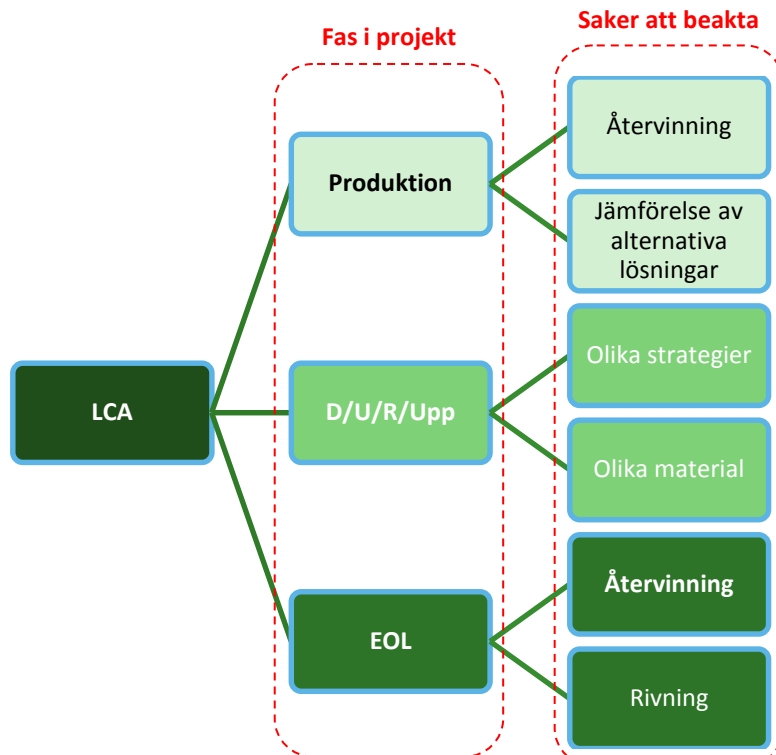
Kostnader som hör till miljöpåverkan kan i Figur 15 anses vara en integrerad del av samhällskostnaderna.

Metoden för LCAT bör ta hänsyn till konstruktionens tillstånd och tillhörande planering av framtida åtgärder genom att beakta:

- Underhålls- och utbytesstrategier för konstruktionen
- Livslängdsfunktion eller livslängdsdimensionering för beaktad konstruktion (i vilket tillstånd den befinner sig och vilken/vilka nedbrytningsprocesser som föreligger)
- Tillståndsbedömning genom mätning

Modeller för livslängdsdimensionering för olika konstruktioner (betong, stål, trä etc.) bör bland annat beakta de mekaniska lasterna likväl som hur den omgivande miljön påverkar konstruktionen. Eftersom båda dessa belastar och påverkar nedbrytningen av konstruktionen. Exempel på den här typen av modeller återfinns för betongkonstruktioner i ”Vägledning för livslängdsdimensionering av betongkonstruktioner” (Betongrapport, 2007). För själva planeringen av framtida åtgärder så är RAMS analys (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) en självklar del i arbetet.

Parallellt med analysen av kostnaderna (LCC), så ska även miljöverkan av valda åtgärder undersökas via LCA. Sådana analyser ska genomföras för olika faser i projektet för att få en ordentlig utvärdering av de totala utsläppen och andra så kallade miljömässiga drivkrafter som påverkar miljön. Ett enkelt tillvägagångssätt för att genomföra en LCA skulle vara att dela in projektet i tre olika faser, vilket visas i Figur 16, produktion, drift/underhåll/reparation och end-of-life.



Figur 16. Översikt över ingående parametrar i LCA. D – Drift, U – Underhåll, R – Reparation, Upp – Uppgradering samt EOL – End of Life.

En generell översikt av företeelser som ska beaktas i en LCA är redovisade i Figur 16, själva antalet av dessa kan bli väldigt många och beror på projektets/konstruktionens komplexitet. En viktig parameter i en LCA är återvinningen av material och hur dessa beaktas om dessa sedan ingår i andra projekt.

I den här rapporten så kommer störst fokus ligga på modellerna som tar hänsyn till LCC eftersom att modellerna för LCA kräver relativt stora krav på databaser och tillgänglig information för att ge tillfredsställande resultat. Av den här anledningen så finns ett beräkningsexempel genomfört i kapitel 1 på hur nedbrytningsmodeller kan kopplas till LCC i samband med olika utformningar av armeringstyper.

## 6.2 Existerande verktyg för LCC

Som det beskrevs i kapitel 1 så är livscykelkostnadsanalyser (LCCA) en teknik som består av väl etablerade principer för ekonomisk analys för utvärdering av långtidseffekter för olika investeringar. Processen för en LCCA består av att summera alla rabatterade monetära ekvivalenter, både förväntade besparingar och kostnader i samband med olika val. Vidare så är även LCCA ett verktyg som underlättar för beslutsfattare att fatta rätt val baserat på rätt information. Det här kapitlet summerar forskningen som etablerat riktlinjerna (guidelines) för LCCA processen.

De modeller och verktyg som etableras för livscykelkostnader ska stödja optimeringen av beslut för att underhålla och förnya infrastruktur tillgångar. De ska också tillhandahålla en grund för hur framtida väg- och järnvägsnät kommer att utformas samt även hur trafikvolymerna kommer att utvecklas med tiden. Ett bra LCC verktyg ska också omfatta en god förståelse för hur konstruktioner bryts ned över tiden, t.ex. genom ålder eller nyttjande. Vidare ska även förståelse för hur nedbrytningen påverkar tillgänglighet (trafik), säkerhet för brukare, arbetare och tredje part. LCC verktygen ska även kunna modellera olika underhålls- och förnyelseval för att beslutsfattarna ska kunna avgöra de finansiella konsekvenserna knutna till varje val. Nedan följer ett urval ur existerande verktyg och riktlinjer (guidelines) för genomförandet av LCC.

### 6.2.1 Normer och riktlinjer (guidelines)

*SS-EN 60300-3-3:2004 – Ledning av tillförlitlighet – Del 3-3 Vägledning-Livstidskostnad LCC:*

Denna standard är utformad för generell tillämpning av både kunder (användare) och materialleverantörer (produkter). Denna förklarar syftet och värdet av LCC och beskriver de generella tillvägagångssätt som finns för att genomföra en LCC. Tillförlitlighet och förhållningssätt till LCC är en nyckelparameter i denna standard. Tillförlitlighet av en produkt är här en kollektiv term som beskriver produktens tillgängliga funktion och de faktorer som påverkar denna, t.ex. funktion för tillförlitlighet, underhåll samt tillgängligt stöd för underhåll. Denna standard understryker även att tillförlitlighet ska vara en integrerad del av designprocessen och utvärdering av LCC. Vidare så är det även viktigt att om det finns miljökrav på kostnaderna för åtgärderna som ska genomföras så ska dessa inkluderas i LCC analysen, allt för att underlätta beslutsprocessen för val av produkter, utveckling och användning. Dock så specificerar inte denna standard exakt hur ovanstående ska genomföras. Eftersom att denna standard har en generisk uppbyggnad så är sannolikheten liten att förvaltare/ägare kommer att tillämpa denna standard. Några vetenskapliga forskningsprojekt som tillämpat denna standard är (INNOTRACK, 2010) och (Urban Track, 2010).

*SS-ISO 15686-5:2008 – Byggnader och byggnadsverk – Livslängdsplanering – Del 5: Livscykelkostnader:*

Denna ISO standard är del 5 av totalt 8 och bidrar med riktlinjer för hur bedömningen av livscykelkostnader för byggnader och byggnadsverk kan genomföras, se även kapitel 1. De huvudsakliga målen för denna standard är att:

- Etablera en tydlig terminologi och gemensamt tillvägagångssätt för LCC.
- Ge riktlinjer, principer, instruktioner och definitioner för olika typer av LCC och hur dessa kan rapporteras.
- Tillhandahålla ett ramverk för konsistenta LCC resultat för att bättre och robusta jämförelser ska kunna genomföras mellan olika analyser och benchmarking för kostnader.

Denna standard rekommenderar att LCA kan användas för att uppskatta miljöpåverkan och LCA bör användas för att underlätta hållbart beslutsfattandet sett ur ett miljömässigt perspektiv. Standarden hänvisar också till ISO 14040 och ISO 14044, se även kapitel 1, samt länken mellan underhållsplanering och LCA som återfinns i ISO 15686-6:2005.

*SS-EN 15643-4:2012 – Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnader – Del 4: Ramverk för värdering av ekonomisk prestanda*

Denna standard är en del av en serie av Europa standarder för bedömning av byggnader och tillhandahåller specifika principer och krav för bedömningen av ekonomisk prestanda för byggnader där tekniska specifikationer och funktion beaktas speciellt. Föreslaget ramverk ska kunna appliceras på alla typer av nya byggnader och byggnadsverk och deras livscykel samt även existerande byggnader och byggnadsverk och för deras kvarvarande livslängd.

Bedömningen av den ekonomiska funktionen och livscykelkostnaderna (och andra ekonomiska aspekter) är samtliga uttryckta genom kvantitativa indikatorer. Denna standard exkluderar bedömningen av ekonomisk risk samt avkastning på investeringskalkyler. Den inkluderar dock ekonomiska aspekter för en byggnad eller ett byggnadsverk relaterade till bygg- och arbetsmiljön omkring arbetsplatsen. Den tar dock inte hänsyn till ekonomiska aspekter bortom byggarbetsplatsen, t.ex. hur ekonomin påverkas av byggproduktionen för lokal infrastruktur, resultatet av att transportera brukarna eller hur det lokala samhället påverkas ekonomiskt.

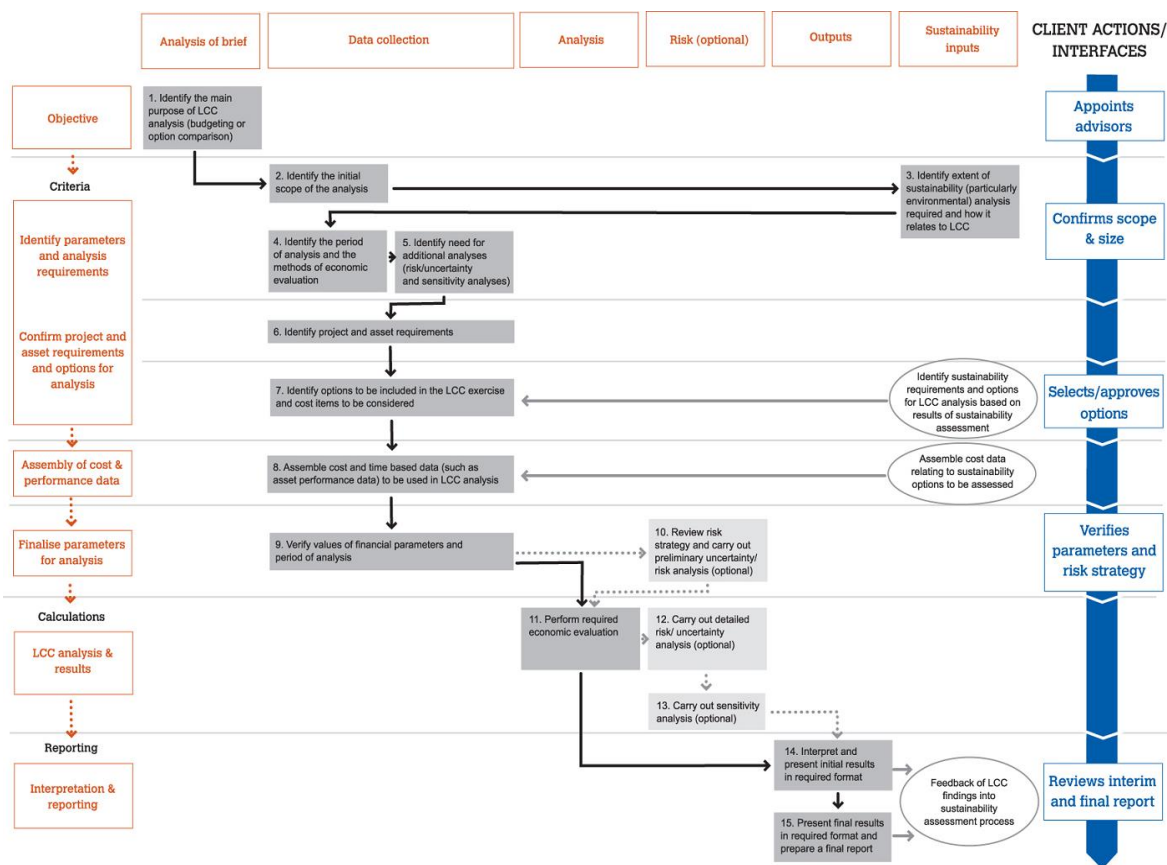
*Life Cycle Costing Manual for Federal Energy Management Program NIST Handbook 135:*

Denna handbok, (NIST, 1995), är en guide att förstå LCC metodiken etablerad av Federal Energy Management Program (FEMP), USA. Handboken är framtagen för att göra ekonomiska utvärderingar av bevaringen av energi och vatten i federala bygganden. Denna ska alltså tillgodose implementeringen av FEMPs regler för LCC analyser. I denna finns det även tillägg av National Institute of Standards and Technology (NIST) för att få fram energiprisindex (cost unit) för LCC utvärdering av potentiell energi och vatten konsumtion och investeringar av förnyelsebar energi. Dessa energiprisindex är baserade på den senaste prognosen av energipriser fastställda av USAs regering- Denna innehåller alltså projicerade medelkostnader för bränsle och hur dessa förväntas öka under kommande 40 år. Nyckelparametrar finns redovisade i

Tabell 4.

*Life Cycle Costing (LCC) as a Contribution to Sustainable Construction: A Common Methodology by Davis Langdon:*

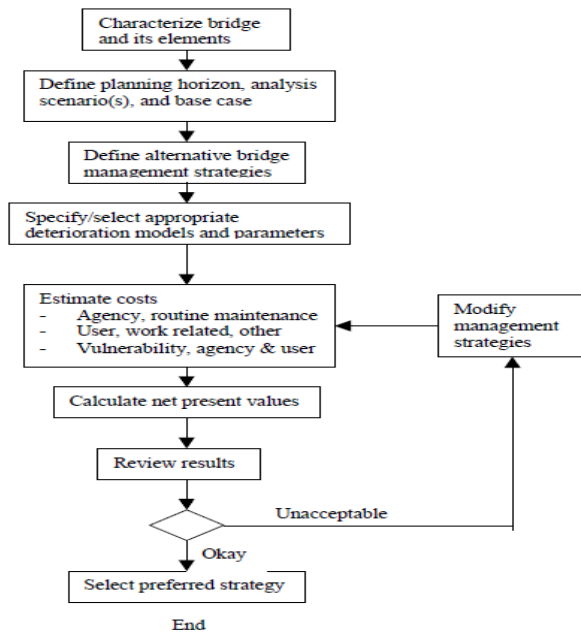
Under 2006 så arvoderade EU Davis Langdon att utveckla en gemensam Europeisk metodologi för LCC inom byggindustrin (Langdon, 2007). Syftet med denna metod var att försöka få en harmoniserad tillämpning av LCC över hela Europa utan att ersätta landsspecifika beslutsmodeller eller riktlinjer. Metoden betraktar livscykelbedömning genom att bidra till riktlinjer för användningen av LCA men med LCC bedömningar. Studien påvisar att användningen och ordningen av LCC och LCA kommer att bero på vilka prioriteringar som beslutsfattare har. Detta betyder alltså att LCA och LCC kan användas parallellt bredvid varandra som en bedömningsgrund i ett bredare perspektiv, eller så kan endera process (LCA och LCC) bilda input till den andre. Metodologin för LCC som Langdon föreslår är redovisad i Figur 17.



Figur 17. Allmän LCC metodologi (Langdon 2007)

*NHCRP Report 483, Bridge Life Cycle Cost Analysis (BLCCA), Transport Research Board:*

Denna rapport, (BLCCA, 2003) omfattar resultaten från en studie som genomförts på uppdrag av U.S. Transportation Agency och behandlar en metod för LCC strikt knuten till brokonstruktioner, Bridge Life Cycle Cost Analysis (BLCCA). Tillämpningen för denna metodik är avsedd för ingenjörer som behandlar LCC analyser för vägbroar. Ett flödesschema för BLCCA processen är redovisad i Figur 18.



Figur 18. Flödesschema för LCC analys i samband med BLCCA metodiken, (BLCCA 20)

*The Green Book, Appraisal and Evaluation in Central Government:*

(The Green Book, 2011), är publicerad av Storbritanniens regering och är tillgänglig gratis via internet ([http://www.hm-treasury.gov.uk/data\\_greenbook\\_index.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/data_greenbook_index.htm)). Denna guide riktar sig till alla departement i Storbritanniens regering och rekommenderar metoder för livslängdsbedömning av samtliga regeringsanknutna projekt i alla sektorer och är alltså inte direkt knuten mot byggindustrin eller underhållsbesluts principiellt. Guiden täcker bedömningar av ekonomiska fördelar, om projektet kan genomföras inom kostnadsramen samt inkluderar råd för känslighets- och riskanalyser. För ett projekts påverkningar av icke-ekonomisk karaktär så ges råd om växthusgaser, globaluppvärmning, hur luft- och vattenkvalitet påverkas, landskap, biologisk mångfald samt liv och hälsa. Generellt så omvandlas de icke-ekonomiska faktorer till monetära enheter för att sedan kunna jämföras i bedömningen tillsammans med LCC.

*Structures Asset Management Planning Toolkit (SAMPT):*

Storbritanniens, UK Bridges Board, har utvecklat en verktyglåda som ska underlätta och hantera förvaltning av konstruktioner och då infrastruktur i synnerhet. Syftet med verktyglådan, (SAMPT, 2012), är att stödja broförvaltare och ingenjörer i deras hantering, t.ex. finansieringsplaner, prioritering av behov, livscykelplanering och värdering av konstruktioner. Det förväntas att verktyglådan ska möjliggöra analysen av "vad händer om?"-scenarior, vilket ska bidra till att beslutsfattaren kan identifiera rätt nivå av finansiering för att klara av framtida underhålls- och reparationsåtgärder.

I Storbritannien så introducerade regeringen en process att producera en mer konsoliderad finansplan för den offentliga sektorn, Whole of Government Accounts (WGA). Målet med WGA är att underlätta för parlamentet och befolkning att förstå hur pengarna i skattefinansierade projekt spenderas. Genom att presentera ett ramverk som mer liknar de kommersiellt presenterade rapporterna över hur de finansiella

medlen spenderas så fås en bättre transparens och tillgänglighet av informationen över hur de publika pengarna spenderas.

Verktyget kräver att användaren ger flertalet indata i ett exceldokument, den här typen av indata inkluderar:

- **Konstruktionsdatabas**
  - o Allmänna dimensioner/geometrier (höjd, bredd, spann etc.)
  - o Läge (stad, landsbygd etc.)
  - o Omgivande infrastrukturnätverk (hinder, vägtyp, trafiknivåer etc.)
  - o Ytterligare faktorer (bakgrund, kulturminnesmärkning, miljökänslighet etc.)
- **Elementdatabas**
  - o Namn på element
  - o Komponent- och materialtyp
  - o Tillstånd
  - o Närhet till sprutzon (exponeringsklass)
  - o Strategi att följa (aktivt eller passivt underhåll, minimalt underhåll etc.)

Verktygslådan är för närvarande under uppbyggd och två ytterligare databaser kommer att läggas till:

- **Uppgraderingar, förbättringar och livscykelplanering**
  - o Detta tillåter att användaren kan lägga till programmerade underhållsarbeten och allokerar kostnader
- **Rutinmässigt underhåll, inspektioner och tillståndsbedömning**
  - o Detta tillåter användaren att lägga till detaljer om planerade inspektioner

Analysen i verktygslådan har följande funktion och ger output i form av:

1. Göra det möjligt att genomföra ”Vad händer om?”-scenarios för att undersöka
  - a. Hur konstruktionsförrådets tillstånd förändras beroende på vald nivå av finansiering
  - b. Hur underhållet eftersläpas beroende på olika nivåer av finansiering
  - c. Hur straffsatser och viten förändras beroende på vald nivå av finansiering, t.ex. antalet konstruktioner med begränsad last, dispens etc.
2. Den optimerade nivån av finansiering för att uppnå rätt säkerhets- och funktionsnivå för konstruktionsförrådet
3. Tidsberoende tillstånd för ingående konstruktioner i beståndet och deras undergrupper (element), t.ex. broar, stödmurar, kulverts etc.
4. Rutinmässigt underhåll och inspektioner
5. Den totala (diskonterade) livslängdskostnaden (whole life cost, WLC) för varje valt scenario inkluderat arbete och viten.
6. Förväntad livslängd för varje konstruktion och respektive konstruktionsdel (element)
7. Åtgärd eller behandling för varje konstruktionsdel där den faktiska livslängden inte kan bedömmas.
8. Utgifts- och förbrukningsprofil knuten till konstruktioner och konstruktionsdelar (både för de med känd och okänd livslängd)

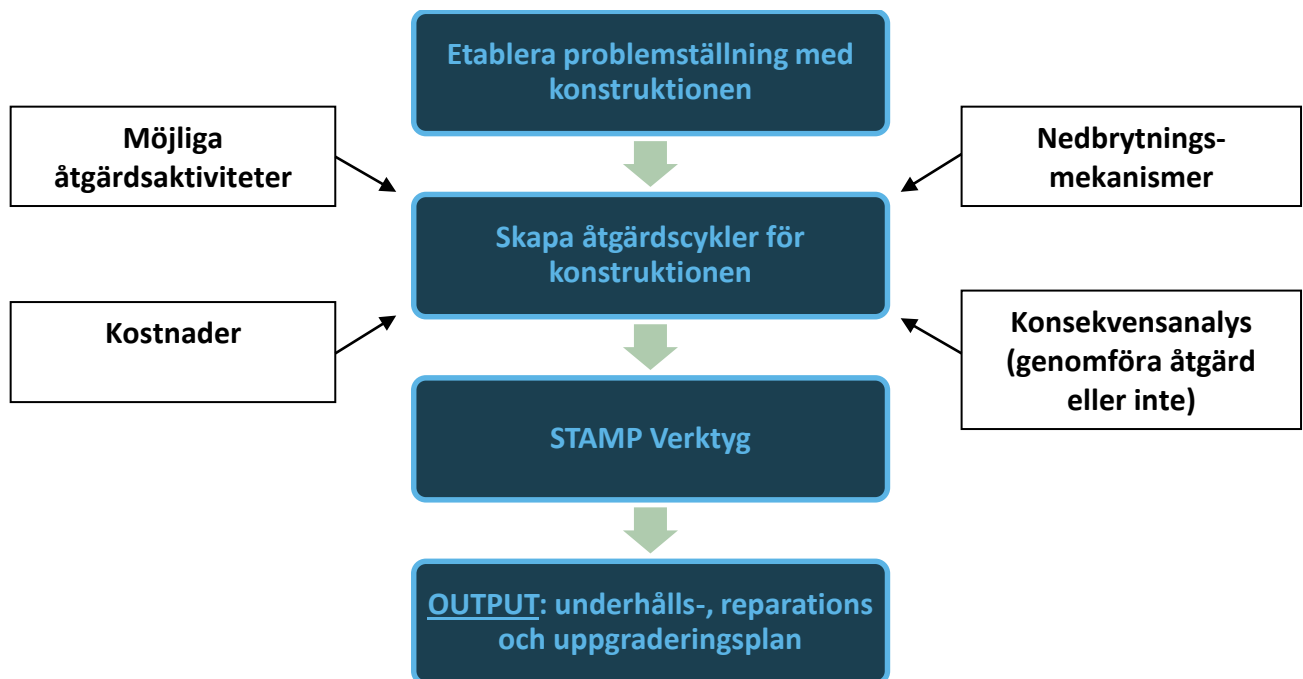
Mer information kan hittas på:

<http://www.cipfa.org/Policy-and-Guidance/Local-Authority-Transport-Infrastructure-Assets/Local-Authority-Transport-Infrastructure-Assets-supporting-documents>

## 6.2.2 Mjukvara

### *Structures Asset Management Process (STAMP)*

STAMP utvecklades i början på 2000 och är ett modelleringsverktyg för beslutsfattande gällande en konstruktion och dess delar, (STAMP 2007, STAMP II 2007). Detta verktyg används av ingenjörer för att utvärdera underhålls-, reparations- och uppgraderingsåtgärder för att skapa den mest kostnadseffektiva livscykelkostnaden (WLC, whole life cost). STAMP är dock inte enbart ett livscykelkostnadsverktyg utan är en ingenjörsbaserad process att ta fram lösningar för WLC. Processen för STAMP är redovisad i Figur 19.

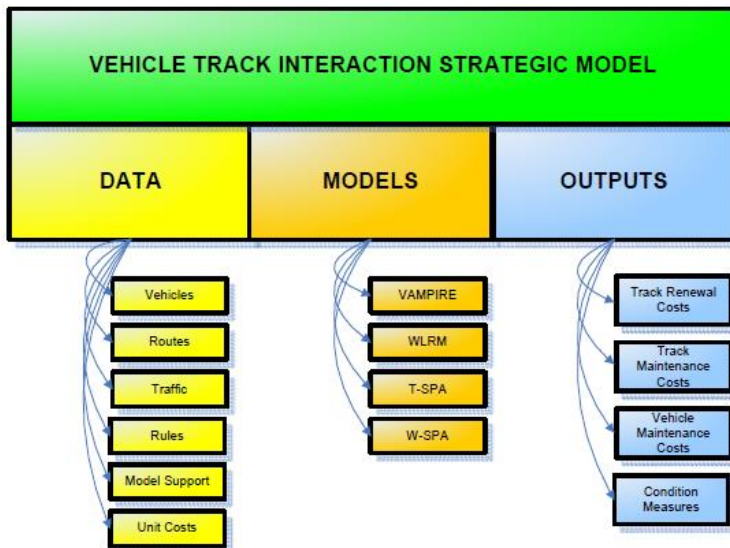


Figur 19. Processer för STAMP, (STAMP 2007, STAMP II 2007).

### *Vehicle Track Interaction Strategic Model (VTISM)*

VTISM utvecklades som ett forskningsprojekt i Storbritannien med flertalet olika järnvägsintressenter, (VTISM 2010). Det är ett verktyg som länkar olika input, t.ex. spår och vagnsegenskaper för att optimera livslängden på räls och hjul med olika tillhörande underhållsplaner. Detta verktyg utvecklades genom att integrera flertalet olika modeller, t.ex. VAMPIRE (dynamiksimulator för olika fordonstyper). ELRM (Whole life Rail Model). T-SPA (Track strategic Planning Application). WPDM (Wheel Profile Damage Model) och W-SPA (Wheelset Strategic Planning Application). Några av de huvudsakliga syften med verktyget är att VTISM beräknar de indikativa underhållskostnaderna, utvärderar strategier för nätverk och rutter och hur underhållskostnader påverkar driften, verktyget kan även användas för att optimera slipning och smörjningsåtgärder. Figur 20 visar processerna för hur VTISM integrerar med undermodeller och indata samt vilka resultat som verktyget producerar.



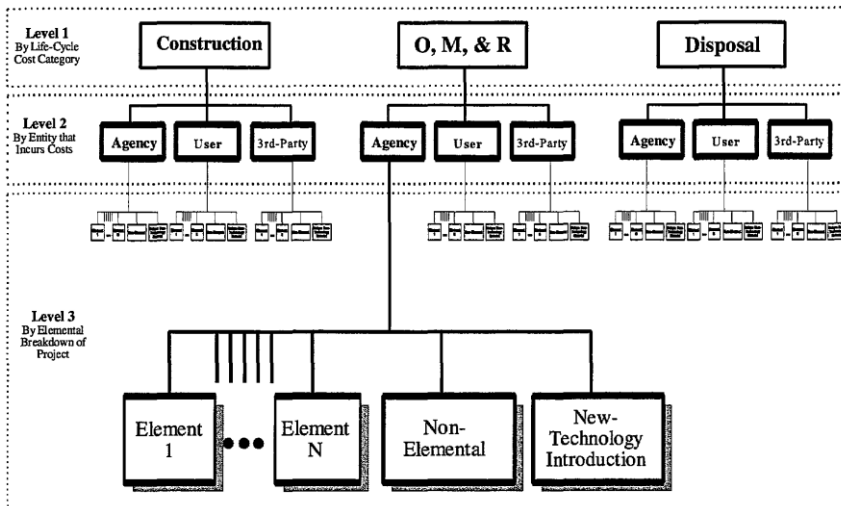


Figur 20. Processbeskrivning för VTISM, (VTISM 2010).

### Bridge life cycle costing (BridgeLCC)

BridgeLCC (BridgeLCC 2.0) är ett verktyg för ta fram livscykelkostnader och är utvecklat av NIST, USA. I likhet med de andra LCC-verktygen så är syftet med denna att underlätta för ingenjörer att öka kostnadseffektiviteten i samband med alternativa brouformningar, detaljer och utformning i samband med byggproduktion och reparationsstrategier samt valet av byggmaterial. Metodiken bakom LCC bygger på ASTM E 917 "Life cycle costing for building and building system standard" samt ett klassificeringssystem utvecklat av NIST. Nyckelfaktorerna i detta verktyg omfattar

- NIST Cost Classification Scheme for highway bridges, denna integreras vilket innebär att alla projektrelaterade kostnader samlas samt att alla alternativa livscykelkostnader kan jämföras på ett mer effektivt sätt, se Figur 21.
- Förenkla processen att införa data, utföra analys, utvärdering samt rapportering. Verktöget kan användas i två olika lägen, *basic mode* (tillhandahåller ramverk för deterministisk analys) och *advanced mode* (tillhandahåller större mängd data för att genomföra mer omfattande probabilistiska analyser genom Monte Carlo simuleringar).
- Innehåller även en modul för livslängdsbedömning av betong. Denna modul uppskattar hur länge det tar för betongen att brytas ned till den punkt där reparation måste genomföras på betongkonstruktionen, även denna modul är utvecklad av NIST. En sådan nedbrytningsmodell underlättar jämförelsen mellan olika livslängder för olika alternativa betongsammansättningar och genererar motsvarande reparationsåtgärder.

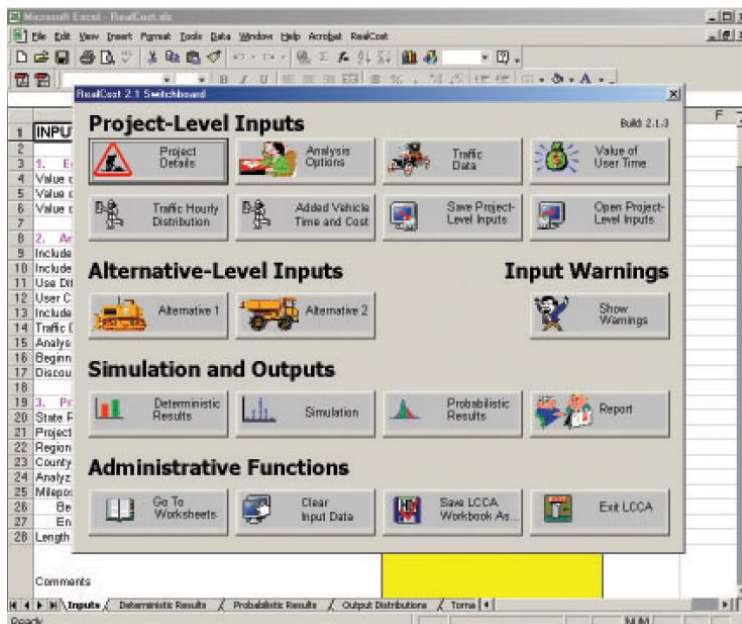


Figur 21. NIST LCC kostnadsklassificering, (BridgeLCC 2.0)

*Life Cycle Cost Analysis Real Cost User Manual*

Denna manual tillhandahåller grundläggande instruktioner för användandet av RealCost mjukvara, som utvecklats av the Federal Highway Administration (FHWA, USA), för tillämpningen av LCCA (RealCost 2.5). Målgruppen för denna mjukvara är ingenjörer som dimensionering olika beläggningar för vägar samt för de beslutsfattare som avgör vilka projekt som ska genomföras. I likhet med tidigare program så är resultatet olika kostnader på olika val och baserat på resultaten så ska beslutsfattarna kunna välja det förslag som är mest kostnadseffektivt. Grunden i mjukvaran bygger på ett Microsoft Excel 2000 arbetsdokument med ytterligare Visual Basic applikationskoder (VBA). Nyckelparametrarna i detta program utgörs av:

- Huvudmenyn, även kallad "switchboard", som tillhandahåller easy access till nästan alla funktioner i programvaran (input av data, analys, rapporter och verktyg).
- Programmet har även ett varningssystem inbyggt, som varnar, identifierar och visar en lista av missad eller potentiellt felaktig input för analysen genomförs.
- Programmet klarar även av att köra probabilistiska analyser genom Monte Carlo simulering.



Figur 22. Huvudmeny i RealCost, (RealCost 2.5)

### *Life Cycle Costing of Infrastructure in railway systems – InfraCaLCC v2.0*

Även detta verktyg är en databasbaserad mjukvara som hjälper användaren att beräkna LCC för järnvägsinfrastruktur, (InfraCaLCC v2.0). Mjukvaran är kommersiellt tillgänglig och är en produkt av det EU-finansierade projektet Urban Track (Urban Track 2010). Användaren tillåts att bygga upp och kombinera olika standard järnvägsnät, linjer, spårsektioner samt även skräddarsy vissa installationer och komponenter. Detta kan genomföras för stambanor och tätortstrafikerade järnvägsnät. De individuella kostnadsposterna (se EN60300-3-3) skapas i olika livscyklfaser (t.ex. investering, reparation, drift/underhåll och rivning). Dessa kostnadsposter kan periodiseras eller skapas som slumpmässiga poster. De implementerade kostnadskategorierna inkluderar, personal, utrustning, inhyrda resurser, energi. De indirekta kostnaderna kategoriseras som, störning och försening, driftstopp och andra socioekonomiska kostnader.

### **6.2.3 Forskning**

Flertalet publikationer finns inom detta område och nya skapas varje dag. I denna rapport så beskrivs endast ett fåtal större forskningsprojekt, dessa är:

#### *Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructure*

Det EU finansierade projektet Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructure (LIFETIME 2005) påbörjades 2002 och avslutades 2005. Projektet finansierades av EU i samband med “Competitive and Sustainable Growth Programme” (1998-2002). Det allmänna målet med nätverket kring LIFETIME var att skapa en mer hållbar byggmiljö. LIFETIME i sig var i princip ett nätverk eller kluster av partners och bestod i princip av fem olika projekt:

- INVESTIMMO: Ett beslutsfattareverktyg för långsiktliga investeringsstrategier för husbyggnader, underhåll och uppgradering
- EUROLIFEFORM: En probabilistisk metod för att uppskatta livscykelkostnader och funktion hos byggnader och infrastruktur
- LIFECON: Livscykel förvaltning (life cycle management, LCM) för betongkonstruktioner för ökad hållbarhet/livslängd (se även nedan)
- LICYMIN: Livscykelanalys för miljöpåverkan i samband med gruvbrytning
- CONLIFE: Livslängdsuppskattning av högpresterande betong med fokus på beständighet

Nätverket tillhandahöll internationellt informationsutbyte, workshops och möten mellan olika aktörer inom byggindustrin. Vidare så skapade LIFETIME nätverket en grund för benchmarking av då aktuella forsknings- och utvecklingsprogram och aktuella principer för genomförande av livscykelbaserad analyser för kostnader och miljöpåverkan. Utöver benchmarking så beskrivs även den framtida forskningen som behövdes genomföras samt vilka luckor som fanns mellan då rådande tillämpad kunskap och forskning.

#### *Life Cycle Management of Concrete Infrastructures for Improved Sustainability (LIFECON)*

LIFECON var ett av de fem olika projekten i LIFETIME (se ovan) och finansierades av EUs 6e ramprogram “Competitive and Sustainable Growth Programme” (1998-2002), (LIFECON 2003). Projektet pågick under åren 2001 till 2003. Huvudsyftet med LIFECON var att bidra till utvecklandet av ett förvaltningssystem som på ett säkert sätt kunde garantera hållbar och underhållbar drift av infrastruktur i betong. Detta skulle genomföras så att allmänna krav på beständighet (t.ex. användbarhet, säkerhet, miljö och hälsa), livscykelkostnaden sett ur helhetsekonomiskt perspektiv (WLC, whole life cost) samt även ur ett kulturellt accepterat och ekologiskt perspektiv.

För att uppnå målet med projektet så integrerades metoder och metodiker för att optimera beslutsfattandet baserade på konstruktionens och dess delars hela livslängd, både deterministiskt och probabilistiskt

genom gränsfunktion och riskanalyser. De primära resultaten från detta projekt täcker en brett spektrum av forskningsområden och nedan följer kortfattad beskrivning av dessa:

- Metodiker för livscykel förvaltning:
  - o Automatisk transformering av nedbrytningsmodeller till Markov Chain transition probability models (Markovkedja).
  - o Kombination av Markov Chain based performance analysis med livscykelkostnadsanalys (LCCA) och livscykelekolgianalys (life cycle ecology, LCE).
  - o Kombination av beslutsträdtekniken med Markovkedja baserad LCCA
  - o Kombination av Markovkedja baserad LCCA med livscykel förvaltningsanalys (life cycle management system, LMS):
- Metodiker för beslutsfattande och tillförlitlighetsanalyser
  - o En omfattande termförteckning för livscykel förvaltning
  - o Definition av livslängdskvalitet och en generell lista över kraven på livslängdskvalitet som baserats på allmänna krav på beständighet.
  - o En omfattande och systematisk tillförlitlighetsmetodik för livslängdskvalitet i relation till de generiska gränsfunktionerna för mekaniska egenskaper, beständighet och åldrande.
  - o Metoder och metodik för att använda Multicriteria Optimization i samband med beslutsfattande.
- Nedbrytningsmodeller:
  - o De existerande livslängdsmodellerna har anpassats till olika nivåer av noggrannhet genom att använda tillgängliga inspektionsdata för parameteruppdatering som följer metoden för Bayesisk uppdatering.
  - o Modellerna har använts för att ta fram en klassificering för miljömässig indata på Europeisk nivå.
  - o En utvecklad metodik för att använda fullständiga probabilistiska modeller för att kalibrera tillämpningen av Markovkedjan i samband med livscykelanalys.
- Tillståndsbedömning:
  - o Probabilistiska livslängdsmodeller och tillförlitlighet. Teori har integrerats i processen för tillståndsbedömning.
  - o Förbättrad precision i uppskattning av beslut för underhåll, reparation och uppgradering (U/R&U).
  - o Utvecklat ackumulativt graderingssystem som är anpassat för Markovkedja metoden. Knyter samman det befintliga tillståndet av undersökt betongelement med tillhörande inspektionsteknik och möjligt U/R&U.
- Miljöanpassat karakterisering:
  - o Relevant systemteknik och krav för kvantitativ klassificering av miljöbelastning på konstruktion.
  - o Källor för miljöexponeringsdata och metoder för tillståndsbedömning och modellering på olika geografiska skalor på Europeisk nivå.
- Planering av underhåll, reparation och uppgradering:
  - o Ny och relevant RAMS.
  - o Förtydligande hur RAMS påverkas av vald konstruktion eller element.
  - o Övergång från kvalitativ RAMS till kvantitativa siffror genom att använda QFD (quality function deployment) som beaktar allmänna kvalitetskrav på människa, ekonomi, ekologi och kultur.
  - o Utveckling av metodiken för beräkning av LCE

### *Maintenance decision support models for railway infrastructure using RAMS & LCC analyses*

Detta är en doktorsavhandling, (Patra, 2009), från Luleå Tekniska Universitet och är en produkt bland många från forskargruppen vid LTU som studerat drift och underhåll under de senaste decennierna. Forskningen i denna avhandling fokuserar på tillämpningen av RAMS och livscykelkostnader (LCCA) för att utveckla beslutsmetoderna för underhållsaktiviteter på järnvägsinfrastruktur. Avhandlingen undersöker även hur olika underhållsstrategier påverkar kraven från RAMS på infrastruktur. Huvudmålet med denna avhandling var att uppnå RAMS-nivåerna som fastställts på järnvägsinfrastruktur men med en lägre underhållskostnad. I denna aspekt så utvecklades en kombinerad RAMS och livscykelanalys för att optimera underhållsstrategin, både beaktades kraven från korttids- och långtidsbudgetar.

Först tillämpas RAMS analys den effektiva underhållsplanen av järnvägsinfrastrukturen för att uppnå säkerhets- och tillgänglighetsmålen. Sedan beräknas livscykelkostnaderna (LCC) för att utvärdera lägsta LCC som föranleder den mest kostnadseffektiva underhållsstrategin. Den här tillämpningen beskriver även osäkerheter i LCC och hur känslighetsanalyser bör genomföras. Det bör även noteras att denna avhandling endast behandlar spårssystem och delar av signalsystemen. Av den anledningen rekommenderas att en mer robust modell utvecklas som tar hänsyn till de interaktiva effekterna av olika sub-system i järnvägsinfrastrukturen.

### *Sustainable Steel-Composite Bridges in Built Environment (SBRI)*

Den Europeiska kol och stålforskningsfonden finansierade detta forskningsprojekt från 2009 till 2012. Koordinator för detta projekt var universitetet i Stuttgart (Tyskland), övriga partners utgjordes av FCTUC (Frankrike), Ramböll (Danmark), Brisa (Portugal), SETRA (Frankrike) och BAST (Tyskland).

Huvudmålet med forskningsprojektet, (SBRI, 2012), var att utveckla en fullt integrerad livscykelmodell som skulle agera som verktyg för att utvärdera nya stålkompositbroar (t.ex. samverkansbroar) från ett hållbarhetsperspektiv. Exempel på detta kunde utgöras av kraven på livscykelfunktion (life cycle performance, LCP) tillsammans med miljö, sociala och ekonomiska indikatorer. Genom att konstruera en integrerad LCP/LCC/LCA metodik, för brokonstruktioner, så ska en bättre förståelse uppnås för de potentiella fördelar som avancerade stålkompositbroar har samt deras underhållsbehov. Resultaten från projektet och den integrerade metoden för LCP/LCC/LCA skulle vara:

- Utvecklandet av ett nytt holistiskt tillvägagångssätt som kombinerar LCP, LCC och LCA och resulterar i nya metoder för dimensionering och förvaltning av broar. Detta skulle bidra till att reducera kostnader vid byggproduktionen, underhåll och reparation, spill och svinn vid byggandet samt öka säkerheten och tillgänglighet vid drift.
- Genom utvecklandet av verktyg för avancerade livscykelanalyser och metoder (LCP, LCC och LCA) så skulle effekten bli ett brobestånd som är mer hållbara och robusta i för framtida exponering och behov.
- Riktlinjer och rekommendationer för implementering av sagda avancerade verktyg och metoder för att öka beständigheten och livslängden hos broar.

### *Bridge Life Cycle Optimization - ETSI*

Detta forskningsprojekt utvecklades i två steg och har två forskningsrapporter tillgängliga på (<http://bridge.aalto.fi/fi/Etsiwww2/index.html>), (ETSI 1, 2007), (ETSI 2, 2009), ett tredje steg sägs även vara under uppbyggnad. De länder som ingick i detta projekt var Finland, Norge och Sverige, varav från partners från Sverige var KTH och Trafikverket.

I projektet och forskningsrapporterna så diskuterades detaljerna kring ekonomin vid brounderhåll (även inkluderad kostnaderna för brukarna). Exempelen i detta forskningsprojekt är givna som bedömningen av olika utformningar av broar och hur dessa påverkar livscykeln eller livslängden. Efter detta redovisas olika typer av datorprogram som kan användas och hur pass lämpliga dessa är för att beräkna LCC, exempel på datorprogram är ”BridgeLife”, ”WebLCC” och ”BridgeLCC”. Redovisningen och

utvärderingen av programmen varierar, mest fokus fick dock BridgeLCC (beskrivet i kapitel 6.2.2), minst fokus fick WebLCC. BridgeLife och WebLCC verkar rikta sig mer mot LCC analyser än BridgeLCC som fokuserar på finansiella prognoser för olika val av utformning på broar.

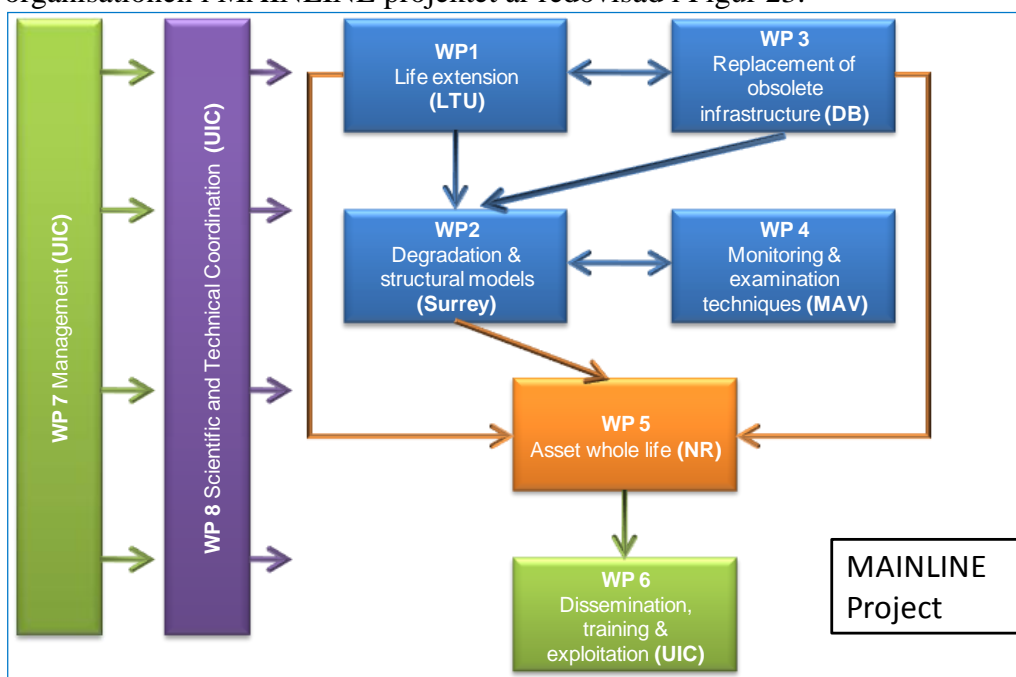
Det andra steget i projektet (ETSI 2 2009), tillhandahåller tre fallstudier av nya broutformningar, en från respektive land. Projektet avslutades i maj 2012 och resultatet var tre olika program för LCC, LCA och LCE (livscykelestetik). LCC och LCA programmen baseras på en Excel plattform och är i dagsläget inte fullt tillgängliga för allmänheten.

### MAINLINE

Forskningsprojektet "Maintenance, renewal and Improvement of rail transport infrastructure to reduce Economic and environmental impacts" – (MAINLINE, 2013). Detta project finansieras inom EUs sjunde ramprogram och påbörjades september 2011 och avslutas i september 2014. Koordinator för projektet är UIC (International Union of Railways) och vetenskaplig koordinator är LTU (Luleå Tekniska Universitet). Huvudmålen med projektet är:

- Tillämpa nya tekniker för att förlänga livslängden hos befintlig infrastruktur.
- Förbättra modeller för beräkning av nedbrytning och bärförmåga för att utveckla mer realistiska modeller livscykelkostnad och säkerhet.
- Undersöka nya och effektiva produktionsmetoder för utbyte av konstruktioner eller element som är i behov av utbyte.
- Undersöka och förbättra metoder och tekniker för tillståndsbedömning genom t.ex. mätning, för att komplettera eller ersätta existerande metoder för tillståndsbedömning.
- Utveckla förvaltningsverktyg för att bedöma livslängdskostnader och miljöpåverkan sett från konstruktionens hela livscykel.

Ovanstående mål är indelade i olika arbetspaket WP1-WP8 (work package, WP), i WP5 behandlas modeller och verktyg för livscykelberäkningar sett ur ekonomiskt och miljömässigt perspekt. Mycket av arbetet i detta arbetspaket är omskrivet i kapitel 1 i denna rapport, samt att den föreslagna metoden för att kombinera LCC och LCA är en direkt produkt av samarbetet inom MAINLINE. En överblick över organisationen i MAINLINE projektet är redovisad i Figur 23.



Figur 23. Överblick över organisation och arbetspaket i forskningsprojektet MAINLINE, (MAINLINE 2013).

#### 6.2.4 Nyckelparametrar för LCC

I Tabell 4 redovisas en jämförelse av de olika normer, riktlinjer, mjukvara och forskning som beskrivits tidigare i denna rapport för LCC analyser. Jämförelsen är indelad i generella termer, utvärderingsmetod, information om konstruktion, information om åtgärd samt resultat/output. Tidsperiod i detta hänseende betyder tidsperioden för vilken LCC har blivit utvärderad, kan alltså vara en kortare begränsad period eller avse hela konstruktionen eller studerat elements hela livslängd. Vidare så betyder livslängd i detta hänseende tiden som konstruktionen är avsett att vara i bruk och vanligtvis så är detta ett referensvärde som används vid jämförelse mellan de olika alternativen som beaktas.



Tabell 4 Nyckelparametrar för LCC

Referens	Generellt		Utvärderingsmetod					Information om konstruktion					Information om åtgärd					Output			Annat		
	Diskonteringsränta	Studerad tidsperiod	Net Present Value	Annuitetsfaktor	Break Even	Nettobesparing	Saving to Investment Ratio	Internal Return Rate	Klassificering av konstruktion/element	Konstruktionens tillstånd	Uppskattad livslängd	Nedbrytningsprofil	Inventering/databas för konstruktion	Åtgärdsförslag	Direkta (ägar) kostnader	Användarkostnader	Miljökostnader	Övriga kostnader	Prognos LCC (deterministisk)	Prognos LCC (probabilistisk)		Framtida åtgärder	Whole life profiles
STAMP, II 2007	X	X	X					X		X			X	X	X			X			X		No
VTISM 2010	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X				X			X		No
BridgeLCC	X	X	X					X		X	X		X	X	X	X		X	X		X		No
NIST 1995	X	X	X			X	X	X		X				X				X	X				N/A
Langdon 2007	X	X	X			X	X	X		X			X	X	X	X		X	X				N/A
SAMPT 2012									X	X	X	X									X	X	
BLCCA 2003	X	X	X					X		X	X		X	X	X		X	X	X				No
EN 60300-3-3	X		X					X	X	X	X	X	X					X			X	X	N/A
The Green Book 2011	X (1-3.5 %)		X					X		> 300 years				X	X								
ETSI 2007, 2009 BridgeLife	X		X						X	X	X	X									X		X
ETSI 2007, 2007 BridgeLCC	X		X							X											X	X	



ETSI 2009 WebLCC	Programmet fanns inte tillgängligt för utvärdering																		X	X	X		
LIFETIME 2005	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	N/A
LIFECON 2003	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	N/A
Patra 2009	X	X	X						X	X	X		X					X	X	X			
SBRI 2012	X	X	X						X		X		X	X	X	X			X	X	X		N/A
ISO 15686, del 5	X	X	X								X			X	X	X	X						N/A
InfraCaLCC V2.0	X	X	X						X		X		X	X	X	X	X	X	X				N/A

### 6.3 Existerande verktyg för LCA

Genomförandet för en livscykelanalys (LCA) är beskrivet i kapitel 1. Det finns i dagsdato ett antal kommersiellt tillgängliga verktyg för att göra LCA beräkningar, de mest kända är beskrivna utförligare i kapitel 0. De olika verktygen baseras i princip på samma grunder men är uppbyggda på så sätt att de tar hänsyn till olika nyckelparametrar, se mer i kapitel 3. Det finns olika miljöpåverkande faktorer som kan räknas in i en LCA, se kapitel 3. Om en av dessa faktorer ska väljas som mest signifikant så är det i sådana fall CO<sub>2</sub> utsläpp som enklast skulle kunna fungera nyckelfaktor. Det finns så klart andra signifikanta miljöpåverkande faktorer som påverkan en livscykel analys, t.ex. avfall. Att fokusera på CO<sub>2</sub> utsläpp som nyckelfaktor ger en enklare viktning mot livscykelkostnader, eftersom att CO<sub>2</sub> utsläppen kvantifieras och prissätts enligt varje nations straffbeskattning av den här typen av utsläpp.

Dock så finns det vissa luckor/klyftor mellan de existerande verktygen för att genomföra livscykelkostnader och livscykelanalyser och slutligen kombinera dessa och utveckla en livscykelutvärdering (LCAT, life cycle assessment tool). De viktigaste parametrarna för att utveckla en LCAT är identifierade i Tabell 5, som även visar luckor/klyftor samt rekommendationer sett ur ägare/förvaltar perspektiv. Utöver dessa parametrar så bör även en fullgod LCAT innehålla eller beakta följande:

- En LCAT bör huvudsakligen baseras på standarder, ISO eller EN. I dagsdato finns inte någon sådan.
- En LCAT ska omfatta brukar/användarkostnader, den viktigaste kostnaden för användar/brukare är oftast relaterad till avbrott eller förseningar (t.ex. trafikantkostnader).
- Om möjligt så ska LCAT kunna genomföra känslighetsanalyser och probabilistiska analyser. Det bör dock noteras att i dags dato så är det inte säkert att det finns nog med indata (input) för att kunna genomföra dessa typer av analyser på ett fullgott sätt.
- Resultaten från LCC analyser bör som minst presenteras i form av NPV (net present value).
- En LCAT bör presentera kostnaderna för både LCC och LCA beroende på vald strategi.
- CO<sub>2</sub> och avfall är här ansedds som de viktigaste miljöpåverkande faktorerna. Men det finns även andra kriterier som i fram tiden kan komma att få lika stor politisk inverkan, t.ex. vattenförorening (yt- och grundvatten).

Tabell 5. Relevanta parametrar för LCAT med identifierade lyckor/klyftor och rekommendationer

<b>Mest relevant parameter</b>	<b>Rekommendationer och luckor/klyftor</b>
<i>Tidsperiod av analys</i>	Tidsperiod varierar mycket och är helt beroende på vald underhålls- och förnyelse åtgärd. Det rekommenderas att någon typ av handledning utarbetas för att underlätta för ägarna av konstruktionen att fatta beslut om lämplig tidsperiod för analysen (LCAT).
<i>Metod för input av data</i>	Ägare och förvaltare av konstruktioner är ofta inte så vana att tillämpa LCA. Det är därför rekommenderat att förenklade LCA format utvecklas för LCAT och att input-metoderna för en eventuell LCAT måste vara så transparent som möjligt samt flexibel och lätt att förstå.
<i>LCC – diskonteringsränta</i>	Värdet för diskonteringsräntan varierar och är beroende på i vilket land som LCC analysen genomförs i. Rekommendationen för LCAT är alltså att låta denna vara en variabel parameter som kan bestämmas från fall till fall.
<i>LCC – Tillvägagångssätt för diskonteringsränta</i>	Även om NPV (net present value) är rekommenderad så kan vissa ägare/förvaltare av konstruktioner behöva använda andra typer av output vid en LCC. Andra output som skulle kunna vara möjliga är IRR (internal rate return) och NS (net saving), vilka rekommenderas att ingå vid utvecklingen av LCAT.
<i>LCC – ägare, brukare och miljökostnader</i>	Förseningar är oftast den viktigaste användarkostnaden och ska ingå i en LCAT. I denna aspekt så är en standardiserad metod för att beräkna t.ex. trafikantkostnader nödvändig.
<i>LCA – kriterier för koldioxid och avfall</i>	De flesta ägare/förvaltare av konstruktioner föredrar att LCA resultaten från påverkan av koldioxid och avfall presenteras i monetära enheter. Av den här anledningen så behöver alltså funktioner utvecklas för att konvertera LCA resultaten till monetära enheter (kostnader).
<i>Profil för hela livslängden</i>	Profilen för hela livslängden bedöms vara en av de viktigaste parametrarna för LCC. Sådana output format är normalt inte inkluderade i LCAT. Det är därför rekommenderat att LCAT visar den här typen av output analys separat för kostnaderna (ägar och brukar) och miljöpåverkan (inkl miljökostnader) för hela livslängdsprofilen.

### 6.3.1 Tillgängliga verktyg för LCA

Nedan listas ett urval av kommersiellt tillgängliga mjukvaror för att göra LCA beräkningar:

#### 6.3.1.1 Athena Eco-Calculator, (Athena, 2013)

Utvecklare:	Athena Institute
Länder:	Kanada och Nordamerika
Generellt syfte	Den kan användas att antingen jämföra miljöpåverkningar av speciella byggnads konstruktioner sammansatt av olika material eller bedöma hur olika sammansättningar påverkar en konstruktions miljöpåverkan.
Format	Kalkylblad
Metod/Ramverk	Sammanställningen av en specifik byggnad väljs från en av 7 olika typer av sammansättningskategorier, t.ex. grundläggning, sula, pelare och balkar. Detta program täcker typiska sammansättningar för byggnadskonstruktioner i Kanada och Nordamerika. De studerade sammansättningarna av material och/eller konstruktionsdelar bedöms efter deras påverkan under hela livscykeln. Energiflödena och materialdatan i databasen är hämtade från U.S. Life Cycle Inventory. De olika sammansättningarna bedöms och jämförs hur de påverkar olika funktionsåtgärder (impact performance measures).
Påverkanskategorier	Förbrukning av fossila bränslen (Mega Joule), Global uppvärmning (kg CO <sub>2</sub> -ekvivalent), försurningspotential (mol av H <sup>+</sup> -ekvivalent), Ozonedbrytningspotential (mg CFC-11 -ekvivalent), Övergödningspotential (g N -ekvivalent), Hälsokriterie Air-Mobile (kg PM2.5 -ekvivalent), Smogpotential (kg NO <sub>x</sub> -ekvivalent), Viktad resursförbrukning (ton)
Output	En summeringstabell presenteras tillsammans med pajgrafer

#### 6.3.1.2 Sima-Pro Life Cycle Assessment Tool, (Sima-Pro, 2013)

Utvecklare:	Pre-Consultants
Länder:	Hela världen
Generellt syfte	Ett flexibelt och transparent LCA verktyg för att bedöma och jämföra olika produkters miljöpåverkan.
Format	Window
Metod/Ramverk	Detta verktyg är utformat efter ISO 14040. De produkter som analyseras är modellerat efter en trädstruktur, som beskriver de relevanta processerna, sammansättning av produkter och deras

	livscykel. Processerna omfattar data över flödena från miljöpåverkan (t.ex. utsläpp till luft, mark och vatten) samt ekonomiska flöden (t.ex. input/output eller avfall från processer). Processflödena kommer från den omfattande databasen som Sima-Pro har och den internationellt erkända Ecoinvent databasen. Dessa täcker upp processflöden som energy tillgång/åtgång, framtagning av råvara, kemikalier, metaller, agrikultur, avfall och avfallsåtervinning samt transport/logistik.
Påverkanskategorier	Programmet innehåller ett omfattande urval av bedömningsmetoder, t.ex. BEES, CML 2001, EDP 2007, Eco-indicator 99 och Impact 2000+. Dessa metoder tillhör antingen mittpunktstillvägagångssätt eller slutpunktstillvägagångssätt. Mittpunktstillvägagångssättet riktar sig mot påverkanskategorier, global uppvärmning, försurning, övergödning, uttömning av fossila bränslen, ozonförtunning, smog och landtillgång. Påverkanskategorier som hör till slutpunktstillvägagångssätt inkluderar minskade resurser, utrotning av arter, lungsjukdomar och höjning av vattennivåer.
Output	Grafisk visualisering

### 6.3.1.3 Building for Environment and Economic Sustainability, (BEES, 2013)

Utvecklare:	National Institute of Standards and Technologu
Länder:	Nordamerika
Generellt syfte	Är ett multidimensionellt verktyg för bedömning av påverkan av miljö och ekonomi sett ur ett livscykelperspektiv. I texten nedan beskrivs endast de aspekter som har med LCA att göra. Verktyget används för att jämföra miljöpåverkan från olika/alternativa produkter.
Format	Window
Metod/Ramverk	<p>Detta program följer ISO 14040 och processerna kan sammanfattas i tre följande förenklade steg:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ställ in de parametrar som ska studeras för de olika byggelementen samt metoder för att vikta miljöpåverkan. Viktningen hänvisas till miljöpåverkan och det finns fyra olika typer av viktning; jämfördelad, fördefinierad enligt BEES rekommendationer, fördefinierad enligt U.S.A Environment Agency Protection Science Advisory Board rekommendationer eller viktning vald av användaren</li> <li>2. Välj de alternativa byggelement för jämförelse samt specificera hur materialen transporteras till arbetsplatsen. Programmet innehåller en databas på över 230 produkter och deras påverkan på miljön. Produkterna omfattar ett brett spektra av byggnadselement så som balkar, pelare, tak, fasad, isolering, interiör färger, golv, stolar och asfaltering av parkeringsplats för</li> </ol>

	<p>att nämna några få. Klassificeringen och definitionen av byggnadselementen följer ASTM Standard Classification for Building Elements and Related Site-work.</p> <p>3. Överblicka resultatet som är visar hur de olika byggelementen påverkar omgivningen genom att de poängsatts i de olika påverkanskategorierna. Ju högre poäng desto värre påverkan på miljön.</p>
Påverkanskategorier	<p>Programmet följer U.S. Environment Protection Agency's Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI). Enheter som beräknas är; uttömning av fossila bränslen (MJ överskottsenergi), Globaluppvärmning (g CO<sub>2</sub> –ekvivalent), försurning (mol av H<sup>+</sup> -ekvivalent), Ozonnedbrytningspotential (mg CFC-11 –ekvivalent), Övergödningspotential (g N –ekvivalent), Hälsokriterie Air-Mobile (kg PM<sub>2.5</sub> –ekvivalent), Smogpotential (kg NO<sub>x</sub> –ekvivalent), Vattenförbrukning (liter vatten), Inomhusluft (g av totalt VOC), habitat (utrotningshotade arter), Ekologisk giftighet (g 2.4-D –ekvivalent).</p>
Output	Grafisk visualisering, stolpdiagram

#### 6.3.1.4 GaBi (*Ganzheitlichen Bilanzierung*), (GaBi, 2013)

Utvecklare:	PE International
Länder:	Hela världen
Generellt syfte	Ett universellt LCA verktyg för att bedöma hållbarheten hos produkter och processer över hela dess livslängd. I likhet med Sima-Pro så används detta program över hela världen och i olika industrier.
Format	Window
Metod/Ramverk	Även metodologin i GaBi följer ISO 14040. I modellfasen så konstrueras en trädstruktur för produkter och system av produkter. Systemen byggs upp genom att processflödena stipuleras, input/output. En lista av flöden som förknippas med produkter/system väljs från databasen i GaBi som innehåller över 4500 dataset från olika industrier. Det går även att välja andra databaser, som t.ex. Ecoinvent och U.S Life Cycle Inventory. Resultaten från miljöpåverkningarna kan visas genom att välja bedömningsmetod och påverkanskategori
Påverkanskategorier	Innehåller olika val av standarder för bedömning av miljöpåverkan, både från mittpunktstillvägagångssätt eller slutpunktstillvägagångssätt, inkluderar CML 2001, EDIP 1997, TRACI, Ecoindicator 99.
Output	Grafisk visualisering samt rapport

### 6.3.1.5 TEAM(Tools for Environmental Analysis and Management), (TEAM, 2013)

Utvecklare:	Ecobilan
Länder:	Hela världen
Generellt syfte	Ett universellt LCA verktyg för att bedöma hållbarheten hos produkter och processer över hela dess livslängd. I likhet med Sima-Pro och GaBi så används detta program över hela världen och i olika industrier.
Format	Window
Metod/Ramverk	Även metodologin i TEAM följer ISO 14040. I modellfasen så konstrueras en trädstruktur för produkter och system av produkter. Systemen byggs upp genom att processflödena stipuleras, input/output. En lista av flöden som förknippas med produkter/system väljs från databasen i DEAM Internal Database vilken innehåller dataset från olika industrier. Det går även att välja andra databaser, som t.ex. Ecoinvent. Resultaten från miljöpåverkningarna kan visas genom att välja bedömningsmetod och påverkanskategori
Påverkanskategorier	Liknar GaBi och Sima-Pro, innehåller olika val av standarder för bedömning av miljöpåverkan, både från mittpunktstillvägagångssätt eller slutpunktstillvägagångssätt, inkluderar CML 2001, EDIP 1997, TRACI, Ecoindicator 99.
Output	Grafisk visualisering samt rapport

### 6.3.1.6 (ENVEST 2, 2013)

Utvecklare:	BRE
Länder:	Storbritannien
Generellt syfte	ENVEST 2 är ett webbaserat LCA/LCC verktyg som förenklar de komplexa processer som omfattar utformning och dimensionering av byggnader med låg miljöpåverkan och låg livscykelkostnad.
Format	Window
Metod/Ramverk	Det här programmet förenklar de komplexa processer som ligger bakom bedömningen av hur valda produkter och system påverkar miljö och livscykelkostnader. I likhet med de övriga program som beskrivits så använder ENVEST också en databas som täcker de flesta byggsystem t.ex. yttre väggpanel, taktäckning etc. ENVEST 2 innehåller de flesta av Storbritanniens huvudsakliga byggmaterial. Modellen för byggnaderna är definierad av input parametrar så som

	antalet våningar och deras höjd. Miljöpåverkan mäts enligt BRE utvecklade Ecopoint scoring system. Ecopoints beräknas för 12 olika påverkanskategorier som sträcker sig från klimatförändringar till giftighet, programmet möjliggör även att räkna poängsättning för livscykelkostnader som är knutna till valda produkter och system. Ju högre poäng desto värre miljöpåverkan. Livscykelkostnaden är beräkning i U.K. Sterling enligt NPV (net present value) och nivån på diskonteringsräntan är satt efter 2002 Treasury i Storbritannien eller på den nivå som väljs av användaren. Detta innebär att användaren har större flexibilitet att använda de värden som passar bäst till dennes verksamhet.
Påverkanskategorier	Innehåller 12 olika påverkanskategorier som finns i Ecopoints scoring system; Klimatförändring, försurning, ozonförtunning, luftföroreningar (för människan), smog, förgiftning av vatten (för människan), övergödning, Uttömning av fossila bränslen, utarmning av mineraler, nyttjande av fossila bränslen, nyttjande av vatten och avfallsdeponering.
Output	En summering av miljöpåverkningarna enligt Ecopoints samt livscykelkostnader. Dessa resultat redovisas även grafisk eller i tabellform.

### **6.3.1.7 Waste Integrated Assessment for Recovery and Disposal, (WISARD, 2013)**

Utvecklare:	Ecobilan
Länder:	Storbritannien, Frankrike och Nya Zeeland
Generellt syfte	Detta är ett LCA verktyg som endast tar hänsyn till slutpunkts-tillvägasätt, detta innebär att t.ex. endast avfall och återvinning beaktas. Fast avfall kvatnifieras och dessas miljöpåverkan bedöms.
Format	Window
Metod/Ramverk	<p>WISARD tillämpar livscykelperspektiv för att bedöma alla aspekter som rör avfallshanteringen från den punkt då avfallet lämnar arbetsplatsen till dess att den slutligen återvinns eller deponeras.</p> <p>Modelleringen av processerna för avfallet kan konstrueras grafiskt genom att använda de inbyggda verktygen eller genom att ange indata som användaren tillhandahåller. Olika förvaltningsscenarios för avfall finns färdiga i databasen och är redo för användaren, t.ex. hantering och återvinning av glas. För varje förvaltningsscenario så kan användaren välja olika transportmedel, typ av containers som används för förvaring, sammansättning av avfallsprodukt, olika förvaringsstationer etc. Det finns fem olika återvinning och deponerings valmöjlighet i programmet, t.ex. fyllnadsmassor, förbränning, sortering-återvinning, kompost och anaerobisk omsättning. Programmet använder databasen</p>



	<p>som Ecobilan har utvecklat. Programmet har även en funktion som kontrollerar att det råder balans mellan input och output, dvs. att allt material finns med i beräkningen. De olika ingående avfallsprodukterna viktas beroende på deras ursprung (förnyelsebara eller inte) och resultatet blir alltså att man kan undersöka vilka material som har ger minst påverkan på miljön. Beräkningen kan genomföras på tre olika sätt; normal (genererar ett deterministiskt set av data), Min/Max (genererar tre olika resultat, ett normalt dataset samt en övre och undre gränsvå) och slutligen en Monte-Carlo simulering (genererar ett antal simuleringar som antar att alla parametrar/variabler följer en Gauss-fördelning). Ett antal olika grafer skapas för att hjälpa användaren att utvärdera resultaten och identifiera vilka kritiska produkter/system som finns i ett visst förvaltningsscenario.</p>
Påverkanskategorier	Innehåller över 50 olika metoder för att bedöma miljöpåverkan
Output	Resultaten presenteras både grafiskt och i tabellform

### 6.3.1.8 Summering av befintliga LCA verktyg

Verktyg	Källa	Omfattning	Målanvändare	Potentiell impelmentering i LCAT (1)	Licensavgift Industri (D) & Universitet (U)	Kombinerad LCC/LCA verktyg	ISO EN 14040 och 14044	Nyckel inslag					Gemensamma påverkanskategorier						
								Trädprocess modellering (T) eller Element val(E)	Skapa användar definierad LCI Databas	Känslighets analys	Min/Max analys	Monte-Carlo Analys	Uttömning av fossila bränslen	Global uppvärmning	Försurning	Övergödning	Ozon uttunnning	Hälsa (människa)	Smog
Athena Eco-Calculator	U.S.A	Byggnader	Civilingenjörer och miljökonsulter	N	n/a			E					x	x	x	x	x	x	x
Sima-Pro	Holland	Alla sektorer inkl. Byggnader och järnväg	Civilingenjörer och miljökonsulter, leverantörer och forskare	J	I - 14,942 Euros (2) U - 4310 Euros (2) källa: <i>Sima-Pro (2013)</i>		x	T	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BEES	U.S.A.	Byggnader	Civilingenjörer, inköpare och forskare	N	n/a	x	x	E					x	x	x	x	x	x	x
GaBI	Tyskland	Alla sektorer inkl byggnader	Civilingenjörer och miljökonsulter, leverantörer och forskare	J	Inte publicerat		x	T	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TEAM	Frankrike	Alla sektorer inkl byggnader	Civilingenjörer och miljökonsulter, leverantörer och forskare	J	P - 3000 Euros A - 2000 Euros källa: <i>TEAM (2013)</i>		x	T	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ENVEST 2	UK	Byggnader	Civilingenjörer och miljökonsulter och forskare	N	n/a	x	x	E					x	x	x	x	x	x	x
WISARD	Frankrike	Avfallshantering	Myndigheter, kommuner och forskare	N	n/a		x	T	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Not (1): J – Det finns en potential att använda studerat verktyg för utveckling av LCA vid sidan av LCAT verktyget beskrivet i detta kapitel. N – De studerade verktyget är speciellt utvecklat för byggnader eller avfallshantering och kan därför inte direkt användas vid utvecklandet av ett LCAT för anläggningskonstruktioner.

Note (2): Licensavgifterna är konverterade från brittiska Pund till uppskattade Euro ekvivalenter. Avgifterna inkluderar inte kostnader som t.ex. underhåll.

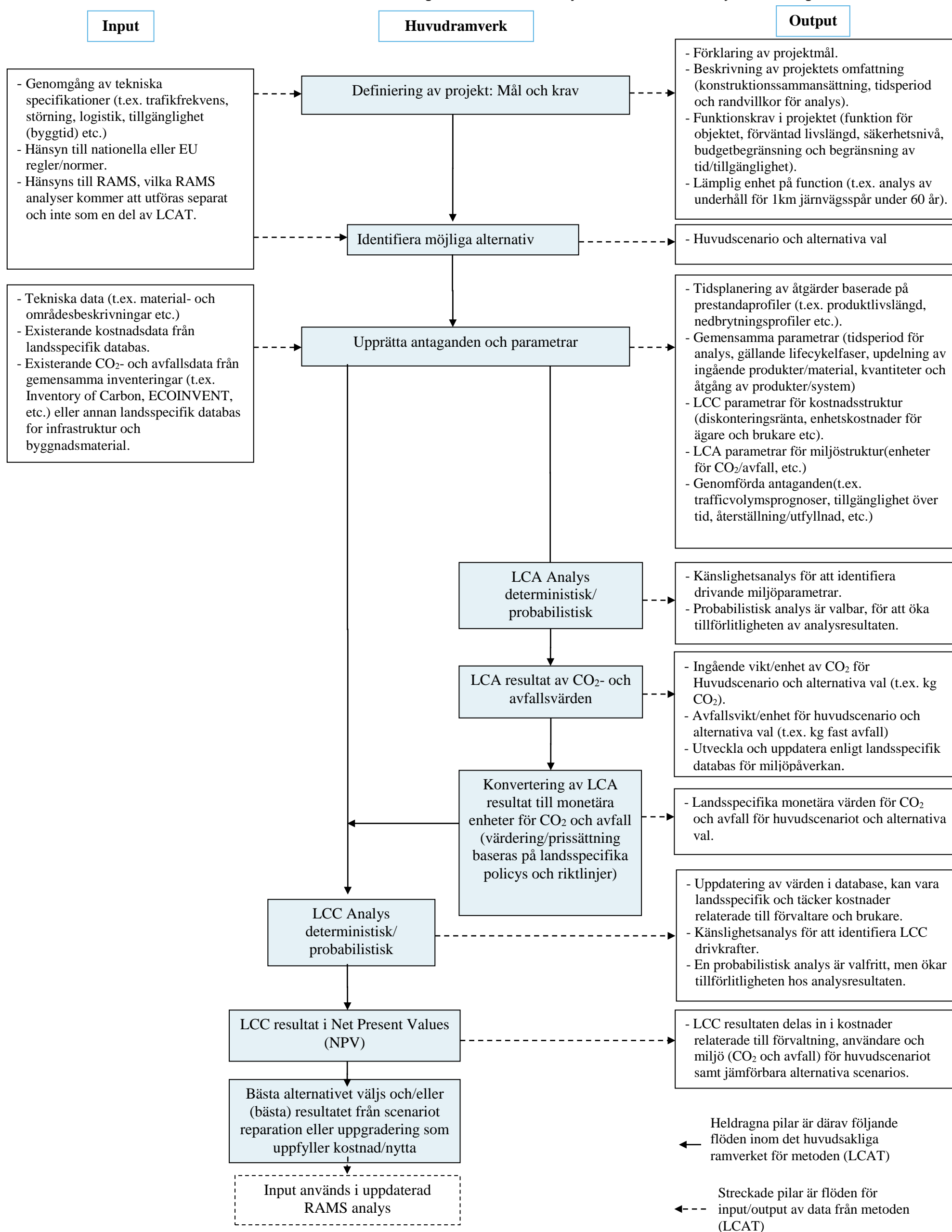
## 6.4 Systembeskrivning för LCAT

Det här kapitlet ger ett förslag på systembeskrivning för hur LCA och LCC analyser skulle kunna interagera för få systemresultat som viktas både miljöpåverkan och kostnader sett ur en konstruktions hela livslängd.

Ett sätt att försöka jämföra LCA och LCC analyser skulle vara att konvertera LCA resultaten till miljökostnader som sedan skulle kunna jämföras eller viktas mot LCC resultaten som anges i monetära enheter. Detta sätt är förmodligen det minst komplicerade tillvägagångssättet som tilltalar ägare eller förvaltare av infrastrukturer eller byggnader.

Figur 24 visar en schematisk skiss över hur en sådan föreslagen metodbeskrivning skulle kunna se ut för ett system mellan LCA och LCC, se även kapitel 6.2 och 6.3 för redan existerande verktyg för LCC respektive LCA.

Ramverk och metod för konvertering av LCA resultat till miljökostnader för LCC analys/utvärdering



Figur 24. Ramverk för metod samt input/output för föreslagna LCAT

En av huvudpunkterna med den föreslagna metoden för LCAT är att konvertera LCA resultaten till monetära enheter så att dessa kan viktas och jämföras mot resultaten från LCC analyserna. Konverteringen av LCA resultat till monetära enheter inriktar sig till de två primära miljöpåverkande faktorer CO<sub>2</sub> och avfall.

#### *Koldioxid (CO<sub>2</sub>)*

Det finns två vanliga sätt att värdera kostnaderna för den koldioxid som används i ett projekt, t.ex. kostnader för skador (DCA, damage cost approach) samt kostnader ihopkopplade med att undvika negativa miljöpåverkningar, åtgärdskostnadskurvor (MAC, Marginal Abatement Cost). Inom studien som denna rapport omfattar så har inte någon litteratur hittats som påvisar att det ska finnas någon generell konsensus inom EU för en standard som beskriver hur koldioxid ska värderas samt att inget harmoniserande värde för att konvertera koldioxid till monetära enheter, (The Green Book, 2011), (DECC, 2011a), (Hardisty, 2010).

I en studie finansierat av EU, HEATCO (2006), undersöktes de då rådande praxis i Europa för bedömning av miljöpåverkan. Även denna studie visade på att det inte fanns någon gemensam tankesätt för att bedöma hur mycket miljöpåverkningar är i monetära enheter. Flera länder (Nederländerna, Italien, Finland) använde DCA för att värdera kostnaden för koldioxid utsläpp, men andra länder (Österrike, Tyskland, Sverige och Schweiz) använder MAC, (HEATCO, 2006).

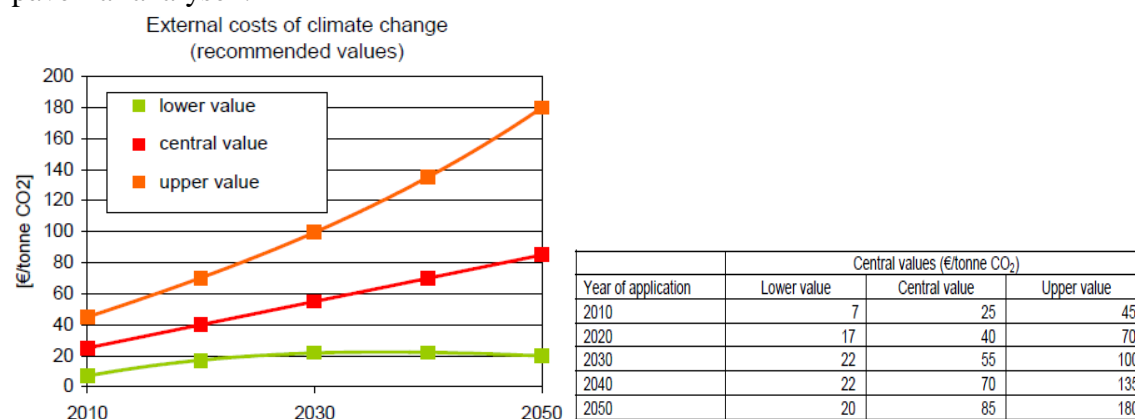
Metoden att värdera koldioxid och dess kostnad är starkt påverkad av politiken och riktlinjerna i respektive land. Till exempel så tillhandahåller Storbritanniens regering riktlinjer för användandet av metoden för utvärdering av koldioxid. I denna guide i Storbritannien, DECC 2011b, finns ett schema för kostnadsfaktorerna för koldioxid som baserats på MAC.

	Non-traded		
	Low	Central	High
2008	27	53	80
2009	27	54	81
2010	27	55	82
2011	28	56	83
2012	28	56	85
2013	29	57	86
2014	29	58	87
2015	30	59	89
2016	30	60	90
2017	30	61	91
2018	31	62	93
2019	31	63	94

*Figur 25. Kostnadsfaktorer för koldioxid i GBP/ton CO<sub>2e</sub>, (1 enhet CO<sub>2</sub> är lika som 1 enhet CO<sub>2e</sub>), (DECC, 2011b)*

Eftersom att olika länder har olika metoder att bedöma och värdera koldioxid, då det inte finns någon harmoniserad standard att göra dessa bedömningar, så blir det alltså komplicerat att göra jämförelse mellan projekt som inte uteslutande tillverkas i ett land. Alternativt så kan de rekommenderade uppskattade koldioxidkostnaderna i (IMPACT, 2008) användas som startpunkt för utvärdering. Figur 26 visar på typiska kostnadsfaktorer för koldioxid och hur dessa förväntas ändras med tiden. Eftersom att det finns en hel del osäkerheter kring just kostnadsfaktorer samt hur dessa kommer att utvecklas med tiden så är det starkt rekommenderat att en känslighetsanalys genomförs. Denna känslighetsanalys genomförs för övre och undre värden och

på så sätt fås ett gränstillstånd för övre och undre gränser för hur användandet av koldioxid påverkar analysen.



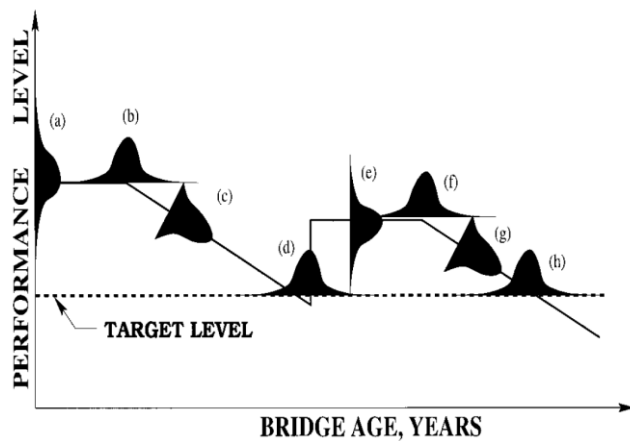
Figur 26. Rekommenderade kostnadsfaktorer för Euro/ton CO<sub>2</sub>, (IMPACT, 2008).

### Avfall

Avfall i det här hänseendet anses vara ämnen och material som inte har något kommersiellt värde och som inte kommer att bli återanvänt eller återvunnet utan kommer att deponeras, t.ex. som fyllnadsmassor. Många Europeiska länder har infört skatter på fyllnadsmassor för att främja avfallsreducering, återvinning och återanvändning, exempel på sådana länder är Storbritannien, Nederländerna och Sverige. Som ett exempel så var skatten för fyllnadsmassor £56 per ton i Storbritannien under 2012. Genom att använda den här typen av data skulle avfallspåverkan kunna värderas och konverteras till monetära enheter baserade på respektive lands beskattning av avfall/fyllnadsmassor. Dock är det i många fall relativt komplicerat att göra bedömningen av mängden avfall och hur denna mängd förändras med tiden allt eftersom att utvecklingen går framåt med återvinning.

### Deterministisk vs. Probabilistisk analys

Ett förenklat sätt att visa hur osäkerheter och spridningarna är relaterade till bedömningen av en konstruktions beteende under dess hela livslängd är redovisad Figur 27. Livscykeln för just denna konstruktion är visad genom (a) inledande funktion/prestandanivå (tillförlitlighet), (b) Tid innan skada propagerar, (c) Nedbrytning av funktion/prestanda (tillförlitlighet) utan underhåll, (d) Tid för första åtgärd (tid då lägsta acceptabla tillförlitlighetsnivå uppnåtts), (e) Förbättring av rådande funktion/prestanda genom underhållsåtgärd, (f) Tid för initiering av skada efter tidigare genomförd underhållsåtgärd, (g) Nedbrytningstakt av tillförlitligheten efter genomförd underhållsåtgärd, (h) Förändring av nedbrytningstakt efter att lägsta kravnivå uppnåtts.



Figur 27. Osäkerheter och spridningar under en konstruktions hela livslängd, (Frangopol, 2001).

I Figur 27 samt i beskrivningen av nedbrytningskurvan är det tydligt att förvaltningen av en konstruktion under dess livslängd inte är helt trivial då nedbrytningen, tiden och åtgärder har en relativt stor spridning.

## 6.5 Förväntad output

Resultaten från en LCAT (life cycle analysis tool) ska alltså innehålla resultat från både LCC och LCA. För att ett sådant verktyg ska vara effektivt så bör det kunna summera resultaten för dels LCC och LCA separat men ska även kunna summera de kombinerade resultaten av LCC och LCA för att kunna jämföra olika förslag, åtgärder eller strategier. Eftersom att både LCC och LCA analyser innehåller flertalet parametrar och variabler, ännu fler om en probabilistisk analys genomförs, så bör LCAT vara mjukvarubaserat. Speciellt eftersom att användarna kan ha olika konstruktioner med olika försättningar.

Ett mjukvarubaserat verktyg (LCAT), bör presentera resultaten så att de så kallade drivkrafterna, antingen ekonomiska eller miljömässiga, enkelt kan identifieras av användaren. I tillägg så bör även en effektiv LCAT kunna presentera resultaten från olika valda strategier i samma grafiska överskådning (diagram eller tabell) för att en jämförelse lättare ska kunna genomföras.

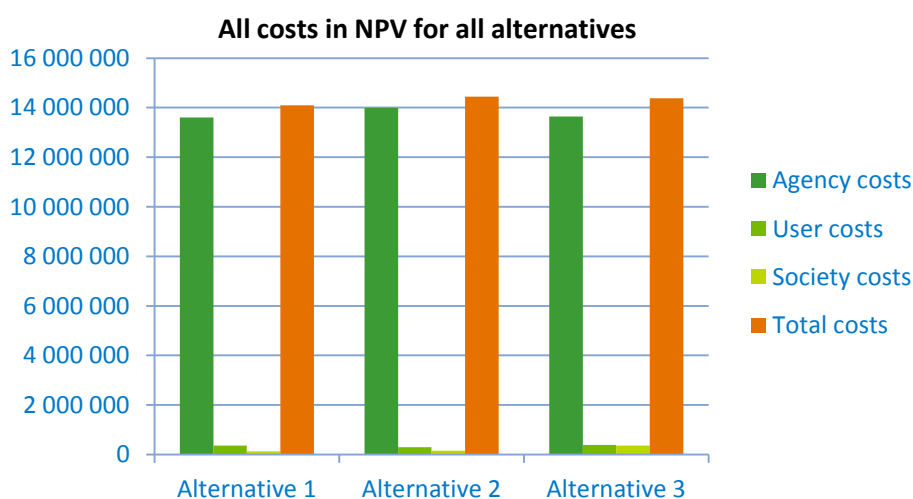
För att LCAT ska kunna vara tillräckligt mångsidigt är det med fördel om analysen kan genomföras både deterministiskt och probabilistiskt. När analysen genomförs probabilistiskt så bör outputen specificera den motsvarande tillförlitlighetsnivån, i form av percentiler, t.ex. outputen borde kunna tillhandha maximala kostnaden med 5 % sannolikhet att denna kostnad överskrids. Vid den här typen av analys bör det vara obligatoriskt att känslighetsanalyser genomförs. Känslighetsanalysen ska kunna identifiera signifikanta kostnadsdrivkrafter och understryka vilka parametrar/variabler som behöver studeras närmare (minska osäkerheten i analysen genom att göra ytterligare undersökningar eller försök). De föreslagna outputen från LCC och LCA analysen är redovisade i följande underrubiker.

### 6.5.1 Output från LCC

Outputen från LCC analysen bör omfatta bland annat:

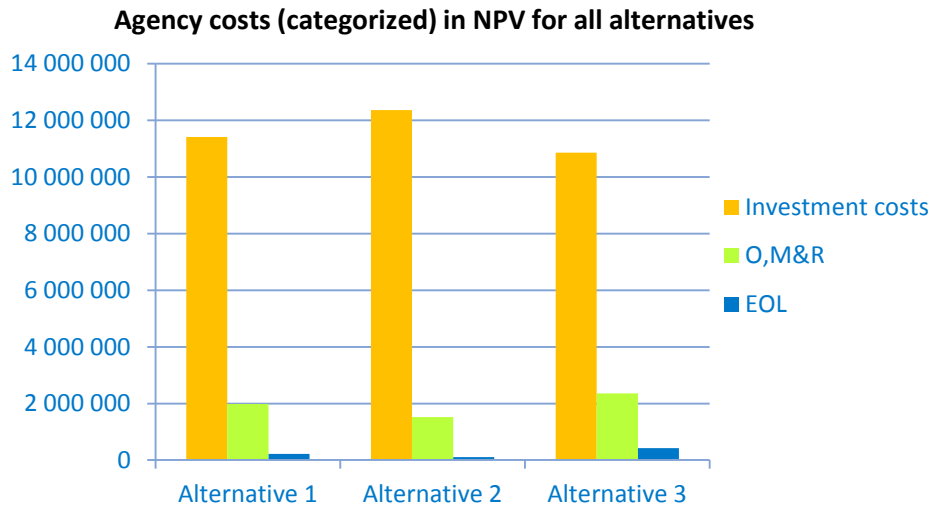
- En summering av den totala kostnaden under den studerade tidsperioden och även som en funktion av tiden.
- Medelvärde på den årliga kostnaden för den studerade tidsperioden
- Den totala kostnaden kategoriserad i användarkostnader, förvaltar/ägarkostnader och samhällskostnader som funktion av tiden. Exempelvis, illustrativt visat i Figur 28 dock inte som funktion av tid.
- Fördelning av varje kostnadskategori i mindre enheter för alla alternativa strategier med syftet att identifiera kostnadsdrivare. Ett exempel av fördelningen av förvaltar/ägarkostnader är illustrativt redovisat i Figur 29.
- Möjligheten att jämföra olika alternativa strategier:
  - Kategoriserade kostnader som funktion av tiden, studerad tidsperiod, för alla alternativ. Figur 30 visar ett illustrativt exempel för ett alternativ.
  - Totala kostnaden som funktion av tiden för alla alternativ.
- Jämförelse av ursprungskostnad (totala ursprungskostnaden) samt kostnader baserade på uppdaterade funktions-tids profiler (exempelvis livslängdsdimensionering inklusive nedbrytning).
- Jämförelse av totalkostnader per relevant enhet och tidigare studier relaterat till samma konstruktionstyp. Exempelvis genom att använda uppdaterade databaser.

LCAT bör vara transparent så att användaren känner till strukturen för verktyget samt att användaren i likhet med användandet av existerande databaser ha möjlighet att ange egna input och på så sätt få ut de resultat (output) som denna eftertraktar. Vidare så är det viktigt att konstruktionens aktuella förvaltningsstrategi beaktas med tillhörande drift, underhåll och reparation för att få tillförlitliga analyser och resultat. Resultaten från LCC analysen bör presenteras i kostnader (kontant) och NPV (net present value).

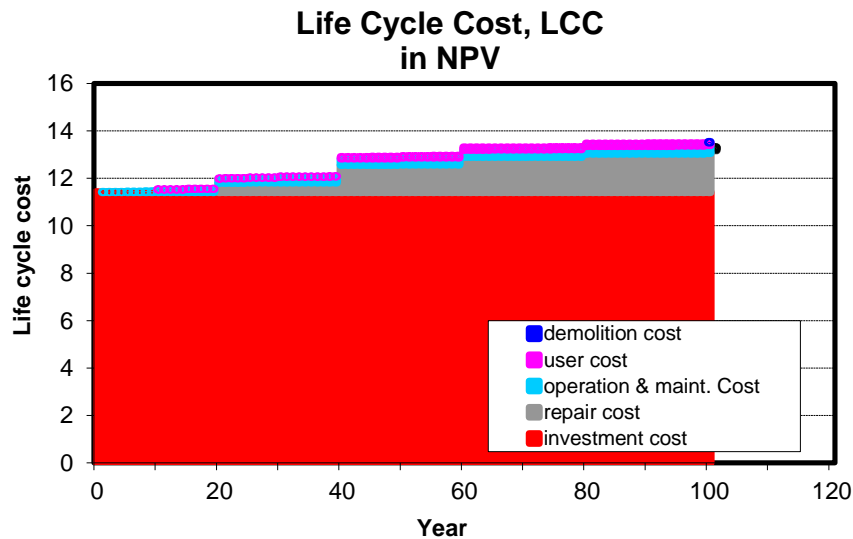


Figur 28. Alla kostnader i NPV (Net Present Value) för olika alternativa strategier, Mainline D5.4 (2013).





Figur 29. Förvaltar/ägarkostnader (kategoriserade) för alla alternativa strategier (O – operation, M – Maintenance och R – Repair samt EOL – End of Life), Mainline D5.4 (2013).



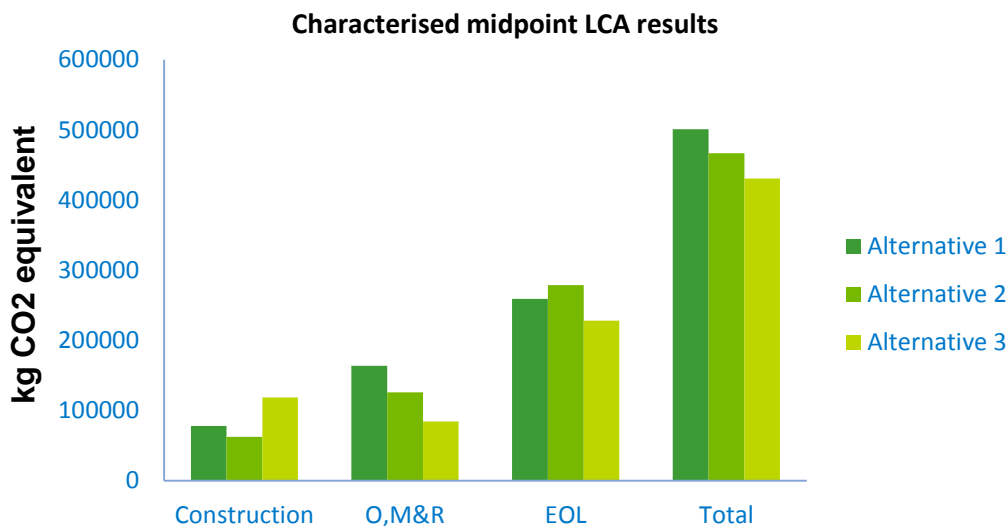
Figur 30. Exempel för total livscykelkostnad som funktion av tiden efter invigning av konstruktionen, Mainline D5.4 (2013).

## 6.5.2 Output från LCA

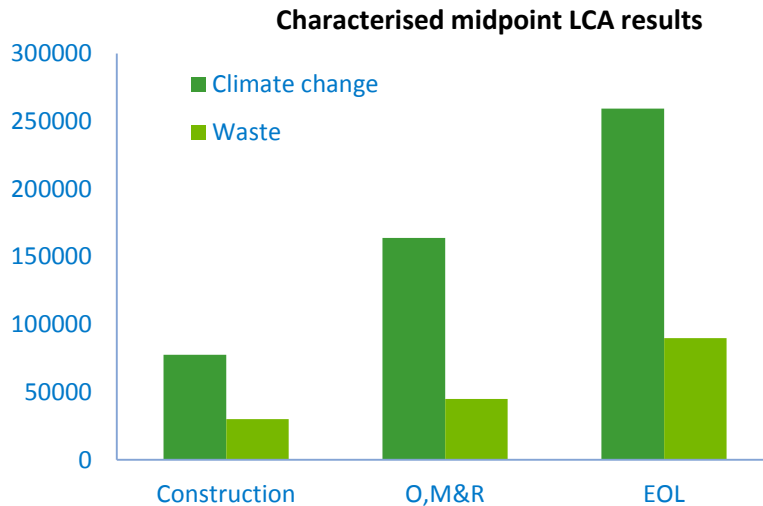
Outputen från LCA analysen bör bland annat omfatta de grundläggande av:

- Totala mängden CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som avgivits under den analyserade tidsperioden och för de undersökta olika strategierna. Figur 31 visar ett illustrativt exempel för hur byggnationen, drift och åtgärd, End Of Life (rivning) på verkar den totala mängden CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som utsläppts för tre olika strategier/alternativ.
- Totala mängden avfall för olika val av strategier. Ett exempel skulle kunna se likadant ut som i Figur 31.
- Den totala mängden avfall och CO<sub>2</sub>-ekvivalenter för de olika faserna under en konstruktions livslängd. Ett illustrativt exempel för en utvald strategi är visat i Figur 32.
- Identifiering av drivkrafterna bakom avfall och CO<sub>2</sub> utsläpp (CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) för de olika faserna under en konstruktions livslängd. Här borde extra noggrannhet beaktas gällande byggnadsmaterialen eftersom att en sådan analys skulle kunna påvisa möjliga fördelar med att använda nya och/eller innovativa byggnadsmaterial.

Det är väldigt viktigt att resultaten från LCA analyser tolkas grundligt och att kopplingen mellan olika valda och undersökta strategier förblir opartisk. I tillägg så ska även LCA analysen följa nationella och internationella standarder och riktlinjer gällande identifiering, hantering och katalogisering av avfall och CO<sub>2</sub> utsläpp.

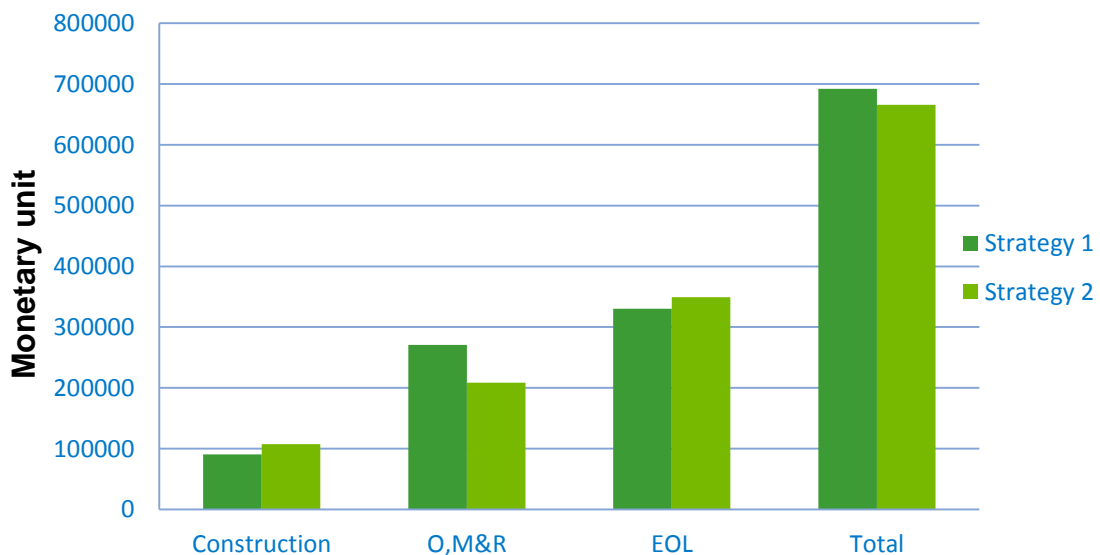


Figur 31. Ekvivalent CO<sub>2</sub> utsläpp vid olika faser för alternative strategier (O – operation, M – Maintenance och R – Repair samt EOL – End of Life), Mainline D5.4 (2013).



Figur 32. Totala mängden CO<sub>2</sub>-ekvivalenter och avfall för en utvald strategi i samma diagram (O – operation, M – Maintenance och R – Repair samt EOL – End of Life), Mainline D5.4 (2013).

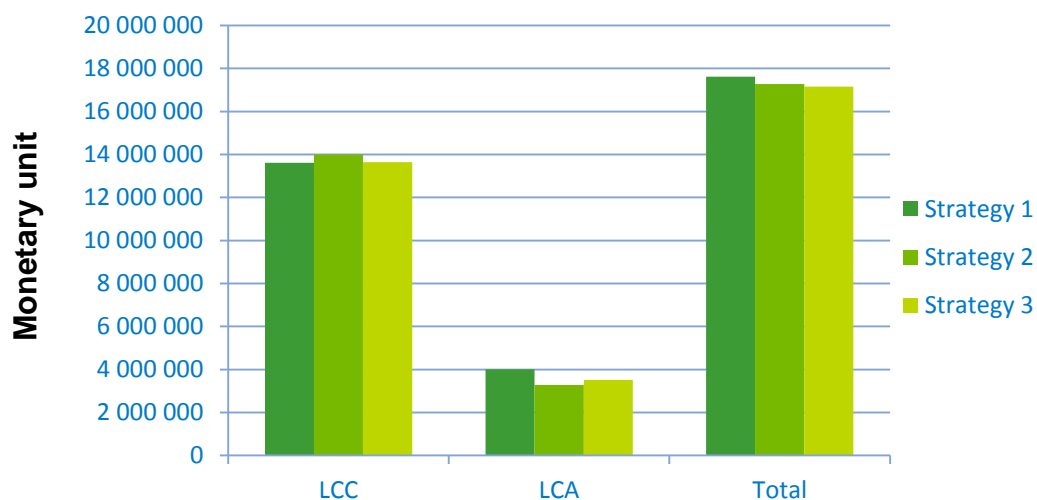
Vid LCA analyser så är resultaten väldigt beroende på vilken typ av metod som tillämpas. Av denna anledning är det klokt att fokusera på ett mindre antal jämförelsevariabler. Att fokusera på de två stora utsläpps posterna avfall och CO<sub>2</sub>-ekvivalenter och inte alls koppla in övriga utsläppsposter är i det här fallet bedömt som ett klokt val. Då både avfall och CO<sub>2</sub> utsläpp idag är belagda med skatter är det därför att få växla om miljöpåverkan till monetära enheter och därför kunna genomföra en förenad analys av LCA och LCC. Figur 33 visar ett illustrativt exempel på en omväxling av LCA till monetära enheter för två olika val av strategier. Dock så bör det förtydligas för beslutsfattare, förvaltare och ägare att det finns andra möjliga kategorier som inte tillämpas vid den här typen av jämförelse så som; klimatförändringar, ozonuttunning, luftföroreningar (PM), strålning, försurning, övergödning etc.



Figur 33. Resultat från livscykelanalys för olika strategier, Mainline D5.4 (2013).

## 6.6 Koppla resultat från LCC och LCA

Miljöpåverkan från LCA kan alltså omväxlas till monetära enheter och sättas in i ramverket för LCC i enlighet med kapitel 6.4. Som beskrevs tidigare så bör resultaten från LCC och LCA först redovisas separat för att om möjligt kunna identifiera drivkrafterna bakom kostnader samt miljöpåverkningar. Sedan kan de kombinerade resultaten visas där LCA analysen omvandlats till monetära enheter, vilket är illustrativt visat i Figur 34 för tre olika fiktiva strategier. Genom att redovisa resultaten på detta sätt så fås en snabb och omfattande överblick över dels resultaten från LCC analysen, dels LCA analysen samt sedan de konverterade och kombinerade totala resultaten angivna i monetära enheter.



Figur 34. Jämförelse av aktualiserade kostnader från LCC och LCA analyser för olika strategier, Mainline D5.4 (2013).

## 7 Slutsats och diskussion

Den första delen av den här rapporten beskriver dels LCC och dels LCA samt de existerande ramverk, standarder och metoder som finns för att inventera, analysera och bedöma resultaten knutna till dessa. Den relativt gedigna litteraturstudien för LCC har alltså genomförts för att identifiera state-of-the-art existerande verktyg för LCC analys samt de nyckelparametrar som hör till dessa analyser. Litteraturstudien visade att det endast finns två internationella standarder för LCC analys och att dessa är väldigt generiska till sin natur. Denna rapport påvisar även att det finns flertalet manualer, handböcker och riktlinjer för hur LCC analyser kan genomföras. Dessa finns redovisade i olika länder, men Sverige har inte någon harmoniserad skrivelse/handbok för detta i samband med byggindustrirelaterade projekt. I tillägg till de existerande handböckerna och riktlinjerna så kan det faktiskt vara så att det finns landsspecifika beslut för hur LCC, LCA och RAMS analyser ska genomföras och redovisas, speciellt för infrastrukturprojekt.

Det finns en hel del mjukvaror för att underlätta de vanligtvis omfattande beräkningarna och analyserna av LCC och LCA. Det finns till och med en del kommersiella mjukvaror för förvaltning inom väg och järnväg, dessa är dock mestadels koncentrerade till Storbritannien och USA. Endast ett fåtal av dessa mjukvaror betraktar både LCC och LCA samtidigt. Vissa mjukvaror betraktar deterministiska värden men det finns även de som betraktar probabilistiska metoder för att utvärdera och analysera resultaten samt identifiera signifikanta variabler. Vissa av de befintliga mjukvarorna kan användas för planering av framtida åtgärder för existerande konstruktioner. Det bör dock noteras att större delen av dessa mjukvarumoduler för planering baseras på erfarenhet från tidigare projekt och beaktar alltså inte den faktiska livslängdsdimensioneringen som tar hänsyn till nedbrytningsmodeller.

Nivån på diskonteringsräntan hade mindre betydelse i de fall tidsramen för analysen är relativt kortfristig. Dock så innebär detta att ju lägre ränteläge desto större avkastning ger de infrastrukturinvesteringar som är på längre sikt och konkurrerar alltså ut de investeringsmedel som skulle ge mer avkastning på kort sikt.

Sett över väldigt långa tidsperioder så kan det vara rimligt att anta att ränteläget är ganska stabilt runt någon viss genomsnittlig nivå.

Vidare så påvisades även ett ramverk eller en metod för att kombinera LCC och LCA analyser för att kunna jämföra kostnaderna och miljöpåverkningarna för olika strategier sett ur ett livscykelperspektiv, kallat LCAT – Life Cycle Analysis Tool. I denna kombinerade metodbeskrivning identifierades följande nyckelparametrar:

- **Generellt**
  - Diskonteringsränta/kalkylränta
  - Studerad tidsperiod
- **Utvärderingsmetod**
  - NPV (nuvärde/net present value) och andra möjliga utvärderingsmetoder
- **Information om konstruktion/konstruktionsdelar**
  - Klassificering av konstruktion och typ av konstruktionselement
  - Tillståndet hos konstruktionen
  - Livslängd
  - Nedbrytningsprofil
  - Databas för inventering av delar

- **Åtgärder**
  - Åtgärdsval
  - Förvaltningskostnader
  - Användarkostnader
  - Andra kostnader
- **Output**
  - Prognos för kostnader i samband med LCC och LCA
  - Deterministisk kontra probabilistisk analys
  - Framtida åtgärder sett ur ett perspektiv för hela livslängden
- **Annat**
  - Integrering av LCC och LCA i LCAT
  - Osäkerheter kopplade till LCA och LCC
  - RAMS
  - Lagar och förordningar
  - Harmoniserad plattform för metod

Den förmodligt bästa metoden för att utvärdera resultaten från LCC analysen bör vara att tillämpa NPV (nuvärde) för att jämföra nuvarande och framtida kostnader, denna metod är även föreslaget att tillämpas i LCAT. Värdet på diskonteringsräntan påverkar resultaten och är därför föreslagen att kunna bestämmas från fall till fall, beroende på den rådande politiska situationen och rekommendationer från respektive lands finansdepartement.

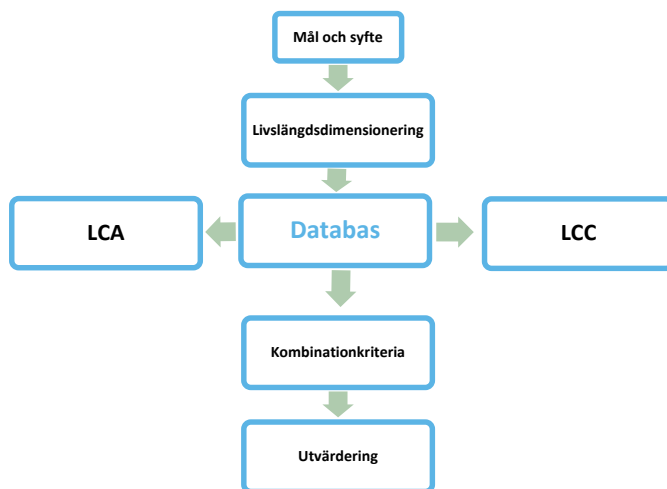
Eftersom att både LCC och LCA analyser innebär relativt komplicerade metoder för att få fram resultat så är det rekommenderat att kostnaderna delas in i förvaltar-, brukar- och miljökostnader, för att säkerställa transparens. Metoden som föreslagits i LCAT är att resultaten från LCC och LCA analyserna beräknas separat och att resultaten från LCA analysen sedan blir omvandlade till monetära enheter genom korrekta omvandlingsfunktioner. Exempel på sådana skulle bygga på kostnaden för CO<sub>2</sub> utsläpp per viktenhet.

Input till LCAT kommer alltså att täcka information om konstruktionen och dess delar, deras tillstånd, nedbrytningsmodeller, åtgärder och deras påverkan på ekonomi och miljö etc. Outputen från LCAT bör alltså täcka de faktiska kostnaderna och tillika de mest signifikanta drivkrafterna bakom kostnaderna samt en drift/underhålls/reparations/uppgraderingsplan baserade på framtida åtgärder. Detta sett ur både ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv. Vidare så är det även rekommenderat att en LCAT omfattar både deterministiska och probabilistiska beräkningsmodeller för både LCC och LCA analyser. Den probabilistiska analysen ställer dock höga krav på tillgängliga data och kan därför i vissa fall, i dagsdato, inte genomföras på grund av bristfällig input och därmed även tillförlitlighet. Slutligen så är det även rekommenderat att de identifierade riskerna i LCAT analysen ställs samman och återknyts till analysens tillförlitlighet.

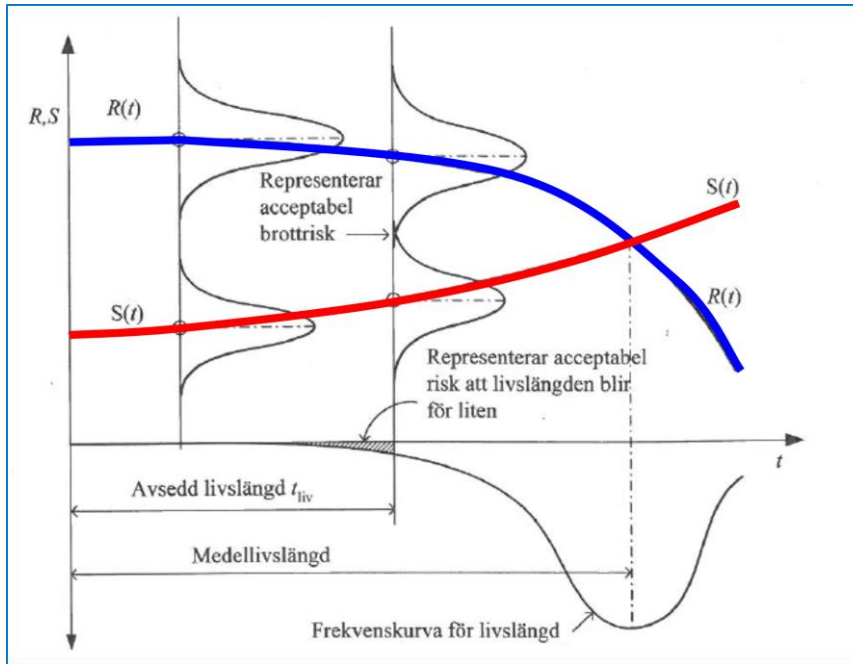
## 8 Framtida forskning

Som det tydligt framgår i denna rapport så bör mer fokus i framtiden läggas på LCA analyserna och dess metod och ramverk. Det finns flertalet mjukvaror som underlättar de oftast väldigt komplicerade processerna att ta fram alla de miljöpåverkande samt de kostnadsdrivande resultaten. Den här rapporten visar på ett verktyg, LCAT, hur man kan kombinera och jämföra resultaten från LCC och LCA analyser, se Figur 35. Nästa steg i utvecklingen är att börja tillämpa detta verktyg på befintliga konstruktioner med kända nedbrytningsmekanismer och på så sätt studera hur olika förvaltningsstrategier kan ge olika resultat på dels investeringar och dels miljöpåverkningar. Eftersom att det finns så pass många faktorer som påverkar resultatet och dessa i sig har en viss stokastisk spridning så bör ett probabilistiskt betraktelsesätt tillämpas.

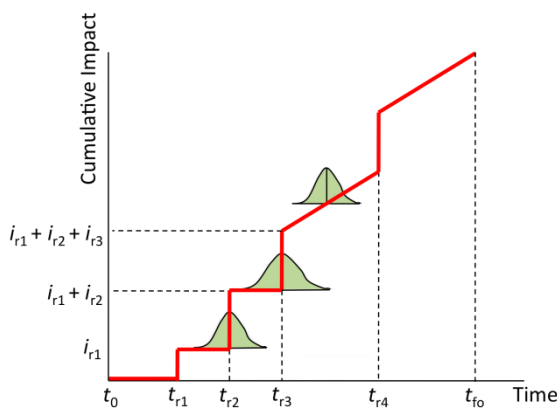
Detta gör sig bäst genom att tillämpa ett synsätt där den ackumulativa påverkan studeras för olika rehabiliterings och uppgraderings aktiviteter för den studerade tidsperioden. I den här aspekten bör även tillståndsbedömningen beaktas och hur denna ska inkluderas i förvaltningsstrategin på det mest effektiva sättet. En möjlig väg att gå är att utnyttja traditionell probabilistisk tillförlitlighet genom gränslinjeteori, se Figur 36. Ett exempel på hur en sådan probabilistisk modell och de statistiska spridningarna för åtgärderna och deras påverkan är redovisade i Figur 37 - Figur 39.



Figur 35. Förenklad processbeskrivning för

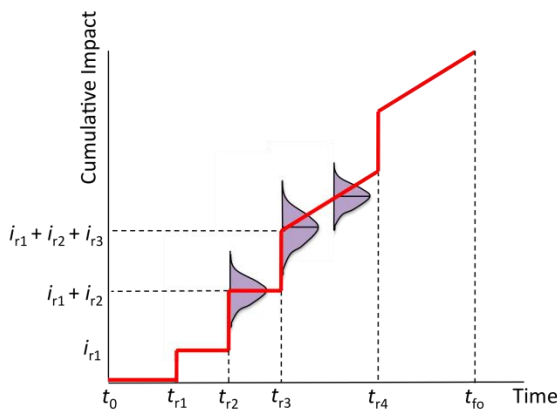


Figur 36. Probabilistisk visualisering av funktionen över tiden för nedbrytning av en konstruktion och krav som ställs samt tillhörande risk, omarbetad efter (Betongrapport, 2007).



- $t_{rj}$  är karakteriserad probabilistiskt, baserat på tiden det tar att nå slutet på ett bruksgränstillstånd före reparationsåtgärd. T.ex. sannolikheten av en spricka bildas.
- Den probabilistiska tiden mellan åtgärder,  $t_{rj+1} - t_{rj}$ , (t.ex. en reparation) är baserad på vald förvaltningsstrategi, tillståndet hos den befintliga konstruktionen, exponeringsmiljö, mekanisk belastning etc.
- Den ackumulativa påverkan (impact, I) av åtgärderna (reparation och/eller uppgradering) kan beskrivas enligt:  $I = \sum_j i_{rj}(t)$

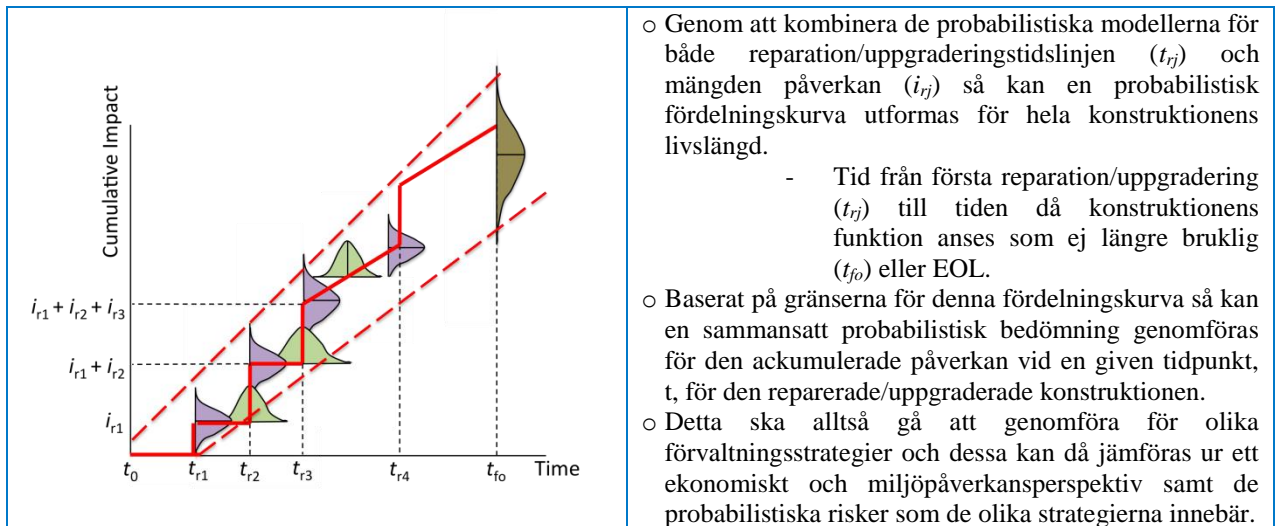
Figur 37. Probabilistisk modell för spridningen kring reparations/uppgraderingsåtgärder



- Den påverkan som associeras med en given reparation/uppgradering,  $i_{rj}$ , kan variera beroende på osäkerheterna kring den aktuella processen för vald reparation eller uppgradering, så som:
  - Osäkerheterna kring att materialet blir levererat i rätt tid
  - Osäkerheter kring hur åtgärderna påverkar brukar, t.ex. tillgänglighet, avbrott etc.

Figur 38. Probabilistisk modell för spridningen kring påverkan av åtgärd vid olika tidpunkter.





- Genom att kombinera de probabilistiska modellerna för både reparation/uppgraderingstidslinjen ( $t_{rj}$ ) och mängden påverkan ( $i_{rj}$ ) så kan en probabilistisk fördelningskurva utformas för hela konstruktionens livslängd.
  - Tid från första reparation/uppgradering ( $t_{rj}$ ) till tiden då konstruktionens funktion anses som ej längre bruklig ( $t_{fo}$ ) eller EOL.
- Baserat på gränserna för denna fördelningskurva så kan en sammansatt probabilistisk bedömning genomföras för den ackumulerade påverkan vid en given tidpunkt,  $t$ , för den reparerade/uppgraderade konstruktionen.
- Detta ska alltså gå att genomföra för olika förvaltningsstrategier och dessa kan då jämföras ur ett ekonomiskt och miljöpåverkansperspektiv samt de probabilistiska risker som de olika strategierna innebär.

Figur 39. Sammansatt probabilistisk modell för hur reparations/uppgraderingsåtgärder vid olika tidpunkter påverkar en konstruktion under dess livslängd.



---

## 9 Referenser

### 9.1 Skriftliga källor

**Andersson, 2012** – Andersson B. "Stålpriser". BE Group, Sundsvall

**Atterhög, 2008** – Atterhög K-F. "Förenklad livscykelanalys (LCA) och livscykelkostnad (LCC) för en kvällstidning". Examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan, Sverige.

**Baumann et al., 2004** – Baumann H., & Tillman A M. "The Hitch Hikers guide to LCA". Studentlitteratur, Lund, Sverige

**Berglund & Ntirabampa, 2009** – Berglund C., & Ntirabampa G-G. "Träbroar för vägtrafik – möjligheter och hinder från några aktörers perspektiv". Examensarbete, Luleå Tekniska Universitet, Sverige.

**Bergström & Bodin** – Bergström N., & Bodin V. "Möjligheter och fördelar med platttrambroar utförda i modern injekteringsbetong och rostfri armering". Examensarbete. Kungliga Tekniska Högskolan.

**Betonghandboken, 1994** - "Material". AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB

**Betongrapport, 2007** - "Vägledning för livslängdsdimensionering av betongkonstruktioner". Betongföreningen. ISSN 1102-3341

**Byfors et al., 2004** - K Fratesi R., Grønvold F., Gudmundsson G., Janz M., Klinghoffer O., Mattila J., Miller J. B & Poulsen E. "Repair and Maintenance of Concrete Structures. Repair Methods – A Review. Norwegian Public Roads Administration. ISBN 82-91228-28-0

**Bygginnovationen, 2010** - "Reparation av betongkonstruktioner". Bygginnovationen Reparation.

**Carolin, 2001** – Carolin A "Strengthening of Concrete Structures with CFRP-Shear Strengthening and Full Scale Applications". Licentiate Thesis 2000:01, Division of Structural Engineering, Luleå tekniska universitet. Luleå

**Colldin, 1991** – Colldin Y. "Isolering av betongbroar provning av polymerbitumenmattor". ISSN-0349-5744

---

**Cremona, 2011** – Cremona C. *”Structural Performance – Probability-based Assessment*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1-84821-236-7.

**During, 2012** – During O “ *Beräkning av trafikantkostnader*”. CBI. Stockholm

**Engdahl, 2012** – Engdahl M. *”Stålpriser*”. Celsa Steel Service AB, Halmstad.

**Eriksson & Kjellholm, 2005** - Eriksson, M., Kjellholm, L. *”Funktionsupprätthållande åtgärder för förspända betongbroar – En fallstudie av Nötesundsbron*”. Examensarbete 2005:7, Chalmers Tekniska Högskola.

**European Standard, EN 1504** – *”A simplified, illustrated guide for all involved in concrete repair*”.

**Fagerlund, 2011** – Fagerlund G. *”Ytreparation av betongkonstruktioner – Metoder, Beständighet*”. Lunds Tekniska Högskola.

**Finansdepartementet, 2013** – Brännlund, R., Holst Volden, G., Hultkrantz, L., Karlström, U., Nyström, J., Owen Jansson, J., Vredin, A. *”Investeringar in blanco – En ESO-rapport om behovet av infrastruktur*”. Rapport till Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi, 2013:15, Elanders Sverige AB, ISBN 978-91-38-23966-7, pp 199.

**Frangopol, 2001** - Frangopol D.M., Kong JS, Gharaibeh E.S. *”Reliability-Based Bridge Management of Highway Bridges*”. J Comput Civil Eng 15: 27-34

**Hardisty, 2010** – Hardisty, P.E. *”Environmental and Economic Sustainability*”, CRC Press, 29 Jun 2010, ISBN-13: 978-1420059489.

**Huvstig, 2000** – Huvstig, A. *”Livscykelkostnader, teorier och användningsområden*”. Seminarium nr:25 Life Cycle Engineering av Vägkonstruktioner, Vägverket Region Väst.

**Levis et al., 2008** - Levin, P., Lilliehorn, P., Sandsten, S. *”Livscykeekonomi vid planering, byggande och förvaltning*”, Boverket

**Lindqvist et al., 1999** - Lindqvist, P.-A., Malmtorp, J., Stille, H., Wååk, O., 1999. *”LCC-analys för järnvägsbanor - En förstudie*”. Banverket

**Mainline D5.4, 2013** – *”Proposed LCAT methodology*”. Deliverable 5.4 of the EC FP7 project MAINLINE, 117pp. Available at [www.mainline-projec.eu](http://www.mainline-projec.eu).

---

**Mattsson, 2006** - Mattsson H-Å. ”*Funktionsentreprenad Brounderhåll, En pilotstudie i Uppsala län*”. Licentiatavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för brobyggnad. TRITA-BKN, ISSN 1103-4270

**Moberg et al., 1999** – Moberg Å., Finnveden G., Johansson J., & Steen P. ”*Miljösystemanalytiska verktyg – En introduktion med koppling till beslutsorganisationer*”. AFR-REPORT 251, Naturvårdsverket, Stockholm, Sverige.

**Naderahmadi, 2009** – Naderahmadi F. ”*Bedömning av underhållsbehov på broar med hjälp av fönsterundersökningar*”. Examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan. ISSN 1103-4297

**Nilsson et al., 1993** – Nilsson S Å., & Persson I., ”*Investeringsbedömning*”. Liber-Hermods, Malmö, Sverige.

**Nist, 1995** – “*Life Cycle Costing Manual for Federal Energy Management Program*” NIST Handbook 135, NIST, 1995

**Olsson, 1993** - Olsson U. ”*Funktionsentreprenad för drift och underhåll av vägar och gator*”. Doktorsavhandling 1993:135 D, Tekniska Högskolan i Luleå, Sverige

**Patra, 2009** – Patra A P., ”Maintenance decision support models for railway infrastructure using RAMS & LCC analyses”. Doktorsavhandling, Luleå Tekniska Universitet. ISSN 1402-1544.

**Pettersson 1996**, - Pettersson K. ”*Olika faktorerers inverkan på kloriddiffusion i Betongkonstruktioner*”, Cement och Betong Institutet, Stockholm, 1996. ISSN 0346-8240 CBI rapport 4:94

**Pousette & Fjellström, 2004** – Pousette A., Fjellström, P-A. ”*Broinspektion – Träbroar*” SP Rapport 2004:41. ISSN: 0284:5172

**Rydh et al., 2002** – Rydh C.J., Lindahl M & Tingström J. ”*Livscykelanalys - En metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*”. Studentlitteratur, Lund, Sverige.

**SBRI, 2012** – “*Sustainable Steel-Composite Bridges in Built Environment*”. Research programme of the research fund for coal and steel. RFSR-CT-2009-00020, 2009-2012.

---

**Schaub, 1990** – Schaub M. ”LCC - kalkyl – Ett sätt att kunna värdera och jämföra olika investerings livstidskostnad”. IVF-resultat 89634, Ord & Forum AB, Uppsala, Sverige.

**Silfwerbrant & Sundquist, 2001**- Silfwerbrant J, Sundquist H. ”Drift, underhåll och reparation av konstbyggnader”, Kungliga Tekniska Högskolan Institutionen för byggkonstruktion,TRITA-BKN. Rapport 53, Brobyggnad utgåva 2 2001, ISSN 1103-4289

**SS-EN ISO 14040** – ”Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur”. Swedish Standards Institute, Stockholm.

**SS-EN ISO 14044** - ” Miljöledning - Livscykelanalys - Krav och vägledning”. Swedish Standards Institute, Stockholm.

**Stripple, 1995** - Stripple, H. ”Livscykelanalys av väg – En modellstudie för inventering”. IVL Rapport B 1210, IVL Institutet för vatten och luftvårdsforskning, Göteborg, Sverige.

**Sund, 1996** - Sund E.K. “Life-cycle cost assessment of road pavements”. Doktorsavhandling 1996:100, Norges naturvetenskapliga universitet, Trondheim, Norge.

**Sundqvist, 2003** - Sundquist, H. ”Byggande, Drift och Underhåll av Järnvägsbanor”. Rapport 57, KTH Bygghälsa, Brobyggnad

**Sveriges Mekanförbund, 1984**. LCC – ”En teknik att påverka totalkostnaden under en produkts livslängd”. Sveriges Mekanförbund, Stockholm, Sverige.

**STAMP, 2007**. “Structures Asset Management Process”. Mouchel Training Presentation Notes, 2007

**STAMP II, 2007**. “Structures Asset Management Process - Update & Review”. Mouchel Presentation Notes, 2007

**Troive , 1998** - Troive, S. ”Structural LCC Design of Concrete Bridges”. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. ISSN: 1103-4270

**Vägverket , 1999**. ”Förstudie till FoU-ramprojekt – Optimala standarder för (bro)”. Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel

---

**Wittenfelt, 2004** - Wittenfelt K. ”Livscykelkostnadsmodeller i generell och praktisk tillämpning – Citytunnelprojektet i Malmö”. Examensarbete, Lunds universitet, Sverige.

**Wååk, 1992** - Wååk, O., 1992, LCC – Ett beslutsverktyg som ger effektivare tekniska utrustningar med lägre totalkostnad, *Systecon*

**UIC, 2010** “Guidelines for the application of asset management in railway infrastructure organization”, UIC, 2010, ISBN: 978-2-7461-1878-2, pp. 16.

## **9.2 Internet källor**

### **Athena, 2013**

Athena Eco-calculator for assemblies: Inner working synopsis – January 2011 edition

<http://www.athenasmi.org>

Hämtat 20 April 2013

### **Batman, 2010**

<https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Startsida.aspx>

Hämtat 1 oktober 2012

### **BE Group, 2012** ” Handbok armering i grunden ”

<http://www.begroup.com/upload/Sweden/Broschyror/BE-Armeringshandboken.pdf>

Hämtat 12 oktober 2012

### **BEES, 2013**

BEES Building for Environment and Economic Sustainability

<http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>

Hämtat 20 april 2013

### **Boverket, 2002** ”Bygga -, bo dialogen”

[http://www.boverket.se/Global/Bygga\\_o\\_forvalta/Dokument/Bygga-Bo-Dialogen/Dokument-lankar/Bakgrund/Arbetsgrupp-Systemval%20och%20upphandling.pdf](http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygga-Bo-Dialogen/Dokument-lankar/Bakgrund/Arbetsgrupp-Systemval%20och%20upphandling.pdf)

Hämtat 4 oktober 2012

**BLCCA, 2003** “Bridge Life Cycle Cost Analysis NCHRP 12-43, U.S.NCHRP” NCHRP Report 483, Bridge Life-Cycle Cost Analysis, 2003

[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rpt\\_483a.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_483a.pdf)

Hämtat 10 april 2013

---

**BridgeLCC 2.0 “User Manual”**, NIST GCR 03-853

<http://www.nist.gov/el/economics/bridgelcc.cfm>

Hämtat 15 april 2013

**Byggnadsmaterial, 2012**

<http://www.ts.mah.se/utbild/by7390/Bygg/Byggnadsmaterialkap12.pdf>

Hämtat 15 juni 2012

**Landfill, 2013**

Customs Landfill tax guidance, UK HM Revenue and Customs

<http://customs.hmrc.gov.uk/>

Hämtat 10 oktober 2013

**DECC, 2011a** “*Valuation of energy use and greenhouse gas emissions for appraisal and evaluation*”, U.K. Department of Energy & Climate Change and

HM Treasury, 2011, <http://www.decc.gov.uk/>

Hämtat 13 mars 2013

**DECC, 2011b** “*A brief guide to the carbon valuation methodology for UK policy appraisal*”, U.K. Department of Energy and Climate Change, 2011

<http://www.decc.gov.uk/>

Hämtat 10 oktober 2013

**DECC, 2009** “*Carbon valuation in UK policy appraisal: A revised approach, Climate Change Economics*”, U.K. Department of Energy and Climate

Change, 2009, <http://www.decc.gov.uk/>

Hämtat 10 oktober 2013

**ENVEST 2, 2013**

<http://envestv2.bre.co.uk/help>

Hämtat 20 april 2013

**ETSI, project Stage 1, 2007**

[http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI\\_Stage1.pdf](http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI_Stage1.pdf)

Hämtat 13 mars 2013

**ETSI, project Stage 2, 2009**

[http://bridge.aalto.fi/fi/Etsiwww2/PDF/ETSI\\_Stage2.pdf](http://bridge.aalto.fi/fi/Etsiwww2/PDF/ETSI_Stage2.pdf)

Hämtat 13 mars 2013

**The Green Book, 2011** “*Appraisal and Evaluation in Central Government*”, UK Govt, HM Treasury, 2011,

[http://www.hm-treasury.gov.uk/data\\_greenbook\\_index.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/data_greenbook_index.htm)



---

Hämtat 13 mars 2013

**GaBi, 2013**

GaBi Education: Handbook of life cycle assessment – September 2010 edition  
(<http://www.gabi-software.com/uk-ireland/index/>)

Hämtat 20 april 2013

**HEATCO, 2006** “*Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*”, Deliverables 1- 5, FP6-2002-SSP-1/502481, 2006

<http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>

Hämtat 10 oktober 2013

**IMPACT, 2008** “Internalisation Measures and Policies for All External Cost of Transport”: “*Handbook on estimation of external costs in the transport sector*”, CE Delft, 2008,

[http://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/doc/2008\\_costs\\_handbook.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/doc/2008_costs_handbook.pdf)

Hämtat 10 oktober 2013

**INNOTRACK, 2010** “*Guideline for LCC and RAMS Analysis*” (deliverables D6.1.1 - 6.5.4) <http://www.innotrack.eu/>

Hämtat 5 april 2013

**InfraCaLCC v2.0** “Lifecycle - Costing of infrastructure in railway systems”

[www.infracalcc.de](http://www.infracalcc.de)

Hämtat 6 oktober 2012

**IVF, 2002** “*Hur kan produkternas miljöpåverkan mätas?*”

<http://extra.ivf.se/lcae/LCA.htm>

Hämtat 6 oktober 2012

**Langdon, 2007** “*Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: A common methodology*”, Davis Langdon, 2007.

[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/files/compet/life-cycle-costing\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/files/compet/life-cycle-costing_en.htm)

Hämtat 10 april 2013

**LIFECON, 2003** “*Lifecon project*”

<http://lifecon.vtt.fi/deliverables.htm>

Hämtat 20 januari 2013

**LIFETIME, 2005** “*Lifetime Engineering of buildings and civil infrastructure*”

<http://lifetime.vtt.fi/>

---

Hämtat 20 januari 2013

**MAINLINE, 2013** ”Maintenance, renewal and Improvement of rail transport infrastructure to reduce Economic and environmental impacts”.

<http://www.mainline-project.eu/>

Hämtat 20 oktober 2013

**RealCost 2.5** “*RealCost a Life Cycle Cost Analysis Software*”

<http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/lcca.cfm>

**SAMPT, 2012** “*Structures Asset Management Planning Toolkit (SAMPT)*”

<http://www.cipfa.org/->

[/media/files/policy%20and%20guidance/local%20authority%20transport%20infrastructure/sampt\\_user\\_guide\\_v0101.pdf](http://www.cipfa.org/-/media/files/policy%20and%20guidance/local%20authority%20transport%20infrastructure/sampt_user_guide_v0101.pdf)

Hämtat april 12 2013

**SIKA, 2005** ”*Kalkylvärden och kalkylmetoder*”

[http://www.trafikverket.se/PageFiles/51331/asek\\_3\\_5\\_kalkylv%C3%A4rden\\_och\\_kalkylmetoder.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/51331/asek_3_5_kalkylv%C3%A4rden_och_kalkylmetoder.pdf)

Hämtat 27 juni 2012

**Sima-Pro 7, 2013**

Sima-Pro 7: Introduction into LCA – November 2010 edition

<http://www.simapro.co.uk/>

Hämtat 20 april 2013

**Swerock, 2012** ”*Miljösmart byggande*”

[http://www.swerock.se/Global/Swerock/Broschyror/Miljosmart\\_byggande.pdf](http://www.swerock.se/Global/Swerock/Broschyror/Miljosmart_byggande.pdf)

Hämtat 25 juni 2012

---

**TEAM, 2013**

TEAM Tool for Environmental Analysis and Management: User's Manual – 2004 edition

[https://www.ecobilan.com/uk\\_team03.php](https://www.ecobilan.com/uk_team03.php)

Hämtat 20 april 2013

**Trafikverket, 2012** ” Förstudie livscykelanalys i planering och projektering”

[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6844/2012\\_182\\_forstudie\\_livscykelanalys\\_i\\_planering\\_och\\_projektering.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6844/2012_182_forstudie_livscykelanalys_i_planering_och_projektering.pdf)

Hämtat 4 oktober 2012

**Träguiden, 2012** ”LCA-Metodik”

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=973>

Hämtat 3 oktober 2012

**Urban Track, 2010** “Urban Rail Infrastructure in a harmonised Europe”, EU 6<sup>th</sup> Framework Programme

[www.urbantrack.eu](http://www.urbantrack.eu)

Hämtat 5 april 2013

**VTISM, 2010** – “VTISM Stage 2 Summary Report”. Joint works of UK RSSB, Network Rail, Serco, DeltaRail, Manchester Metropolitan University and ATOC.

[http://www.rssb.co.uk/SiteCollectionDocuments/pdf/reports/Research/T792\\_S2\\_rpt\\_final.pdf](http://www.rssb.co.uk/SiteCollectionDocuments/pdf/reports/Research/T792_S2_rpt_final.pdf)

Hämtat 20 april 2013

**WISARD, 2013**

WISARD Waste Integrated Assessment for Recovery and Disposal: Reference Guide – March 2012 edition

[https://www.ecobilan.com/uk\\_wisard.php](https://www.ecobilan.com/uk_wisard.php)

Hämtat 20 April 2013

### 9.3 Muntliga källor

**Kieksi, 2012** - Kieksi K. Trafikverket Sektionschef Nord/Mitt, Underhåll. Telefonintervju, 25 oktober 2012

### 9.4 Outgivet material

**Blanksvärd, 2010** – Blanksvärd T. “Skadeexempel – Funktion och nedbrytning”. Sto Scandinavia