

Förstudie till FoU-ramprojekt

LCC-modeller (bro)

Förord

Föreliggande förstudie "LCC-modeller (bro)" behandlar utformning av modeller för att värdera de ekonomiska effekterna av olika val som görs i ett projekts tidigaste skeden. Denna förstudie och förstudien "Optimala nya broar" behandlar delvis samma frågor och har därför pågått samtidigt.

Borlänge 1999-10-04

Robert Ronnebrant

Susanne Troive

Innehåll

Förord.....	2
Innehåll.....	3
Sammanfattning	4
1 Introduktion.....	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte	5
2 LCC-analyser för broar	7
2.1 Introduktion.....	7
2.2 LCC-modeller för broar	10
2.3 Tillämpningar.....	12
2.4 Problem - möjligheter	14
3 Pågående och avslutad FoU	16
3.1 Allmänt	16
3.2 FoU i Sverige	16
3.3 FoU i Europa	17
3.4 FoU, övriga världen	18
3.5 Angränsande förstudier.....	18
4 Behov av FoU	19
4.1 Allmänt	19
4.2 Utveckling av system för LCC-analys av broar.....	19
4.3 Ekonomiska aspekter på LCC-modeller för broar	20
4.4 Värdering av flexibilitet och ändrade krav i LCC-modeller för broar	20
4.5 Värdering av miljö- och trafiksäkerhetsaspekter i LCC-modeller för bro.....	21
4.6 Nedbrytningsmodeller för broar.....	21
5 Referenser	22

Sammanfattning

Denna förstudie omfattar en övergripande kunskapsinventering inom ramprojektet ”LCC-modeller (bro)”. Behovet av FoU har i stora drag behandlats i kapitel 4. På grund av ramprojektets relativa nyhet har inga konkreta delprojekt föreslagits. Ramprojektet föreslås öppnas för ansökningar.

Efterfrågan på metodiker för att analysera och värdera alternativa broutförningar har ökat. Möjligheten att använda LCC-modeller, livscykelkostnadsmodeller, för broar har rönt allt större intresse under senare år, och att använda LCC-analys som ett av flera underlag för beslut har nu accepterats av flera länder. LCC-analysen medför att alternativa broutförningar redan i ett tidigt skede kan kostnadsbedömas på livslängdsbasis. På så sätt beaktas inte bara investeringskostnaderna utan även framtida kostnader, t. ex. underhålls- och reparationskostnader.

De största hindren för att utföra LCC-analys för broar har varit bristen på enhetliga accepterade modeller och bristen på tillgängliga och tillförlitliga data över kostnader och livslängder. Andra svårigheter gäller hur osäkerheter behandlas, t.ex. för tidig rivning, extrema händelser, framtida nytta osv.

Den allmänna uppfattningen går mot att trafikantkostnader bör beaktas i LCC-modellerna. På det viset beaktas störningar i trafikantarbetet orsakat av underhåll och reparationer. Önskemål om att även inkludera miljö- och trafiksäkerhetsaspekter har efterfrågats. Det saknas ännu kunskap för att i nuläget inkludera dessa aspekter i LCC-modellerna.

Denna förstudie har bedrivits i nära samarbete med förstudien för ramprojektet ”Optimala nya broar”. Delar av resultatet från det ramprojektet förväntas utgöra underlag för utveckling av LCC-modeller för broar.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Efterfrågan på modeller och verktyg för att analysera och värdera alternativa broutförningar har ökat. Möjligheten att använda LCC-modeller, livscykelkostnadsmodeller, för broar har rönt allt större intresse under senare år, och att använda LCC-analys som ett av flera underlag för beslut har nu accepterats av flera länder. LCC-analysen medför att alternativa broutförningar redan i ett tidigt skede kan kostnadsbedömas på livslängdsbasis. På så sätt beaktas inte bara investeringskostnaderna utan även de framtida kostnaderna för underhåll, reparation, etc.

Analyser av livstidskostnader, inkluderande trafikant-, miljö- och trafik-säkerhetskostnader, vid projektering, upphandling och byggande av broar är sällsynta för broobjekt i dagsläget. Befintliga samhällsekonomiska modeller är inte anpassade för broar. Enligt Vägverkets nationella plan för vägtransportsystemet ska den samhällsekonomiska lönsamheten vara vägledande för investeringsbeslut i vägtransportsystemet, *Vägverket, 1999*. Detta innebär att även broinvesteringar ska bedömas ur samhälls-ekonomisk synvinkel.

LCC-modeller bör utformas så att de kan användas i ett broprojekts olika skeden, dvs. i planeringsskedet, projekteringsskedet, upphandlingsskedet, genomförandeskedet samt förvaltningskedet. Beroende på vilka faktorer som i de olika skedena har störst påverkan på de framtida kostnaderna kan LCC-modellernas omfattning eventuellt anpassas därefter för att minska komplexiteten i kalkylerandet.

En förutsättning för modellernas användbarhet är tillgången till indata. Genom att utveckla LCC-modeller anpassade för broar tydliggörs vilken information som erfordras samt omfattningen av denna.

1.2 Syfte

Med hjälp av LCC-modeller skapas förutsättningar för ett bättre utnyttjande av de samhällsresurser som används till våra broar. Med utvecklade modeller förbättras möjligheten att bygga kostnadseffektiva konstruktioner vad gäller framkomlighet, trafiksäkerhet och miljö. Förstudien till ramprojektet LCC-modeller (bro) har föreslagits i Vägverkets FoU-plan för väghållning 1998-2000.

Utveckling av LCC-modeller, livscykelkostnadsmodeller, innebär att effekterna av val som görs i ett projekts tidigaste skeden kan värderas ekonomiskt, på kort och lång sikt. LCC-modellerna kan fungera som ett underlag för bedömning av kostnadseffektivitet för olika brotyper, broutförningar, materialval, alternativa standarder i ATB-er etc. Framtida kostnader, exempelvis kostnader för framtida reparationer och underhåll,

beaktas i ett tidigt skede. Genom att inkludera trafikantkostnader i modellen kan samhällsnyttan beaktas.

En förutsättning för LCC-modellerna är underlag i form av effektsamband, kostnader och livslängder för olika utformningar, vad gäller helhetsbild och detaljer, tidsåtgång för reparationer et cetera. Arbetet med denna förstudie har därför pågått samtidigt med förstudien för ramprojektet ”Optimala nya broar”.

Syftet med förstudien är att ge förslag på konkreta delprojekt inom ramprojektet. Dessa ska också prioriteras, bl.a. baserat på en översiktlig lönsamhetskalkyl. Förstudierapporten kommer att ligga till grund för ansökningar från högskolor etc. om anslag för genomförande av identifierade delprojekt. Ramprojektet förväntas i första hand ge positiva effekter på målen effektivitet och vägkapital, men även på målen tillgänglighet och miljö.

På grund av ramprojektets relativa nyhet har dock inga konkreta delprojekt föreslagits. Behovet av FoU har i stora drag behandlats som delområden i kapitel 4. Delområdena har prioriterats. Inga till Vägverket inkomna ansökningar kan direkt hänföras till detta ramprojekt. Ramprojektet föreslås därför öppnas för ansökningar.

2 LCC-analyser för broar

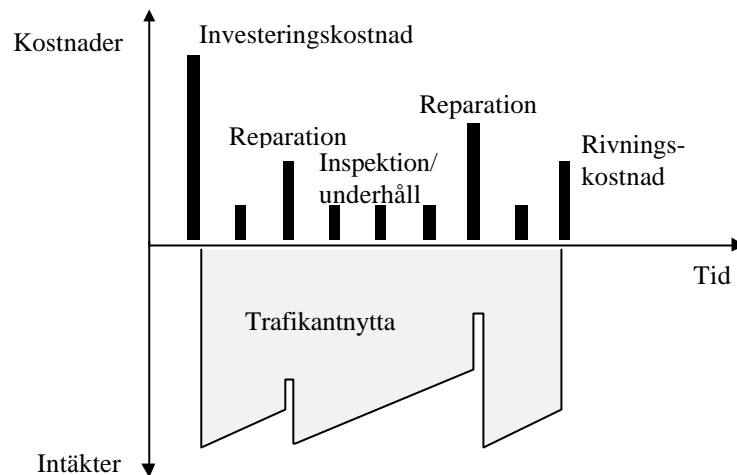
2.1 Introduktion

Investeringar i vägprojekt är, enkelt uttryckt, befogade när trafikantnyttan överstiger kostnaderna. Eftersom den mängd åtgärder som uppfyller det samhällsekonomiska lönsamhetskriteriet i allmänhet överskrider de tillgängliga medlen, måste åtgärderna prioriteras. Detta görs med hjälp av Cost-Benefit Analysis, CBA. För att samhällsnyttan för olika projekt ska kunna jämföras objektivt bör störningar på prissättningen pga. skatter, subventioner osv., rensas bort från kalkylen, *Robinson et al, 1998*.

CBA syftar till att fördela samhällets resurser så att största möjliga nettonytta uppstår. För vägtransportsystemet innebär det att åtgärder på vägsträckningarna behandlas utifrån samhällsekonomiska värderingar. Broarna på dessa vägsträckningar ska inte utgöra hinder för trafiken. Broarna ska uppfylla samhällets krav till så låg kostnad som möjligt för samhället, det vill säga väghållare, trafikanter och tredje man. I detta syfte är LCC-analyser till hjälp.

LCC-begreppet, livscykelkostnadsbegreppet, innebär att samtliga kostnader och intäkter utefter ett projekts livslängd beaktas och diskonteras till en och samma tidpunkt. Livscykelkonceptet är inte nytt, men det har i mycket liten utsträckning tillämpats på broar.

Även om det grundläggande konceptet för LCC-analyser är enkelt, innebär tillämpningen på broar att en hel del förenklingar av verkligheten måste göras. Exempelvis genererar i allmänhet en bro inga direkta intäkter, utan intäktssidan utgörs ofta enbart av trafikantnyttan. I Figur 1 illustreras schematiskt exempel på kostnader och intäkter utefter livscykeln. Vanligtvis räknas inte trafikantnyttan som en intäkt i LCC-analysen, men däremot belastas kalkylen med inskränkningar i trafikantnyttan i form av en trafikantkostnad.



Figur 1. Exempel på kostnader och intäkter, nyttor, utefter en bros livscykel.

Kostnader och intäkter faller ut vid olika tidpunkter och diskonteras med en kalkylränta, diskonteringsränta. För att beräkna livslängdskostnaderna för en konstruktion, måste alla kostnader och intäkter diskonteras till nuvärde och sedan summeras till ett enstaka LCC-värde. Detta kan uttryckas med LCC-ekvationen:

$$LCC = \sum_{n=0}^L \frac{B_n}{(1+r)^n} \quad (3.1)$$

där LCC är nuvärdet av livscykelkostnaden,

n är det avsedda året,

B_n är summan av alla kostnader och intäkter år n ,

r är kalkylräntan och

L är livslängden.

För att kunna jämföra objekt utan direkta intäkter och/eller med olika livslängder, kan det vara lämpligt att istället jämföra annuitetskostnaden. Annuitetskostnaden är nuvärdet multiplicerat med annuitetsfaktorn:

$$A = LCC \cdot F_A = LCC \cdot \frac{r}{1 - (1+r)^{-L}} \quad (3.2)$$

där A är annuitetskostnaden och

F_A är annuitetsfaktorn.

Kalkylräntan rensas vanligtvis från inflation och utgör då en så kallad real ränta. Om prisutvecklingen för olika typer av kostnader skiljer sig åt, bör även detta tas hänsyn till. Att välja lämplig kalkylränta för olika typer av offentliga investeringar kan vara en komplicerad procedur där flera

osäkra aspekter bör beaktas. I vissa länder finns därför en centralt rekommenderad kalkylränta för olika typer av investeringar. I Sverige ska en real kalkylränta på 4% användas för samhällsekonomiska kalkyler inom transportsektorn, *SIKA, 1999*.

LCC-modeller kan användas i en eller flera av väghållningsprocessens olika faser:

- Planering
- Projektering
- Upphandling
- Förvaltning

I planeringsstadiet, då väginvesteringar prioriteras baserat på CBA, beräknas brokostnaderna vanligtvis efter en schablonmetod, oftast som en fast kostnad per m². Genom att skapa förutsättningar för att på ett tidigt stadium välja optimal broformning baserat på livscykelkostnad, kan brokostnaderna nyanseras beroende på olika faktorer såsom brolägg, markförhållanden, totallängd osv. Genom att de olika alternativen kan kostnadsbestämmas, möjliggörs ekonomisk värdering av andra aspekter, exempelvis speciella miljöhänsyn

Under projekteringskedet är möjligheten att påverka inte bara framtida egenskaper utan även kostnadsbilden som störst. Användandet av LCC-modeller möjliggör samhällsekonomisk broformning. Genom att basera broinvesteringar med avseende på brotyp, detaljlösningar, materialval, underhållsbehov etc., på livstidskostnader, förbättras möjligheten att bygga kostnadseffektiva broar för samhället.

I upphandlingsskedet ställs olika anbud mot varandra, och med utvecklade LCC-modeller kan dessa bedömas efter livscykelkostnad istället för efter initiell investeringskostnad. En förutsättning för detta är upphandlingsmodeller som beaktar livscykelkostnaden, och där kontraktsumman kan regleras. Behovet av verifieringsmetoder för att verifiera att livscykelkostnaden har beräknats på rätt grunder, och uppföljningsmodeller för att bedöma den kvarvarande livslängden vid det tillfälle då ekonomisk ersättning inte längre är möjlig, kan konstateras. Broars livscykelkostnad beror, förutom på konstruktionsutformning, på brons ursprungskvalitet vilken i sin tur är strängt beroende av kvalitetsmedvetandet på byggarbetsplatsen och av yttre förutsättningar som väderleksförhållanden osv. Själva byggskedet är mycket viktigt för en konstruktions förutsättningar att motstå nedbrytning av olika slag. Det vore av stor vikt om inverkan på livscykelkostnaden pga. sådana omständigheter kunde verifieras. En del av dessa frågeställningar behandlas i en förstudie till kommande ramprojekt "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper".

Förvaltningsskedet är förmodligen det skede där användandet av LCC-analyser har kommit längst, jfr. avsnitt 2.3. En av anledningarna är att resurserna oftast är begränsade vilket skapar ett behov av kostnadsoptimala

lösningar. LCC-analyser har bl.a. genomförts för olika beläggningssystem för väg och målningsystem för stål.

2.2 LCC-modeller för broar

Trenden mot att värdera infrastrukturinvesteringar i livslängdskostnadstermer, LCC, istället för att enbart betrakta den omedelbara investeringskostnaden utgör ett värdefullt utvecklingssteg inom byggande och förvaltning av infrastrukturkonstruktioner, jfr. t. ex. *Smith och Obaide, 1993*, och *Chang och Shinozuka, 1996*. Metoden är ännu inte allmänt använd, men kan möjliggöra kostnadseffektivitet vid broutformning och brodimensionering. Användandet av LCC-modeller kan också medföra att förebyggande underhåll och andra lågkostnadsalternativ får ökad uppmärksamhet, *Markow, 1995*.

LCC-analys bör inte ses som en exakt vetenskap utan som ett hjälpmedel vid utformning av konstruktioner, *Leeming, 1993*. Genom att kalkylera livscykelkostnader för olika alternativ ökar medvetenheten om proportionerna mellan olika typer av kostnader. LCC-analyserna ger inte korrekta resultat bl.a. eftersom de baseras på bedömningar om framtiden. Resultatet från LCC-analysen bör därför användas som underlag för beslut och bör vägas samman med andra aspekter, exempelvis miljöfrågor och estetik.

Utvecklingen av LCC-analysen har skett i olika steg. Enligt *Robinson et al, 1998*, kan tre generationer av ekonomiska system för beslutsunderlag skönjas:

- 1:a generationen – ”Investeringskostnad”. Beslut prioriteras baserat på direkta kostnader för åtgärder, investeringskostnader
- 2:a generationen – ”LCC kommersiella modeller”. Beslut baseras på direkta och framtida kostnader som drabbar väghållaren
- 3:e generationen – ”LCC trafikantmodeller”. Beslut baseras på livscykelkostnader där hänsyn tas till både väghållarens och trafikanternas kostnader

I framtiden kan vi komma att se ytterligare utveckling av modellerna så att även frågor angående trafiksäkerhet, miljö, och estetik kan beaktas i analysen. De merkostnaderna som uppstår då sådana frågor beaktas kan delas upp i dolda (förseningskostnader, minskade intäkter för näringsidkare, förlorade skattepengar etc.) eller sociala (bullerkontroll, vibrationer, luftföroreningar etc.), *Arditi och Messiha, 1999*.

Enligt den nationella planen för vägtransportssystemet, *Vägverket, 1999*, ska den samhällsekonomiska lönsamheten vara vägledande för investeringsbeslut, även om andra kriterier ibland måste användas. Detta innebär bl.a. att trafikantkostnaden bör beaktas. Trafikantkostnaderna kommer att väga tungt för åtgärder som stör trafiken på hårt trafikerade broar eller broar över hårt trafikerade vägar. Hur trafikantkostnaderna ska värderas i

LCC-modeller för broar är fortfarande något oklart, men att trafikantkostnaderna bör ingå i LCC-analysen tycks de flesta vara överens om, jfr. t. ex. *Burley och Rigden, 1997, Ehlen, 1997, och Hawk, 1998*. Kostnader för tredje man, såsom kringboende, estetik m.m., beaktas vanligtvis ännu inte i LCC-analysen.

I *Burley och Rigden, 1997*, och i *Vassie, 1997*, hävdas att då trafikantkostnaderna beräknas med datorprogrammet QUADRO vilket används i Storbritannien, är trafikantkostnaderna små för låga ÅDT men vid cirka 20 000 fordon ökar kostnaderna kraftigt. I Sverige beräknas trafikantkostnader för CBA-analys enligt Vägverkets rapportserie om objektsanalys inför planeringen 1991-2000, *Vägverket, 1989*. Värderingarna revideras allteftersom, jfr. *Vägverket, 1996*. Trafikantkostnader i samhälls-ekonomiska modeller för väginvesteringar innefattar normalt fordonskostnader, tidskostnader, olyckskostnader och miljökostnader. Trafiksituationen före respektive efter en åtgärd beaktas, medan inskränkningen i trafikantnyttan under själva åtgärden försummas. Likaså försummas trafikantkostnader vid reparations- och renoveringsarbeten.

Genomförandet av en LCC-analys innebär att olika slags ställningstaganden måste göras. Val av modeller samt indata till modellerna, påverkar i hög grad kvaliteten på resultatet av LCC-analysen. Därför är det viktigt att underlag tas fram så att LCC-analysen återspeglar de verkliga förutsättningarna i tillräckligt hög grad jfr. t. ex. *Leeming, 1993*. I *Arditi och Messiha, 1999*, betonas vikten av riktlinjer för LCC-analyserna. Dessa riktlinjer bör bl.a. omfatta räntenivåer, analysperiodens längd, vilka typer av kostnader som ska beaktas, indelningen av dem och hur de ska beräknas. Indelningen av de kostnader och intäkter som faller ut under en konstruktions livslängd kan göras på flera olika sätt, jfr. t. ex. indelningen i *Troive, 1998*, eller i *Chang och Shinozuka, 1996*, där kostnaderna delas in i två huvudgrupper; planerade och icke planerade.

Livslängden kan behandlas på flera sätt. Resultatet av en undersökning i fem OECD-länder visade att det i allmänhet inte var den tekniska livslängden som orsakade utrivning av broar utan att bron inte uppfyllde de funktionella kraven som bärförmåga, geometri osv. eftersom dessa har ändrats genom åren, *OECD, 1992*. För att kunna möta dessa ändrade krav krävs flexibilitet hos broarna.

En studie av broars verkliga livslängd, *Racutanu, 1997*, visar också på att det inte är bron tekniska livslängd som tar slut, utan bron beståndsdelar som förlorar sin tänkta funktion och måste repareras eller bytas ut. De beståndsdelar som ingår i en bro kan dimensioneras för att vara beständiga under hela bron livslängd, med eller utan underhåll och reparationer, eller för att bytas ut med ett visst tidsintervall, jämför *Schmalz och Stiemer, 1995*. Konsekvenserna av hur livslängdsfrågan löses kan värderas ekonomiskt i LCC-analysen. I och med att trafikantkostnaden ingår i LCC-analysen, beaktas även de trafikstörningar som uppstår exempelvis vid utbyte av delar eller pga. reparations- och underhållsåtgärder.

LCC-analysen fungerar enbart som en modell för en typiserad bro eller brodel under vissa förutsättningar. Utfallet för en enskild bro eller brodel kan därför skilja sig mer eller mindre från typfallet. Med en känslighetsanalys kan de parametrar som har störst betydelse för livscykelkostnaden identifieras och tillägnas större noggrannhet. Genom att använda sig av stokastiska värden istället för deterministiska på de ingående parametrarna, dvs. beakta spridningen på de enskilda parametrarna, samt behandla inträffandet av olika händelser sannolighetsteoretiskt, kan detta delvis beaktas. Om osäkerheten i analysen hanteras med riskanalys, kan även den statistiska spridningen på livscykelkostnaden fås, *Vassie, 1997*.

Många av de kostnader som våra broar belastas med orsakas inte av en naturlig variation på de ingående parametrarna, utan av olyckor, naturkatastrofer, grova fel osv. Risken för att grova fel ska uppstå kan variera beroende på flera parametrar, men bör i största möjliga utsträckning identifieras och undvikas. Risken för att en oregelbunden kostnad ska uppstå kan beaktas genom att multiplicera kostnaden för varje åtgärd med en sannolikhetsfaktor för att denna situation ska uppstå.

Kanske kan en konstruktions flexibilitet beaktas på liknande sätt. En flexibel konstruktion som mot en relativt liten kostnad kan anpassas efter ändrade krav, får då en låg kostnadspost jämfört med en annan konstruktion som kanske t.o.m. måste bytas ut för att möta de ändrade kraven. Sannolikheten för att ett krav ska ändras kan uppskattas och risken kan vägas in i kostnadsbilden.

2.3 Tillämpningar

Forskningen inom konstruktion har av tradition varit skild från långsiktig samhällsekonomi. Inom forskningen har konstruktionsoptimering framförallt använts för att minimera vikt eller volym. Få vetenskapliga artiklar handlar om kostnadsoptimering av konstruktioner, jfr. t. ex. *Sarma och Adeli, 1998*. I och med att underhålls- och reparationskostnaderna har uppmärksammats på senare år har regler införts för säkerställande av beständighet. Dessa har vanligtvis införts som detaljkrav. När det gäller forskning om de långsiktiga ekonomiska konsekvenserna av beständighetsforskningen är mycket litet gjort. I *Siemes et al, 1985a och 1985b*, kopplas dock ekonomi till beständighet med ett sannolighetsteoretiskt synsätt. I den förra exemplifieras livslängdsberäkningar för olika utformningar av en balkongplatta i betong. Den senare är mer omfattande men behandlar samma tema.

Det har saknats ett allmänt accepterad metodik för att bedöma de långsiktiga ekonomiska konsekvenserna av broformning i dess vidaste begrepp. Under början av 1990-talet har LCC-konceptets användning för broar debatterats. Dess användbarhet har ifrågasatts av flera författare, t. ex. *Veshosky och Beidleman, 1992*. Framförallt har broars långa livslängder i kombination med höga räntor använts som argument. Andra vanliga i litteraturen angivna nackdelar med livscykelkostnadsanalys har

även varit svårigheten att kvantifiera trafikantkostnader och kostnader för reparation och återställande av konstruktioner efter olyckor och naturkatastrofer, och frågor rörande behandlingen av budgetrestriktioner och uppskjutande av reparations- och underhållsåtgärder, jfr. t. ex. *Arditi och Messiha, 1996, Chang och Shinozuka, 1996, Hawk, 1998, Leeming, 1993* och *Novick, 1990*. Trots detta har LCC-konceptet vunnit allt större gehör. Under senare delen av 1990-talet har alltfler artiklar publicerats där LCC-analys har använts för att jämföra olika alternativ. LCC-modeller har framförallt använts som underlag för beslut angående underhållsåtgärder för befintliga broar, *Purvis et al, 1994*, på beläggningsidan och för val av rostskyddsåtgärder.

Utvecklare av nya broformningar, material eller materialkvaliteter har särskilt efterfrågat en metodik för att värdera sina innovationer jämfört med de traditionella, varför LCC-konceptet har välkomnats. I *Leeming, 1993*, har nytan med LCC-analys exemplifierats med en jämförelse mellan livscykelkostnaden för en betongbro och för en stålbro med betongfarbana.

Vidareutvecklingen av LCC-kalkylen att även innefatta trafikantkostnader har ökat acceptansen ytterligare, och fler exempel på genomförda analyser har publicerats. En fallstudie för jämförelse av livscykelkostnader mellan brodäck av fiberarmerade polymerer och betong har t. ex. genomförts av *Ehlen och Marshall, 1996*. Trafikantkostnader och utvecklingskostnader har beaktats, och i LCC-analysen ingår även investeringskostnad, underhålls- och reparationskostnad och rivningskostnad. *Burley och Rigden, 1997*, har gjort en LCC-jämförelse mellan en genomsnittlig betong- respektive samverkans bro. Livscykelkostnaden har jämförts för olika ÅDT och olika kalkylräntor. Resultatet visade bl.a. att vid ÅDT mindre än 20 000 fordon har trafikantkostnaden mycket liten inverkan på livscykelkostnaden. Resultatet beror dock på hur trafikantkostnaden beräknas.

I förvaltningsskedet använder Vägverket i SAFE BRO en typ av livscykelkostnadsmodell för att bedöma vilken typ av åtgärd som är mest ekonomisk i olika fall - exempelvis reparation, förstärkning eller utbyte, helt eller delvis. Modellen tar hänsyn till trafikantkostnaden under själva byggtiden, inte till eventuell samhällsnytta av att åtgärden förbättrar trafiksituationen. Vid samhällsekonomiska kalkyler av väginvesteringar däremot jämförs trafiksituationen före åtgärd med situationen efter åtgärd. Trafikantkostnaden under själva åtgärden är alltså inte det väsentliga då, utan den ökade trafikantnyttan pga. att åtgärden utförs.

I USA har LCC-konceptet vunnit gehör i flera delstater och utvecklingen går mot en ökad acceptans och användning. Diskussionen i USA rör numera också finansieringen av större broprojekt. I och med att trafikantkostnader ingår i LCC-modellerna kan kostnaderna för broförvaltaren öka, eftersom ett för broförvaltaren dyrare alternativ kan medföra lägre livscykelkostnad pga. lägre trafikantkostnader. Vissa anser att detta i sådana fall också bör finansieras av trafikanterna på något sätt, jfr. *Figg,*

1998. I Vägverkets inriktningsprogram för FoU åren 2000-2009, *Vägverket, 1999*, anges i det ekonomiska perspektivet ett önskemål om att få den icke-offentliga sektorn att skjuta till medel för utveckling av väg- och gatuinfrastrukturen.

2.4 Problem - möjligheter

Val av brotyp, material och utformning i stora drag sker idag oftast efter ingenjörernas egna erfarenheter om vilka lösningar som brukar fungera i olika situationer. De val som sker i ett projekts tidigaste skeden har mycket stor inverkan på slutresultatet. I och med att kraven på broarna ökar i omfattning i kombination med budgetrestriktioner och ett allt snärvare tidsschema bidrar det till en alltmer komplex beslutssituation. För att hantera dessa sammansatta frågeställningar för framtidens broar efterfrågas modeller och verktyg.

Broar är komplexa konstruktioner och en serie suboptimeringar ger sällan den mest ekonomiska lösningen. Bron bör ses som en helhet och en del av vägen, och optimeringen av konstruktionen bör ske i så tidigt stadium i beslutsprocessen som möjligt. Redan vid val av brotyp bör underlag finnas så att den brotyp som kan förväntas vara den mest ekonomiska på sikt kan väljas. Det underlag som behövs för sådana bedömningar är dåligt dokumenterat. Detta problem har konstaterats och behandlas i en förstudie till kommande ramprojekt "Optimala nya broar".

Samhällsnyttan bör i så stor utsträckning som möjligt uttryckas i funktionella krav. Att utforma och dimensionera konstruktionerna baserat på funktionskrav, dvs. krav på egenskaper, skapar en större frihet för utföraren. Denna frihet måste balanseras mot ett ökat ansvar för att slutresultatet verkligen ska bli bättre och billigare konstruktioner. Metoder för att verifiera att funktionskraven uppfylls under hela livslängden bör utvecklas. Dessa frågor behandlas i en förstudie för kommande ramprojekt "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper".

En mer omfattande problemställning kan sammanställas, delvis också byggd på erfarenheter från LCC-symposiet som anordnades i Washington i december 1993, *FWHA, 1994*. Många av dessa problem och frågeställningar är numera möjliga att hantera i LCC-modellen.

- Investeringskostnader är verkliga kostnader, medan kostnader för framtida behov ofta upplevs som mindre viktiga.
- Det finns en risk att resultat från LCC-analyser justeras så att önskat resultat uppnås.
- LCC-analys gör det nödvändigt att se långsiktigt på en investering. Modeller och indata för att förutspå livslängden baserat på olika val redan i dimensioneringsskedet är nödvändiga. Hänsyn bör även tas till livslängdens spridning över tiden, livslängden bör ej betraktas deterministiskt.

- Tvivel om den verkliga livslängden beror också på att livslängden ofta begränsas av andra skäl, tex. oförmåga att uppfylla den nya tidens krav. Det måste tydliggöras vilken kravnivå som förutspås inför framtiden – ökade krav, minskade eller oförändrade.
- Hur kan flexibilitet, dvs. möjlighet att anpassa konstruktionen till ändrade krav, värderas ekonomiskt i LCC-analysen?
- Värdering av kostnader som inte belastar broförvaltaren, exempelvis trafikant-, miljö- och trafiksäkerhetskostnader.
- Organisatoriska och/eller institutionella omständigheter måste överbryggas.
- Sambandet grundinvestering, byggande, förvaltning ger en helhet som bestämmer brons livslängd – hur beaktas helhetsbilden i LCC-analysen?
- Nödvändigheten att lyfta LCC-analysen till programnivå, med eller utan budgetbegränsningar.

Genom att skapa dessa modeller och verktyg, synliggörs vilken typ av åtgärder som har störst inverkan på livslängdskostnaden för broar. Exempelvis anges i *Leeming, 1993*, att kloridinducerad armeringskorrosion och ommålning av stålkonstruktioner kanske intuitivt upplevs som de största kostnadskällorna, medan det mycket väl kan visa sig att lager, övergångskonstruktioner och isoleringsmattor står för den största kostnaden.

LCC-modeller får inte anses vara en exakt vetenskap som beskriver en konstruktions framtid, utan som en metodik för att redan i ett tidigt skede beakta framtida kostnader och vikta dessa mot de initiella kostnaderna. På så sätt läggs större vikt vid beständighet och långsiktighet och kostnaderna för till exempel underhåll och reparation får rimliga proportioner.

Med mindre investeringsanslag kommer det befintliga brobeståndet att få allt större betydelse. Vid byggande av nya broar är det mycket viktigt att förvaltningsskedet beaktas. Med hjälp av LCC-analys blir kopplingen mellan byggande och förvaltning mer tydlig. Åtgärder i investeringsskedet som ger besparingar först i framtiden kan motiveras om det sänker livscykelkostnaden.

3 Pågående och avslutad FoU

3.1 Allmänt

Möjligheten att använda LCC-analys för broar begränsas av det stora behovet av indata till modellerna. Dessutom kvarstår problemet med vilka modeller som bäst överensstämmer med verkligheten. Modeller för hur konstruktioner bryts ner, hur kostnader beräknas över livslängden och modeller för hur ej direkt mätbara egenskaper och påverkansfaktorer kan värderas behöver utvecklas. Mycket forskning har bedrivits för att öka kunskapen om konstruktioners nedbrytning, och kunskapen har ökat kraftigt. Runt om i världen pågår arbete med att samla in kunskaper och sammanställa detta till användbart underlag för LCC-analys av broar.

3.2 FoU i Sverige

I Sverige har mycket forskning framförallt gjorts inom området betongkonstruktioners beständighet. Målet har varit att skapa klarhet i konstruktioners nedbrytning, orsaker, nedbrytningshastigheter osv. så att mer beständiga konstruktioner kan byggas.

Brite-EuRam-projektet BE95-1347 "Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures", se avsnitt 3.2, har många deltagare. Svensk medverkan står Lars-Olov Nilsson på Chalmers, Byggnadsmaterial för.

Håkan Sundquist, Byggkonstruktion, brobyggnad, har deltagit i "projekt 100", dvs. 100 års livslängd för konstruktioner.

Doktorandprojektet "Optimering av åtgärder för ökad livslängd av infrastrukturkonstruktioner" har avslutats under 1998. I projektet har betongkonstruktioners beständighet kopplats till den långsiktiga ekonomin. Arbetet har resulterat i en lic. avhandling, *Troive, 1996*, och en doktorsavhandling, *Troive, 1998*.

Doktorandprojektet "Konstbyggnaders reella livslängd" lyfter kunskaper om broars verkliga livslängd ur en relationsdatabas över befintliga broar. Projektet har hittills resulterat i en lic. avhandling, *Racutanu, 1997*. Doktorsavhandlingen beräknas komma ut under 1999.

Doktorandprojektet "Reparationers effekt på återstående livslängd hos konstruktioner" av Jonathan Paulsson. Projektet behandlar reparationers inverkan på broars livslängd. Projektet har hittills resulterat i en lic. avhandling, *Paulsson, 1997*. Doktorsavhandlingen beräknas komma ut under 1999.

3.3 FoU i Europa

LCC-modeller för broar uppges i *PIARC, 1996*, användas i Storbritannien, Finland och i viss mån i Kanada. År 1999 anser, utöver de ovan nämnda, även Norge, Polen, Slovakien, Sverige och USA att de kommer att använda LCC-modeller för broar.

I Norge pågår inom Statens Vegvesen en stor forskningssatsning på tunnelsidan med trafiksäkerhet, miljö och långsiktigt ägaransvar i fokus. Projektet benämns "Samfunnstjenlige tunneler" och ska genomföras under fyra år, 1998-2001. Målet med projektet är att utveckla mer kostnads-effektiva, bättre, säkrare och miljövänligare tunnlar utifrån ett helhets-tänkande baserat på långsiktigt ägaransvar. Analys av livslängdskostnader ingår.

Statens Vegvesen i Norge driver FoU-projektet "Bestandige betongkonstruksjoner" vilket har som mål att resultera i minimerade livstidskostnader för betongkonstruktioner. Projektet är ett av de nationella betong-forskningsprogrammen som Norges forskningsråd stöttar. En målsättning är att etablera basantaganden för att värdera livstidskostnader så att kostnads-optimal kombination av konstruktiv utformning, material, produktionsmetod samt reparation och underhåll kan väljas.

Statens Vegvesen i Norge har också ett annat FoU-projekt "Livs-syklus økonomi", vilket främst avses att användas på produktionsavdelningarna för driftskedet. Modellerna ska användas för att beräkna om det är mest lönsamt att hyra in eller att köpa egna maskiner. Nya förbättrade modellversioner ska komma under 1999. Samarbete sker med Minnesota Department of Transportation när det gäller utveckling av LCC – LCP-modeller (LCP = Life Cycle Profit).

Mycket forskning har bedrivits inom området betongkonstruktioners beständighet. I RILEM-rapporten "Durability Design of Concrete Structures", *Sarja och Vesikari, 1996*, sammanfattas en hel del av tekniska kommitténs 130-CSL arbete. Rapporten uppges utgöra ett första försök att systematisera beständighetsdimensioneringen så att den kan implementeras med övrig dimensionering. Beständighetsdimensionering avseende de vanligaste nedbrytningsprocesserna behandlas sannolikhetsteoretiskt, så att en viss livslängd ska uppnås med en viss säkerhet.

Det treåriga Brite-EuRam-projektet BE95-1347 "Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures" med start 1:a feb. 1996 drivs av CUR i Nederländerna. Ett arbete som ska resultera i liknande dimensioneringsprinciper för beständighet som för dimensionering i brott- och bruksgränstillståndet. Målet är att utformning och dimensionering av konstruktioner baserat på livscykelkostnader ska bli möjligt.

Ett projekt "Appraisal of maintenance costs and the application of whole life costing to engineering structures" som påbörjades 1993, och drivs av S R Rigden och Dr E Burley, Queen Mary and Westfield College, Lon-

don, Department of Engineering. Användningen av LCC för broar i Amerika och Europa uppges ha undersökts. Data ur en reparationsdatabas har använts för att värdera utformningsalternativ för nya broar. Även forskning runt lämplig kalkylränta har bedrivits inom projektet.

I Storbritannien har ett datorprogram kallat QUADRO utvecklats för att beräkna trafikantkostnader. Tabeller för att uppskatta trafikantkostnader finns publicerade i *DoT, 1992*. I Storbritannien pågår även diskussioner om lämplig kalkylränta för LCC-analyserna, jfr. *Rigden, Burley och Tajalli, 1995*.

3.4 FoU, övriga världen

Ett forskningsprojekt om LCC-analys för underhåll och reparation av betongbroar med armeringskorrosion har drivits av the Strategic Highway Research Program (SHRP) i USA och arbetet har mynnat ut i en rapport, *SHRP, 1994*. LCC-analysen ska användas för val av optimal strategi för underhåll och reparation. Trafikantmerkostnaden före resp. under åtgärden beaktas.

National Cooperative Highway Research Program-projektet NCHRP 12-43, FY'96 "Life-Cycle Cost Analysis for Bridges" drivs av Hugh Hawk, Delcan Corporation i Ontario, Canada. Projektet startade 1996 och ska avslutas i april 1999. I detta projekt ska en metod utvecklas för att beräkna livscykelkostnader för broar. Ett Windowsbaserat datorprogram ska utvecklas, där livscykelkostnaderna illustreras i diagramform (*Hawk, 1998*).

3.5 Angränsande förstudier

Förstudien för ramprojektet "Optimala nya broar" angränsar till detta projekt, och arbetet med förstudierna har därför pågått samtidigt. I det ramprojektet behandlas optimal broformning, både vad gäller brotyp, materialval, detaljutformning etc. Resultat från ramprojektet "Optimala nya broar" kommer att utgöra nödvändiga indata i LCC-modellerna.

I viss mån angränsar även förstudien till ramprojektet "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper". Tillämpningen av LCC-modeller i ett tidigt skede förutsätter att kraven på broarna i så stor utsträckning som möjligt grundar sig på egenskaper, funktioner. Metoder för att verifiera att kraven uppfylls är nödvändiga.

4 Behov av FoU

4.1 Allmänt

LCC-modeller kommer troligtvis att bli ett viktigt hjälpmedel för att värdera olika brotyper och kan därför fungera som underlag för beslut. Även om själva modellerna är relativt enkla och lätta att förstå, kan omfånget av analysen ifrågasättas på grund av bristande kalkylunderlag. Det är därför av stor vikt att befintligt material sammanställs så att behovet av ytterligare underlag kan klarläggas.

Det behov av FoU som har identifierats efter arbetet med föreliggande förstudierapport har sammanställts som delområden under ett antal rubriker som följer. Delområdena har i 4.2-4.6 inplacerats i prioritetsordning. På grund av att forskningsområdet är såpass nytt, är det möjligt att ytterligare behov kan identifieras.

4.2 Utveckling av system för LCC-analys av broar

För att LCC-analys ska kunna användas effektivt i nybyggnadsskedet måste LCC-metodiken bli tillgänglig för användaren i form av datoriserade modeller och verktyg. LCC-analyserna ska fungera som underlag för val av brotyp, men även för detaljutformning och materialval i olika miljöer.

Utveckling av ett system för LCC-analys innebär att ett omfattande arbete måste göras och detta bör följa Vägverkets systemutvecklingsmodell. Rubricerat delområde föreslås innefatta initieringsfasen, analysfasen och utformningsfasen. I initieringsfasen diskuteras idéer och olika möjligheter kartläggs. Analysen syftar till att besvara frågan om vad som ska tillverkas, medan utformningen besvarar frågan om hur systemet ska utformas. Därefter följer tillverkningsfasen då själva programmeringen och andra förberedelser som behövs för att införa ett nytt informationsbehandlingssystem görs. Själva tillverkningsfasen behandlas inte i detta utvecklingsprojekt.

Vid utveckling av systemet bör vissa kriterier beaktas. Systemet ska vara kompatibelt med Vägverkets broförvaltningssystem. Information från Vägverkets databaser bör kunna utnyttjas som underlag. Systemet måste vara utvecklat så att underlag i form av priser och beräkningsmoduler kan modifieras med tiden och anpassas till nya forskningsrön och annat. Programmet skall även vara påbyggbart, så att ytterligare moduler kan adderas.

Systemet skall vara lättanvänt men ändå genomskinligt. Med genomskinligt avses att konsekvenserna av olika val skall kunna förstås relativt en-

kelt. Detta innebär bla. att beräkningsmoduler skall finnas tillgängliga, att prisunderlag skall vara åtkomligt och att delresultat skall visas.

Detta är ett relativt omfattande delområde, varför det föreslås att en förstudie görs i initieringsfasen.

4.3 **Ekonomiska aspekter på LCC-modeller för broar**

Värdering av de ekonomiska aspekterna vid utformning av LCC-modeller för broinvesteringar är ett område där vissa frågeställningar närmare bör utredas. Utvecklingen hittills talar för att trafikantkostnaden bör värderas i LCC-analyser av infrastrukturinvesteringar.

Är det lämpligt att i LCC-modellerna beräkna trafikantkostnaden för störningar i trafikantnyttan på grund av förväntade reparationer osv. på samma sätt som trafikantkostnaden för utebliven investering beräknas vid samhällsekonomiska kalkyler? Bör trafikantmängden betraktas som statistisk? Är nuvarande kalkylränta för samhällsekonomiska kalkyler inom transportsektorn (4 %) lämplig att använda vid värdering av broinvesteringar? Hur ser det ut på ett internationellt plan? Hur behandlas skattefaktorerna?

Dolda kostnader, hur beaktas dessa i modellerna? Med dolda kostnader avses här kostnader som drabbar tredje man, t. ex. förseningskostnader, minskade intäkter för näringsidkare etc. Dessa kostnader kan t. ex. uppstå vid långvarig stängning av bron etc. eller då framkomligheten begränsas på grund av underhållsarbete och reparationer. Skall trafikantkostnader pga. förseningar i byggskedet värderas lika högt som avbrott i trafikantnyttan i driftskedet?

Hur kan de sk. sociala kostnaderna beaktas i LCC-modellerna? Med sociala kostnader avses här bullerstörningar, vibrationer, luftföroreningar etc. Även tillfälliga störningar i samband med omfarter bör beaktas. Kan de samhällsekonomiska modellerna för väginvesteringar användas?

4.4 **Värdering av flexibilitet och ändrade krav i LCC-modeller för broar**

Broar utformas för att fungera under mycket lång tid. I LCC-analysen förutspås brons framtida öde, underhåll, reparationer, utrivning etc., vilket naturligtvis är förenat med stor osäkerhet. Kraven på våra broar ändras med tiden. Traditionellt är det kraven på utrymme och bärförmåga som har ökat. Hur kan kraven förväntas ändras i framtiden?

Vilka krav som framtiden ställer på våra broar är osäkert. Förutsättningarna ändras med tiden, och möjligheten att anpassa konstruktionen så att den uppfyller de ändrade kraven värderas förnuftsmissigt högt. Kan flexibiliteten värderas ekonomiskt i LCC-modeller för bro? Om konstrukti-

nen inte kan anpassas till de förändrade kraven innebär detta trafikrestriktioner alternativt rivning. Kan risken för att detta händer värderas och sedan kombineras med värdering av kostnaden som följer, inkl. trafikantkostnaden?

4.5 Värdering av miljö- och trafiksäkerhetsaspekter i LCC-modeller för bro

En önskan om att även värdera miljö- och trafiksäkerhetsaspekter i LCC-modellerna för broar har framförts från flera håll i världen. Kunskapen inom detta område har hittills ansetts alltför knapphändig för att väva in i LCC-modellerna. Kan ekonomiska värderingar av dessa aspekter göras, och är det lämpligt att de läggs in i LCC-modellerna?

Mycket forskning om miljöpåverkan av materialval och konstruktionsutformning har genomförts. Kan miljöpåverkan värderas ekonomiskt för olika brotyper, broutformningar, materialval osv.? Kanske kan miljöbelastningen åtminstone rangordnas för olika alternativa utföranden? Miljöbelastningen kommer troligtvis att bli en allt viktigare parameter vid val mellan olika broutformningar etc.

Olika broutformningar påverkar trafiksäkerheten olika. En tydlig och naturlig linjeföring på vägen förbi bron, broar som kan observeras i god tid och relativt stora avstånd mellan underliggande farbana och brostöd är exempel på sådant som ökar trafiksäkerheten. Kan detta värderas i LCC-analysen? Kan olyckskostnader beräknade enligt de samhällsekonomiska modellerna inom transportsektorn fungera som underlag?

4.6 Nedbrytningsmodeller för broar

Mycket forskning har bedrivits inom området konstruktioners nedbrytning, framförallt avseende nedbrytningens tidsförlopp för material i specifika miljöer. Verkliga konstruktioner utsätts vanligtvis för en eller flera miljölaster i kombination med funktionella laster. Nedbrytningsmodeller för dessa kombinationer saknas till viss del. Dessutom består bron av flera olika konstruktionselement som utsätts för olika typer av nedbrytning.

Det saknas kunskap om helhetsperspektivet på tillståndsutveckling relativt tid för sammansatta konstruktioner. Samband mellan grundutförande, reparationer och livslängd behöver utvecklas. Kunskap om reparationers inverkan på tillståndsutvecklingen och inverkan av t. ex. förebyggande underhåll behöver utvecklas. Redan i projekteringskedet bör tillgång till information finnas, så att livslängder för olika delar och tillståndsutveckling för konstruktionen som helhet kan bedömas.

Detta forskningsbehov hör huvudsakligen hemma i ramprojektet "Optimala standarder" och prioriteras därför inte denna förstudie.

5 Referenser

Arditi, D. A. och Messiha, H. M. (1996) "Life-Cycle Costing in Municipal Construction Projects", *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 2, No. 1, p. 5-14, March, 1996.

Arditi, D. A. och Messiha, H. M. (1999) "Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) in Municipal Organizations", *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 5, No. 1, p. 1-10, March, 1999.

Burley, E. och Rigden, S. R. (1997) "The use of life cycle costing in assessing alternative bridge design", *Proc. Instn Civ. Engrs Mun. Engr*, 121, p. 22-27, March, 1997.

Chang och Shinozuka (1996) "Life-Cycle Cost Analysis with Natural Hazard Risk", *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 2, No. 3, p. 118-126, September, 1996.

DoT (1992) "*Trunk road maintenance manual*", Department of Transport, London, 1992, Apr., 1.

Ehlen, M. A. och Marshall, H. E. (1996) "*The Economics of New Technology Materials: A Case Study of FRP Bridge Decking*", U.S. Department of Commerce, NISTIR 5864, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899

FHWA (1994) "Life cycle cost analysis" Summary of proceedings, *FHWA Symposium*, Washington DC, 15-16 december 1993, Washington, DC, 1994.

Figg (1998) "Crossing into a new age", *TR News*, Transport Research Board, National Research Council, No 194, p. 29, Jan-Feb 1998.

Hawk (1998) "Bridge Life Cycle Cost Analysis", *Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering '98*, Proc. SMSB V in Calgary, 13-16 July 1998, s. 1307-1314, Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, 1998.

Leeming, M. G. (1993) "The application of life cycle costing to bridges", *Bridge Management 2*, Thomas Telford, London, 1993.

Markow, M. J. (1995) "Highway Management Systems, State of the Art", *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 1, No. 3, p. 186-191, September, 1995.

Novick, D. (1990) "Life-Cycle Considerations in Urban Infrastructure Engineering", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 6, No. 2, p. 186-196, April, 1990.

OECD (1992) "*Bridge management*", OECD, Road Transport Research, Paris 1992. ISBN 92-64-13617-7.

PIARC, (1996) "*Type of Structures Selected For New Bridges*", PIARC Committee on Road Bridges, World Road Association, 11.06.B, 1996.

Purvis, Babaei, Clear och Markow (1994) "*Life-Cycle Cost Analysis for Protection and Rehabilitation of Concrete Bridges Relative to Reinforcement Corrosion*", Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP-S-377.

Rigden, S. R., Burley, E. and Tajalli, S. M. A. (1995) "Life cycle costing and the design of structures with particular reference to bridges", *Proc. Instn Civ. Engrs Mun. Engr*, 109, p. 284-288, Dec, 1995.

Robinson R., Danielson, U. och Snaith, M. (1998) "*Road Maintenance Management, Concepts and Systems*", Macmillan Press Ltd, London, 1998.

Sarja, A. och Vesikari, E. (1996) "*Durability Design of Concrete Structures*", RILEM Report 14, E & FN Spon, London 1996.

Sarma och Adeli (1998) "Cost Optimization of Concrete Structures", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, No.5, p. 570-578, May, 1998.

Schmaltz och Stiemer (1995) "Consideration of design Life of Structures", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, p. 206-219, Aug, 1995.

Siemes, A., Vrouwenvelder, A. och van den Beukel, A. (1985a) "Stochastic Modelling of Building Materials Performance in Durability", *Problems in Service Life Prediction of Building and Construction Materials*, NATO ASI Series E: Applied Science, Number 85, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/ Lancaster, 1985, p. 253-263.

Siemes, A., Vrouwenvelder, A. och van den Beukel, A. (1985b) "Durability of buildings: a reliability analysis", *Heron*, Vol. 30, Number 3, 1985.

SIKA (1999) "*Översyn av samhällsekonomiska kalkylprinciper och kalkylvärden på transportområdet: ASEK: redovisning av regeringsuppdrag*", Statens Institut för Kommunikationsanalys, SIKA rapport 1999:6, Stockholm 1999.

Tam, C. K. och Stiemer, S. F. (1996) "Development of Bridge Corrosion Cost Model for Coating Maintenance", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE New York, Vol. 10, No. 2, p. 47-56, May 1996.

Troive, S. (1996). "*Optimering av åtgärder för ökad livslängd hos infrastrukturkonstruktioner (Optimisation of LCC of concrete structures)*", Licentiate thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. In Swedish.

Troive, S. (1998) "*Structural LCC Design of Concrete Bridges*", Royal Institute of Technology, Stockholm. Not yet published research report.

Vassie, P. R. (1997) "A whole life cost model for the economic evaluation of durability options for concrete bridges", *Safety of Bridges*, Edited by Das, P. D., Thomas Telford, 1997.

Veshosky och Beidleman (1992) "Life-Cycle Cost Analysis Doesn't Work for Bridges", *Civil Engineering*, July, 1992, p. 6.

Vägverket (1996) "Reviderade Värderingar 1998-2007", PM, Vägverket PV, September 1996.

Vägverket (1989) *Beräkningshandledningar och effektkataloger*, VV Publ 1989:10-20, Vägverket 1989.

Vägverket (1999) "Vägverkets inriktningsprogram för FoU åren 2000-2009", Remissutgåva, Vägverket Publ. 1999:71.