

Thesis 197

# LCC för utvärdering av vägkonstruktioner

---

Niclas Olofsson



Trafik och väg  
Institutionen för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet

# **LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner**

Niclas Olofsson

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,  
Institutionen för Teknik och samhälle,  
Trafik och väg, 197

ISSN 1653-1922

Niclas Olofsson  
LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner  
2010

*Ämnesord:*

Livscykelkostnad, LCC, drift och underhåll, väg, funktionskrav, LCC modell, årskostnad

*Referat:*

LCC är en förkortning av engelskans Life-Cycle Cost och används för att bedöma den totala kostnaden för en produkt under dess livslängd. Användningen av LCC-analyser har tidigare varit begränsad i branschen vilket beror på att det inte funnits någon tillförlitlig modell som avspeglar verkligheten tillräckligt väl. Ett svårt problem består i att uppskatta en vägs tillstånd flera år in i framtiden eftersom det ännu idag inte finns några matematiska samband som helt överrensstämmer med verkliga förhållanden. I detta examensarbete har en första ansats till en ny LCC-modell utvecklats och utformats. Modellen är ett förslag på hur en LCC-modell kan utformas. Det bör dock understrykas att modellen bygger på i dagsläget kända nedbrytningssamband som inte ger någon helt exakt bild av verkligheten varför fortsatt forskning och utveckling är viktigt. LCC-modellen skall fungera som en plattform där olika moduler kan ersättas och kombineras för att uppfylla beställarens önskemål. På det här sättet kan olika beräkningsprogram utnyttjas och bytas ut i takt med att nya versioner utvecklas utan att själva grundmodellen för LCC behöver förändras.

*English title:*

LCC model for evaluation of road constructions

*Citeringsanvisning:*

Niclas Olofsson, LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner. Lund, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2010. Thesis XX

Institutionen för Teknik och samhälle  
Trafik och väg  
Lunds Tekniska Högskola, LTH  
Lunds Universitet  
Box 118, 221 00 LUND

Traffic and Roads  
Department of Technology and Society  
Faculty of Engineering, LTH  
Lund University  
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

## Förord

Det här examensarbetet har gjorts i samarbete med Ramböll RST i Malmö där även större delen av arbetet utförts. Vill därför börja med att rikta ett stort tack till alla på RST-avdelningen för ett mycket varmt mottagande och en väldigt trevlig höst.

Jag vill också tacka Ebrahim Parhamifar vid Lunds Tekniska Högskola som först förmedlade kontakten med Ramböll och som under utbildningens gång varit mycket hjälpsam och visat stort engagemang.

Vidare riktas ett tack till alla ni som tog er tid att delta i enkätundersökningen och alla råd och tips den medförde.

Slutligen vill jag också tacka Peter Ekdahl som varit handledare för arbetet och som förmedlat många kontakter och bidragit med många värdefulla synpunkter och idéer under resans gång.

Malmö 2009-12-10  
Niclas Olofsson



## Innehållsförteckning

Förord.....	III
Innehållsförteckning .....	IV
Sammanfattning .....	I
Summary .....	III
1. Inledning .....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problem.....	2
1.3 Syfte och mål .....	2
1.4 Avgränsningar.....	3
2. Metod.....	4
3. Litteraturstudie.....	6
3.1 LCC-modellens uppbyggnad .....	6
3.2 Kostnader i en LCC-modell .....	7
3.2.1 Kalkylräntans betydelse .....	9
3.2.2 Kalkylperiodens betydelse .....	10
3.2.3 Känslighetsanalys.....	10
3.3 Befintliga LCC-modeller i Sverige .....	11
3.3.1 2ö.....	11
3.3.2 MNV .....	11
3.3.3 ”Olofsson”.....	12
3.3.4 Lönsamhetskalkyl – provväg E6.....	12
3.3.5 Lönsamhetskalkyl – drift och underhåll.....	12
3.3.6 EVA .....	13
3.4 Internationella exempel med LCC vid infrastrukturprojekt.....	13
3.5 Funktionskrav vid funktionsupphandling .....	14
3.5.1 Krav på beläggningslager.....	16
3.5.2 Krav på vägyta .....	17
3.6 Erfarenheter av funktionsupphandling.....	18
4. Enkät svar.....	20
5. Förutsättningar för ny LCC-modell .....	22
5.1 Metodik för ny LCC-modell .....	22
6. Resultat .....	25
6.1 Beskrivning och omfattning.....	25
6.2 Indata och utdata samt antaganden för beräkningar.....	25
6.3 Beräkningar .....	27
6.3.1 Ekvivalentmetoden.....	27
6.3.2 Spänningsberäkningar .....	28
6.3.3 Töjningsberäkningar .....	30
6.3.4 Nedbrytningskriterier .....	31
6.4 Beräkningsexempel.....	33
6.4.1 Exempel 1 – Förstärkning .....	33
6.4.2 Exempel 2 – Ny beläggning på befintlig konstruktion .....	35

6.5	Utvärdering av LCC-modell .....	37
6.5.1	Känslighetsanalys.....	37
7.	Analys och diskussion.....	38
8.	Slutsats .....	41
9.	Referenser .....	43
	Bilagor.....	45
	Bilaga 1: Enkät.....	45
	Bilaga 2: Följebrev till enkät.....	47
	Bilaga 3: Sammanställning av enkätsvar .....	48
	Bilaga 4: LCC-modell.....	55

## Sammanfattning

LCC är en förkortning av engelskans Life-Cycle Cost och används för att studera totalkostnaden för en produkts livslängd. Finansiering av infrastruktur är idag en stor utmaning för många länder. Långsiktiga besparingar borde kunna göras om livscykel-tänkandet och användandet av LCC-modeller blir mer accepterat hos beställare och entreprenörer. Det är speciellt inom funktionsentreprenader som användandet av LCC modeller blir intressant då garantitiden ofta är en betydande del av produktens livslängd. En stor utmaning är att koppla ihop funktionstänkandet med en fungerande LCC-modell. Ett problem som finns idag är att vägens tekniska livslängd är betydligt längre än entreprenörens garantitid vilket ofta resulterar i att vägen inte klarar de förväntade funktionskraven efter garantitiden löpt ut.

Syftet med examensarbetet är att skapa en första ansats till LCC-metodik för bedömning av vägunderhåll, samt att bygga en relativt enkel datorbaserad modell som kan användas för praktiskt bruk. Modellen skall fungera som ett verktyg som främjar upphandling baserad på årskostnad, samtidigt som den uppmuntrar till ett ökat funktion/ livscykel-tänkande mellan beställare och entreprenör. För att uppfylla syftet med arbetet har en litteraturstudie genomförts där teorin bakom ämnet belyses. Råd och tips i arbetet med system- och modellutformning har hämtats från en enkätundersökning inom NVF (Nordiskt vägforum) och i samråd med handledare.

Litteraturstudien visar bland annat att en LCC-analys endast skall utföras som en jämförelse mellan olika alternativ, ensam för ett alternativ har den inget reellt värde. Viktiga kostnadsposter i en LCC-analys är investering, reparation, drift och underhåll, trafikantkostnader, olyckskostnader, miljökostnader och restvärde. Andra betydelsefulla parametrar i en LCC-analys är kalkylränta, kalkylperiod och känslighetsanalys. Tidigare LCC-modeller som används i Sverige är 2Ö, MNV, EVA, Lönsamhetskalkyl – provväg E6 och Lönsamhetskalkyl – drift och underhåll. Bakgrunden till tidigare modeller har ofta varit svåra att motivera och ibland saknat dokumenterad grund vilket gjort användningen begränsad. För att undvika detta scenario krävs att den nya modellen bygger på standardiserade mätmetoder och nedbrytningskriterier som är accepterade i branschen. Ambitionen har varit att skapa en modell som tar hänsyn till hela vägkonstruktionen och inte bara beläggningen.

I detta examensarbete har en första ansats till en ny LCC-modell utvecklats och utformats i Microsoft Excel. Modellen är ett förslag på hur en LCC-modell kan utformas, det bör dock understrykas att modellen bygger på i dagsläget kända nedbrytningssamband som inte ger någon helt exakt bild av verkligheten varför fortsatt forskning och utveckling är viktigt, tillsammans med kontinuerlig uppföljning och implementering. LCC-modellen skall fungera som en plattform där olika moduler kan ersättas och kombineras för att efterlikna beställarens önskemål. På det här sättet kan olika beräkningsprogram utnyttjas och bytas ut i takt med att nya versioner utvecklas utan att själva grundmodellen för LCC behöver förändras.



Bakomliggande samband för livslängdsberäkningen i LCC-modellen är elasticitetsteorin och Boussinesq's ekvationer för beräkning av spänningar och töjningar på olika nivåer i vägkonstruktionen. Dessa ekvationer är anpassade för en homogen, isotropisk och linjärelastisk kropp, detta förhållande råder dock inte helt i en vägkonstruktion varför Odemarks ekvivalentmetod också har applicerats. För att beräkna tillåtet antal standardaxlar för det bundna lagret används Nottinghamkriteriet, detta har valts för att kunna ta hänsyn till nya material. För det obundna lagret används VVK's kriterium. Modellen beräknar även tillståndsutvecklingen för spårdjup från obundna lager samt IRI (International Roughness Index). Övriga funktionskrav beräknas i olika beräkningsmoduler som kan variera efter beställarens funktionskrav och önskemål. För att behandla framtida kostnader används annuitetsmetoden.

Förhoppningen är att modellen skall vara en tillgång i upphandlingsprocessen och samtidigt uppmuntra till fortsatt forskning och utveckling. Målet är att beställaren skall kunna välja anbud med lägsta årskostnad samtidigt som funktionskraven uppfylls. Målet borde vara att kunna översätta alla funktionskrav som beställaren anger i beräkningsmoduler. En viktig aspekt i en livscykelkostnadsanalys är om hänsyn skall tas till samhällsekonomiska faktorer. Dessa kan ofta vara betydelsefulla för utgången av analysen. Samhällsekonomiska faktorer bygger ofta på kvalificerade gissningar och prognoser mer än verkliga värden vilket gör osäkerheten relativt hög. Eftersom huvudsyftet med den nyutvecklade modellen är att främja långsiktig vägteknisk kvalitet rekommenderas samhällsekonomin att behandlas separat av beställaren. Då många parametrar i en LCC-analys är osäkra är rekommendationen att en känslighetsanalys genomförs för de mest osäkra parametrarna.

Styrkan i LCC-modellen som utarbetats i detta examensarbete är inte detaljutformningen utan systematiken om en grundmodell med utbytbara moduler. Vid en eventuell vidareutveckling av modellen är rekommendationen att lägga till fler moduler för alla olika sorters funktionskrav om det finns en tillräckligt bra beräkningsmodell. Så småningom kanske även en modul för samhällsekonomisk nytta och en för ekonomiska förutsättningar kopplas på och på så vis inkludera alla aspekter i livscykelkostnadsanalysen.

För fortsatt utvecklingsarbete med LCC för vägkonstruktioner rekommenderas att

- Ta till vara på systematiken i en grundmodell med utbytbara beräkningsmoduler.
- Utveckla användarvänlig programvara som kan hantera de olika beräkningsmodulerna
- Större resurser bör läggas på forskning kring vägars nedbrytningssamband
- Förbättra utvärderingsarbetet med LCC
- Uppmuntra entreprenörer och beställare till årskostnadsbaserad upphandling
- Utföra känslighetsanalys

Förändring i en konservativ bransch kan ta tid. Om utbildning och kunskapsutbyte sker i ett tidigt skede kan medvetenheten öka och förhoppningsvis leda till att utvecklingen går snabbare.

## Summary

LCC stands for Life-Cycle Cost and is used to influence the total cost during the product's lifetime. Funding for infrastructure is today a major challenge for many countries, significant savings should therefore be made if the life-cycle thinking and the use of LCC becomes more accepted by clients and contractors. LCC thinking becomes especially interesting when a performance contract is used since the warranty period often is a significant part of the product's lifecycle. A major challenge is to interconnect the performance thinking with a functioning LCC model. One problem that exists today is that the technical lifetime of the road is much longer than the contractor's warranty period, resulting in that the road often fail in the performance requirements after the warranty period has expired.

The aim of this thesis is to introduce a practical methodology of assessment of road maintenance with LCC aspects. And also to build a computer-based model that can be applied for practical use. The model should serve as a tool to promote procurement based on the annual cost and at the same time stimulate the LCC-thinking between clients and contractors.

The literature study shows that a LCC analysis only should be used as a tool for comparison between several alternatives, by itself it has no real value. Major cost items in a LCC analysis are, investment, repair, operation and maintenance, road user costs, accident costs, environmental costs and residual value. Other important parameters in a LCC analysis are the calculation rate, calculation period and sensitivity analysis. Former LCC models used in Sweden are 2Ö, MNV, EVA, Lönsamhetskalkyl – provväg E6 och Lönsamhetskalkyl – drift och underhåll. The background to the previous models has often been difficult to justify, and sometimes missed documented motive which has limited the use. To avoid this scenario it requires that the new model is based on standardized methods of measurement and degradation criteria that are accepted in the industry. The ambition is, if possible, to create a model that includes the whole road construction and not just the surface.

In this thesis, a proposal to a new LCC model has been developed and designed in Microsoft Excel. The model is a proposal on how a LCC model can be designed, it should be stressed that the model is based on the today known degradation criteria which means that no accurate picture of the reality is used, why continued research and development is important. The LCC model's purpose is to serve as a platform where different modules can be replaced and combined to achieve the originator's request. In this way, different calculation programs can be used and replaced when new versions are developed without considering that the basic model for LCC needs to change.

The LCC model is based on the elasticity theory and Boussinesq's equations for calculation of stresses and strains at different levels of the road construction. These equations are suited for a homogeneous, isotropic and linear elastic body. The reality

is a little bit different and to compensate for this the Odemark's equivalent method has been applied. To calculate the permitted number of standard axles for the bound layer the Nottingham criterion is used, it has been selected to take account of new materials. For the unbound layer the VVK's criterion is used. The model also calculates the state of rutting from unbound layers and the IRI (International Roughness Index). Other functional requirements are calculated in different calculation modules according to the originator's requirements. To deal with future cost equivalent annual cost is used.

Hopefully the model can be an asset in the procurement process, and at the same time encourage to continued research and development. The goal is that the client will choose the lowest bid based on the annual cost while the performance requirements are met and also to translate the entire performance requirements into different calculation modules. An important aspect of a life-cycle cost analysis is the socioeconomic factors. These can often be significant for the outcome of the analysis. The fact that socioeconomic factors are based more on educated guesses than actual values makes them uncertain. The main purpose of the newly developed model is to promote long-term road engineering quality, the recommendation is therefore to analyze the socioeconomic factors separately. Since many parameters in a LCC analysis are uncertain the recommendation is to perform a sensitivity analysis for the most uncertain parameters.

The strength of the LCC model developed in this thesis is not the detailed design but the basic model with interchangeable modules. In a further development of the model a recommendation is to add more modules for all kinds of functional requirements if there is a calculation model that is well enough. In the future maybe a module for socioeconomic factors and for economic environments can be developed in order to include all aspects of the life cycle cost analysis.

The recommendations for future LCC developers for road construction are:

- Keep the idea of a basic model with interchangeable modules
- More resources should be given to research on the degradation of roads
- Improve the evaluation process of LCC
- Encourage contractors and purchasers to annual cost-based contracts
- Sensitivity analysis

Changing a conservative industry requires time. If education and knowledge exchange takes place at an early stage the awareness can increase and hopefully lead to a faster LCC progress.

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

LCC är en förkortning av engelskans Life-Cycle Cost och används för att påverka totalkostnaden för en produkts livslängd (Sveriges Mekanförbund, 1984). LCC förväxlas ibland med begreppet LCA, som är en förkortning av engelskans Life-Cycle Assessment, varför det bör understrykas att LCC behandlar kostnaden och LCA behandlar miljöeffekterna under en produkts livscykel (Holmvik & Wallin, 2007). År 2009 uppgick vägverkets finansieringskapital för statlig väghållning till drygt 18 miljarder SEK varav 8 miljarder avsattes till drift och underhåll (Vägverket, 2009). Finansiering av infrastruktur är idag en stor utmaning för många länder, stora besparingar borde kunna göras om livscykel-tänkandet och användandet av LCC blir mer accepterat hos beställare och entreprenörer.

Inom infrastrukturprojekt i Norden är användandet av LCC-modeller i dagsläget relativt begränsat. Brist på efterfrågan har varit en anledning till att LCC inte har fått något genomslag i branschen. Om besparingar kan göras genom ett mer utvidgat funktion/ livscykel-tänkande borde det dock ligga i såväl beställarens som entreprenörens intresse att utveckla en metod som fungerar. Rädsla och okunskap inför nya tillvägagångssätt i kombination med en konservativ inställning i branschen kan vara bakomliggande orsaker till det begränsade användandet. Vid de tillfällen då LCC-modeller nyttjats har ofta en ny modell upprättats inför varje projekt utan att större ansträngningar gjorts på utvärdering och uppföljning. Utvärderingsarbetet försvåras också av vägkonstruktioners komplexitet och långa livslängd (Holmvik & Wallin, 2007).

Infrastrukturprojekt kan upphandlas utifrån ett antal olika entreprenadformer. En utförandeentreprenad är till historien sett den vanligaste formen där beställaren med hjälp av konsulter tar fram bygghandlingar, entreprenören ansvarar sedan för att utförandet sker i enlighet med bygghandlingarna. Vid en totalentreprenad ansvarar en enda entreprenör för såväl projekteringen som utförandet. Beställaren preciserar diverse krav på den färdiga produkten som skall uppfyllas och det är därefter upp till entreprenören hur denne vill uppnå kraven. I en totalentreprenad har således entreprenören större frihet att använda sig av egna lösningar och materialval så länge rätt funktion för den färdiga produkten erhålls (Nordstrand, 2003). En entreprenadform som blir alltmer vanlig i samband med infrastrukturprojekt är funktionsentreprenad, vilket innebär att entreprenörer även åtar sig drift- och underhållsarbetet under en viss tid som vanligen kallas för garantitid eller kontraktstid. Det är speciellt i samband med denna entreprenadform som användandet av LCC-modeller blir intressant då garantitiden ofta är en betydande del av produktens livslängd. I likhet med totalentreprenad har entreprenören stor frihet att själv anpassa den färdiga produkten så länge beställarens funktionskrav uppfylls. Uppfylls kraven efter garantitidens slut kan entreprenörens oftast erhålla en bonus för ett väl utfört arbete (Andersson & Lennström, 2008).

## 1.2 Problem

En stor utmaning idag är att koppla ihop funktionstänkandet med en fungerande LCC-modell. Målsättningen borde vara att ange funktionskrav som garanterar att vägkonstruktionens egenskaper bibehålls även efter garantitiden för att på så vis minska livscykelkostnaden. Beställaren anger idag olika funktionskrav vid upphandlingsprocessen som till exempel maximalt spårdjup, IRI-värde (International Roughness Index), krav på slaghål, stensläpp etc. Om entreprenören tror sig kunna uppfylla dessa krav under garantitiden upprättar denne ett anbud till beställaren.

Idag är den tekniska livslängden hos vägen allt som oftast betydligt längre än entreprenörens garantitid. Vägens egenskaper såsom spår, IRI och sprickbildning uppkommer vanligtvis inte i början av vägens livslängd utan först efter några år. Ett problem som uppstår är att dessa försämringar av vägens tillstånd inte upptäckts förrän efter garantitidens slut. I praktiken är det dessvärre inte rimligt att ha en garantitid som varar hela vägens livslängd. Dels för att det inte är någon självklarhet entreprenören existerar 20, 30 eller 40 år in i framtiden. En annan nackdel är att människorna som arbetade med upphandlingen, tillsammans med andra inblandade i projektet, inte finns kvar i organisationen efter så lång tid, vilket försvårar kommunikationen.

## 1.3 Syfte och mål

Syftet är att ta tillvara dokumenterade erfarenheter och skapa en första ansats till metodik som kan användas inom branschen när man skall välja produkter/material som ger en långsiktig hållbarhet sett ur ett brukarperspektiv.

Målet är att metoden skall ge både väghållare och leverantör en möjlighet att utvärdera nya produktionslösningar och produkter på ett sådant sätt att relationen kostnad/nytta kan ses i ett standardiserat livscykelperspektiv. Metoden skall bygga på kända samband, den skall vara transparent och den skall vara så flexibel att den kan utvecklas över tiden baserat på erfarenheter och nya vetenskapsrön.

Målet med examensarbetet är också att skapa ett förslag till praktisk systematik/metod för LCC-bedömning av vägunderhåll. Samt att bygga en första relativt enkel datorbaserad modell som kan användas för praktiskt bruk. Modellen skall fungera som ett verktyg som främjar upphandling baserad på årskostnad samtidigt som den uppmuntar till ett ökat funktion/ livscykeltänkande mellan beställare och entreprenör.

## **1.4 Avgränsningar**

Rapporten belyser inte begreppet LCA utan endast LCC. Fokus ligger på underhåll- och förstärkningsprojekt då dessa är betydligt vanligare än t.ex. nybyggnation.

Praktiska vägbyggnadstekniska lösningar prioriteras framför djupare ekonomiska analyser.

Modellen som utvecklas skall dessutom bygga på redan kända teorier och nedbrytningsmodeller som använts i tidigare modeller. Den litteratur och de erfarenheter som finns dokumenterade består främst av material från nordiska länder varför en eventuell modell i första hand kommer att vara avsedd för användning inom denna region även om internationella erfarenheter också kommer att nämnas.

## 2. Metod

Examensarbetet inleds med att en litteraturstudie görs för att skapa en teoretisk grund inför det fortsatta arbetet. Informationen hämtats från litteratur på Internet samt i böcker och andra tidskrifter. Grunden för litteraturstudien utgörs av examensarbetet ”Användning av livscykelanalys och livscykelkostnad för vägkonstruktion inom Norden” av Nina Holmvik och Hampus Wallin, där LCC-modellens grunder redovisas och analyseras. En kartläggning av tidigare LCC-modeller inom vägkonstruktion finns också att tillgå i dokumentet.

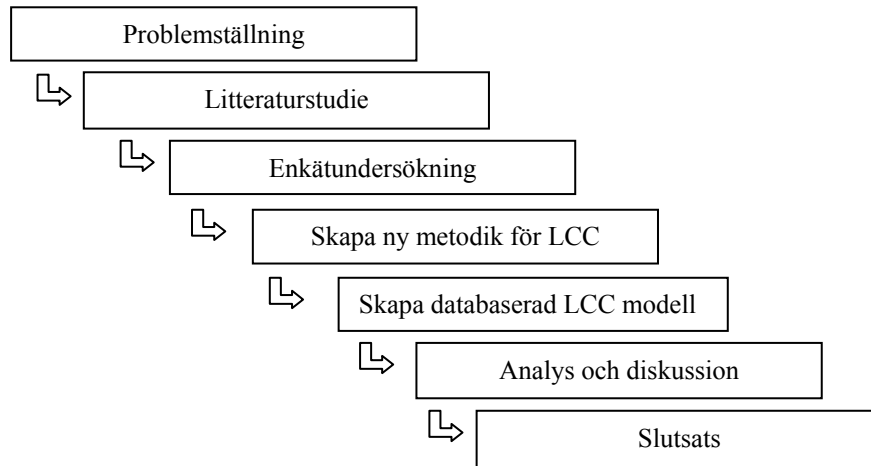
Litteraturstudien inleds med en beskrivning av LCC-modellens uppbyggnad och utseende. En kortare sammanställning av tidigare LCC-modeller som använts i infrastrukturprojekt har också redovisats. Studien omfattar även att ta reda på funktionskravens betydelse och användning i olika skeden. Under större delen av arbetet bistår kontaktpersoner med anknytning till vägbyggnadsbranschen med erfarenheter och synpunkter om ämnet. Kontakten består till stor del av medlemmar från NVF (Nordiskt vägforum) som innehar aktuella och omfattande expertkunskaper inom vägbyggnadsbranschen. Informationen utbyts via e-post och intervjuer efter att handledare i ett initialskede förmedlat kontaktnätet.

En enkätundersökning har också gjorts i samarbete med NVF. Syftet med undersökningen är att få råd och tips om hur metodiken i en ny modell skall utformas och vad som behöver ingå i en sådan modell. Undersökningen angående användning och utveckling av LCC i vägbranschen skickas ut till totalt 20 personer i utskottet Vägens Konstruktion, i NVF, se bilaga 1,2 och 3. Dessa personer arbetar regelbundet med frågor som rör LCC-modeller och borde därför ha en god uppfattning om vad som bör ingå och inte i en ny modell. Förhoppningen är att deras kunskap och erfarenhet skall vara till stor hjälp i modellutvecklingen i detta examensarbete.

En elektronisk enkät väljs därför att den enkelt och på ett relativt pedagogiskt sätt kan utformas. Tiden för utskickning och väntetiden för inkommande svar blir dessutom väldigt liten i jämförelse med exempelvis papperspost.

Nästa steg i arbetet är att utvärdera för- och nackdelar hos äldre LCC-modeller. Fördelarna sammanfogas och nackdelarna utesluts och en ny förbättrad metodik kan skapas. Tillsammans med kontaktpersoner vid NVF och handledare arbetas den mest optimala metodiken fram för en ny LCC-modell. När den nya metodiken är framtagen utvecklas ett praktiskt databaserat program som skall vara en förbättring av tidigare modeller som använts och skall kunna användas vid framtida upphandlingar av vägbyggnadsprojekt.

Slutligen diskuteras och analyseras resultatet och eventuella åsikter och synpunkter från handledare och kontaktpersoner behandlas. Eventuella begränsningar och osäkerhetsfaktorer redogörs för att verifiera användbarheten för den nya LCC-modellen. Resultatet av arbetet sammanfattas och kommenteras till sist i en slutsats. Arbetsgången åskådliggörs i figur 2.1.



*Figur 2.1 Arbetsgång för examensarbetet*



### 3. Litteraturstudie

Litteraturstudiens syfte är att skapa en tillräcklig teoretisk bakgrund för det fortsatta arbetet samtidigt som grundläggande begrepp och termer med anknytning till ämnet förklaras. Betydelsefulla parametrar i en LCC-analys som kalkylränta och kalkylperiod analyseras. Befintliga LCC-modeller i Sverige redovisas och kommenteras följt av några exempel på internationella erfarenheter. Slutligen studeras användandet av funktionskrav i entreprenadens olika skeden.

#### 3.1 LCC-modellens uppbyggnad

En LCC-kalkyl skall endast utföras som en jämförelse mellan olika alternativ, ensamt för ett alternativ har den dock inget reellt värde. Livscykelkostnaden definieras som den totala kostnaden som uppstår under ett objekts livslängd. Livscykelkostnaden beräknas genom att diskontera framtida kostnader med hjälp av nuvärdesfaktorn, se ekvation 3.1, för att sedan summera dessa med de nutida kostnaderna. Metoden kallas nuvärdesmetoden och används ofta i samband med livscykelkostnadsberäkningar.

$$\text{Nuvärdesfaktorn} = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (3.1)$$

Där  
 $n =$  *antal år*  
 $r =$  *kalkylräntan*

Annuitetsmetoden är exempel på en annan metod där de summerade nuvärdena multipliceras med en så kallad annuitetsfaktor vilket resulterar i genomsnittlig årskostnad under produktens livslängd, se ekvation 3.2.

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \quad (3.2)$$

Metoden kan vara lämplig om alternativ med olika livslängd skall jämföras. Det finns även andra metoder som internräntemetoden, pay back-metoden och kostnadsnyttokalkyl (Holmvik & Wallin, 2007).

Arbetsgången vid en LCC-analys kan se olika ut beroende på projektets karaktär och omfattning. En grundläggande strategi som utvecklats för vägprojekt består av fyra steg:

- Val av studieområde (i detta fall vägkonstruktionen)
- Generering av alternativ
- Utvärdering av designalternativ
- Val av designalternativ

Generering av alternativ består av entreprenörernas anbud som sedan utvärderas av beställaren. Valet av designalternativ grundar sig bland annat på storleken på initial- och livscykelkostnad i kombination med uppfyllandet av funktionskraven (Holmvik & Wallin, 2007).

### 3.2 Kostnader i en LCC-modell

En väl genomförd LCC-analys bör byggas på kvalitativa indata. Brist eller osäkerhet i indata är ofta argument som talar mot LCC-analyser varför det är viktigt att analysen anpassas till potentiella datakällor (Sveriges Mekanförbund, 1984). En LCC-analys för ett infrastrukturprojekt kan inkludera ett antal kostnadsposter fördelade på livscykeln olika tidpunkter. Kostnaderna utgör en stor del av analysens indata och kan vara antingen analytiskt eller erfarenhetsmässigt framtagna.

- Kostnader för investering, reparation, drift och underhåll
- Trafikantkostnader
- Olyckskostnader
- Miljökostnader
- Restvärde

Kostnader för investering brukar även benämnas direkta kostnader och innefattar alla kostnader i samband med uppförandet av vägkonstruktionen d.v.s. projektering och produktionskostnader. Projekteringskostnaderna kan oftast utelämnas då dessa är förhållandevis lika för olika alternativ. Drift- och underhållskostnader benämns också årliga kostnader och inkluderar mindre löpande drift- och underhållsåtgärder. Reparationskostnader eller periodiska kostnader är kostnader för större underhållsåtgärder för att förbättra vägens tillstånd. Till skillnad mot samhällsekonomiska kostnader är drift-, underhålls- och reparationskostnader lätta att översätta i pengar då de inte bygger på subjektiva bedömningar (Huvstig, 2000). Underhållsbehovet beror bland annat på konstruktionens kvalitet och hur den klarar av de påfrestningar den utsätts för. Det föreligger alltid viss osäkerhet i att uppskatta sådana typer av påfrestningar. Klimat, utförandekvalité, trafikmängd och trafikutveckling är exempel på faktorer som bygger på antaganden och prognoser och som påverkar osäkerheten i resultatet. Underhållskostnader kan dessutom vara svåra att uppskatta eftersom de kan inträffa långt in i framtiden och är också beroende av hur kalkylräntan och kalkylperioden väljs (Holmvik & Wallin, 2007). Utvecklingen av ny teknik och nya simuleringsverktyg kan innebära en viss förbättring i framtagandet av tillförlitlig indata. Komplexiteten hos en vägkonstruktion gör dock att en exakt uppskattning av framtiden inte är rimlig varför känslighetsanalys bör användas för att bedöma osäkerhet och naturliga variationer i indata. Trots stora drift- och underhållskostnader för stat och kommun finns idag inget standardiserat modellverktyg för vägkonstruktioner. Modellerna är oftast projektspecifika där motiverad bakgrund och särskilda kalkylvärden saknas (SIKA, 2005b).

Trafikantkostnader uppskattas med hjälp av samhällsekonomiska bedömningar och värderingar. En kostnad för trafikanten är restidskostnaden som bland annat beror på vägbeläggningens jämnhet och kondition. Vägarbeten och köbildning påverkar också

restiden och således trafikantkostnaden. Även fordonsslitage och bränsleförbrukning har stor betydelse för såväl trafikanterna som miljön (Huvstig, 2000). Restidskostnader uppskattas vanligtvis med scenariovärderingsmetoden som innebär att individer tillfrågas om sin betalningsvilja för olika alternativ. Metoden är omdiskuterad då det kan vara svårt för individen att sätta sig in i de olika alternativen vilket kan leda till osäkra resultat. Statens institut för kommunikationsanalys, SIKA, har tagit fram tidsvärden som behandlar restider för olika transportmedel (SIKA, 2005b). Bränsleförbrukningen påverkas förutom fordonets tekniska egenskaper av vägytans tillstånd, referenshastighet, körsätt o.s.v. Även om bränsleförbrukningen enkelt kan översättas i kronor och ören kan det vara svårt att uppskatta framtida kostnader då faktorer som oljepris och fordonsutveckling innebär osäkerhet.

Olyckskostnader beror bland annat på vägytans friktion, skyltad hastighet och förekomst av spår m.m. När en olycka inträffar påverkas många delar av samhället. Sjukvård, försäkringsbolag, väghållare och inte minst enskilda personer blir inblandade. Kostnader för olyckor är dock svåra att värdera i pengar och bygger på bedömningar och antaganden inom samhällsekonomin (Huvstig, 2000). Information om olyckor kan hämtas från STRADA som är ett informationssystem för olyckor och skador inom Sverige och utvecklades av ett antal statliga organisationer, däribland Vägverket. Informationen bygger på skaderapportering från polis och sjukvård och skall bidra till ett bättre informationsunderlag för värdering och analyser av trafiksäkerheten i landet. STRADA är ett utmärkt verktyg för att göra en erfarenhetsbaserad uppskattning av den framtida olyckssituationen. Det innebär dock inte att prognoserna helt kommer att stämma överrens med verkligheten vilket betyder att osäkerhetsfaktorer bör beaktas (Transportstyrelsen, 2009).

Miljökostnader är en annan samhällsekonomisk kostnad som är svår att värdera i pengar, mycket på grund av att kostnaderna kan uppstå efter lång tid. Utsläpp och emissioner av miljöskadliga ämnen, buller, materialförbrukning och energiförbrukning är exempel på miljökostnader. Effekterna på miljön behandlas ofta i LCA analyser (Huvstig, 2000). Skador som orsakas av luftföroreningar beräknas ofta enligt en effektkedjemodell. Utsläpp leder till vissa koncentrationer i luften som i sin tur leder till skador som kan värderas. Utsläpp värderas dessutom som mer kostsamma om befolkningstätheten i området är hög. Osäkerheten i miljökostnadsanalyser är relativt stor, dels kan det vara svårt att bedöma hur omfattande miljöbelastningen blir och dessutom var den kommer att verka geografiskt. Det finns idag riktvärden för att beräkna lokala effekter av miljöpåverkan, de regionala och globala effekterna är svårare att uppskatta och rymmer således ett stort mått av osäkerhet (SIKA, 2005b).

Den samhällsekonomiska kalkylen kan ifrågasättas utifrån dess förmåga att beskriva verkligheten då osäkerhet och brister finns. Teorin bygger på idealiserade förhållanden där människor tänker logiskt och alltid har kunskap om sina valmöjligheter, vilket inte alltid är fallet. Det är i vissa fall svårt att värdesätta faktorer som har betydelse eller ens veta hur stor betydelse faktorerna har. Detta i kombination med osäkerheten i att förutse framtiden gör att samhällsekonomiska värderingar blir väldigt osäkra. Det

är därför viktigt att det i kalkylen framgår vilka effekter som ingår och vad som eventuellt utelämnats samt vilka antagen som bedöms säkra och osäkra. (SIKA, 2005b)

Restvärdet definieras som det värde konstruktionen har i slutet av sin livscykel eller analysperiod och kan antingen vara negativt eller positivt. Vid positivt restvärde har vägkonstruktionen ännu inte uppnått sin tekniska livslängd, således är värdet av de ingående materialen större än kostnaderna för att omhänderta dem. Om så inte är fallet blir restvärdet negativt. Det kan vara svårt att avgöra när livslängden hos en vägkonstruktion är över på grund av konstruktionens komplexitet. Restvärdet brukar dock ha liten betydelse för en vägkonstruktions livscykelkostnad varför den många gånger kan utelämnas (Holmvik & Wallin, 2007).

### 3.2.1 Kalkylräntans betydelse

I LCC-analyser används en kalkylränta även kallad diskonteringsränta för att hantera ett kapitals värdeförändring med tiden. Den byggs upp av fyra olika termer; real vinstkrav, inflation, administrationspålägg och risk. En kalkyl kan vara antingen real eller nominell. En real kalkyl görs utan att hänsyn tas till inflationen medan en nominell kalkyl kompenserar för inflationen i räntekravet (Hansson et al., 2008). Kalkylräntan kan beskrivas som en organisations avkastningskrav som ger uttryck för eftersträvat förräntningen på investerat kapital och skall motsvara den bästa alternativa avkastningen (Prejer & Danckwardt – Lillieström, 2008).

Då LCC-modeller ofta baseras på nuvärdesmetoden får kalkylräntans storlek en viktig betydelse. En hög kalkylränta tenderar att gynna investeringar med låg initialkostnad medan en låg kalkylränta får motsatt effekt (Hansson et al., 2008). Att välja lämplig kalkylränta vid en LCC-beräkning är dock ingen självklarhet. Först och främst måste företaget eller organisationen bedöma lämpligt avkastningskrav, därefter bör beslut tas om vilka administrationspålägg som kan tänkas vara aktuella samt om inflation och risk skall ingå i kalkylen. Inflationen kan ses som den ur ett penningvärdesperspektiv lägsta möjliga kalkylräntan så länge inte lönsamhet ses som ett krav, för att undvika att penningvärdet urholkas. Alternativt kan sägas att räntan på lånat kapital är den realistiskt lägsta kalkylräntan eftersom en verksamhet i längden måste ha viss avkastning (Hansson et al., 2008).

I samband med LCC-beräkningar används ibland nollkalkylränta. En sådan gynnar i teorin årskostnader i relation till investeringskostnaden. En låg kalkylränta innebär att nuvärdena av årskostnader, såsom drift och underhåll, blir högre och därmed får större betydelse för livscykelkostnaden. Detta innebär även att det är lättare att argumentera för en högre initial investeringskostnad med avseende på besparingar i drift och underhåll vid en låg kalkylränta. I praktiken kan användning av nollkalkylränta dock ses som tveksam eftersom avkastning oftast är ett krav (Hansson et al., 2008).

Vid infrastrukturprojekt i Sverige brukar kalkylräntan väljas till 4 % vid investeringar från offentlig sektor. Inom den privata sektorn tillämpas schablonvärdet 7 % (SIKA, 2005a).

### 3.2.2 Kalkylperiodens betydelse

En parameter som också har stor betydelse för LCC-beräkningen är kalkylperiodens längd. Det finns emellertid olika typer av livslängder; teknisk livslängd är tiden till dess att systemet anses tekniskt obrukbart (Sveriges Mekanförbund, 1984). Den ekonomiska livslängden är den period då investeringsobjektet är ekonomiskt lönsamt. Den ekonomiska livslängden kan aldrig vara längre än den tekniska livslängden. Det är således den ekonomiska livslängden som används för att bestämma kalkylperiod vid en LCC-kalkyl (Hansson et al., 2008).

Kalkylperioden skall generellt sett väljas längre än kalkylobjektets dimensioneringsperiod. Den bör dessutom vara så pass lång att minst en underhållsåtgärd inkluderas. Det är viktigt att samma kalkylperiod väljs vid en jämförelse av olika alternativ. Val av kalkylperiod beror också på vald kalkylränta. Vid en hög kalkylränta är en lång kalkylperiod inte nödvändig eftersom aktiviteter sent i kalkylperioden får liten betydelse för resultatet (Holmvik & Wallin, 2007). För projekt som innebär rekonstruktioner alternativt bärighetsförstärkningar rekommenderas kalkylperioden 15 år, för nybyggnation 40-60 år (SIKA, 2005a).

### 3.2.3 Känslighetsanalys

Det förekommer alltid risk och osäkerhet vid beräkning av livscykelkostnader. Indata till beräkningen är förhoppningsvis en god översättning av verkligheten men den är på intet sätt exakt. Risk anses existera då sannolikheten för olika utgångar för ett alternativ är känd. Om utgången är delvis kända eller okända föreligger osäkerhet. För att identifiera osäkra parametrar och bedöma dess påverkan för ett alternativ bör en känslighetsanalys användas. Om känslighetsanalysen inte görs för samtliga parametrar i kalkylen bör de mest osäkra identifieras och undersökas för att få fram den bäst anpassade indata för modellen (Holmvik & Wallin, 2007). Arbetsgången vid en känslighetsanalys består inledningsvis av att identifiera de mest osäkra parametrarna och bestämma nya rimliga värden för dessa. Beräkningarna utförs därefter på nytt och resultatet blir den procentuella förändringen. En mer avancerad form av känslighetsanalys är osäkerhetsanalys där varje parameter i kalkylen analyseras, dessutom undersöks hur olika parametrar samverkar med varandra.

Värdet på ingående parametrar i en modell är ofta osäkra på grund av mätfel, informationsbrist, naturlig variation och heterogenitet men även beroende på otillräcklig kunskap om styrande processer och mekanismer (Naturvårdsverket, 2005).

Osäkerheter kan kvantifieras med statistiska metoder som exempelvis stokastisk Monte Carlo-analys. Varje parameter representeras då av en statistisk fördelning till skillnad från en traditionell beräkning där varje parameter tilldelas ett fixt värde. Efter flera simuleringar blir resultatet en statistisk fördelning av slutresultatet som kan exempelvis kan åskådliggöras i ett histogram. Att använda en sannolikhetsfördelning som en skattning av riktvärde i stället för ett fixt värde innebär att prognososäkerheten kan uttryckas i kvantitativa termer. Riskbedömningen kan då ge ett kvantitativt mått på osäkerheten. Detta förutsätter att variationsmönster för ingående parametrar skattas

på ett realistiskt sätt. Som komplement till den stokastiska osäkerhetsanalysen kan en känslighetsanalys göras som syftar till att identifiera de parametrar vilkas variationsmönster har störst inverkan på resultaten. (Naturvårdsverket, 2005)

### 3.3 Befintliga LCC-modeller i Sverige

Kartläggning av tidigare LCC-modeller gjordes i samband med examensarbetet av (Holmvik & Wallin, 2007). I detta kapitel ges en kort sammanfattning av varje modell. En mer utförlig beskrivning av varje modell finns att tillgå i tidigare nämnda dokument.

#### 3.3.1 2Ö

2Ö är en LCC-modell som jämför kostnaden mellan två olika överbyggnader. 2Ö betyder just två överbyggnader och är framtagen av Vägverket. Modellen består av sex kalkylblad i Microsoft Excel. Modellen tar hänsyn underhållsåtgärder under vägens förväntade livslängd samt de samhällskostnader som uppstår i samband med dessa åtgärder.

Indata till modellen är uppdelade efter vägdata, trafikdata, trafikkostnader och utdata består av direkta kostnader, nuvärden och årskostnaden under konstruktionernas livslängd.

En fördel med 2Ö är att den inkluderar samhällskostnader i samband med vägarbete, eventuella olyckor samt restid. En nackdel är att hänsyn inte tas till tillverknings- och återvinningsprocesser. Det finns inga kriterier för vägkonstruktionens funktion under drift- och underhållsperioden såsom spårdjup, IRI eller stensläpp. Inte heller investeringskostnad och beräknad livslängd beaktas i modellen.

#### 3.3.2 MNV

MNV är en förkortning av ”modell för nuvärdesberäkning” och är framtagen av Vägverket för att beräkna totalkostnaden för ett vägobjekt. Modellen tar särskilt hänsyn till kvalitetsnivån hos slitlagret och val av underhållsmetoder. Syftet är bland annat att modellen skall kunna användas som beslutsunderlag vid funktionsupphandlingar. Programmet är skapat i Microsoft Excel.

I beräkningen väljs överbyggnadstyp varefter nio olika poster för indata fylls i, dessa är vägdata, trafikdata, byggkostnad, underhållskostnad, driftskostnad, trafikantkostnad, fordonskostnad, olyckskostnad och miljökostnad. Utdata från beräkningen består av en sammanställning av samtliga kostnadsposter.

MNV tar hänsyn till väg- och trafikdata, restid- och olyckskostnader samt drift- och underhållskostnader. Modellen inkluderar dessutom fordonskostnader, miljökostnader och investeringskostnader vilket ger ett bredare perspektiv. Underhållskostnaden baseras på en modell som beräknar spårdjupstillväxt, andra detaljerade funktionskrav för vägkonstruktionen finns dessvärre inte.

### **3.3.3 "Olofsson"**

Olofsson är en LCC-modell som beräknar vägkonstruktionens årskostnad utifrån beräknad livslängd. Även denna modell är framtagen i Microsoft Excel. Grunden till programmet är Vägverkets dimensioneringsprogram PMS Objekt där vägkonstruktionens livslängd beräknas och uppskattas. Ett kvalitetsvärde för beläggningsens egenskaper multipliceras med ett värde som beskriver egenskapens prioritet och resulterar i ett kvalitetsmedelvärde. Detta divideras sedan med motsvarande värde för referensbeläggningsen, (en ABS-beläggning), kvoten multipliceras därefter med referensbeläggningsens beräknade livslängd. Produkten är den uppskattade livslängden som skall föras in i Olofsson-modellen.

PMS Objekt hanterar material och parametrar som finns beskrivna i VVK (Vägverkets Krav), övriga parametrar måste anpassas innan de förs in i modellen eller i sämsta fall uteslutas. Förutom den uppskattade livslängden beräknad i PMS Objekt behövs även den beräknade livslängden för terrassen samt vägverkets prioriteringar av beläggningsens egenskaper för objektet som indata. Utdata består av årskostnaden för anbudssumman och årligt pris per kvadratmeter för vägen.

Olofsson togs fram för att fungera som ett verktyg för anbudslämnarna för att kunna göra upphandling efter årskostnadskalkyl. Branschen har reagerat positivt på modellen, önskemål om större möjligheter att ändra vissa gränser för olika åtgärder samt att i förfrågningsunderlaget informeras om begränsningar i vissa tekniska lösningar. Modellen tar heller inte hänsyn till restvärde eller samhällskostnader.

### **3.3.4 Lönsamhetskalkyl – provväg E6**

Lönsamhetskalkyl – provväg E6 skapades för att kunna jämföra betong- och asfaltkonstruktioner med varandra under ett längre tidsperspektiv. Modellen skapades i Microsoft Excel. Sträckorna Hedberg – Fastarp och Arlanda flygplats till väg E4 var platserna där konstruktionerna uppfördes.

Indata som krävs vid beräkningen är investeringskostnader, underhållskostnader, trafikantkostnader vid underhållsarbete samt kostnader för lägre åkkomfort jämfört med nylagd väg. Utdata består av en optimistisk och en pessimistisk bedömning av livslängd och underhållsintervall för varje konstruktionstyp.

Modellen beaktar många samhällsekonomiska kostnader som restidskostnader, komfort, olyckskostnader och fordonskostnader, däremot ställs inga krav på beläggningsens egenskaper under livslängden med undantag för spårslitage. Restvärdet behandlas inte heller i modellen.

### **3.3.5 Lönsamhetskalkyl – drift och underhåll**

Lönsamhetskalkyl – drift och underhåll är framtagen av Vägverket och är en samhällsekonomisk beräkningsmodell för drift- och underhållsprojekt. Även den här modellen är skapad i Microsoft Excel. Det finns tio olika underhållsåtgärder som kan

väljas separat eller tillsammans som en strategi. Livslängden i beräkningen är satt till 40 år.

Indata som behövs vid beräkningen består av vägdata, trafikdata, kostnadsdata och val av underhållsåtgärd och tidpunkten för denna. Utdata ges i form av väghållarkostnader och trafikantkostnader.

Det finns krav på högsta tillåtna spår djup och högsta IRI värde. Krav på vägytans funktion som sprickor och stensläpp beaktas inte. Värt att nämna är också att typ av konstruktion inte behöver anges i modellen.

### **3.3.6 EVA**

EVA står för ”Effektbedömning vid VägAnalyser”. I modellen jämförs konsekvenserna av ett investeringsalternativ med nollalternativet vid tre olika tidpunkter, basåret, prognosår ett och prognosår två. Beräkningarna bygger på Vägverkets effektmodeller i publikationsserien Effektsamband 2000.

Indata för beräkningen hämtas från Vägdatbanken (VDB) och innehåller uppgifter om trafik, vägstandard och vägfunktion. Värden på kalkylränta och prognosår bestäms inför varje projekt. Utdata innehåller restidsförbrukning, fordonskostnader, avgasemissioner, drivmedelsförbrukning, antal olyckor, antal skadade, antal viltolyckor, normal drift- och underhållskostnad och restidstillägg på grund av halt väglag. När effekterna sammanvägts görs en samhällsekonomisk lönsamhetsbedömning för åtgärden.

EVA modellen fokuserar mycket på miljö och andra samhällskostnader vilket till viss del medför att vägtekniska parametrar inte prioriteras. Detta kan härledas till ett genomfört projekt på väg E4 söder om Sundsvall som resulterade i att vägsträckan fick minskade olyckor och minskad restid. Däremot blev drift och underhållskostnaderna större än tidigare.

## **3.4 Internationella exempel med LCC vid infrastrukturprojekt**

Ett projekt som kan anknytas till LCC-analys har genomförts i Norge och har namnet ”Livslängdsprognoser för beläggningar”. I deras regelverk är livslängden en viktig parameter för att avgöra eventuellt förstärknings- och underhållsbehov varför en satsning gjorts inom detta område. Syftet var att dokumentera förväntade livslängder vid olika trafikflöden för olika beläggningstyper (Holmvik & Wallin, 2007). Analysen baseras på data från Vägdatbanken (VDB) och beräknas utifrån ett PM-system (Pavement Management System). Beräkningen tar dock endast hänsyn till beläggningens spår- och IRI-värde och utelämnar parametrar som sprickor, hål, friktion och tvärfall. Modellen framstår som en väldigt enkel form av LCC-analys. Eftersom målet var att förutse en beläggningens livslängd har kostnadsposter som drift- och underhåll samt trafik- och miljökostnader utelämnats. Osäkerheten i modellen är stor på grund av begränsad indata samtidigt som den bygger på enkla linjära samband (Holmvik & Wallin, 2007).



I Nederländerna pågår ett infrastrukturprojekt som upphandlats med hjälp av LCC-kalkyl. Målet är att bredda motorvägssträckan A4 Burgerveen – Leiden. Den totala kontraktssumman uppgår till 300 miljoner EUR och innefattar förutom breddning av 14 km motorväg även uppförande av 15 nya broar, 1 akvedukt och 12 nya bullerval-lar/väggar. Byggnationen kommer att pågå mellan 2007 – 2012. Istället för lägsta pris har lägsta livscykelkostnad används som ett av kriterierna för att bedöma det mest fördelaktiga förslaget. Tydligare och mer detaljerade krav på förfrågningsunderlaget efterfrågades i kombination med att staten önskade lägga över ett större ansvar på den privata sektorn, bidrog till att LCC användes i upphandlingsprocessen. Anbudet bestod av en initial planerings- och utformningskostnad, en initial produktionskostnad samt kostnad för förväntat underhåll. Det vinnande anbudet valdes med hänsyn till nuvärdena av underhållskostnaderna samt lägsta initialkostnader. Kalkylräntan sattes till 4 %. Osäkerheten i att bestämma exakt livslängd ledde till att en oändlig kalkylperiod valdes med antagandet att konstruktioner förbrukas och ersätts med nya under ett regelbundet intervall, så kallad repetitiv livscykel. Funktionen hos den nya konstruktionen skall vara densamma som hos den förbrukade. Antagandet skall inte ha särskilt stor inverkan på livscykelkostnaden eftersom kostnader långt in i framtiden har liten betydelse på grund av kalkylränteeffekten. För att jämföra de olika anbuden utvecklades mjukvaran CALM (Cost Analysis Lifecycle Model) av det nederländska ministeriet för transport och vattenfrågor, Rijkswaterstaat, vars beräkningsmodeller grundades på tidigare erfarenheter och nedbrytningsmodeller för ett antal olika beläggnings-typer. Någon risk- eller känslighetsanalys ingår inte i det Excelbaserade programmet. Eftersom hänsyn togs till livscykelkostnaderna i upphandlingsprocessen minskade de förväntade drift- och underhållskostnaderna samtidigt som produktionskostnaden inte ökade nämnvärt. Detta var möjligt tack vare att entreprenörerna uppmuntrades till att utveckla bättre tekniska lösningar och innovationer avsedda för ett längre tidsperspektiv (Davis Langdon Management Consulting, 2007).

### 3.5 Funktionskrav vid funktionsupphandling

En förutsättning för en väl genomförd LCC-beräkning är tillförlitlig indata. Krav och gränsvärden behövs, inte minst ur drift- och underhållssynpunkt, för att göra en god bedömning av de framtida årskostnaderna.

När upphandlingar av funktionsentreprenader görs väljer beställaren vilka egenskaper som vägen skall ha under garantitiden, s.k. funktionskrav. Olika typer av krav kan ställas beroende på vägens typ, storlek och förväntad trafiksituation. En väg med mycket trafik ställer höga krav på slitlagrets nötningsresistens. Vägar belägna nära bostadsområden kräver däremot låga bullernivåer o.s.v. (SKL, 2001). En vägkonstruktions egenskaper kan delas upp i olika nivåer och illustreras i kravpyramiden i figur 3.1. I pyramidens bas finns detaljerade krav på materialegenskaper och utförande. Därefter följer krav på beläggningsprestanda och struktur. Högst upp i pyramiden är kraven alltmer funktionella för att tillfredställa trafikanternas behov.

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson



Figur 3.1 Vägens olika egenskaper illustrerade i kravpyramid (FIA, 2006)

Funktionskraven delas in i tre olika nivåer; asfaltmassa, beläggningslager och vägyta. Det är viktigt att bara ställa krav på en funktionell egenskap på en nivå eftersom egenskaperna ofta är beroende av varandra. Funktionskrav på asfaltmassa ställs på laborietillverkade provkroppar. Funktionskrav på beläggningslager ställs och kontrolleras på borrprover från den färdiga vägen. Vid de tillfällen då beläggningen är väldigt tunn bör istället funktionskraven upphandlas på asfaltmassan eftersom det kan vara problematiskt att mäta på alltför tunna provkroppar. Funktionskrav på vägyta ställs på beläggningsytan efter att vägen färdigställts. När sådana krav ställs är det viktigt att vägytans tillståndsutveckling följs upp. Det är också viktigt att funktionskraven är mätbara så att vägens tillstånd lätt kan bedömas. Om kraven är svåra att kontrollera skall beställare och entreprenör komma överrens om hur mätningen skall gå till och skriva ner detta i kontraktet. Då kraven inte uppfylls vid garantibesiktningen kan entreprenören tvingas att åtgärda problemen utan någon ersättning alternativt få avdrag på kontraktssumman. Om entreprenören däremot har uppfyllt funktionskraven med god marginal kan en bonus erhållas enligt överenskommet avtal (SKL, 2001).

Funktionskraven är förutom indelning efter funktionsnivå uppdelade efter i vilket skede av entreprenaden de ställs. De tre olika skedena är; krav direkt (inom en månad) efter utförandet, krav under garantitiden och krav vid garantibesiktningen. I kontraktet mellan beställare och entreprenören skall det tydligt framgå i vilket skede varje funktionskrav skall gälla (FIA, 2006).

Förutom de så kallade specifika kraven som är beroende av funktionsnivå enligt kravpyramiden, finns också ett antal generella vägytekrav oberoende av nivå, se tabell 3.1.

Tabell 3.1 Generella krav på vägyta (FIA, 2006)

Slutbesiktning (Leveranskrav)	Garantitid (Beständighetskrav)
Friktion Jämnhet i tvärled (spårdjup) Jämnhet i längdled Tvärfall	Friktion Stenlossning Sprickor

Upphandlingen kan ske med hänsyn till krav på vägyta eller krav på beläggningsslager. Det går även utmärkt att kombinera beläggningsslagrens krav med de generella kraven på vägytan. Funktionskrav kan också sättas på vägyta och objekt eller hela vägområdet (Ekdahl, 2007). En anledning till att inte krav vanligen ställs på asfaltmassa, material och utförande är att entreprenörens frihet att välja tekniska lösningar begränsas samtidigt som ansvarsfrågan blir otydligare (Ulmgren, 2007).

### 3.5.1 Krav på beläggningsslager

Krav på beläggningsslager anges normalt i två skeden av entreprenaden, vid slutbesiktningen och under garantitiden. I tabell 3.2 anges några exempel på krav på beläggningsslager och vid vilket skede de är aktuella. Det bör dock sägas att det inte är nödvändigt för beställaren att ange alla krav utan de som är mest väsentliga och eftersträvansvärda för objektet.

Tabell 3.2 Några krav på beläggningsslager vid olika skeden (FIA, 2006)

Funktion / Egenskap		
Slutbesiktning	Garantitid	Garantibesiktning
Nötningsresistens Deformationsresistens Vattenkänslighet Friktion Jämnhet i tvärled Jämnhet i längsled Tvärfall	Friktion Stenlossning Sprickor	Friktion Stenlossning Sprickor (Beständighet)

Tabell 3.2 anger de vanligaste funktionskraven för beläggningsslager, det förekommer även andra krav som under vissa omständigheter kan vara användbara. Homogenitet, lågtemperaturregenskaper, permeabilitet (täthet), utmattningsmotstånd och lastfördelning förmåga/ bärighet är exempel på sådana funktionskrav. Som tidigare nämnts är det viktigt att använda tydliga mätmetoder. Vilken mätmetod som passar bäst för varje krav är upp till inblandade parter att bestämma, ett antal metoder med tillhörande standard för olika krav på beläggningsslager framgår av tabell 3.3.

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

*Tabell 3.3 Mätmetoder enligt standard för olika funktionskrav (Ulmgren, 2007)*

<b>Parameter</b>	<b>Metod</b>	<b>Standard</b>
Nötning	Prall (Abrasion)	FAS Metod 471-2003 SS-EN 12697-16 part A
Deformation	Dynamisk kryptest (Uniaxial compression)	FAS Metod 468-00 SS-EN 12697-25 part A
Lastfördelande förmåga (Bärighet)	Styvhetsmodul (ITT) Stiffness Tjocklek (Thickness)	FAS Metod 454-98 SS-EN 12697-26 part C (IT-CY) VVMB 903 SS-EN 12697-36
Utmattning	ITT (Fatigue)	VTI-metod, Notat 38-95 SS-EN 12697-24 part E
Beständighet	Vattenkänslighetstal (Water sensitivity)	FAS Metod 446-01 SS-EN 12697-12
Lågtemperatur	TSRST	
Täthet	Permeabilitet (Permeability)	SS-EN 12697-19
Homogenitet	DOR	Utkast 2003:1

Mer ingående beskrivning av hur mätmetoderna fungerar finns att tillgå i VVK (Vägverkets Tekniska Krav) kapitel 7.1.10 samt i dokumentet ”Funktionskrav för underhållsbeläggningar – Ett projekt inom FIA, Etapp 1” utarbetat av organisationen Förnyelse I Anläggningsbranschen.

### 3.5.2 Krav på vägyta

Krav på vägyta kan ställas under alla tre skeden i entreprenaden. I tabell 3.4 redovisas de vanligaste kraven.

*Tabell 3.4 Vanliga vägytekrav i entreprenadens olika skeden (FIA, 2006)*

<b>Funktion / Egenskap</b>		
<b>Slutbesiktning</b>	<b>Garantitid</b>	<b>Garantibesiktning</b>
Friktion	Friktion	Friktion
Jämnhet i tvärled	Jämnhet i tvärled, spårdjup	Jämnhet i tvärled, spårdjup
Jämnhet i längsled	Jämnhet i längsled	Jämnhet i längsled
Tvärfall	Tvärfall	Tvärfall
	Stenlossning	Stenlossning
	Sprickor	Sprickor

Exempel på andra krav som kan härledas till vägytan är bärighet, permeabilitet, ytavvattning, ljushet och bullerdämpning. Precis som för kraven för beläggningsslager gäller att funktionskraven för vägytan skall anpassas efter det aktuella objektets behov. Mätmetoderna och tillhörande standard anges för ett antal olika ytegenskaper i tabell 3.5.

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

Tabell 3.5 Mätmetoder enligt standard för olika vägytekrav (FIA, 2006)

Parameter	Metod Huvudförslag	Metod Enkel
Friktion	Friktionsvagn VVMB 104	Textur (Sand-patch) SS-EN 13036-01
Jämnhet i tvärled, spår- djup	Vägytemätbil VVMB 116	Rätskiva VVMB 107, SS-EN 13036-7
Jämnhet i längsled	Vägytemätbil VVMB 116	Rätskiva VVMB 107, SS-EN 13036-7
Tvärfall	Vägytemätbil VVMB 116	Rätskiva VVMB 107
Stenlossning	Fotografering (okulär ut- värdering)	Textur (Sand-patch) SS-EN 13036-01
Sprickor	Okulärbesiktning	
Buller	CPX EN ISO11819-02 Draft	
Ljushet	Retroreflexion, LTL 800 Ljusreflexion	
Dränering/ytavvattning	Dränförmåga SS-EN 13036-03	Okulärbesiktning vid nederbörd
Täthet	Hålrum	
Bärighet	Fallviktsmätning	

Det skall poängteras att val av mätmetod bör väljas utifrån objektets storlek. Kostnaderna kan bli oacceptabla för mättnings- och provningsförsöken om onödigt avancerad utrustning används för ett litet objekt. Även tillgängligheten för provningen kan vara avgörande (FIA, 2006). Mer ingående beskrivning av hur mätmetoderna fungerar finns att tillgå i VVK (Vägverkets Krav) kapitel 7.1.11 samt i dokumentet ”Funktionskrav för underhållsbeläggningar – Ett projekt inom FIA, Etapp 1” utarbetat av organisationen Förnyelse I Anläggningsbranschen.

### 3.6 Erfarenheter av funktionsupphandling

Funktionsentreprenader har länge funnits i vägbyggnadsbranschen men har på senare år ökat i popularitet. Vägverket har som mål att minst 30 % av alla underhållsprojekt skall upphandlas med funktionskrav, alltså via total- eller funktionsentreprenad (Andersson & Lennström, 2008). Det är svårt att göra någon omfattande utvärdering av upphandlingar som upphandlats med funktionskrav. Projekt har gjorts med varierande storlek och komplexitet varför det är svårt att göra en enhetlig bedömning. Dessutom förvärras utvärderingsarbetet av att entreprenaderna pågår under väldigt lång tid. Reaktionen från de projekt som genomförts har ändå varit positiva. Förbättringar jämfört med utförandeentreprenad har varit;

- Lägre kostnader
- Stimulerad teknikutveckling
- Tendens till högre kvalitet
- Större engagemang hos personal

(Ekdahl, 2007)

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

För att alla dessa positiva förbättringar skall uppfyllas är det viktigt att upphandlingsprocessen utförs på rätt sätt. En viktig grund är beställarens förfrågningsunderlag. Det skall klart och tydligt framgå vilka krav som slutprodukten skall inneha samt vilken nivå och vid vilken tidpunkt kraven ställs. Uppgifter om vägens förutsättningar, kontraktstid, bonus- och avdragsregler, krav på laboratorier, mätmetoder, besiktningstider och eventuella avgränsningar skall tydligt framgå. Att i ett tidigt skede klargöra vilka roller och vilket ansvar som förväntas av alla inblandade är en förutsättning för ett gott slutresultat (SKL, 2001).

## 4. Enkät svar

Svarsdeltagandet har dessvärre varit lågt då endast fem av tjugo personer lämnat svar, varav fyra från Sverige och en från Finland. Detta har gjort det svårt att skapa ett representativt resultat, dock har vissa värdefulla åsikter och synpunkter mottagits. Åsikterna har lämnats från personer som regelbundet arbetar med LCC-frågor i sitt dagliga arbete och borde därför inneha goda kunskaper om hur en ny modell skall utformas. Svarsdeltagarna arbetar på företagen och organisationerna Vägverket, VTI (Statens Väg- och transportforskningsinstitut), Ramböll och Skanska.

Den generella uppfattningen är att LCC-tänkande förekommer i relativt låg utsträckning idag. Projekt som upphandlats med hjälp av LCC har ofta varit underhållsprojekt på objektsnivå. Anledning till det begränsade användandet tros bland annat bero på avsaknaden av en accepterad beräkningsmodell i kombination med svårigheter med att ta fram tillförlitliga indata.

Samtliga personer som svarat tycker att samhällskostnader är viktig i en LCC-analys. Osäkerheten i att uppskatta dessa upplevs dock som ett stort problem vilket kan leda till stora utslag i lönsamhetsbedömningar som i sin tur kan leda till val av felaktig lösning. Svårigheter i bedömningen av samhällskostnader har gjort det problematiskt att bedöma resultatet.

Nya tekniska lösningar och nya material har tidigare varit en begränsning vid LCC-bedömningar. Detta problem skulle kunna lösas om nedbrytningsmodeller som bygger på fysikaliska egenskaper istället för erfarenhetsvärden används. Att över huvud taget våga prova andra lösningar än de som föreskrivs i VVK är eftersökta.

Den allmänna uppfattningen är att funktionskrav skall bestå av Vägytadata (spår djup, IRI, sprickor m.m.), det viktiga är dock att kraven är tydligt ställda och att alla ansvarsroller är tydligt fördelade. Av enkätundersökningen framkom även att det förekommer vissa svårigheter med att ta fram indata med hjälp av materialtester. Vissa mätmetoder innehåller relativt stor osäkerhet och kan dessutom variera beroende på mätutrustning och tidpunkt för provtagning. Det viktigaste är inte vilka mätmetoder som används utan hur pass väl de är anpassade till aktuell nedbrytningsmodell.

De tillfrågade anser att följande aspekter är viktiga i utformningen av en ny modell:

- Modellen skall vara enkel, användarvänlig och avspegla verkligheten på bästa möjliga sätt.
- Risker för beställare och entreprenörer skall minimeras.
- Modellen skall också kunna beskriva vägens tillståndsutveckling efter en specifik åtgärd.
- Nya material och konstruktionslösningar skall tillåtas.
- Dela upp indata i olika boxar för samhällsnytta, nedbrytning, och ekonomiska förutsättningar och sedan sammanfoga dessa i en trovärdig modell.

Nedan listas några intressanta svar från enkätundersökningen där personer inom vägbranschen har gett sin syn på LCC. Mindre omskrivningar har gjorts.

”LCC-arbete kan används som ett strategiskt verktyg när man söker de bästa alternativen för åtgärds politik.”

”Viss osäkerhet i respons- och nedbrytningsmodeller gör det svårt att beräkna livscykelkostnaden samt jämföra olika konstruktioner och material.”

”Samhällskostnader är viktiga, om man kan framställa dem.”

”För att kunna hantera nya konstruktionslösningar eftersöks en mer utvecklad nedbrytningsmodell som bygger på grundläggande fysikaliska principer och inte så mycket på erfarenhetsvärden.”

”Ett första steg är att över huvud taget våga prova andra lösningar än de som föreskrivs i VVK.”

En fullständig sammanställning av enkätsvaren återfinns i bilaga 3.



## 5. Förutsättningar för ny LCC-modell

Målet är att skapa ett praktiskt verktyg för beställare och entreprenörer så att projekt kan upphandlas på årskostnadsbasis. LCC-modellerna som beskrivs i kapitel 3.2 har främst varit utvecklade för ett eller ett fåtal olika projekt. Bakgrunden till modellerna har varit svåra att motivera och ofta saknat dokumenterad grund vilket gjort användningen begränsad. För att undvika detta scenario krävs att den nya modellen bygger på standardiserade mätmetoder och nedbrytningskriterier som är accepterade i branschen. Eftersom upphandling av drift- och underhållsåtgärder vanligtvis sker på enskilda objekt är det också lämpligt att även nedbrytningskriterier är anpassade för objektsnivå. Framtagning av nya kriterier skulle dock innebära ett omfattande insamlingsarbete av indata vilket ligger utanför resurserna för detta examensarbete.

Ambitionen är att om möjligt skapa en modell som tar hänsyn till hela vägkonstruktionen och inte bara beläggningen. Majoriteten av alla underhållsprojekt omfattar vanligtvis endast beläggningen men om modellen skall kunna appliceras vid förstärkningsobjekt är det nödvändigt att hela konstruktionen inkluderas. Eftersom varje projekt är unikt bör modellen ha viss grad av anpassningsförmåga så att den kan appliceras för alla drift- och förstärkningsprojekt. Entreprenörer skall samtidigt ha möjlighet att ta fram nödvändig indata enligt standardiserade metoder. Den nya modellen skall dessutom kunna ta hänsyn till nya tekniska lösningar och material vilket tidigare varit en begränsning. Om möjligt skall fördelar från tidigare modeller utnyttjas samtidigt som förbättringar och eventuella modifikationer genomförs för att skapa en mer optimal metodik. Eftersom modellen skall vara publik bör en motsvarande programvara användas, förslagsvis Microsoft Excel där datahantering och beräkningar enkelt kan utföras.

### 5.1 Metodik för ny LCC-modell

För att modellen skall kunna anpassas till olika objekt bör systematiken vara så pass flexibel att ingående delar kan bytas ut alternativt förnyas i takt med att förbättrade nedbrytningskriterier utvecklas. LCC-modellen skall fungera som en plattform där olika moduler kan ersättas och kombineras beroende på de ställda funktionskraven. Nedan redovisas några exempel på beräkningsmoduler som kan användas i modellen.

#### **PMS – Objekt**

Vägverkets publika program, kan användas för att uppskatta funktionskrav såsom sprickor, tjälkrav och spårslitage. Programmet begränsas i viss mån av att endast ett antal typbeläggningar kan användas vid beräkningarna. Om någon annan beläggning skall analyseras kan problemet delvis lösas genom att välja den typbeläggning vars egenskaper mest påminner om den tänkta beläggningen.

#### **II – PMS**

II – PMS är en applikation till PMS-Objekt, utvecklat av Vägverket och Ramböll RST, som uppskattar en vägs IRI-utveckling (jämnhet i längsled). Vägens IRI-värden finns vanligtvis dokumenterade sedan många år tillbaka och med hjälp av dessa data

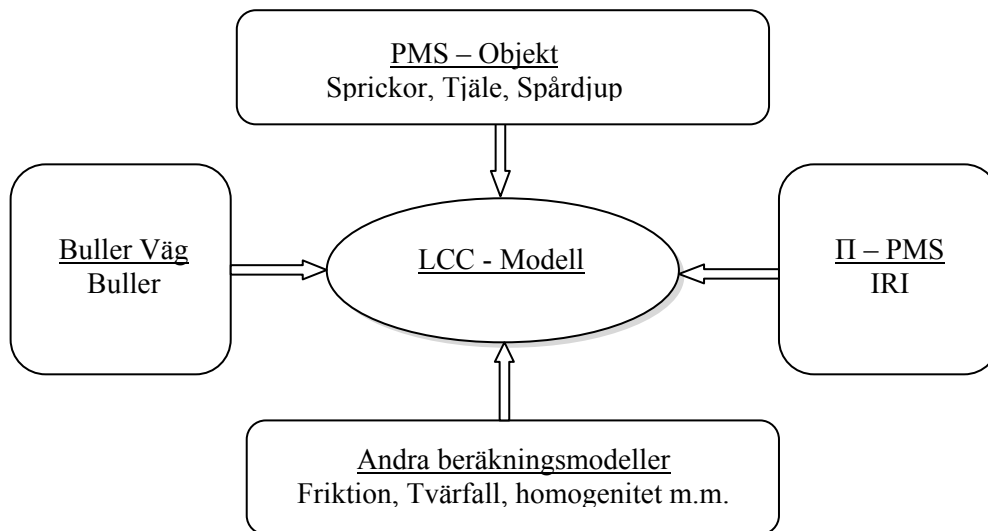
kan en framtida uppskattning om vägens tillstånd göras. Uppskattningen sker genom att göra så kallade beläggningssimuleringar för olika typåtgärder för att få fram troligt IRI-tillstånd. (Ekdahl, 2005)

### **Buller Väg**

Buller Väg är ett beräkningsprogram som är utvecklat av företaget Trivector och bygger på Naturvårdsverkets samnordiska beräkningsmodell för vägtrafikbuller. Programmet kan användas som en beräkningsmodul i LCC-modellen när funktionskrav ställs på ljudnivåer längs vägen. Programmet beräknar både maximal och ekvivalenta ljudnivåer. (Trivector, 2009)

De tre ovan nämnda beräkningsmodulerna är exempel på moduler som kan användas i LCC-modellen. Det viktiga är att använda det mest lämpade programmet för varje funktionskrav. Om nya förbättrade beräkningsmoduler utvecklas så skall dessa givetvis ersätta föregångarna. På detta vis skapas en iterativ förbättring av LCC-modellen.

Figur 5.1 visar en principiell skiss på hur indata kan hämtas från olika källor för att sedan sammanfogas i LCC-modellen.



Figur 5.1 – Systematik i ny LCC-modell

Många av de beräkningsprogram som kan användas som moduler i LCC-modellen är inte helt exakta utan är fortfarande bara en uppskattning av ett framtida tillstånd. I den perfekta LCC-modellen skulle alla beräkningsmoduler kunna hantera alla olika sorters material och beläggningar och samtidigt ge en exakt uppskattning av vägens framtida tillstånd. LCC-modellen blir inte bättre än beräkningsmodulerna den bygger på. Utveckling och forskning kring förbättring och eventuellt alternativa beräkningsmetoder för olika funktionskrav är därför viktigt.

De beräkningsmoduler som nämnts i det här kapitlet behandlar främst funktionskraven på vägytan. För att uppskatta funktionskrav som finns på beläggningslager (se tabell 3.3) kan implementering av labtester i LCC-modellen vara aktuell. Labtesterna kan om de är tillräckligt tillförlitliga användas som moduler i LCC-modellen. En svårighet ligger i att uppskatta ett framtida tillstånd med hjälp av sådana tester. En lösning på problemet skulle kunna vara att införa regelbundna tester på vägar och att dessa data sedan dokumenteras och utnyttjas på samma sätt som i  $\pi$ -PMS. Om vägens historik är känd blir det mycket lättare att uppskatta det framtida tillståndet. Den här typen av datainsamling är givetvis kostsam och kommer att ta lång tid men kan kanske vara ett verktyg för att beskriva och uppskatta vägens tillståndsutveckling.

## 6. Resultat

En ny LCC-modell har utvecklats och utformats i Microsoft Excel. Modellen är ett förslag på hur en LCC-modell kan utformas, det bör dock understrykas att modellen bygger på i dagsläget kända nedbrytnings samband som inte ger någon helt exakt bild av verkligheten varför fortsatt forskning och utveckling är viktigt. Tips och råd från enkätundersökningen har delvis fungerat som underlag till den nya modellen. Det låga svarsdeltagandet har dock inneburit att utformningen till stor del gjorts på egen hand i samråd med handledare.

### 6.1 Beskrivning och omfattning

Modellen bygger på analytisk-empirisk metodik som beräknar vägens livslängd efter en tilltänkt underhållsåtgärd. En fördel med en sådan metodik är att den är flexibel och därmed kan anpassas till olika förhållanden, den bygger dessutom på fysikaliska principer istället för erfarenhetsvärden vilket har efterfrågats i branschen. Bakomliggande samband är elasticitetsteorin och Boussinesq's ekvationer för beräkning av spänningar och töjningar på olika nivåer i vägkonstruktionen. Dessa ekvationer är anpassade för en homogen, isotropisk och linjärelastisk kropp, detta förhållande råder dock inte fullständigt i en vägkonstruktion varför Odemarks ekvivalentmetod också har använts. Metoden är utvecklad av civilingenjör Nils Odemark och syftar till att ersätta vägens olika skikt med ett lager med samma elasticitetsmodul som undergrunden, på så vis kan elasticitetsteorin appliceras (Kompendium Vägbyggnad 2007). Modellen beräknar livslängden för beläggningen och terrassen med hänsyn till dragtöjningar i det bundna lagrets underkant respektive kritisk vertikalspänning på terrassen. För att ta fram tillåtet antal standardaxlar för det bundna lagret används Nottinghamkriteriet. För det obundna lagret används VVK's nedbrytnings samband.

Modellen beräknar även tillståndsutvecklingen för spårdjup och IRI. Spänningar och töjningar beräknas precis som tidigare med hjälp av Boussinesq's ekvationer och ekvivalentmetoden. Övriga funktionskrav skall också uppfyllas och beräknas med bäst lämpad beräkningsmodell. Med hjälp av annuitetsmetoden beräknas en genomsnittlig årskostnad under livslängden genom att summan av framtida och nutida kostnaders nuvärden multipliceras med annuitetsfaktorn. Den kortare livslängden av bundet lager och terrass används som kalkylperiod. Annuitetsmetoden har valts därför att den är användbar när alternativ med olika livslängd skall jämföras och även för att en årskostnad erhålls. Modellen består av fyra ark i Excel och återfinns i sin helhet i bilaga 4.

### 6.2 Indata och utdata samt antaganden för beräkningar

För att beräkningarna skall kunna genomföras i LCC-modellen krävs ett antal olika indata som listas nedan:

- **Information om projektet:** Objektsnamn, datum, garantitid (år) och vald kalkylränta (%)

- **Trafikförutsättningar:** ÅDT, andel tung trafik (%), förväntad trafikökning (%), dimensionerande axellast (ton), avstånd mellan däck för boggiaxel, kontaktryck (MPa) och kontaktradie (mm)
- **Konstruktionsdata:** Bindemedelshalt (volym-%), mjukpunkt ( $^{\circ}\text{C}$ ), elasticitetsmoduler (MPa), lagertjocklekar (mm), poisson's tal, ekvivalent antal standardaxlar och korrektionsfaktorer som används för att få en bättre överensstämmelse med elasticitetsteorin.
- **Anbudssumma**

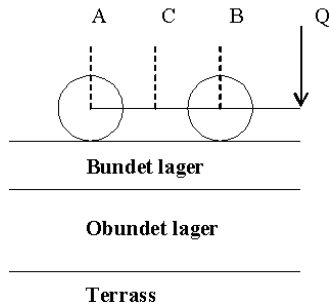
Dessutom skall alla funktionskrav vara uppfyllda enligt respektive beräkningsmodul som beskrevs i kapitel 5. När alla indata är ifyllda och beräkningarna utförda erhålls följande utdata:

- **Beräknade livslängder för bundet lager och terrass**
- **Genomsnittlig årskostnad under garantitiden för projektet**

Indata rörande befintliga förutsättningar tillhandahålls av beställaren i förfrågningsunderlaget så att alla anbudsgivare räknar med samma grundförutsättningar. Entreprenören har sedan möjlighet att konstruera egna lösningar så länge funktionskraven är uppfyllda och så länge livslängden uppfylls under hela garantitiden. Om underhållsåtgärden endast avser att skapa en ny beläggning är det upp till beställaren att ta fram indata om de obundna lagrens egenskaper för den befintliga konstruktionen. Om underhållsåtgärden innebär ett större ingrepp i vägkonstruktionen där förändringar skall göras även i de obundna lagren ligger detta ansvar på entreprenören.

Poisson's tal eller tvärkontraktionstalet som det även kallas är en parameter som definieras som den relativa ändringen av längden och den relativa ändringen i tjocklek. I vägbyggnadstekniska sammanhang sätts talet ofta till 0,35. Axellasten  $Q$  kan ändras i beräkningarna beroende på hur tunga fordon som kommer att belasta vägen, detsamma gäller för avståndet mellan däcken,  $d$ . För att få bättre överensstämmelse med elasticitetsteorin vid beräkningar av ekvivalenta lagertjocklekar används korrektionsfaktorer som vanligtvis sätts till 1 för det första lagret och 0,8 för de övriga lagren.

Vid tillståndsberäkningarna antas lasten bestå av en punktlast. Figur 6.1 visar val av lastfall där bakaxeln har lasten  $Q$ , axeln är en boggiaxel med två hjulpar. Spänningar och töjningar beräknas sedan längs ena däckets centerlinje,  $A (= B)$  samt mellan däckspåret  $C$  för att se var de kritiska punkterna finns. Lastfallet valdes för att på bästa sätt beskriva lasten av ett tungt fordon.



Figur 6.1 Beräkningspositioner vid tillståndsberäkningar

Ett annat antagande som gjorts är att spår- och IRI-tillstånd försämras med konstant hastighet från år till år. Detta har gjorts för att förenkla och underlätta beräkningarna, i verkligheten bör nedbrytningen gå något snabbare ju sämre vägens tillstånd blir.

### 6.3 Beräkningar

I detta kapitel redovisas beräkningsgången för livslängdsberäkningen och vilka ekvationer och samband som använts i samband med denna. Dessa har hämtats från (Ullidtz, 1987), (Parhamifar, 1999) och (Skiöld & Mauritzson, 1993).

#### 6.3.1 Ekvivalentmetoden

För att få fram ekvivalenta lagertjocklekar används följande transformationer:

$$h_A = h_{AG} + \left( h_{SL} * \frac{E_{SL}}{E_{AG}} \right) \quad (6.1)$$

$$h_{e1} = f_1 * h_A * \left( \frac{E_{AG}}{E_{BL}} \right)^{1/3} \quad (6.2)$$

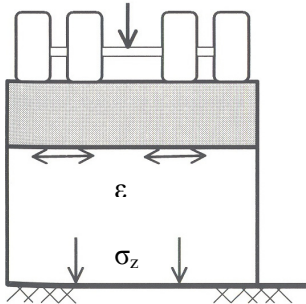
$$h_{e2} = f_2 * \left( h_A * \left( \frac{E_{AG}}{E_{FL}} \right)^{1/3} + h_{BL} * \left( \frac{E_{BL}}{E_{FL}} \right)^{1/3} \right) \quad (6.3)$$

$$h_{e3} = f_3 * \left( h_A * \left( \frac{E_{AG}}{E_{terr}} \right)^{1/3} + h_{BL} * \left( \frac{E_{BL}}{E_{terr}} \right)^{1/3} + h_{FL} * \left( \frac{E_{FL}}{E_{terr}} \right)^{1/3} \right) \quad (6.4)$$

I ekvationerna är  $h_e$  den ekvivalenta lagertjockleken,  $E$  är elasticitetsmodulen för aktuellt lager och  $f$  är korrektionsfaktor.

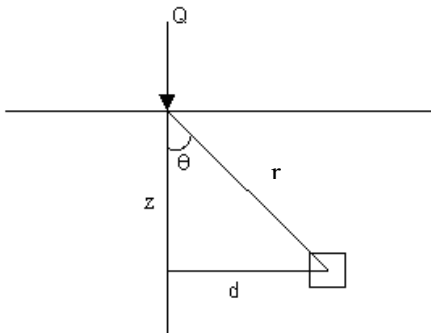
### 6.3.2 Spänningsberäkningar

Vid tillståndsberäkning av spår och IRI görs spänningsberäkningar för vänster och höger däck samt mellan däcken, position A och B respektive C, se figur 6.1. Beräkningsproceduren utförs i gränsskiktet mellan bundna och obundna material samt på terrassnivå. Anledningen till detta är att dessa områden normalt anses vara de mest kritiska i vägkonstruktionen, se figur 6.2.



Figur 6.2 Kritiska punkter hos en vägkonstruktion (Parhamifar, 1999)

Med ekvivalent lagertjocklek  $h_e$  och avståndet mellan däck A och B,  $d$ , kan avståndet  $r$  räknas ut med hjälp av Pythagoras sats, se figur 6.3, där  $z$  i det här fallet blir den ekvivalenta lagertjockleken. Avståndet behövs för att räkna ut spänningsbidraget från varje däck och beräknas enligt ekvation 6.5.



Figur 6.3 Beräkning av avståndet  $r$  (Skiöld & Mauritzson, 1993)

$$r_{AB} = \sqrt{(h_e^2 + d^2)} \quad (6.5)$$

Nedböjningsradien  $a$ , som bildas av lasten  $Q$  och kontaktrycket  $\sigma_0$  följer av ekvation 6.6.

$$a = \sqrt{\frac{Q}{4 * \pi * \sigma_0}} \quad (6.6)$$

Härefter kan den kritiska spänningen på aktuellt lager beräknas. Genom att summera lasten från position A och B och jämföra med lasten från position C kan den största och därmed kritiska spänningen utläsas. Beräkningarna genomförs enligt ekvation 6.7 – 6.11.

Spänning från vänster däck, position A (= position B):

$$\sigma_{z,A,v} = \sigma_0 * \left( 1 - \frac{1}{\left( \sqrt{1 + \left( \frac{a}{h_e} \right)^2} \right)^3} \right) \quad (6.7)$$

Spänning från höger däck, position A (= position B):

$$\sigma_{z,A,h} = \left( \frac{3 * \frac{Q}{4} * h_e^3}{2 * \pi * r_{AB}^5} \right) \quad (6.8)$$

Totalspänningen från höger och vänster däck, position A (= position B):

$$\sigma_{z,A,h\&v} = \sigma_{z,A,h} + \sigma_{z,A,v} \quad (6.9)$$

Från position C, mellan däcken, får ekvationerna följande utseende:

$$r_C = \sqrt{h_e^2 + \left( \frac{d}{2} \right)^2} \quad (6.10)$$

Spänningen från position C från höger och vänster däck:

$$\sigma_{z,C,v\&h} = \left( \frac{3 * \frac{Q}{4} * h_e^3}{2 * \pi * r_C^5} \right) \quad (6.11)$$

Den kritiska spänningen  $\sigma_{z,k}$  ges av det största värdet av  $\sigma_{z,C,v\&h}$  och  $\sigma_{z,A,h\&v}$ .



Vid livslängdsberäkningen har beräkningarna förenklats något där punktlasten ersätts med en jämnt utbredd last fördelad över en cirkulär yta. Spänningsberäkningarna för respektive nivå i vägkonstruktionen kan då beräknas enligt ekvation 6.12.

$$\sigma_z = \sigma_0 * \left( 1 - \frac{1}{\left( 1 + \left( \frac{a}{h_e} \right)^2 \right)^{1,5}} \right) \quad (6.12)$$

### 6.3.3 Töjningsberäkningar

Vid tillståndsberäkningar av spår och IRI har vertikaltöjningen på terrassen beräknats. Liksom spänningen beräknas töjningen från position A, B och C för att sedan avgöra vilken som är den kritiska töjningen.

Töjning från vänster däck, position A (= position B), där  $\mu$  är poisson's tal:

$$\varepsilon_{z,A,v} = \frac{(1 + \mu) * \sigma_0}{E} \left( \frac{\frac{h_e}{a}}{\left( \sqrt{1 + \left( \frac{h_e}{a} \right)^2} \right)^3} - (1 - 2\mu) \left( \frac{\frac{h_e}{a}}{\sqrt{1 + \left( \frac{h_e}{a} \right)^2}} - 1 \right) \right) \quad (6.13)$$

Töjning från höger däck, position A (= position B):

$$\varepsilon_{z,A,h} = \left( \frac{(1 + \mu) * \underline{Q}}{2 * \pi * r_{AB}^2 * E} \right) * \left( 3 * \left( \frac{h_e}{r_{AB}} \right)^3 - 2\mu * \frac{h_e}{r_{AB}} \right) \quad (6.14)$$

Den totala töjningen från höger och vänster däck, position A (= position B):

$$\varepsilon_{z,A,h\&v} = \varepsilon_{z,A,h} + \varepsilon_{z,A,v} \quad (6.15)$$

Töjningen från position C från höger och vänster däck:

$$\varepsilon_{z,C,h\&v} = 2 * \left( \left( \frac{(1 + \mu) * \frac{Q}{4}}{2 * \pi * r_C^2 * E} \right) * \left( 3 * \left( \frac{h_e}{r_C} \right)^3 - 2\mu * \frac{h_e}{r_C} \right) \right) \quad (6.16)$$

Den kritiska töjningen  $\varepsilon_{z,k}$  ges av det största värdet av  $\varepsilon_{z,C,v\&h}$  och  $\varepsilon_{z,A,h\&v}$ .

Vid livslängdsberäkningen har beräkningarna förenklats något där punktlasten ersätts med en jämnt utbredd last fördelad över en cirkulär yta. Dragtöjningen i underkant av det bundna lagret har beräknats enligt ekvation 6.17 och 6.18.

$$R_{nedböjning} = \frac{E_{BL} * a * \left( 1 + \left( \frac{h_e}{a} \right)^2 \right)^{2,5}}{(1 - \mu^2) * \sigma_0 * \left( 1 + \left( 1 + \frac{3}{2 * (1 - \mu)} \right) * \left( \frac{h_e}{a} \right)^2 \right)} \quad (6.17)$$

$$\varepsilon_r = \left( (h_{SL} + h_{AG}) / 2 * R_{nedböjning} \right) * 10^6 \quad (6.18)$$

Där

$R_{nedböjning}$	nedböjningsradien i mm
$E_{BL}$	E-modulen för obundet bärlager i MPa
$\varepsilon_r$	töjningen i underkant av bundna lager i microstrain

### 6.3.4 Nedbrytningskriterier

För nedbrytning av bundna material har Nottinghamkriteriet använts, se ekvation 6.19. Detta används för att entreprenören skall ha möjlighet att välja nya och egna beläggningar istället för de vanliga standardbeläggningarna som anges i VVK. För att beräkna nedbrytningen krävs uppgifter om bindemedelshalt, mjukpunkt enligt kula & ring metoden samt dragtöjningen i underkant av bundet lager.

$$\log N_{till} = 15,8 * \log \varepsilon_r - 46,06 - (5,13 * \log \varepsilon_r - 14,39) * \log V_b - (8,63 * \log \varepsilon_r - 24,2) * \log SP_i \quad (6.19)$$

För nedbrytning av obundna material har VVK's kriterium använts enligt ekvation 6.20.

$$N_{till} = \frac{8,06 * 10^{-8}}{\varepsilon_t^4} \quad (6.20)$$

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

Där	
$N_{till}$	Antal belastningar av standardaxlar
$\varepsilon_t$	Vertikal trycktöjning på terrassen
$\varepsilon_r$	dragtöjning i underkant av bundet lager
$V_b$	volymprocent bitumen
$SP_i$	Mjukpunkt enligt kula & ring metoden

Vid beräkning av ekvivalent antal standardaxlar har ekvation 6.21 använts, om det inte förekommer någon årlig trafikökning används istället ekvation 6.22.

$$N_{ekv} = \dot{A}DT * 3,65 * A * B * (1 + 100/k)((1 + k/100)^n - 1) \quad (6.21)$$

$$N_{ekv} = \dot{A}DT * 3,65 * A * B * n \quad (6.22)$$

Där	
$\dot{A}DT$	årsdygnstrafik i fordon/dygn per riktning
k	antagen trafikökning per år i %
A	andel tung trafik i %
B	ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon
n	dimensioneringsperiod

Livslängden i antal år beräknas slutligen enligt ekvation 6.23.

$$Livslängd = N_{till} / N_{ekv} \quad (6.23)$$

LCC-modellen beräknar även spårbildningen från de obundna lagren enligt ekvation 6.24. Slitage som bildas p.g.a. dubbdäck beräknas i PMS – Objekt. De plastiska spårdeformationerna är i dagsläget svåra att beräkna då det inte finns någon tillräckligt tillförlitlig officiell beräkningsmodell.

Ökning av IRI har beräknats med hjälp av programmet  $\pi$ -PMS som är en applikation till PMS – Objekt där IRI-utveckling för de flesta vägar finns dokumenterad. Skulle inga sådana data finnas kan IRI beräknas i LCC-modellen enligt ekvation och 6.25.

$$\Delta spår = 0,0681N^{0,344} \left( \frac{1}{2} \varepsilon_z \frac{\sigma_z}{p} \right)^{0,115} \quad (6.24)$$

$$\Delta IRI = 0,01592N^{0,344} \left( \frac{1}{2} \varepsilon_z \frac{\sigma_z}{p} \right)^{0,115} \quad (6.25)$$

Där

$\sigma_z$ och $\varepsilon_z$	spänning och töjning på terrassen i strain
$p$	atmosfärstrycket (normalt ca 0,1 MPa)
N	ekvivalent antal standardaxlar

Krav på sprickor kan också kontrolleras i PMS – Objekt enligt programmets utmattningskriterium. Krav på tjällyftning kontrolleras likaså med PMS – Objekt och skall uppfyllas för att anbudet skall godkännas. När det finns beräkningsmodeller som kan översätta funktionskraven kan fler moduler Målsättningen är att kunna översätta så många funktionskrav som möjligt till modellen i olika moduler som efter hand som de förbättras bidrar till att även LCC-modellen förbättras i en iterativ process.

## 6.4 Beräkningsexempel

I detta kapitel visas hypotetiska exempel på hur modellen kan tillämpas vid upphandling av vägprojekt. Det första exemplet behandlar ett förstärkningsprojekt där konstruktionen delvis byts ut och andra exemplet visar ett underhållsprojekt där ett nytt slitlager läggs ovanpå den befintliga konstruktionen. I varje exempel jämförs två alternativa lösningar.

### 6.4.1 Exempel 1 – Förstärkning

Följande uppgifter har angetts av beställaren i förfrågningsunderlaget:

Vägen som skall åtgärdas har i nuläget kraftiga ytskador som delvis har kunnat härledas till de obundna lagren. Utredningsarbete har resulterat i att följande åtgärder skall vidtas:

- En ny beläggning skall utformas och läggas ut efter att det befintliga har avlägsnats.
- Det obundna bärlagret skall förstärkas.

Vägens förutsättningar:

- |                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| • ÅDT                            | 4000 fordon/dygn     |
| • Andel tung trafik              | 10 %                 |
| • Årlig trafikutveckling         | 3 %                  |
| • Kontaktryck och kontaktradie   | 0,7 MPa resp. 130 mm |
| • Dimensionerande axellast       | 8 ton                |
| • Avstånd mellan däck, boggiaxel | 340 mm               |
| • Obundet bärlager               | 120 mm, 250 MPa      |
| • Förstärkningslager             | 350 mm, 150 MPa      |
| • Terrass                        | 50 MPa               |
| • Poisson's tal                  | 0,35                 |

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

• Korrektionsfaktorer	f1 = 1 och f2, f3 = 0,8
• Garantitid	8 år
• Kalkylränta	4 %
• Ekvivalent antal standardaxlar	1,3

Vägen skall dimensioneras så att livslängden uppfylls under hela garantitiden.

Under garantitiden skall följande funktionskrav vara uppfyllda:

- **IRI** – 4 mm/m (beräknas med  $\pi$ -PMS)
- **Spår** – 20 mm (slitage enligt PMS – Objekt + spår från obundna material enligt LCC-modell)
- **Sprickor** – Sprickkrav uppfyllt enligt PMS – Objekt
- **Tjäle** – Tjälskrav uppfyllt enligt PMS – Objekt

En körning i modellen med nämnda förutsättningar ger följande resultat för två olika alternativ.

*Alternativ 1*

Ompackning och utökad bärlagertjocklek till totalt 150 mm. Utläggning av nytt AG (110 mm, 2000 MPa) och slitlager (45 mm, 3200 MPa) med en bindemedelshalt på 10 % och en mjukpunkt på 44°C. Anbudssumma 3 000 000 SEK.

Resultat:

Livslängd 9 år, funktionskrav uppfyllda, **Årskostnad 386 000 SEK/år**

*Alternativ 2*

Ompackning och utökad bärlagertjocklek till totalt 150 mm. Utläggning av nytt AG (100 mm, 2200 MPa) och slitlager (50 mm, 3200 MPa) med en bindemedelshalt på 13 % och en mjukpunkt på 40°C. Anbudssumma 3 250 000 SEK.

Resultat:

Livslängd 12 år, funktionskrav uppfyllda, **Årskostnad 347 000 SEK/år**

Resultatet visar att alternativ med högre anbudssumma faktiskt kan ha en lägre årskostnad på grund av goda materialegenskaper.

#### 6.4.2 Exempel 2 – Ny beläggning på befintlig konstruktion

Följande uppgifter har angetts av beställaren i förfrågningsunderlaget:

Vägen som skall åtgärdas består av en tunn åldrad beläggning där sprickor och krackelering har uppstått. Georadarmätningar och provtagning visar att lagertjocklekarna för de obundna lagren är relativt stora. Många fastigheter längs med vägen besväras av buller från trafiken. Beställaren kommer därför fram till att följande åtgärd bör genomföras:

- En ny beläggning skall utformas och läggas ut ovanpå det befintliga asfaltlagret.
- Bullerplank skall sättas upp längs de mest utsatta fastigheterna.

Vägens förutsättningar:

- ÅDT 1000 fordon/dygn
- Andel tung trafik 12 %
- Årlig trafikutveckling 0 %
- Kontaktryck och kontaktradie 0,7 MPa resp. 130 mm
- Dimensionerande axellast 10 ton
- Avstånd mellan däck, boggiaxel 340 mm
- Bundet lager 60 mm, 2000 MPa
- Obundet bärlager 200 mm, 300 MPa
- Förstärkningslager 350 mm, 175 MPa
- Terrass 40 MPa
- Poisson's tal 0,35
- Korrektionsfaktorer  $f_1 = 1$  och  $f_2, f_3 = 0,8$
- Garantitid 12 år
- Kalkylränta 4 %
- Ekvivalent antal standardaxlar 1,3

Vägen skall dimensioneras så att livslängden uppfylls under hela garantitiden.

Under garantitiden skall följande funktionskrav vara uppfyllda:

- **IRI** – 4 mm/m (beräknas med  $\pi$ -PMS)
- **Spår** – 17 mm (slitage enligt PMS – Objekt + spår från obundna material enligt LCC-modell)
- **Sprickor** – Sprickkrav uppfyllt enligt PMS – Objekt
- **Tjäle** – Tjälskrav uppfyllt enligt PMS – Objekt
- **Buller** – maximal bullernivå vid fasad 55 dBA enligt Buller Väg

En körning i modellen med nämnda förutsättningar ger följande resultat för två olika alternativ.

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

*Alternativ 1*

Nytt slitlager (40 mm, 3500 MPa) med en bindemedelshalt på 12 % och en mjukpunkt på 43 °C. Bullerplank längs de mest utsatta fastigheterna. Anbudssumma 2 000 000 SEK.

Resultat:

Livslängd 16 år, funktionskrav uppfyllda, **Årskostnad 171 000 SEK/år**

*Alternativ 2*

Nytt slitlager av så kallad tyst asfalt (50 mm, 3300 MPa) med en bindemedelshalt på 11 % och en mjukpunkt på 40 °C. Anbudssumma 1 900 000 SEK.

Resultat:

Livslängd 14 år, funktionskrav uppfyllda, **Årskostnad 180 000 SEK/år**

Även i detta exempel ger alternativet med högre anbudssumma den billigaste årskostnaden.

## 6.5 Utvärdering av LCC-modell

Båda exemplen i föregående kapitel visar att årskostnaden kan bli lägre trots en högre anbudssumma. Naturligtvis kan utgången också bli tvärt om, exemplen är dock till för att illustrera att en stor initial kostnad inte behöver bli det dyraste alternativet i längden. Beräkningsmodellen skall som tidigare nämnts vara ett förslag och en första ansats till modell som skall uppmuntra till fortsatt utveckling. För att understryka vikten av att utvärderingsarbetet är en viktig del i utvecklingen har känsliga parametrar i modellen analyserats i en enklare känslighetsanalys.

### 6.5.1 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen har utförts på tre parametrar som bedömts påverka resultatet mest. Dessa är bindemedelshalt, mjukpunkt och elasticitetsmodul för slitlager. Analysen har gjorts på exempel 2 – ny beläggning på befintlig konstruktion. I analysen undersöks hur årskostnaden påverkas om bindemedelshalten ändras med 0,2 %, om mjukpunkten ändras med 0,5 °C och om elasticitetsmodulen för slitlagret ändras med 100 MPa. Dessa värden har valts därför att de anses vara precisionsfel som kan uppstå i mätningarna enligt respektive metodbeskrivning. I tabell 6.1 anges skillnaden i årskostnad jämfört med resultatet i exemplet som var 171 000 kr/år för alternativ 1 och 180 000 kr/år för alternativ 2.

Tabell 6.1 – Känslighetsanalys av exempel 2

	Bindemedelshalt	Mjukpunkt	E-modul slitlager
Alternativ 1	164 000 – 178 000 kr/år	165 000 – 177 000 kr/år	157 000 – 185 000 kr/år
Osäkerhet	<b>± 7 000 kr/år</b>	<b>± 6 000 kr/år</b>	<b>± 14 000 kr/år</b>
Alternativ 2	174 000 – 186 000 kr/år	173 000 – 187 000 kr/år	164 000 – 196 000 kr/år
Osäkerhet	<b>± 6 000 kr/år</b>	<b>± 7 000 kr/år</b>	<b>± 16 000 kr/år</b>

Som tabell 6.1 visar kan resultatet variera relativt kraftigt för de utvalda parametrarna. Under inverkan av varandra kan variationen bli ännu större. Känslighetsanalysen visar att LCC-modellen innehåller osäkerhet. Denna skulle kunna bli mindre om mätmetoderna blev mer precisa alternativt att andra beräkningsmodeller används med säkrare data. Resultatet kan dock anses ge en indikation på vilket som är det mest fördelaktiga alternativet.



## 7. Analys och diskussion

I dagsläget är LCC-begreppet tämligen inarbetat i branschen även om ingen accepterad modell finns. Framtagningen av en fungerande och accepterad LCC-modell för vägkonstruktioner är en uppgift som kommer att kräva mycket arbete från många aktörer. Modellen som utarbetats i detta examensarbete är ett förslag på hur livscykelkostnaden kan behandlas. Förhoppningen är att modellen skall vara en tillgång i upphandlingsprocessen och samtidigt uppmuntra till fortsatt forskning och utveckling. Ett inledande steg skulle kunna vara att ta fram en nedbrytningsmodell som bygger på fysikaliska principer istället för erfarenhetsvärden, samtidigt som den tar hänsyn till de faktorer som idag inte beaktas. Nottinghamkriteriet som använts i modellen har valts därför att det kan anpassas för olika typer av beläggningar. Kriteriet ger dock ingen helt exakt bild av verkligheten då vissa faktorer är osäkra eller saknas. Variationer i klimat, dynamiska lasteffekter, lastfördelning och belastningstid är exempel på faktorer som har betydelse som vanligtvis inte beaktas fullt ut i dagens modeller. Dessutom föreligger viss osäkerhet i prognoser om framtida trafikutveckling och klimatförändringar. Eftersom en vägkonstruktions tillstånd beror på så många olika faktorer och ofta osäkra sådana som klimat, skulle statistiska modeller kunna vara lämpliga som istället talar om sannolikheten för ett visst tillstånd. Detta i kombination med analytiska verktyg som FEM (Finita Element Metod) baserade beräkningsmodeller skulle kunna skapa en bättre modell för nedbrytning av vägar.

För att en funktionsentreprenad skall fungera fullt ut krävs dock mer än en fungerande modell. Tydliga ansvarsroller, funktionskrav och planering är minst lika viktigt för ett bra slutresultat. Ett väl utformat förfrågningsunderlag från beställaren där alla ansvarsroller är beskrivna, tydliga och mätbara funktionskrav samt tidpunkter för alla händelser i entreprenaden skall ingå. Det är viktigt dessa frågor inte åsidosätts på bekostnad av modellen, en kombination av båda aspekter är av yttersta vikt för ett bra resultat.

I modellen som utvecklats i detta examensarbete ansvarar beställaren för framtagning av indata om rådande trafiksituation och den nuvarande vägens tillstånd. Det är sedan upp till entreprenören att välja sin egna speciella lösning. För att kunna hantera nya beläggingsmaterial har som tidigare nämnts Nottinghamkriteriet används där bindemedelshalt och mjukpunkt får betydelse för nedbrytningen. Ett kriterium som även tar hänsyn till andra egenskaper i asfalten som till exempel kornkurva, viskositet, kul-kvarnsvärde, flisighetsindex och penetrationstal hade förmodligen gett ett mer tillförlitligt resultat och borde därför prioriteras i forskningen. Ett visst ansvar ligger därför hos entreprenören att ta fram nedbrytnings samband för deras egna beläggningar. För att det ska vara möjligt bör även en oberoende part verifiera detta samband så att processen blir rättvis. Huruvida entreprenören har intresse av eller resurser att utveckla sådana kriterier kan diskuteras men det borde ändå ligga i dennes intresse att visa varför deras alternativ är det bästa valet. Om det fungerar kan detta samband användas som en modul i LCC-modellen och på så vis ge en bättre bild av verkligheten.

En viktig aspekt i en livscykelkostnadsanalys är om hänsyn skall tas till samhällsekonomiska faktorer. Dessa kan ofta vara betydelsefulla för utgången av analysen. Samhällsekonomiska faktorer bygger mycket på kvalificerade gissningar och prognoser mer än verkliga värden vilket gör osäkerheten relativt hög. Dessutom kan samhällsekonomiska kostnader vara relativt stora och kan därför påverka resultatet kraftigt. Om prisskillnaden för olika entreprenörers förslag är liten kan samhällsekonomiska parametrar anpassas och utnyttjas negativt på bekostnad vägteknisk kvalitet vilket bör undvikas. Härmed är inte sagt att samhällsekonomin är oviktig och att den inte spelar någon roll, snarare tvärt om. För att säkerställa ett långsiktigt hållbart samhälle kan den samhällsekonomiska kalkylen vara ett viktigt hjälpmedel. Eftersom huvudsyftet med den nyutvecklade modellen är att främja långsiktig vägteknisk kvalitet rekommenderas samhällsekonomin att behandlas separat av beställaren. Om en tillräckligt bra samhällsekonomisk modell kan skapas skulle även denna fungera som en modul att ta med i beräkningarna i en framtida LCC-modell.

Två andra viktiga parametrar i en LCC-analys är kalkylränta och restvärde som är beroende av varandra. Kalkylräntan har i LCC-modellen gjorts valbar för att kunna anpassas till olika projekt med olika avkastningskrav. Då faktorer som inflation och konjunktursvängningar påverkar kalkylräntans utseende är det svårt att bestämma ett fast värde. Kalkylräntan förändras med tiden och borde därför anpassas för den aktuella ekonomiska situationen. Modellen beaktar inte restvärde vilket kan ses som en begränsning. Svårigheter med att uppskatta ett sådant komplext värde har gjort att detta utelämnats då resurserna under detta examensarbete har varit begränsade. I en framtida mer utvecklad LCC-modell skulle även ekonomiska förutsättningar kunna fungera som en separat modul där restvärdet inkluderades.

Då många parametrar är osäkra och svårbedömda rekommenderas att en känslighetsanalys utförs. Detta är viktigt för att se hur stort utslag olika indata får för resultatet. Det kan även vara viktigt i utvecklingssynpunkt för att bedöma modellens trovärdighet och för att lokalisera eventuella brister och begränsningar. En känslighetsanalys som gjorts på LCC-modellen i det här examensarbetet visar att parametrar som elasticitetsmodul för slitlager, mjukpunkt och bindemedelshalt får relativt stora utslag i resultatet. Om resultatet skall vara tillfredställande är det därför viktigt att labbtester utförs med så stor noggrannhet och precision som möjligt.

Svårigheterna handlar i dagsläget om hanteringen av nya material. I förslagsmodellen som utvecklats i detta examensarbete sker livslängdsberäkningen utan att särskild typbeläggning måste anges. Problem uppkommer dock när moduler med funktionskrav skall uppskattas med PMS – Objekt då nya beläggningstyper används. En tillfällig lösning är att översätta den nya beläggningen med den typbeläggningen med mest liknande egenskaper. Detta är dock ingen lösning som bör eftersträvas, målet borde istället vara att entreprenören anpassar en beräkningsmodell för sin beläggning och byter ut sin modul mot PMS – Objekt modulen. Ett nedbrytningskriterium som hantear alla material vore naturligtvis den optimala lösningen varför mer forskning och utveckling är viktigt.

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

För att kunna utvärdera vägkonstruktionens funktionskrav och även förutspå vägens tillstånd i framtiden, krävs att labtester utvecklas och förbättras. Som framgår av enkätundersökningen i bilaga 3 råder det delade meningar om och vilka tester som är lämpliga. Resultatet kan variera mellan olika labb, utrustning och tidpunkt för mätning vilket förstärker osäkerheten. Om noggrannheten förbättras kan tester som till exempel dynamiskt kryptest, styvhetsmodul och prall användas som indata i LCC-modellen och inte enbart som mätmetoder under garantitiden. Det är också viktigt att den här typen av tester dokumenteras så att en historik för vägen kan skapas vilket kan underlätta den framtida tillståndsbedömningen.

Styrkan i LCC-modellen som utarbetats i detta examensarbete är inte detaljutformningen utan systematiken om en grundmodell med utbytbara moduler. Vid en eventuell vidareutveckling av modellen är rekommendationen att lägga till fler moduler för alla olika sorters funktionskrav om det finns en tillräckligt bra beräkningsmodell. Så småningom kanske även en modul för samhällsekonomisk nytta och en för ekonomiska förutsättningar kopplas på och på så vis inkludera alla aspekter i livscykelkostnadsanalysen. Dessutom bör en mer användarvänlig programvara utformas som tydligare vägleder användaren under arbetsgången. Kopplingen mellan modul och grundmodell bör göras bättre så att programmet blir lättare att arbeta med.

I efterhand kan det även konstateras att den elektroniska enkätundersökningen kunde ha kombinerats med exempelvis intervjuer för att kompensera för det låga svarsdeltagandet.

## 8. Slutsats

Detta examensarbete visar att användandet av LCC i vägbyggnadsbranschen finns men att det fortfarande är relativt begränsat. Anledningen är att det ännu så länge inte finns någon beräkningsmodell som kan representera verkliga förhållanden tillräckligt bra. Liten efterfrågan och en konservativ inställning i branschen har varit ytterligare en orsak till detta. Kan dessa nuvarande hinder övervinnas kvarstår faktum att långsiktiga besparingar skulle kunna göras. För att detta scenario skall bli verklighet krävs att branschens alla aktörer samarbetar och utvärderar och analyserar allt arbete med LCC-anknytning. Det krävs dessutom att rätt kombination av funktionskrav väljs och att dessa kan översättas och föras in som moduler i LCC-modellen. Mätmetoder och labbutrustning behöver också utvecklas för att minska osäkerhet i mätningar och få tillgång till mer tillförlitlig data.

Ett förslag till LCC-modell har utarbetats i detta examensarbete och skall uppmuntra till nytänkande samt fortsatt forskning och utveckling. Modellen består av en grundmodell där olika utbytbara moduler kan kopplas på och av beroende på projektets utseende. I takt med att nya beräkningsmodeller utvecklas för olika egenskaper kan modulerna ersättas, på så vis förbättras modellen iterativt. Modellen beräknar den genomsnittliga årskostnaden för en underhållsåtgärd när funktionskraven är uppfylla. Modellen bör dock inte användas för enskilda objekt utan endast som ett jämförelseverktyg mellan olika alternativ. De mest osäkra parametrarna i analysen kan med fördel studeras närmare i känslighetsanalyser. Modellen behandlar inte samhällsekonomiska aspekter varför dessa hänvisas till separata analyser.

Det skall återigen poängteras att LCC-modellen i detta examensarbete på intet sätt är någon fullständig lösning på problematiken med LCC-modeller. Förhoppningen är att modellen skall stimulera till fortsatt utveckling och forskning. Det är väldigt viktigt att trovärdiga nedbrytningskriterier utvecklas för att beskriva verkligheten på ett bättre sätt än idag. Vad som också måste bli bättre är utvärderingsarbetet inom LCC. Att aktivt följa upp nya tester och rapporter, så även denna rapport, skyndar med stor sannolikhet på förloppet. Nedan sammanfattas alla rekommendationer för fortsatt utvecklingsarbete:

- Ta till vara på systematiken i med en grundmodell med utbytbara beräkningsmoduler.
- Utveckla användarvänlig programvara som kan hantera de olika beräkningsmodulerna
- Större resurser bör läggas på forskning kring nedbrytning av vägar
- Förbättrat utvärderingsarbete
- Uppmuntra entreprenörer och beställare till årskostnadsbaserad upphandling
- Uppmuntra entreprenörer till att skapa egna nedbrytningssamband för deras egna beläggningstyper
- Implementera och förbättra labtester i LCC-modellen

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

Förändring i en konservativ bransch kan ta tid. Om utbildning och kunskapsutbyte sker i ett tidigt skede kan medvetenheten öka och förhoppningsvis leda till att utvecklingen går snabbare.

## 9. Referenser

### Skriftliga källor

**Andersson K. & Lennström E., 2008** – ”*Funktionsentreprenad i vägbyggnad – Faktorer som påverkar val av entreprenadform*”, Lund, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Trafik och väg 2008, Thesis 173

**Davis Langdon Management Consulting, 2007** – ”*Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction, Guidance on the use of the LCC Methodology and its application in public procurement*”, Final Guidance

**Ekdahl, 2007** – Ekdahl P., ”*Funktion med fokus på kommunen*”, NVF-seminarium

**Ekdahl, 2005** – Ekdahl P., ”*Verktyg för styrning mot jämnare vägar och billigare vägunderhåll*”, OH-presentation av programmet  $\pi$ -PMS,

**FIA, 2006** – ”*Anvisningar för upphandlingar av underhållsbeläggningar med funktionskrav – funktionsbeskrivning, mät- och ersättningsregler, kontraktshandling – Etapp 2*”, Förnyelse I Anläggningsbranschen, Sverige

**Hansson B., Olander S & Person M., 2008** – ”*Kalkylering – vid bygg- och fastighetsutveckling*”, Lund

**Holmvik N. & Wallin H., 2007** – ”*Användning av livscykelanalys och livscykelkostnad för vägkonstruktion inom Norden*”, Lund, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Trafik och väg 2006, Thesis 155

**Huvstig, 2000** – Huvstig A., ”*Livscykelkostnader, teorier och användningsområden*”, Vägverket, Region Väst, NVF 34, Via Nordica 2000

**Kompendium Vägbyggnad, 2007** – Kompendium Vägbyggnad” Lund Tekniska Högskola, Institutionen för teknik och samhälle, Vägbyggnad, Lund

**Naturvårdsverket, 2005** – ”*Vägledning för riskbedömning av förorenade områden*” Remissversion

**Nordstrand, 2003** – Nordstrand U., ”*Byggprocessen*”, Liber, Stockholm, Sverige

**Parhamifar, 1999** – Parhamifar E., ”*Mechanical Properties of Granular Materials – Experimental studies of load spreading and deformations*” Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, Lunds Universitet, Lund.

**Prejer E. & C-J. Danckwardt – Lillieström, 2008** – ”*Livscykelkostnad för energibesparande åtgärder i ett flerbostadshus*”, Institutionen för byggvetenskaper, Byggproduktion, Lunds Tekniska Högskola, Lund

**SIKA, 2005a** – ”Kalkylvärden och kalkylmetoder (ASEK) En sammanfattning av Verksgruppens rekommendationer 2005”, SIKa PM 2005:16, Stockholm, Sverige

**SIKA, 2005b** – ”Den samhällsekonomiska kalkylen – en introduktion för den nyfikne”, SIKa Rapport 2005:5, Stockholm, Sverige

**Skiöld F. & Mauritzson P., 1993** – ”Modell för dimensionering av vägöverbyggnad” Thesis 5, Institutionen för trafikteknik, vägbyggnad, Lunds Tekniska Högskola, Lund

**SKL, 2001** – ”Funktionskrav på beläggning – Ett nytt sätt att upphandla gatubeläggning”, Sveriges Kommuner och Landsting, Stockholm, Sverige

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

**Ullidtz, 1987** – Ullidtz P., ”Pavement Analysis”, Elsevier

**Ulmgren, 2007** – Ulmgren N., ”Funktionskrav för underhållsbeläggningar”, NVF-seminarium – Funktionella egenskaper och livscykelmodeller

#### **Internetkällor**

##### **Transportstyrelsen, 2009**

<http://transportstyrelsen.se/sv/Vag/STRADA-informationssystem-for-olyckor-skador/>  
Hämtat 2009-10-27

##### **Vägverket, 2009**

[http://www.vv.se/PageFiles/11372/verksamhetsplan\\_2009\\_2011.pdf?epslanguage=sv](http://www.vv.se/PageFiles/11372/verksamhetsplan_2009_2011.pdf?epslanguage=sv)  
Hämtat 2009-09-16

##### **Trivector, 2009**

[http://www.trivector.se/trivectorfoeretagen/trivector\\_traffic/produkter\\_tjaenster/programvara\\_och\\_verktyg/programcentralen/buller\\_vaeg/](http://www.trivector.se/trivectorfoeretagen/trivector_traffic/produkter_tjaenster/programvara_och_verktyg/programcentralen/buller_vaeg/)  
Hämtat 2009-12-10

## Bilagor

### Bilaga 1: Enkät

#### Enkät om LCC-användning i Norden

\* Required

Namn:\*

Land:\*

1. Känner ni till projekt som upphandlats där livscykelräkande har ingått som en uttalad parameter (exempelvis som lägsta årskostnad)?\* *Ja/ Nej?*

1A. Om JA, var det nybyggnad eller underhåll? Nybyggnad, Underhåll, känner till flera projekt som varit både nybyggnad och underhåll.

1B. Hur tog man in livscykelaspekten?

1C. Hur upplever du omfattningen av projekt där man tar med LCC?

2. Hur mäter man tillstånd/status på vägnätet i ert land?\* Flera alternativ möjliga

*Vägytemätning (t.ex. spår och ojämnheter)*

*Fallviktsmätning*

*Visuell kartering/ okulärbesiktning*

*Annat sätt*

2A. Vilka parametrar ingår i tillståndsbedömningen?\*

3. Vilket tidsperspektiv används när man tittar på framtida kostnader?\* *Ange antal år*

3A. Hur brukar detta tidsperspektiv bestämmas?

*Med hjälp av teoretiska samband som beräknar konstruktionens livslängd?*

*Utifrån erfarenheter av liknande konstruktioners livslängd?*

*En kombination av båda?*

4. Om ni har modeller som används för att beräkna kostnader och tillståndsutveckling. Är dessa modeller samma i alla projekt eller olika beroende på projektets utformning? *Samma/ Olika?*



- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

4A. Finns modellerna väl beskrivna och tillgängliga för alla aktörer (entreprenörer, konsulter och beställare)? *Ja/ Nej?*

5. Vilka faktorer tror ni har bidragit till att användningen av LCC-modeller hittills varit relativt begränsad?\*

6. Hur ser ni på förekomsten av samhällskostnader i LCC-modeller? Är samhällskostnader viktigt i det här sammanhanget? Skall samhällskostnader finnas med i modellerna eller inte?

7. I tidigare LCC-modeller har nya vägtekniska lösningar varit svåra att implementera. Hur tycker ni att detta problem skulle kunna hanteras?\*

8. Funktionskraven i en funktionsentreprenad varierar ofta utifrån beställarens önskemål. Tycker ni ändå att det finns krav/indata som är viktigare än andra vid LCC-bedömning av underhållsprojekt?\*

9. Ett problem med underhållsprojekt som upphandlats med funktionsentreprenad är att vägens tillstånd ofta försämras kort tid efter kontraktstidens slut. Vilka metoder och krav skulle kunna användas för att säkerställa god funktion även en tid efter kontraktstidens slut?\*

10. Vilka mätmetoder/ labtester på vägkonstruktioner anser ni är mest tillförlitliga och bäst lämpade som indata i en LCC-modell? (Prall, dynamiskt kryptest, styvhetsmodul (ITT), vattenkänslighetstal, permeabilitet, fallvikt, retroreflexion, andra? inga?)

11. Beskriv kortfattat vilka aspekter ni anser är viktigast och mest relevant vid utformning av en ny LCC-modell? (utifrån tidigare resultat och erfarenheter)\*

Kommentarer

(Allmänna kommentarer och synpunkter eller reflektioner kring någon av frågorna)

## **Bilaga 2: Följebrev till enkät**

Hej!

Jag heter Niclas Olofsson och studerar på Lunds Tekniska Högskola. Jag läser sista terminen på Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet och skriver nu examensarbete. Examensarbetet handleds av Peter Ekdahl (Ramböll RST) och skrivs i samarbete med Ramböll och Nordiskt Vägforum, NVF. Arbetet handlar i stort om att utveckla en ny LCC-modell (livscykelkostnadsmodell) som kan användas vid upphandling av väg- underhållsprojekt.

Hittills har jag genomfört en litteraturstudie för att få en tillräcklig teoretisk kunskap om ämnet. För att gå vidare i arbetet behövs Era kunskaper och åsikter. Har därför gjort en enkät som syftar till att undersöka hur LCC används i Norden idag och hur en ny LCC-modell skulle kunna utformas. För att svara på enkäten, klicka på länken nedan.

<http://spreadsheets.google.com/viewform?formkey=dHRyQXlpREhKLTNKQmJMT E h1ZHpNNIE6MA>

Har Ni frågor, undrar över något eller vill delge något annat är Ni varmt välkomna att höra av Er. Ni når oss:

Examensarbetare  
Niclas Olofsson  
niclas.olofsson@gmail.com  
+46 708 623 991

Handledare  
Peter Ekdahl  
peter.ekdahl@ramboll.se  
+46 706 617 826

Stort Tack för Er medverkan!

Niclas Olofsson  
Malmö 2009-11-09

---

### **Bilaga 3: Sammanställning av enkätsvar**

#### **Fråga 1**

4 svar: JA, 1 svar: Nej

#### **Fråga 1a**

2 svar: Känner till flera projekt som varit både nybyggnad och underhåll

2 svar: Underhåll

#### **Fråga 1b**

”Det gjordes en teoretisk dimensionering enligt VV dimensioneringssystem.”

”Det var projekt i VN och VVÄ. De är väl kända i branschen.”

”För nybyggnadsobjektet N610 fanns en del i upphandlingen som beaktade nybyggnadstandard kontra kommande Uh kostnader. Värderingen av detta gjordes dock av VV och ingick som en delpost i ett "poängsystem".

För Uh/förstärkning utgår man från mall som ska fyllas i av entreprenör. Indata är "utlovad standard" (oftast spådjup) med tillhörande åtgärds kostnad. Resultat blir årskostnad enligt modell/mall.”

”Antingen man väljer tidsperioden som man vill studera eller man försöker gå framåt från nuläge 2-3-4 åtgärds cykel”

#### **Fråga 1c**

”Omfattningen är mycket låg där man direkt gör en upphandling på LCC. Däremot finns det alltid ett viss mått av LCC tänk när man projekterar/konstruerar en viss åtgärd. Systemet är relativt oflexibelt eftersom man vanligtvis börjar med en budget. Det är en brist att det inte sker en mera systematisk analys av LCC kostnader och att de oftast inte redovisas.”

”Jag antar att ni menar att man upphandlar på lägsta LCC? Detta är svårt eftersom modellerna har brister vilket gör att det är svårt att modellera prestanda/livslängd. LCC tas alltid hänsyn till via åtgärdsplanering där ASEK och Effektsamband NoF 2008 används. Här görs en samhällsekonomisk bedömning.”

”Det är ganska få. Omfattande arbete att ta fram förfrågningsunderlag samt mer arbete för anbudsgivarna.”

”Vanligtvis frågan är om någon visst projekt, en väg 5 - 10 km eller några vägar 50-100 km. Att göra det samma på vägnätets nivå har varit för tung. Största projektet som jag har kört genom är 1300 km, 4 delvägnät, 10 år.”

#### **Fråga 2**

2 svar: Vägytemätning (t.ex spår och ojämnheter), Visuellt kartering/okulärbesiktning.

2 svar: Vägytemätning (t.ex spår och ojämnheter)

1 svar: Vägytemätning (t.ex spår och ojämnheter), Annat sätt

**Fråga 2a**

”Spårdjup, jämnhet, tvärfall”

”Skiljer på vad som mäts och vad som används. IRI och spår används från centralt håll för uppföljning. En massa parametrar mäts enligt VVMB115.”

”På vägnät är det ju vägytedata. För enskilda objekt är det allt ovan.”

”Laser RST parametrar + automatisk sprickmätning till rekonstruktionsprojekt tillämpas därtill roaddradar, fallviktsmätningar samt auditering av den potentiella åtgärdsobject”

”Spårdjup, längsled och tvärlid. Spårarea IRI etc.

En stor mängd data samlas in och lagras vid RST-mätningarna men enligt min uppfattning det är bara en bråkdel som används.

Vid fallviktsmätning kan ett bärighetsindex bestämmas, som sedan kan ligga till grund för beräkning av förstärkningsbehovet. Det är även möjligt att bestämma lagermodulerna för asfalt, obundet material och terrassen.

Klassificering enligt Bära eller Brista”

**Fråga 3**

”10-40 år”

”60 år, ibland 40 år - frågan nedan är knepigt ställd”

”mellan ca 15 - 40 år”

”10”

**Fråga 3a**

4 svar: En kombination av båda

**Fråga 4**

5 svar: olika

**Fråga 4a**

5 svar: nej

**Fråga 5**

”Systemet med finansiering är oflexibelt. Pengar är tilldelade ett objekt och det är svårt om det blir dyrare även om det leder till en lägre LCC kostnad.

Avsaknad av en enhetlig modell för hur man beräknar LCC- kostnad inom Vägverket Svårigheten att bedöma livslängden hos olika konstruktioner.”

- ”1. Begränsningar i modeller för livslängder/prestanda och kostnader
2. Bristande strukturer för LCC
3. Förvirring eftersom LCC kan användas av många olika aktörer i olika sammanhang i olika skeden med olika syften osv, osv,...
4. Vid upphandling måste modellerna vara tillräckligt flexibla för att tillåta nytänkande.”

”Mycket (i alla fall mer än normalt) arbete för hela processen samt med relativt stora osäkerheter i framåtskrivningar (tillstånd o kostnader).”

”Prognoser har varit svåra att framställa, nyttofunktion för abstract, lätt användbara räknemetoder/softvara har saknats”

”Upphandlingsformen, i stort sett alla projekt upphandlas efter lägsta investeringskostnad. Underhållskostnaderna belastar oftast inte samma konto som står för själva investeringen. Bättre samordning och helhetstänkande efterlyses. Viss osäkerhet i respons- och nedbrytningsmodeller gör det svårt att beräkna livscykelkostnaden samt jämföra olika konstruktioner och material. Okunskap och ointresse för att prova nya grepp. Typiskt för en konservativ bransch som byggbranschen.”

#### **Fråga 6**

”Det bör vara med i bedömningsunderlaget. Modellen för LCC kostnaden för anläggningen och LCC kostnader för samhället bör hållas åtskilda och inte automatisk vägas samman. Kostnaden för väghållning är en budgetstyrd och innehåller en ram. En optimering av samhällsnyttan måste göras över hela systemet och inte på ett enskilt objekt. En optimering på ett objekt utifrån samhällskostnad kan leda till att andra objekt inte startas och "förlusten" i samhällskostnader kan vara större på det inte gjorda objektet.”

”Det MÅSTE finnas med om det tillåts påverka funktion på något sätt:

- ökad restid
- ökat buller
- ökade emissioner

Andra samhällskostnader är redan värderade i förstudie/vägutredning eller policy för underhållsstandard och SKALL således EJ värderas igen

På området råder viss förvirring...”

”I den bästa av världar - ja. Vad gäller buller så ingår ju detta, annars skulle man aldrig fundera på denna typ av slitlager. Vad gäller val av teknisk åtgärd såsom förstärkning eller byta slitlager till "likvärdig" standard, så kan det i vissa fall kvitta. Osäkra bedömningar kan ge kraftigt utslag i lönsamhet o därmed val av lösning. Risk för felval blir ju minst lika stor då, om inte tillförlitliga validerade modeller finns alltså.”

”De är viktiga, om man kan framställa dem”

”Samhällskostnaden bör absolut vara med. Det är först när samtliga faktorer finns med som en rättvisande bild av hur ökad kvalitet påverkar livscykelkostnaden kommer fram. I ett första skede kan det räcka med att enklare årskostnadsberäkningar används (för att få igång processen). Efter hand kan fler "moduler" hängas på.”

### **Fråga 7**

”Ett mera utvecklat nedbrytningsmodell som mera byggde på grundläggande fysikaliska principer och inte så mycket på erfarenhetsvärden.

Klara riktlinjer för förutsättning internt hos beställaren. Vilken är den styrande parametern, lägsta LCC inom en given budgetram eller lägsta LCC för ett objekt. Det bör även finnas riktlinjer hur samhällskostnader skall bedömas.”

”Generella och generiska beräkningsmodeller kombinerat med funktionskrav under garantitid/överlämnande.”

”I den modell som använts för årskostnad Uh, förstärkning så finns ingen sådan begränsning.”

”Problem är för styva/enkla modeller. Med hjälp av sannolikhetsmodeller samt simulering kan man hantera detta problem.”

”Ett första steg är att över huvud taget våga prova andra lösningar än de som föreskrivs i VVK. Enkla och tydliga krav från beställaren är ett måste, det finns ingen anledning att gå in och peta i detaljer. Långa kontraktstider är önskvärt.”

### **Fråga 8**

”Förstår inte frågan. Kraven skall böttna i trafikeffekter som i sin tur uttrycks som tillstånd. Indata är det viktigast med tillståndsutvecklingen. Men även nuvarande konstruktion bör vara dokumenterad.”

”Detta är en jättekomplicerad fråga... Det bör gå att hitta en mix av funktionskrav på material och funktionskrav relaterade till vägytan och kanske framför allt tillståndsutvecklingen (alltså gradienten i data) som säger något om när nästa åtgärd blir aktuell.”

”Man använder ju bara det som finns och där erfarenheter byggts upp - t ex spår och IRI (förutom grundläggande parametrar såsom t ex friktion). För att göra en LCC så måste livslängd bedömas. Stort problem föreligger att rätt värdera beständighet/sönderfall på objektiva data - särskilt i förväg!!!”

”Beställare samt entreprenör borde ha mycket bra uppfattningen om sambandet av kostnadsbildning och funktionskraven.”

”Egentligen inte. Gör kravspecifikationen så enkel som möjligt så att tekniska frågor inte behöver avgöras i domstol.”

### Fråga 9

”Det bör göras en restvärdesbedömning av vägkonstruktionen vid funktionstidens slut och den bör få ekonomiska konsekvenser. Den bör både bygga på förväntad återstående livslängd samt förväntat framtida åtgärdsintervall. En konstruktion som kräver täta åtgärder i framtiden skall värderas lägre än en konstruktion som förväntas klara längre åtgärdsintervaller.”

”Kombo av funktionsrelaterade krav på materialet och trendkrav på vägytan”

”Speciella provningar som görs en bit in och i slutet av garantitiden. Riktad provtagning och dessutom krav på förändring under garantitid. Exempelvis skulle Prall och/eller styvhetsmodul innehållas inom vissa gränser under perioden. Särskild konditionering av prov kan också göras för att simulera framtida nedbrytning. Mer erfarenhetsvärden bör då sammanställas innan kravställande kan göras.”

”Tillräckligt långa kontraktperioder, olika förväntningar om "god funktion" borde framställas under upphandlingsperiod, bonus från garanti period...”

”Ställ krav på exempelvis vilket maximalt spårdjup, IRI, sprickindex, dvs. egentligen det man får ut från en RST-mätning, som ska gälla vid kontraktstidens slut. Detta kan eventuellt kombineras med fallviktsmätning eller likvärdig metod för att bestämma bärigheten i konstruktionen.”

### Fråga 10

”LCC modellen skall i första hand användas till att bedöma en framtida konstruktion vilket gör att man inte kan ha några materialtester. Vad som behövs är en bra nedbrytningsmodell som beskriver materialen med för modellen relevanta parametrar. Dessa parametrar blir krav i en upphandling om inte det handlar om en funktionsentreprenad.”

”Det går inte att välja ut någon utan valet måste göras utifrån att flera nedbrytningsmekanismer kan utlösa nästa underhållsåtgärd. Således måste alla med, även om Prall är dålig och styvhetsmodulen är tveksam som parameter. Utveckling är viktig här.”

”Prall och styvhetsmodul kan vara bra, om man använder ett/samma labb. De övriga är också bra (kompletterar bilden). Fallvikt inte heller dumt, men helst samma apparat och samma mätförhållanden över tid.”

”Allt behövs, men räcker de här mätresultat att beskriva vägen beteende under trafik - kan du berätta sannolikheten hur ofta detta stämmer?”

” Jag tror frågan måste delas upp i minst två delar.

Del 1: Dimensionering samt nedbrytningsmodeller

För att kunna dimensionera vägen samt beskriva nedbrytningen krävs en korrekt responsmodell samt nedbrytningsmodeller som ger en rättvisande bild av hur spår, sprickor etc. utvecklas som funktion av tid (gradvis nedbrytning). Indata till en sådan

modell är bl.a. materialdata, klimat, trafik etc. För att bestämma materialdata (styvhetsmodul) för ett bundet material rekommenderas att masterkurvan för materialet används. För obundna material samt terrassmaterial bör triaxialförsök användas. När det gäller utveckling av nedbrytningsmodeller finns en mängd testmetoder (förstörande provning). Vilken som används är kanske inte så viktig, huvudsaken är att modellen kan beskriva den gradvisa nedbrytningen, dvs. en s.k. inkremental-rekursiv modell bör användas.

Del 2: Kalibrering och validering av modellen

Det är allmänt känt att det finns en skillnad mellan livslängd erhållen i laboratorium resp. den som erhålls vid uppföljning av riktiga vägar. Med anledning av detta måste modellerna kalibreras och valideras. Indata till kalibreringen kan exempelvis vara RST-data, data från FWD, seismik etc. Det är även mycket viktigt att trafikdata, klimat osv. beskrivs på ett korrekt sätt.”

### **Fråga 11**

”En övergripande modell som gör att det går att stoppa in olika boxar för, samhällsnytta, nedbrytning, ekonomiska förutsättningar, mm. Sen behövs åtminstone någon trovärdig modell i dessa boxar, som senare kan bytas ut när kunskapen ökar.”

”Ur er synvinkel måste den minimera risker för både beställare och entreprenör och således både vara förutsägbar och ge ekonomiskt och prestandamässigt fördelaktiga lösningar.”

”Alla aspekter. Rätt tillståndsframskrivning, rätt värdering för tillståndsnivåer, rätt utvärderingsparametrar, rätt kostnader för framtida åtgärder, rätt ekonomisk modell i form av kalkylperiod och ränta”

”beskrivning av nuläge, åtgärdstrategi, nyttan, variabler med vilka man beskriver tillståndsutvecklingen”

”Användarvänlig och enkel. Ska kunna särskilja mellan olika konstruktioner och material på ett korrekt sätt. (PMB, återvunnet material etc.) Bör ta hänsyn till de samhällsekonomiska aspekterna tillsammans med de rent vägtekniska aspekterna.”

### **Kommentarer**

”Håll isär begreppen LCC modell, utvärdering och olika upphandlingsformer. En LCC modell talar bara om årskostnaden med angivna förutsättningar. Utvärdering handlar om bedömning av olika effekters värde, ekonomi, ränta, samhällskostnader mm. Upphandlingsformer som handlar om kravställande på konstruktionen, funktion på tillståndet, funktion på byggdelar eller en ren utförande entreprenad. I alla dessa fall kan man göra en LCC analys.”

”LCC-tänkandet vid upphandling av vägunderhåll måste knytas ihop med andra tankar kring LCC som finns vid planering och projektering av nybyggnad och underhåll av vägar och broar.”



- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

---

”Kalkyler använder man för att bevisa det man vill göra, men visst - också för att belysa o värdera inför beslut. Men jämför gärna hur kalkyler används inom näringslivet. Sannolikt återfinns båda aspekterna ovan.”

”LCC arbete kan används som ett strategisk verktyg när man söker de bästa alternativ för åtgärds politik”

## Bilaga 4: LCC-modell

### Arbetsblad: Indata

<b>INDATA</b>	
<b>Objektsnamn</b>	Test
<b>Datum</b>	2009-11-30
Garantitid	10 år
Kalkylränta	0 %
ÅDT (en riktning)	4000 fordon/dygn
Andel tung trafik	10 %
Årlig trafikökning	3 %
Kontakttryck	0,7 Mpa
Kontaktradie	130 mm
Axellast, Q	8 ton
Däckavstånd, d	340 mm
Bindemedelshalt	13 % (volym)
Mjukpunkt	40 °C
<b>Lagertjocklekar</b>	
Slitlager	50 mm
Bundet bärlager	100 mm
Obundet bärlager	150 mm
Förstärkningslager	350 mm
<b>E-moduler</b>	
Slitlager	3200 MPa
Bundet bärlager	2200 MPa
Obundet bärlager	250 MPa
Förstärkningslager	150 MPa
Terrass	50 MPa
<b>Konstanter</b>	
Poisson's tal	0,35
Korrektionsfaktor, f1	1
Korrektionsfaktor, f2	0,8
Korrektionsfaktor, f3	0,8
Ekvivalent antal standardaxlar	1,3
<b>Anbudssumma</b>	3 250 000 SEK

**Arbetsblad: Funktionskrav**

## Funktionskrav

**IRI**

Krav uppfyllt enligt IRI-PMS eller LCC-modell

OK

**Spår**

Spårkrav uppfyllt enligt LCC-modell  
Siltavkrav uppfyllt enligt PMS - Objekt

OK

**Sprickor**

Krav för sprickor uppfyllt enligt PMS - Objekt

OK

**Tjäle**

Tjälekrav uppfyllt enligt PMS - Objekt

OK

**Beräkna LCC**

[Hjälp](#)

IRI-krav enligt LCC-modell

Spårkrav per år

1.4	mm
14.4	mm

Total spårbildning under garantitid

IRI-krav enligt LCC-modell

0.3	mm/m
3.4	mm/m

IRI-ökning per år

Total IRI under garantitid

**Arbetsblad: Resultat**

**RESULTAT**

<b><u>Livslängder</u></b>	Bundet bärlager 26 år
	Terrass >50 år
<b><u>Anbudssumma</u></b>	3 250 000 SEK

<b><u>Årskostnad</u></b>	202 097 SEK/År
--------------------------	----------------

[Tillbaka till Indata](#)

- LCC modell för utvärdering av vägkonstruktioner -  
Niclas Olofsson

**Arbetsblad: Manual**

<b>1. Indata</b>					
<b>Objektsnamn</b>		Vägobjektets namn			
<b>Datum</b>		Tidpunkt för beräkningen			
Garantitid		Från beställare			
Kalkylränta		Ränta som skall motsvara avkastningskrav			
ÅDT (en riktning)		Från beställare			
Andel tung trafik		Från beställare			
Årlig trafikökning		Från beställare			
Kontakttryck		Från beställare			
Kontakttradie		Från beställare			
Axellast, Q		Dimensionerande axellast			
Däckavstånd, d		Avstånd mellan däck på boggiaxel			
Bindemedelshalt		Bindemedelshalt och mjukpunkt för den nya beläggningen (Mjukpunkt enligt kula & ringmetoden)			
Mjukpunkt					
<b>Lagertjocklekar</b>					
Slitlager		Nya lagertjocklekar för förändrade lager befintliga tjocklekar för de lager som inte skall åtgärdas.			
Bundet bärlager					
Obundet bärlager					
Förstärkningslager					
<b>E-moduler</b>					
Slitlager		Nya elasticitetsmoduler för förändrade lager befintliga moduler för de lager som inte skall åtgärdas.			
Bundet bärlager					
Obundet bärlager					
Förstärkningslager					
Terrass					
<b>Konstanter</b>					
Poisson's tal		Förhållande mellan vertikal och horisontell töjning			
Korrektionsfaktor, f1					
Korrektionsfaktor, f2		Korrektionsfaktorer för att få en bättre överrensstämmelse med elasticitetsteorin.			
Korrektionsfaktor, f3					
Ekvivalent antal standardaxlar					
<b>Anbudssumma</b>		Beräknad anbudssumma fylls i			
<b>2. Funktionskrav</b>					
<p>När alla indata är ifyllda klicka på "Till Funktionskrav".</p> <p>Samtliga funktionskrav skall vara uppfyllda enligt respektive beräkningsprogram för att kunna fortsätta beräkningen. Om det inte finns data för IRI-utvecklingen för vägen används LCC-modellens kriterium.</p> <p>Spårdjup som kan härledas till obundna lager beräknas med LCC-modellens kriterium och slitaget med PMS-Objekt. Kravet innefattar den sammanlagda spårbildningen.</p>					
<b>3. Resultat</b>					
<p>När funktionskraven är uppfyllda klicka på "Beräkna LCC".</p> <p>Resultatet visas i form av den genomsnittliga årskostnaden för projektet.</p> <p>Även livslängderna för bundet lager och terrass redovisas.</p>					