



**LUND INSTITUTE
OF TECHNOLOGY**
Lund University

Livscykelkostnadsmodellen i generell och praktisk tillämpning

– Citytunnelprojektet i Malmö

Karin Wittenfelt

Förord

Under hösten 2003 har jag arbetat med detta examensarbete för Citytunnelprojektet i Malmö under delprojekt Järnväg.

Först och främst vill jag tacka mina handledare som har varit Entreprenadledare Per Ståhl, Citytunneln, och Professor Emeritus Hans Ahlmann, Lunds Tekniska Högskola.

Den mycket kvalificerade och stimulerande handledning jag har fått har gjort denna termin till en av de mest givande under min studietid.

Min uppgift har varit mycket intressant och mångsidig, eftersom området jag har behandlat inte endast innehållit tekniska problem och lösningar utan även berört finansiella och säkerhetsmässiga frågeställningar. Mina erfarenheter av examensarbetet tyder på att nyttan av att använda LCC-beräkningar blir allt mer uppenbar och att utvecklingen och tillämpningen av livscykelkostnadsanalyser i investeringsarbetet därför sannolikt kommer att öka i framtiden.

Ett speciellt tack vill jag rikta till alla dem som har ställt upp på intervjuer och som bidragit till underlaget i viktiga delar av rapporten.

Många andra personer har visat intresse för mitt arbete och givit mig goda råd och värdefulla påpekanden i olika sammanhang. Särskilt vill jag tacka personalen på Citytunneln för det stöd och goda kamratskap jag har fått uppleva under genomförandet av examensarbetet.

Malmö, januari 2004

Karin Wittenfelt

Sammanfattning

Citytunnelprojektet är en infrastrukturlösning som knyter ihop järnvägen norr om Malmö med järnvägen mot Trelleborg, Ystad och Köpenhamn och projektet ägs av Banverket.

Banverket har som mål att begära att offerterna innehåller fullständiga Livscykelkostnadsanalyser (LCC) vid upphandling av de olika tekniska installationerna.

Syftet med detta examensarbete är att skapa en generell LCC-modell som skall ligga till grund för vidare upphandling inom olika tekniska funktioner för Citytunnelprojektet. Utifrån den generella modellen skall sedan specificerade modeller kunna tas fram för olika ändamål. Examensarbetet skall även tillämpa modellen i två fall för att avgöra dess validitet.

En LCC-modell är en kostnadsmodell som bygger på en så långt möjlig bild av den verklighet man vill studera. Grundtanken med LCC är att försöka ta fram en total kostnad för en maskin eller ett system under hela dess livslängd. LCC-modellen kan vara enkel eller komplex men oftast eftersträvar man att få en lättförståelig och hanterbar modell. Detaljeringsgraden för modellen beror på med vilket intention modellen skall användas.

Examensarbetet har haft en iterativ karaktär där arbetet hela tiden verifierades mot den information som kom fram under intervjuerna och från litteraturstudier. Studien omfattar två faser där fas ett är att framställa en allmän LCC-modell och fas två omfattar tillämpning av modellen i två specifika fall. Ur förberedelsearbetet i fas ett kom relevant kunskap fram som möjliggjorde att en LCC-modell kunde skapas som skulle ligga till grund för det fortsatta arbetet.

Examensarbetet beskriver även hur en upphandling går till enligt lagen om offentlig upphandling och i vilken omfattning LCC kan utnyttjas i de olika avtal och kontrakt som en upphandling omfattar. Inför den tillämpande fasen redogör arbetet även för hur ett kyl- och ventilationssystem är uppbyggd och vilka förutsättningar som kommer att finnas för teknikutrymmena i tvärtunnlarna.

De slutsatser och rekommendationer arbetet kommer fram till är att den allmänna LCC-modellen kan utgöra både ett underlag för att ta fram specificerade modellen men även som en utgångspunkt för diskussioner angående driftsäkerhet, underhåll och felfrekvens med leverantörerna.

På grund av den begränsade leverantörskretsen för det aktuella projektet var det inte möjligt att fullt ut satisfiera höga krav på reliabilitet och i viss mån validitet i de statistiska beräkningarna. Därför rekommenderar examensarbetet att vissa punkter bör beaktas;

- LCC-metoden kan användas vid upphandling av tekniska system om man redan vid anbudsfrågan gör ett förbehåll om att nödvändiga uppgifter som anbudsgivaren inte kan ge skall kunna ersättas med egna värden.
- Alla uppgifter som lämnats vid en LCC-beräkning skall kunna verifieras och säkerställas för att se hur väl de stämmer med de verkliga driftresultaten.
- Till kontraktet bör ett LCC-avtal kopplas där leverantören garanterar ett visst tekniskt ekonomiskt utfall.

De framtagna modellerna bör emellertid med beaktande av följande förutsättningar vara tillräckligt vägledande för de kommande upphandlingarna inom Citytunnelprojektet.

Abstract

Banverket owns The Citytunnel Project and it is an infrastructure solution that is going to connect railway from Malmö with railway to Trelleborg, Ystad and Copenhagen.

The goal for Banverket is to request that the offer include a complete Life Cycle Cost analyse with the purchasing of technical installations.

The purpose of this master thesis is to create a general LCC-model who is going to be the base for further purchasing of technical installations for The Citytunnel Project. From the general model there shall be possible to create specific models for different purpose. The master thesis shall also apply the model in two different cases to determine the models validity.

An LCC-model is a cost model that is built on simplification of the reality that you desire to study. The fundamental idea of LCC is to try to make known the total cost of a machine or a system during the whole lifetime. The LCC-model can be simple or complex but in most cases you intend to make the model easy to understand and to use. The degree of details for the model is depending on with which intention the model shall be used.

The master thesis has continually verified the work by collecting information from interviews and literature. The study includes two phases; phase one is to create the general LCC-model and phase two includes using the model in two specified cases. In phase one, during the preparation, relevant knowledge was revealed and that made it possible to create an LCC-model who was going to be the base for future work.

The master thesis also describes how a purchasing can be done in favour of the law of public purchasing and in what extends the LCC can be used in different contracts. The study is also going to explain how a refrigerating machine and a ventilation system is working and what conditions there is going to be in the room where these technical devises shall be in the tunnel.

The master thesis has come to the conclusion and recommendation that the general LCC-model can both be used to be a foundation for specific models but also as a base for further discussions about maintenance, dependability and erroneous with the supplier.

The master thesis is not able to satisfy the hay demands of reliability and in some extend the validity in the statistics calculations because of too few supplier was participating in the study.

The thesis recommends that:

- The LCC-method can be used in purchasing of technical system if you make a reservation -already at the tender inquiry - that if the supplier is not able to give the proper information you are allowed to fill in which your own suggestions.
- All information that the supplier gives at an LCC-calculation shall be able to be verified to see if they are adjusted with reality.
- An LCC-agreement ought to be connected to the contract in which the supplier guaranty a specific technical and economic result.

The model that is created for The Citytunnel Project is efficient for the purpose in with it is created.

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 UPPDRAG OCH PROBLEMFÖRMULERING	2
1.2.2 Uppdragsbeskrivning	4
1.3 AVGRÄNSNINGAR.....	4
1.4 MÅLGRUPP OCH RAPPORTENS DISPOSITION	5
2. CITYTUNNELPROJEKTET	7
2.1 BAKGRUND	7
2.1.1 Tunnlar och dess utformning.....	9
2.2 FASTSTÄLLDA MÅL	9
2.3 CITYTUNNELNS ORGANISATION.....	10
3. METOD	11
3.1 METODVAL	11
3.1.1 Studiens undersökningsansats.....	11
3.2 DATAINSAMLINGSMETOD	12
3.2.1 Primär- och sekundärdata	12
3.2.2 Kvalitativ- och kvantitativa tekniker	12
3.2.3 Studiens datainsamling	13
3.3 UNDERSÖKNINGSKVALITET	13
3.3.1 Studiens undersökningskvalitet	14
3.3.2 Intervjuer.....	14
3.4 ARBETSPROCESS	14
3.4.1 Förberedelser.....	15
3.4.2 Skapa modell.....	15
3.4.3 Datainsamling och analys.....	16
3.4.4 Verifiering	16
3.5 KVALITETSSÄKRING AV EXAMENSARBETET	17
4. TEORI OCH DEFINITIONER	18
4.1 LIVSCYKELKOSTNAD.....	18
4.2 MOTIV FÖR ATT ANVÄNDA LCC	19
4.3 NÄR KAN MAN ANVÄNDA LCC	20
4.3.1 LCC vid konstruktion	20
4.3.2 LCC ur leverantörens synvinkel.....	20
4.3.3 LCC ur köparens synvinkel	21
4.4 EN LCC-MODELL	21
4.5 KALKYLRÄNTA OCH NUVÄRDE.....	22
4.6 MODELLFRAMTAGNING OCH ANALYS AV LCC.....	23
4.7 VERIFIERING AV LCC	24
4.8 KRAVSPECIFIKATION.....	25
4.9 DRIFTSÄKERHET.....	25
4.10 UNDERHÅLL	27
4.10.1 Förebyggande underhåll.....	28

4.10.2 Avhjälpande underhåll	28
4.11 UTBYTE.....	28
4.12 BANVERKETS SYN PÅ DRIFT OCH UNDERHÅLL	28
4.13 KVITTBLIVNING	29
4.14 RISKHANTERING OCH BRISTKOSTNADER	29
4.14.1 Lagerhållning av reservdelar.....	30
4.14.2 Redundans	31
4.15 PROBLEM MED LCC	31
5. UPPHANDLING OCH AVTAL	33
5.1 UPPHANDLING HOS CITYTUNNELN	33
5.2 EXTERN PROCESS ENLIGT LOU	33
5.3 INTERNPROCESS ENLIGT CTP	34
5.4 OLIKA FORMER AV ENTREPRENADER.....	35
5.5 UNDERHÅLLS- ELLER SERVICEAVTAL	36
5.6 LCC-AVTAL	37
5.7 LCC OCH KONTRAKT HOS CITYTUNNELN	38
6. KYL- OCH VENTILATIONSSYSTEM.....	39
6.1 KLIMATSYSTEMET.....	39
6.1.1 Funktionsprincip för kylprocessen.....	39
6.1.2 Köldmedier och klimatpåverkan	40
6.1.4 Kravspecifikation av klimatsystemet	41
6.2 VENTILATIONSSYSTEM.....	41
6.2.1 Filter och dess utformning	41
6.2.2 Kravspecifikation av luftbehandlingssystemet	42
6.3 KONTROLL OCH DRIFT	42
6.4 KVITTBLIVNING	42
6.4.1 Deponi.....	42
6.4.2 Återvinning.....	43
7. VERIFIERING AV ALLMÄN LCC-MODELL.....	44
7.1 INTERVJUSITUATIONEN	45
7.2 REAKTIONER PÅ MODELLEN	45
7.2.1 LCC-begreppet.....	45
7.2.2 Upphandlingsprocessen	45
7.2.3 LCC-modellen	46
7.2.4 Uppföljning.....	47
7.3. OMARBETNING AV MODELL.....	48
7.3.1 Investeringskostnader.....	49
7.3.2 Årliga driftkostnader.....	49
7.3.3 Årliga underhållskostnader.....	50
7.3.4 Övriga årliga kostnader.....	50
7.3.5 Kvittblivningskostnader.....	51
7.4 HUR DEN ALLMÄNNA MODELLEN SKALL ANVÄNDAS.....	51
8. TILLÄMPNING AV MODELLEN.....	52

8.1. KYLANLÄGGNINGEN	52
8.1.1 Förutsättningar	53
8.1.2 Investeringskostnad	53
8.1.3 Årlig driftkostnad	54
8.1.4 Årlig underhållskostnad	54
8.1.5 Årliga övriga kostnader och kvittblivning	55
8.1.6 Summa nuvärde	55
8.2 LUFTBEHANDLINGSSYSTEMET	56
8.2.1 Förutsättningar	57
8.2.2 Investeringskostnad	57
8.2.3 Årlig driftkostnad	57
8.2.4 Årliga underhållskostnader och övriga kostnader	58
8.2.5 Summa nuvärde	58
8.3 KÄNSLIGHETSBERÄKNING FÖR KYLSYSTEM	58
8.3.1 Variation av driftkostnad	59
8.3.2 Variation av underhållskostnad	60
8.4 REAKTIONER FRÅN FÖRETAGEN	60
9. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	61
9.1 SLUTSATS ANGÅENDE DEN ALLMÄNNA MODELLEN	61
9.2 SLUTSATS ANGÅENDE TILLÄMPNING AV MODELLEN	61
9.3 REKOMMENDATIONER	62
9.4 FORTSATT ARBETE	63
KÄLLFÖRTECKNING OCH REFERENSER	64
SKRIFTLIGA KÄLLOR	64
RAPPORTER OCH ARTIKLAR	65
INTERNETKÄLLOR	66
MUNTLIGA KÄLLOR	67
BILAGOR	68
BILAGA 1. TERM- OCH FÖRKORTNINGSLISTA	68
BILAGA 2. FRÅGEMALLAR	70
BILAGA 3. LCC-MODELLER	75
BILAGA 4. UTSKICK	79
BILAGA 5. SAMMANSTÄLLNING AV REDOVISAD DATA	86
BILAGA 6. UNDERLAG FÖR KÄNSLIGHETSBERÄKNING	88
BILAGA 7. LCC-MODELLMALL I EXCELL FÖR KYL- OCH VENTILATIONSSYSTEM	90

1. Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden till examensarbetet och här redogörs även för arbetets syfte, avgränsningar samt problemformulering. I slutet av kapitlet beskrivs rapportens målgrupp och disposition.

1.1 Bakgrund

Citytunneln är ett järnvägsprojekt som är tänkt att förbinda tågtrafiken mellan Södra stambanan och Öresundsförbindelsen. Citytunneln är ett samlingsnamn för en förbindelse som ska löpa både ovan och under jord och består av tre delprojekt – Järnväg, Malmö Central och Tunnlar – alla med egna projektledare. Projektet ägs av Banverket som ansvarar för planering, projektering, byggande och driftsättning. Banverket har som mål att begära att offerterna innehåller fullständiga livscykelkostnadsanalyser (LCC) vid upphandling av de olika tekniska installationerna.

Investeringar i ett infrastrukturprojekt – i detta fall en järnvägstunnel – är befogade när trafiknyttan överstiger kostnaderna. För att bedöma nyttan kan en Cost-Benefit Analys (CBA)¹ göras där det fastställs vilket projekt av flera som skall prioriteras för att uppfylla samhällsekonomiska lönsamhetskriterier. I den samhällsekonomiska bedömning som Banverket genomförde (2001) framgick att Citytunneln kan komma att bli svagt lönsam eller olönsam, i huvudsak beroende på vilken resandeprognos som används. Slutsatsen var att inte prioritera Citytunneln framför andra järnvägsprojekt. Man reserverade sig i rapporten för vissa förändringar som ej var medtagna i bedömningsunderlaget. Dels var prognoserna för utrikesresande i Banverkets modell inte är tillräckligt väl underbyggda och genomförda. Dels bygger prognosen på att enbart energisnåla bilar kommer att finnas i framtiden. Dessutom reserverade man sig i rapporten för den tillväxttakt som prognosen byggde på. En högre tillväxt i Skåne jämfört med övriga landet är inte otänkbar och i så fall ökar tågens resandevolym. Detta sammantaget ger i så fall en klart samhällsekonomisk lönsamhet för Citytunnelprojektet.

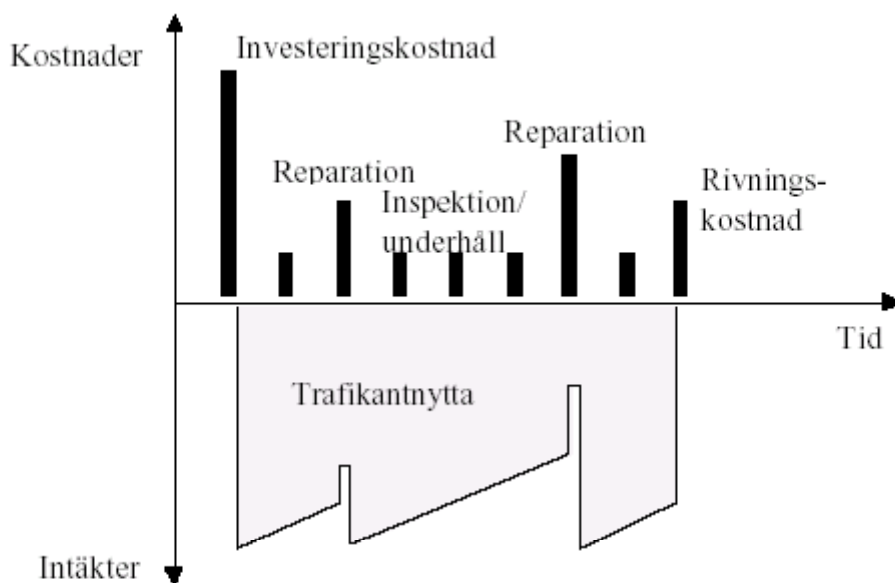
I en motsvarande analys som Centrum för Transportekonomi (CTEK, 2001) har genomfört var slutsatsen att Citytunneln är svagt lönsam där det även framkom positiva effekter av minskade luftföroreningar, trafiksäkerhetsvinster och minskade bullerstörningar.

Med hjälp av LCC-modeller kan man skapa förutsättningar för ett bättre utnyttjande av de samhällsresurser som används för vår infrastruktur. Med utvecklade modeller ges förutsättningar för att bygga kostnadseffektiva lösningar vad gäller framkomlighet, trafiksäkerhet och miljö. Utvecklingen av LCC-modeller innebär att man kan ekonomiskt värdera effekterna av val som görs i ett projekts tidigaste skede, på såväl kort och på lång sikt. LCC-modellen kan även fungera som ett underlag för bedömning av kostnadseffektivitet för olika materialval, standarder, systemdesign etc. Speciellt intressant i detta fall är att man kan

¹ Detta examensarbete kommer inte att beröra CBA. Jag nämner CBA mer för att få läsaren att ha i åtanke att Citytunneln är ett samhällsprojekt vars mål är att generera samhällsnytta.

beakta i ett tidigt skede framtida kostnader för t.ex. drift och underhåll med hjälp av modellen. Inom Citytunnelprojektet är man främst intresserad av att undersöka om en LCC-analys kan ge ett mer heltäckande beslutsunderlag vid val av utrustning vid framtida upphandling.

I upphandlingsskedet ställs olika bud mot varandra och med hjälp av LCC-modellen kan dessa bedömas efter livscykelkostnaden istället för enbart efter den primära investeringskostnaden. LCC-metoden är relativt lättanvänd men kan vid en applicering på en järnvägstunnel och dess tekniska installationer innebära att vissa förenklingar av verkligheten måste göras. Inom LCC-metodiken finns även metoder att ta med inkomster i beräkningen – Life Cycle Profit (LCP)– där trafikantnyttan i figur 1.1 i många stycken motsvaras av den intäkt som genereras i ett produktionsföretag.



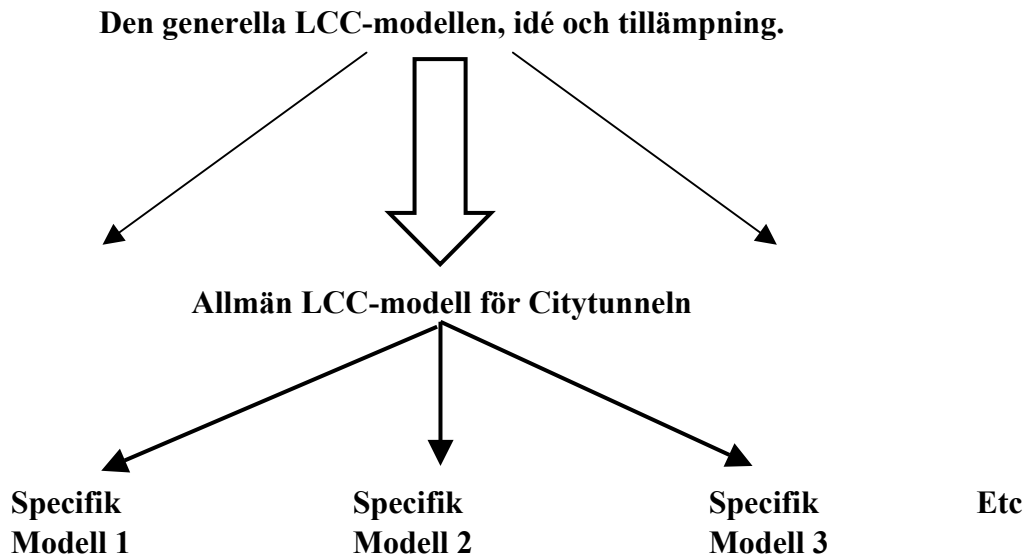
Figur 1.1; Ett exempel på de kostnader och nyttor ett infrastrukturprojekt ger under en livscykel. Källa; Vägverkets rapport.

1.2 Uppdrag och problemformulering

I examensarbetet tillämpas LCC-metodiken på två olika nivåer. Dels på en övergripande generell nivå som kan användas av flera men med speciellt syfte för Citytunnelprojektet och dels på en praktisk nivå genom att tillämpa modellen för att pröva dess validitet.

Syftet med en allmän modell är att med den som grund ta fram specifika modeller för varje ny typ av användningsområde, se figur 1.2.

Den generella modellen är mer en deskriptiv modell som enbart är till för att redogöra för alla de kostnadsposter som en LCC-beräkning kan innefattas av och är relevanta i detta projekt. Det finns naturligtvis även andra kostnader som detta examensarbete inte kommer att ta upp.

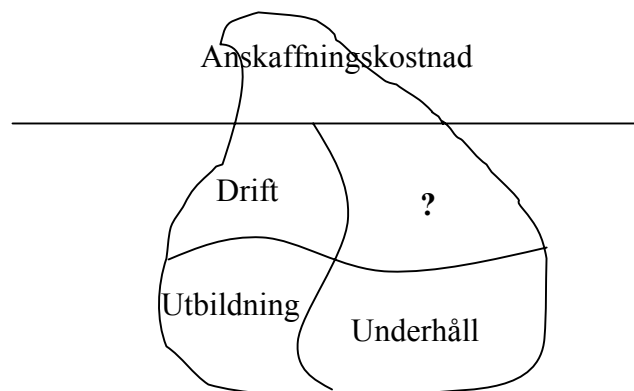


Figur 1.2; LCC-modell för Citytunnelprojektet.

För att exemplifiera hur man praktiskt kan använda LCC ger Olof Wååk (1997) ett fall i sin bok "Cut Maintenance and Logistics Support Cost with 50 %" där glödlampan i strålkastare för bussar hos Stockholms länstrafik (SL) jämfördes. Bussarna fick ej gå i trafik med reducerad strålkastarbelysning och byte av lampa måste ske på verkstad.

SL hade två olika glödlampor att välja mellan. En billig som kostade 15 kronor och en dyrare variant som kostade 50 kronor. Så långt var det inte svårt att välja. Men om man även i kalkylen tog med att dyrare varade 50 procent längre än den billiga glödlampan och att kostnaden för att ta in en buss på verkstad var 500 kronor samt kostnad för utebliven drift var 1000 kronor, blev utfallet ett annat. Skillnaden när man även räknade med de nya parametrarna blev cirka 300 kronor per buss. Genom att istället använda sig av den dyrare glödlampan tjänade SL cirka 700 000 kronor per år på hela bussparken.

Detta exempel visar nyttan av att försöka få med och beräkna alla kostnader som en produkt eller ett system kräver under sin livstid. Det är inte ovanligt att tro att man har fått med alla relevanta kostnader, men att det sedan visar sig att utlägget för till exempel utbildning förbisettes, se figur 1.3.



Figur 1.3. Anskaffningskostnaden är endast toppen på ett isberg, Under vattnet finns en hel rad andra kostnadsdrivare som påverkar Livscykelkostnaden.

1.2.2 Uppdragsbeskrivning

Uppdraget från Citytunnelprojektet var formulerat på följande sätt;

”Detta examensarbete har till uppgift att med hjälp av relevanta teorier och praxis inom området ta fram en LCC modell som skall kunna användas för vidare upphandling inom flera tekniska funktioner för Citytunnelprojektet. Modellen skall anpassas till projektets behov.

Dessutom skall en LCC genomföras för två olika tekniska installationer i tvärtunnlar där även den allmänna LCC-modellen prövas.”

Syftet kan brytas ned i följande undersökningsmål;

1. Att från litteraturen skapa en generell LCC-modell som skall kunna appliceras på olika tekniska installationer.
2. Att verifiera modellen med hjälp av att intervjua företag och organisationer som representerar flera olika branscher.
3. Att utifrån intervjuerna ta fram en omarbetad modell.
4. Att med hjälp av modellen genomföra två fullständiga LCC-analyser; för ett klimatsystem respektive för ett ventilationssystem som skall finnas i tvärtunnlarna.
5. Att analysera de resultat för klimat- och ventilationssystemet som erhålls från LCC-beräkningarna.

1.3 Avgränsningar

Arbetet är begränsat i tid till de ca tjugo veckor som är avsatt för ett examensarbete. Inom den stipulerade tiden kommer detta arbete redovisa en principiell modell men inte i detalj redogöra för vilken form av till exempel drift- och underhållsarbete som krävs vid de olika installationerna. Det är även begränsat till att enbart beröra Citytunnelns tekniska installationer och de krav som de ställs inför men kan naturligtvis applicera på likartade apparaturer.

Den modell som är framtagen till detta examensarbete baseras främst på litteraturstudier, expertintervjuer och de rekommendationer som har framkommit ur intervjuerna. Omarbetning av modellen har även gjorts. Trots detta ger modellen endast en grov approximation av den verklighet den beskriver. Antalet företag som har medverkat i detta arbete vid de genomförda LCC-beräkningarna av kyl- och ventilationssystem är alltför få för att kvantitativa analyser skall vara möjliga. Däremot kan man utifrån de svar som kom fram vid intervjuerna fastställa en kvalitativ analys.

Examensarbetet kommer inte att bedöma kostnadseffektiviteten för olika materialval, standarder, systemdesign etc.

1.4 Målgrupp och rapportens disposition

Detta examensarbete är utformat för att passa delprojektet Järnväg inom Citytunneln, men även andra avdelningar i Citytunnelprojektet kan ha intresse av principerna och resultaten. För personal inom Citytunneln kan den kompletta rapporten vara av intresse eftersom den ger en ökad förståelse av metoden genom att den fullföljs ända fram till användbara resultat.

Banverket är en part som har framfört önskemål att Citytunneln bör använda sig av LCC för vissa tekniska installationer, speciellt där säkerhet och tillgänglighet är kritisk.

De företag som varit involverade i undersökningen har även tagit del av resultaten. Deras primära intresse är fokuserat till analys och resultatdelen. De har alla fått varsin redigerad rapport för att känsliga data skall hållas konfidentiella. De kan se sina egna siffror men inte vem konkurrenterna är och vad de har gett för specifika data.

Rapportens struktur visualiseras i figur 1.4.

Efter en inledning som beskriver examensarbetets bakgrund, mål och avgränsningar presenteras Citytunnel för att ge läsaren historiken bakom projektet och hur Citytunneln är tänkt att vara utformad.

Kapitel 3 beskriver arbetsmetoden och de bakomliggande teorierna som detta examensarbete har utgått ifrån. I metodkapitlet förklaras vissa aspekter av undersökningsmetodiken och examensarbetets process.

Därefter följer ett avsnitt som redogör för teorier och modeller som innefattas i LCC-metodiken och som är relevanta för examensarbetet. Kapitlet omfattar begrepp så som underhåll och driftsäkerhet samt ett stycke om risk och vilka åtgärder som Citytunneln har för att öka säkerheten.

Rapporten går igenom flera olika koncept som innefattas i en produkts livscykel.

Kapitel 5 kommer att fokusera kring hur en upphandling går till, dels enligt lagen om offentlig upphandling men även internt inom Citytunneln, eftersom LCC-metoden är tänkt att användas vid anbudsförfrågan. Kapitlet tar även upp de olika former av entreprenad och avtal som förekommer inom projektet.

Det förberedande avsnittet avslutas med en beskrivning av hur kyl- och ventilationssystem är uppbyggda och vilka delar som examensarbetet berör. Här beskrivs även förutsättningarna för de installationer som skall ske i tvärtunnlarna till Citytunneln.

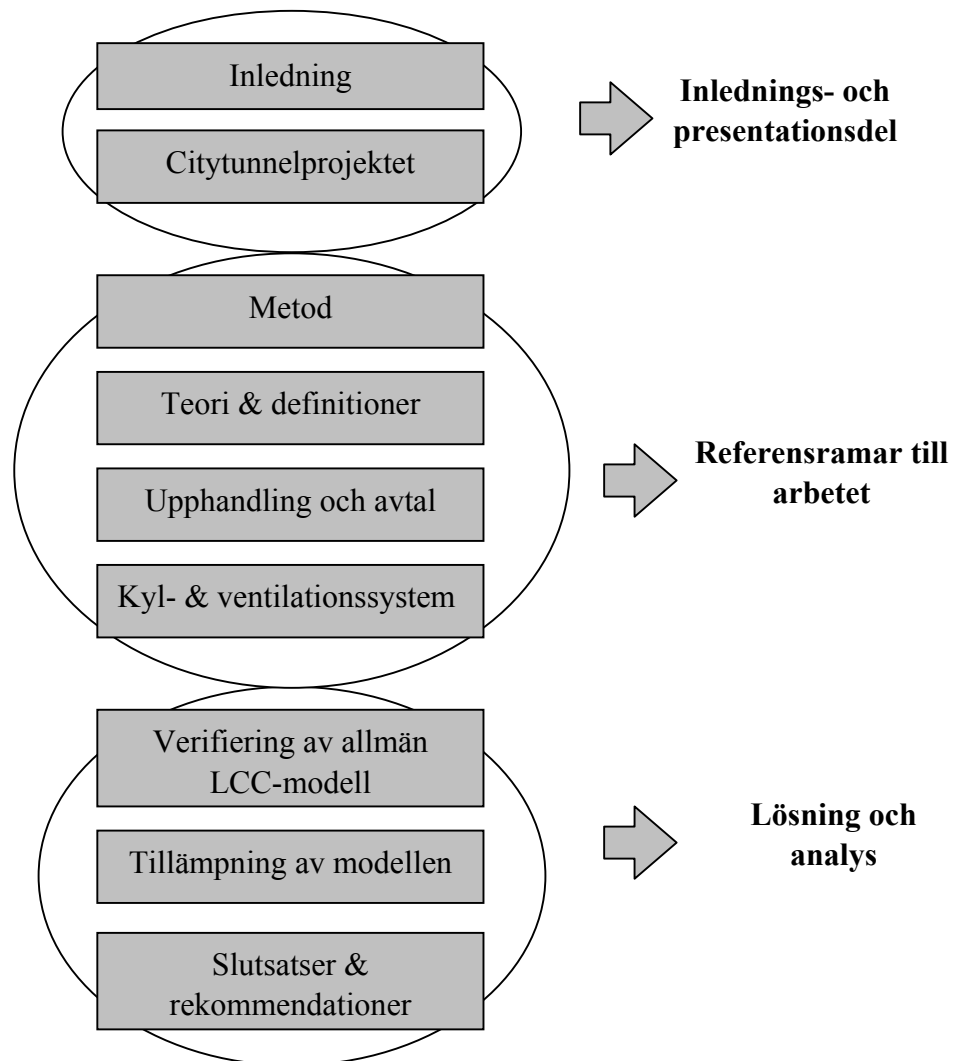
I kapitel 7 redovisas hur den generella modellen skapades och vilka företag som var med i studien. Här finns även de svar på modellförslaget som har kommit fram genom olika intervjuer. I slutet av kapitlet omarbetas modellen och det beskrivs hur nya specificerade modeller kan tas fram.

Därefter är ett kapitel om praktisk tillämpning av modellen i två fall – ett kylsystem och ett luftbehandlingssystem – där data från olika leverantörer redovisas. Här genomförs även känslighetsanalyser av det insamlade materialet.

Avslutningsvis kommer ett kapitel där slutsatser och rekommendationer presenteras.

Inledning

För definitioner och beskrivning av förkortningar hänvisas läsaren till ordlistan i bilaga 1.



Figur 1.4; Examensarbetets disposition och struktur.

2. Citytunnelprojektet

Kapitlet beskriver historiken bakom Citytunnelprojektet och hur Citytunneln är tänkt att vara utformat. Här tas även upp vilka mål projektet har samt hur den organisation som leder projektet se ut.

”Regeringen säger ja till Citytunneln. Regeringen beslutade i dag att ge tillåtlighet enligt miljöbalken till Citytunneln i Malmö. Järnvägsprojektet, som är avsett för persontrafik, omfattar totalt cirka 18 kilometer järnväg, varav cirka 12 kilometer dubbelspår från Malmö C till Öresundsbanan samt cirka sex kilometer förbindelse-spår till Ystadsbanan och till Kontinentalbanan mot Trelleborg. Tunneln under centrala Malmö blir cirka sex kilometer lång. I regeringsbeslutet ställs flera krav för tillåtligheten, bland annat om buller, påverkan på grundvatten, säkerhet och användning av schaktmassor. Länsstyrelsen får dessutom extra medel för den tillsyn som krävs. Tågtrafiken i Citytunneln kommer enligt planerna att kunna starta under 2009.” (Miljödepartementet, a)

2.1 Bakgrund

1996 beslutade regeringen att man skulle utreda förutsättningarna för att genomföra Citytunnelprojektet i Malmö (Regeringen, 1997). Målsättningen som ligger till grund för beslutet var framförallt att den spårbundna kollektivtrafiken i regionen och över Öresund förbättras och att den så kallade Kontinentalbanan avlastas så att en från miljösynpunkt godtagbar lösning kan uppnås. Kontinentalbanan sträcker från Östervärn via Persborg mot Svågertorp, se figur 2.1, och går till stora delar genom tätbebyggda bostadsområden. Det nuvarande järnvägsystemet som finns i Malmö är inte avpassat för genomgående trafik eftersom all tågtrafik som skall vidare söderut måste byta körriktning på Malmö C och gå via Kontinentalbanan.



Figur 2.1; Den nuvarande sträckningen för tågtrafiken i Malmö. Källa; Citytunneln. Egen bearbetning

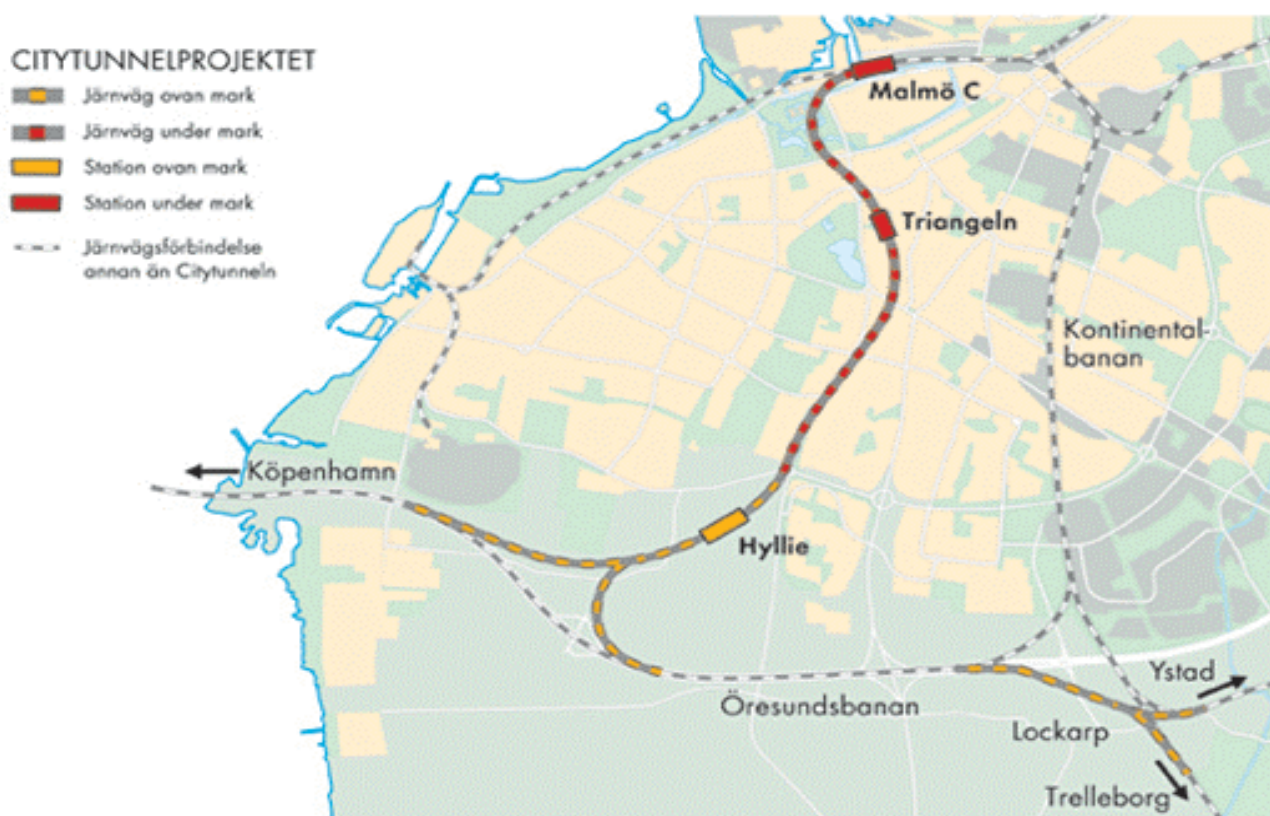
Citytunnelprojektet

Sedan Öresundsbron öppnade har trafiken på Kontinentalbanan ökat från 80 tåg/dygn till 260 tåg/dygn, där 200 av dessa är persontåg (Banverket, 2001). Den utökade trafiken medför kapacitetsproblem för bangården, vilket ofta leder till förseningar och dessutom stör den ökande trafiken boende längsmed Kontinentalbanan.

1997 godkände Riksdagen avtalen om järnvägstunnel under Malmö stad samt den överenskommelse om hur projektet skulle finansieras.

Från 1997 hade Banverket, SJ, Malmö kommun och dåvarande Kommunförbundet för Malmöhus Trafik ett gemensamt ansvar för projektet och bildade Citytunnelkonsortiet i Malmö för projektering och genomförande av Citytunneln. 2002 övertog Banverket – som ensam ägare – ansvaret för Citytunnelprojektet och avvecklade Citytunnelkonsortiet för att ersätta det med Citytunnelprojektet.

Regeringen har i mars 2003 meddelat att Citytunnelprojektet är godkänt enligt miljöbalken vilket innebär att upphandling av de stora byggnadskontrakten – såsom tunnlar och bergrum – kunde inledas under våren 2003 samt att miljödomstolens prövning som beräknat kunde genomföras hösten 2003. Byggstart och kontraktsskrivning beräknas till år 2004 och de huvudsakliga byggnadsarbetena skall vara avslutade 2007. 2008 beräknas installationsarbetet vara avslutat och tågtrafiken bedöms kunna komma igång år 2009.



Figur 2.2; Den tänkta sträckningen av Citytunnelprojektet med angivna tunnlar, spår och stationer. Källa; Citytunneln.

Citytunnelprojektet omfattar totalt 17 km järnväg vilket är indelat i en 6 kilometer lång tunnel under centrala Malmö och en 11 kilometer markförlagd järnväg som skall förbinda tunnel-



ingår det 2.2.

knot att ta as främsta tjtjas som oner samt

Figur 2.3;

Tunnlarna förbinds med varandra var 300-500 meter med en tvärtunnel. Källa; Citytunneln

2.2 Fastställda mål

Byggandet av Citytunnelprojektet motiveras i första hand av en strävan att förbättra förhållandet för den spårbundna kollektivtrafiken i regionen, och att få en ur miljösynpunkt godtagbar lösning för kollektivtrafiken (Regeringen, 1997). Trafikflödet ökar stadigt i regionen men i en underlagsrapport från VVB VIAK (2000) framkommer det att den beräknade mängden totala utsläpp av kväveoxider, kolväten samt koldioxid troligtvis kommer att minska tack vare den utökade infrastrukturen med järnväg.

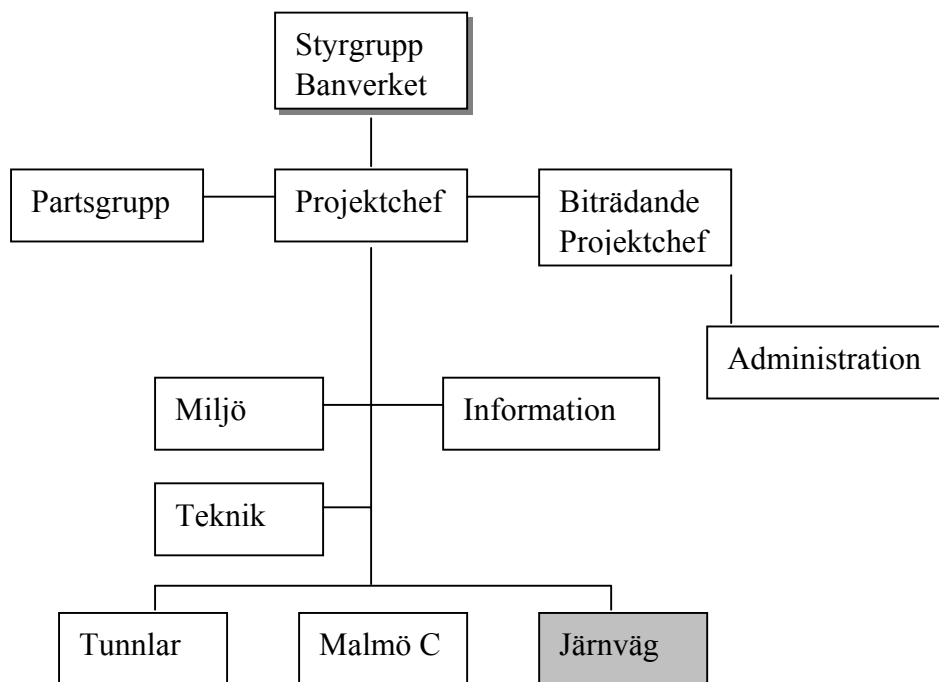
Det finns sju fastställda mål som Citytunnelprojektet arbetar efter;

- Öka konkurrenskraften för den spårbundna kollektivtrafiken i Skåne.
- Bidra till en förbättrad integration i Öresundsregionen.
- Stärka konkurrenskraften för den nationella järnvägstrafiken.
- Minska miljöproblemen längs Kontinentalbanan.
- Stärka utvecklingen i skånska orter med järnvägsförbindelser.
- Stärka Malmös stadskärna som ett centrum i regionen.
- Vara ett steg i riktning mot ett miljöanpassat transportsystem och ett långsiktigt hållbart samhälle. (Citytunneln)

2.3 Citytunnelns organisation

Banverket ansvarar ensamt för genomförandet av Citytunnelprojektet. Projektavtalets parter är, förutom Banverket, Staten, Statens järnvägar, Malmö stad samt Region Skåne. En styrgrupp står för den övergripande planeringen medan den operativa verksamheten leds av en projektchef. I projektet ingår tre delprojekt som har egna projektledare. Dessa delprojekt är Tunnlrar, Malmö C samt Järnväg, se figur 2.4.

Sammanlagt är projektet beräknat att kosta 8,8 miljarder kronor och den stora finansiären är Banverket som står för 6,2 miljarder kronor. De andra parterna i projektet och ett bidrag från EU täcker resterande planerade kostnader².



Figur2.4; Citytunnelns organisation. Examensarbetet ligger under delprojekt Järnväg. Källa, Citytunneln. Egen bearbetning.

När allting är färdigbyggt upphör Citytunnelprojektet, Banverket och de olika parterna tar över driften av järnväg, tunnlrar och stationer. Malmö stad övertar driften av stationerna Triangeln och Hyllie. Järnvägsfastigheter behåller skötseln av Malmö C och Banverket driver och sköter spåren samt tunnlarna.

² Summan är beräknad med 2001 års penningvärde. För fullständig redovisning av beloppen, se hemsidan www.citytunneln.com

3. Metod

Kapitlet beskriver arbetsmetoden som detta examensarbete har utgått ifrån och de teorier som ligger bakom metoden. I metodkapitlet kommer vissa aspekter av undersökningsmetodiken och examensarbetets process att förklaras.

Metodteorin berör områden såsom undersökningsansats och datainsamlingsmetod. Informationen baseras främst på litteraturen från Lekvall & Whalbin (1993) och Darmer & Freytag (1995).

3.1 Metodval

Valet av den ansats man bestämmer sig för vid undersökningen styr dess grundläggande tekniska utformning. Avgörande är om man med undersökningen är intresserad av att gå på djupet i ett enskilt fall, fallstudier, gå på bredden över ett tvärsnitt, tvärsnittsansats, eller om man vill se utvecklingen över en viss tid, tidsserieansats.

Fallstudier betecknar undersökningar där man är intresserad av detaljerade och djupgående beskrivningar av ett specifikt fall. Denna metod lämpar sig för de studier där man vill få en detaljerad uppfattning om processen, och där man redan innan studien har en viss kunskap om vad som är relevant eller inte. Den vanligaste datainsamlingsmetoden vid fallstudier är intervjuer och observationer.

Med tvärsnittsansats är syftet att jämföra olika omständigheter mellan fallen vid en viss tidpunkt. Man skiljer mellan två fall av tvärsnittsansats; survey- och experimentell ansats. En survey är en passiv studie av verkligheten utan målsättning att försöka påverka den. Vid en survey använder man sig vanligtvis av intervjuer och frågeformulär för datainsamling. Experimentell ansats är en aktiv studie av verkligheten där man försöker styra och påverka för att få det man vill studera särskilt väl klarlagt.

Tidsserieansats ger ett skeende över en viss tid. Metoden kan till exempel användas vid framtagande av prognoser. Data från flera tidpunkter analyseras och utvärderas.

3.1.1 Studiens undersökningsansats

Examensarbetet startade som en tvärsnittsansats där syftet var att med hjälp av intervjuer kartlägga och verifiera den modell som sedan skall kunna tas i bruk vid upphandling.

Vid ett senare skede fördjupades studien med att specifika fakta för systemen i tvärtunnlarna skulle fastställas. I det skedet övergick examensarbetet till en fallstudie där undersökningen skulle ta fram en detaljerad uppfattning om processen.

3.2 Datainsamlingsmetod

Det finns flera olika metoder att få fram data och det är viktigt att välja rätt metod utifrån studiens specifika förutsättningar. I Företagsekonomisk undersökningsmetodik (Darmer & Freytag, 1995) och i Information för marknadsföringsbeslut (Lekvall & Whalbin, 1993) diskuteras bland annat två aspekter som berör datainsamling; primär- och sekundärdata respektive kvalitativ- och kvantitativa tekniker.

3.2.1 Primär- och sekundärdata

Den första aspekten är om undersökningen skall ta fram egna data eller bygga på befintlig sådan. Det finns nämligen två typer av data, sekundär- och primärdata.

Sekundärdata är information som redan är insamlad, exempelvis statistik, tidigare gjorda undersökningar, med mera. Problemet med sekundärdata är att de har samlats in i ett annat syfte än den aktuella undersökningen. Det kan göra det svårt att få fram den exakta information som krävs för undersökningen och det kan dessutom vara svårt att se om den information man får är vederhäftig.

Primärdata är den information som man själv samlar in för den aktuella undersökningen. Metoder för att samla in data kan vara frågeformulär och personliga intervjuer. Ett problem vid insamling av primärdata är att det kan vara svårt att finna personer med tillräckliga kunskaper om problemområdet. I tabell 3.1 listas de vanligaste källor för att ta fram sekundär- och primärdata.

Tabell 3.1. Vanliga källor för att ta fram sekundär- och primärdata. Källa; Sörqvist.

Sekundärdata	Primärdata
Redovisningssystem	Intervjuer
Mät- och rapportsystem	Mätningar
Dokumentation	Tidsstudier
Personer och Funktioner	Processanalyser

3.2.2 Kvalitativ- och kvantitativa tekniker

Den andra aspekten angående datainsamling gäller insamlad och analyserad datas egenskaper.

Kvantitativa data är den information som kan kvantifieras i ett tal eller en mängdenhet. Informationen har få variabler men utgörs av ett stort representativt urval av svarande. Insamling av kvantitativ data och dess analys utgår från att data från alla svarande kan jämföras. Det innebär att mätinstrumenten – till exempel ett frågeformulär – som skall användas i undersökningen är välstrukturerade. Denna teknik präglas ofta av ett visst distansskapande eftersom frågeformulering, datainsamling och analys kan ske under skilda faser och av skilda personer.

Kvalitativa data kan inte beskrivas och analyseras numeriskt. Studier med kvalitativa data syftar till att skapa en helhetsbild av problemställningen. Det innebär att ett större antal variabler tas med för att ge en mer sammansatt bild. Insamling av kvalitativa data präglas av flexibilitet och anpassning mellan en enskild svarande och intervjuaren eftersom varje ny fråga är beroende av svaret på den föregående. Datainsamlingen är beroende av hur intervjuaren tolkar svaret och vilka frågor som ställs.

3.2.3 Studiens datainsamling

Arbetet startade med att samla in sekundära data i form av litteraturstudier, sökning på Internet i ämnena LCC, tekniska system och upphandlingsprocesser. Även sakkunniga på Citytunneln och annorstädes intervjuades för att få grundläggande kunskap i de olika ämnena. Den primära informationen bestod främst av intervjuer med dels berörd personal på Citytunneln och dels leverantörer av olika tekniska system, de senare är en av målgrupperna som kommer att få vara med och ta fram livscykelunderlag vid ett upphandlingstillfälle. Informationen samlades in genom personliga intervjuer eller telefonintervjuer.

Studien består av både kvalitativa och kvantitativa data. De kvantitativa data utgörs av beräkningsmodellen som skickades ut till leverantörer där de själva kunde fylla i sina uppgifter som beräkningen bygger på. Uppgifterna kunde bearbetas statistiskt och olika känslighetsanalyser kunde göras.

Kvalitativa data används främst vid verifieringen av den allmänna LCC-modellen där de intervjuade tog ställning till modellens omfattning och lämplighet och redogjorde för egna erfarenheter av att arbeta med LCC.

3.3 Undersökningskvalitet

En kvalitetssäkring av ett arbete kan vara en lika krävande vad gäller kunskapsmängd och penetrerande analys som analysprocessen i sig själv.

Kritisk granskning av insamlat material skall göras på basis av validitet och reliabilitet. En hög reliabilitet på en studie betyder inte att den även har en hög validitet.

Validiteten visar att mätmetoden är rätt, att den mäter det som undersökningen har för avsikt att mäta. En svårighet är att det inte går att objektivt fastställa om en mätmetod är valid eller inte. Det gör att man i undersökningen får bedöma dess validitet på en mer eller mindre subjektiv bas.

Reliabilitet visar på om mätmetoden – förutsatt att inga omständigheter kring mätningen förändras - ger samma resultat vid olika tidpunkter. Det betyder att mätmetoden skall kunna stå emot slumpens inflytande. Generellt kan man säga att en låg reliabilitet är följden av att mätmetoden inte har fastställts tillräckligt exakt och att det insamlade dataunderlaget är alltför bristfälligt (Lekvall & Whalbin, 1993).

3.3.1 Studiens undersökningskvalitet

Detta examensarbets reliabilitet bygger i hög grad på sanningshalten hos de intervjuade och att sakenlig data har delgetts mig. Lekvall & Whalbin (1993) menar att ett sätt att nå hög reliabilitet är att ha klara och otvetydiga frågor. Frågorna som användes för att fastställa LCC-analysen hos kyl- och ventilationssystemen i detta examensarbete är alla baserade på en frågemall för att vara homogena, se bilaga 2.

3.3.2 Intervjuer

En intervju kan vara allt från väl strukturerad till ostrukturerad. Vid en strukturerad intervju utgår intervjuaren från färdigformulerade frågor där även svarsalternativ kan förekomma. En ostrukturerad intervju innebär att frågeställaren och den intervjuade tillsammans diskuterar vilket kan göra det svårt att planera hela intervjun i förväg. Vanligt är att frågeställaren använder sig av en intervjumall som vägledning för att styra intervjun. Intervjumallen kan innehålla en lista med breda frågeområden och förberedda följdfrågor inom varje område som utfrågaren är intresserad av (Darmer & Freytag, 1995).

Av geografiska skäl samlades i några fall data till examensarbetet in genom telefonintervjuer. Enligt Dahmström (2000) har telefonintervjuer både fördelar och nackdelar. Det är ett billigt och snabbt alternativ till en besöksintervju men intervjuerna över telefon begränsas av att de i allmänhet inte får ta för lång tid och att frågorna inte får bli för komplicerade då det är svårt att fånga intresset någon längre tid.

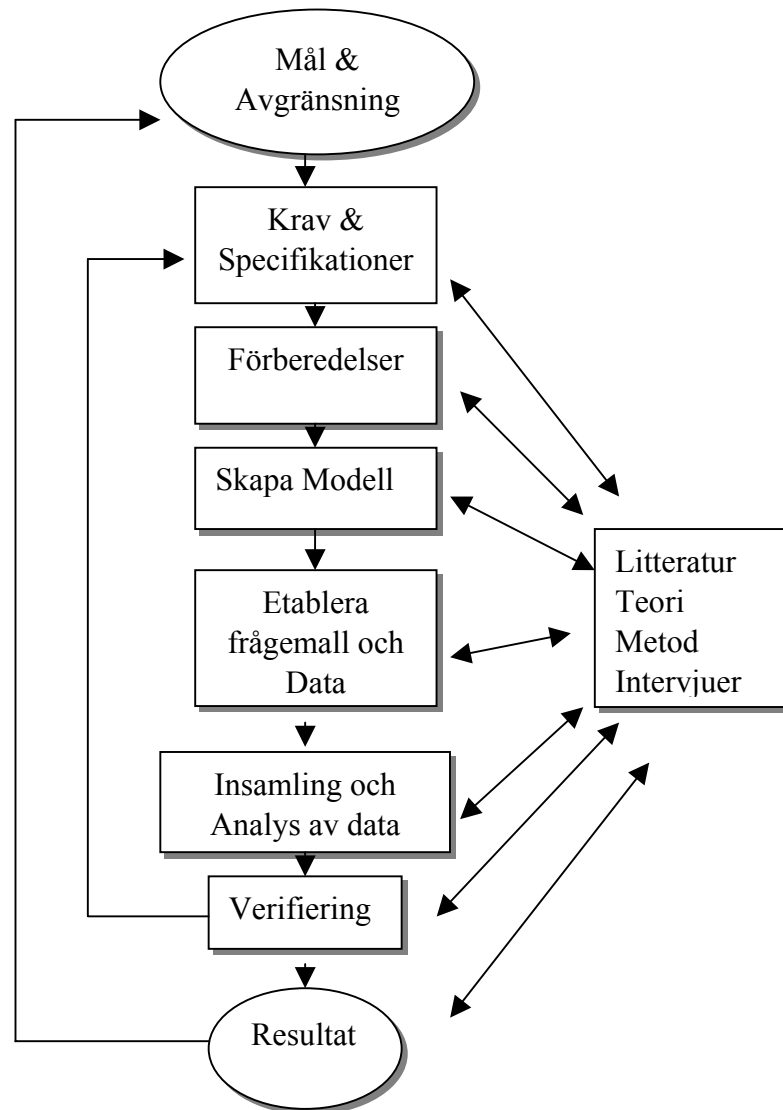
Vid besöksintervjuer kan både fler och mer sammansatta frågor ställas utan att den intervjuade på samma sätt tröttnas ut.

3.4 Arbetsprocess

Undersökningsprocessen för examensarbetet visualiseras i figur 3.1 och processen i figuren förklaras i texten.

Arbetsprocessen hade en iterativ karaktär där studien hela tiden verifierade den information som kom fram mot vilka mål och avgränsningar för att fastställa om den var relevant.

Arbetet omfattade två faser där fas ett var att ta fram den allmänna LCC modellen för tekniska installationer och fas två var att fastställa om modellen kunde användas i ett specifikt fall. Inför fas två startade processen om igen med att ta fram nya förberedande fakta. Under hela processen har relevant litteratur, fackkunskap och handledarnas kunskaper konsulterats för att säkerställa bästa möjliga resultat.



Figur 3.1; Examensarbetets arbetsprocess.

3.4.1 Förberedelser

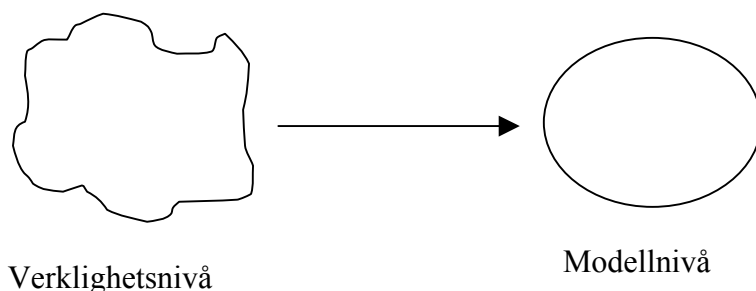
Undersökningsarbetet startade med att läsa lämplig litteratur och intervjua personer med kunskap i området för att få fördjupad kunskap i ämnet. Målet med detta moment var att etablera grundläggande och mer inträngande kunskap i LCC-metodiken och hur den används ute hos leverantörerna. Det var en explorativ undersökning där jag ville få veta så mycket som möjligt om det aktuella området³.

3.4.2 Skapa modell

Ur förberedelsearbetet utkristalliserades relevant kunskap som möjliggjorde att en LCC-modell kunde skapas som skulle ligga till grund för det fortsatta arbetet. Darmer & Freytag (1995) betonar att modeller endast är en förenklad bild av verkligheten, se figur 3.2.

³ Lekvall & Whalbin (1993) definierar explorativa undersökningar som problemformulerade undersökningar.

De skriver att det är viktigt att bedöma hur modellen förhåller sig till verkligheten och vilket syfte den har.



Figur 3.2; Skillnaden mellan verklighet och modell. Källa; Darmer & Freytag. Egen bearbetning.

I fas ett tog jag fram en modell som skulle kunna appliceras på flera olika tekniska installationer i tvärtunnlarna, se bilaga 3. Det var en allmän modell och den skulle tjäna som underlag vid vidare framställning av mer specifika modeller och som utgångspunkt för intervjuer. En LCC-modell för kylsystem respektive luftbehandlingssystem togs fram i fas två, se bilaga 3.

Att få fram en relevant fungerande modell baseras mycket på att rätt information har kommit fram och kan införlivas i modellen. Detta är ett mycket viktigt steg för att det fortsatta arbetet skall få tillförlitliga uppgifter att bearbeta.

3.4.3 Datainsamling och analys

Datainsamlingen startade med att jag sammanställde en frågemall inför intervjuerna, se bilaga 2.

Vid fas ett utgick jag från telefonkatalogen, Internet och rekommendationer och kontaktade företag som utförde tekniska installationer och som eventuellt hade någon erfarenhet att arbeta med LCC. Jag inkluderade även berörd personal på Citytunnelprojektet samt konsulter som arbetar med LCC-beräkningar. Jag skickade genom E-post ut LCC-modellen och ett följbrev - se bilaga 4 - som beskrev mitt examensarbete, LCC-begreppet och vad jag under den intervju som följde skulle kunna fråga om. Därefter utfördes intervjun, antingen genom besök eller per telefon.

Under fas två kontaktade jag kyl- och luftbehandlingsföretag som var relativt stora på marknaden och hade lokalkontor i Malmö och bad dem om att fylla i bifogad LCC-modell. Dessutom bad jag om kompletterande besöksintervjuer med företagen för att få en mer fullödlig intervjusituation.

3.4.4 Verifiering

I verifieringsfasen verifierades LCC-modellen utifrån de reaktioner de intervjuade gav. Verifieringen är en iterativ process där testning och utvärdering görs tills resultatet upplevs tillfredställande. Verifieringsfasen resulterade i en slutgiltig lösning av en modell som skall

kunna ligga till grund för framtida bruk. Den allmänna verifierade modellen presenteras i avsnitt 7.3.

3.5 Kvalitetssäkring av examensarbetet

För att försäkra kvaliteten på detta examensarbete är det viktigt att vara medveten om de felkällor som kan påverka resultatet. Det kan vara situationer som att inte få fullvärdig handledning av examenshandledarna, att alltför få leverantörer är med i utvärderingen eller att bristande information från företagen resulterar i bristande fakta.

Adekvat respons från handledare och de som är med i studien är viktigt för resultatet. Utan rätt information och respons kan examensarbetet inte ge tillfredställande resultat. För att förhindra detta skapades det regelbundet tillfällen för kontakt både med handledare på Citytunneln och LTH. Företag som var med i studien fick ta del av resultaten och kommentera sina egna svar.

Jag är medveten om att alltför få företag är med i studien för att resultaten skall vara statistiskt säkerställda. Trots detta ger resultatet ändå en indikation på hur modellerna kan användas av leverantörer samt vilket beslutsunderlag en LCC-analys kan ge vid val av utrustning vid framtida upphandling för Citytunneln.

Stora delar av examensarbetets data har kommit från de företag som har medverkat i studien. På grund av tidsbrist har deras uppgifter ej kunnat verifieras i någon större omfattning. Ett sätt att verifiera deras uppgifter är givetvis att förverkliga deras förslag i form av fullständigt genomförda installationer och sedan genom en tidsserieanalys fastställa om de grunddata som lades fram stämmer. Detta är naturligtvis en alltför kostsam och tidslukande metod.

Ovilja att lämna ifrån sig känslig information kan skapa problem. Självklart är företag ovilliga att släppa konfidentiellt material. Detta problem har tacklats genom att förklara hur information kommer att användas och genom tystnadsavtal.

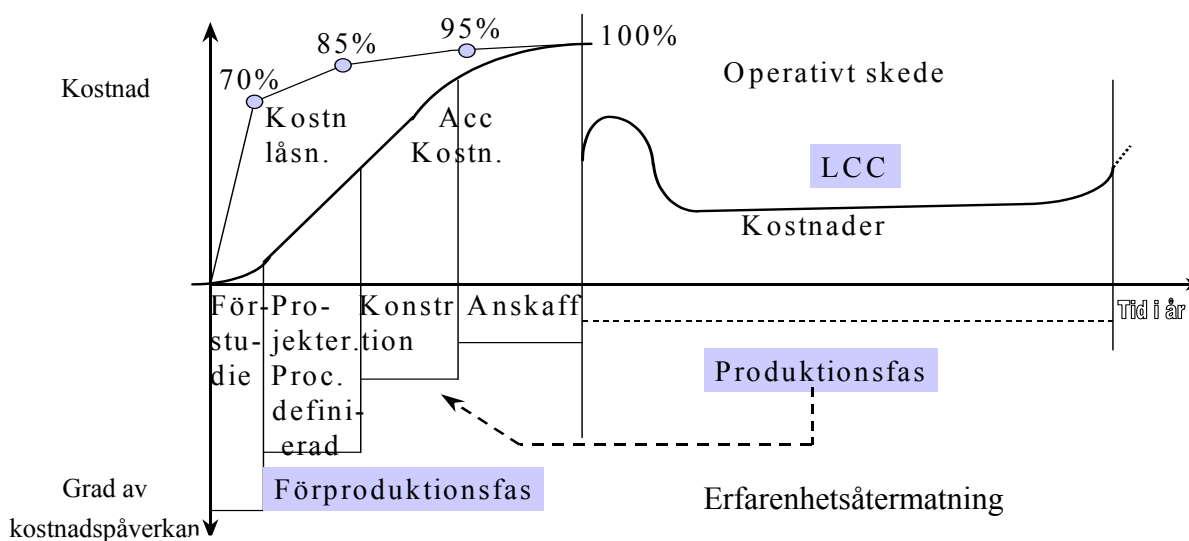
4. Teori och definitioner

Här redogörs teorier och modeller inom LCC-metodiken som är relevanta för examensarbetet. Kapitlet omfattar även begrepp så som underhåll och driftsäkerhet. I slutet på kapitlet finns även ett avsnitt om risk och vilka problem som finns i samband med en LCC.

4.1 Livscykelkostnad

LCC är en förkortning av Life Cycle Cost och definieras allmänt som en produkts totalkostnad under dess livslängd. Sveriges Verkstadsindustrier (1993) ger två andra definitioner på LCC. Dels kan LCC beskrivas som ”ett mått på ett systems [...] samlade ekonomiska konsekvenser under hela dess livslängd” och dels kan LCC vara ”ett systems [...] samlade ekonomiska konsekvenser under hela dess livslängd där vissa förenklingar och uteslutningar skett för att underlätta användningen av jämförelsetalen”. Oftast är det den sistnämnda definitionen som används vid praktiskt tillämpning.

Hans Ahlmann (1993), med referens till Olle Wååk, påpekar att LCC kan uttolkas dels som LC-Cost, det vill säga en rent numeriskt beräkningsbar livscykelkostnad men även som LC-Costing där det - förutom en ren kalkyl - även innefattas en analys som kan visa på hur kostnader skall kunna sänkas vid anskaffningstillfället och under driftfasen.



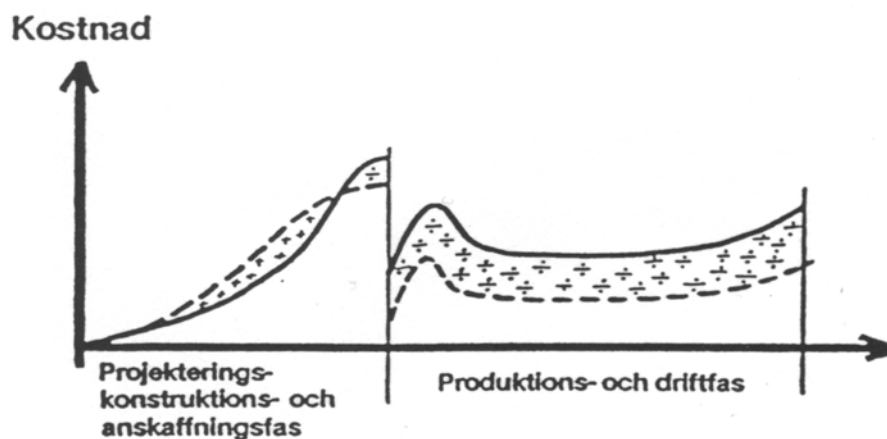
Figur 4.1; Möjligheter att påverka LCC-kostnader. Kostnader i det operativa skedet motsvarar drift- och UH kostnader. Källa; Ahlmann, et al.

Konsekvensanalyser av t.ex. underhåll under en livstid görs även i en vanlig investeringskalkyl. Det som skiljer en investeringskalkyl från en LCC-analys är att LCC är ett mer aktivt utforskande av olika handlingsalternativ, inklusive påvisande av nya, se figur 4.1. Det är en modell som konstrueras inför en upphandling eller projektutförande och som kan användas aktivt för en dialog med olika aktörer.

Oavsett kalkylmetod bör man beräkna eller uppskatta samtliga kostnader och besparingar för en investering. Detta görs lämpligtvis med en kostnadsmodell enligt livscykelkostnadsberäkning där metoden syftar till att se de olika faktorer som under livslängden påverkar kostnaderna för utrustningen eller systemet. Härigenom får man fram investeringens kostnader fördelade på t.ex. initiala kostnader och årliga återkommande kostnader. Den totala livscykelkostnaden utgörs av samtliga kostnader som kommer att påverka systemet under hela dess livslängd. Principen för livscykelkostnad är att ett beslut skall baseras på alla kostnader som beslutet påverkar. Det finns en rad problem som måste kunna hanteras för att en LCC-analys skall bli meningsfull, t.ex. om man kan kvantifiera alla kostnader, hur man kan kostnadsrelatera stillestånd och avbrott, och hur man hanterar avbrott och risk. Dessa frågor måste tillsammans med själva grundprincipen för totalkostnadsberäkning översättas till en LCC-modell (Sveriges Mekanförbund, 1984). Vid jämförelse mellan olika alternativ behöver dock endast kostnader tas med som man vet är olika mellan alternativen. Kostnader som ej påverkas av investeringen kan då uteslutas.

4.2 Motiv för att använda LCC

Frånsett den självklara fördelen med att ordentligt undersöka alla kostnader för en investering innan ett beslut fattas, finns det studier som visar att konstruktions- och upphandlingsfasen är av avgörande betydelse. Det finns en enkel tumregel som säger att ändring i idéfasen kostar 1 krona att genomföra medan en ändring som genomförs i driftstadiet kostar 1000 kronor (Johansson & Nord, 1999). Av figur 4.2 framgår hur den positiva effekten från projekteringsstadiet - där hänsyn tas till livstidskostnad - förstärks i produktions- och driftfasen. Som vi ser i figuren kan det bli ökande kostnader initialt men detta övergår så småningom till en vinst redan i projekteringsstadiet. Det förekommer även en inverkan på den primära investeringen genom en homogen allokering av investeringskapitalet bland annat med hänsyn till trånga sektioner (Ahlmann).



Figur 4.2; LCC-konceptet, där den positiva effekten av att ta hänsyn till livstidskostnader under anskaffning och projekteringsfasen förstärks under driftfasen. Källa; Ahlmann.

Dessutom finns andra positiva effekter av att genomföra en LCC-analys. Johansson & Nord (1999) visar flera fördelar med LCC, bland annat skriver de att köparen på ett tidigt stadium tvingas tänka igenom och precisera sina krav på utrustningen. En LCC ger t.ex. ett bra

underlag för att dimensionera produktions- och underhållsorganisationen. Det ger ett mer heltäckande beslutsunderlag vid val av leverantör och dessutom ger det både kunden och leverantören möjlighet att se helheten och därmed möjligheter att föreslå förbättringar och alternativa lösningar. Detta kräver tätare kontakter mellan kund och leverantör som kan ge bägge parter mervärde. Kunden får en utrustning med bättre livscykelekonomi och leverantören får ökad kunskap och erfarenhet som kan användas vid kontakter med andra kunder (Ibid.).

4.3 När kan man använda LCC

Man kan använda LCC på två sätt. Antingen en LCC-beräkning där slutsumman prioriteras eller också som ett verktyg i driftsäkerhetsarbetet där man kan analysera och påverka konstruktionslösningar för att få bättre driftsäkerhet eller billigare underhåll. I många fall är det mer det sista som man är ute efter, se tidigare diskussion enligt Ahlmann. Enligt Sveriges Mekanförbund (1984) finns det tre huvudsakliga användningsområden för LCC-analys; vid konstruktion, vid försäljning och vid upphandling.

4.3.1 LCC vid konstruktion

Vid konstruktionsfasen är huvudsyftet att med hjälp av totalkostnadstänkandet påverka den tekniska konstruktionen av en produkt. Det är produktens uppbyggnad och konstruktion som i huvudsak påverkar driftsäkerheten under användartiden. Dessutom kan man få fram vad konstruktionen i princip kommer att kosta vid användning i form av drift- och underhållskostnader. LCC-analysen är som mest kostnadseffektiv i konstruktionsfasen och en stor del av totalkostnaden för en investering fastställs redan i de allra första faserna av ett projekt. I figur 4.1 framgår att beslut som tas i ett tidigt skede vid projektering i mycket stor utsträckning blir bestämmande för de framtida kostnaderna. Enligt Hagberg & Henriksson (1994) är det vanligt att under de inledande skedena av projektering finna att en stor del av de framtida kostnaderna redan är upplåsta enligt figur 4.1.

4.3.2 LCC ur leverantörens synvinkel

Att beskriva en produkts livscykelkostnad blir allt viktigare för leverantörer av utrustning. Det är väsentligt för en leverantör att kunna tillfredsställa kundernas behov och på så sätt öka sin konkurrensfördel. Då kan en uträkning av livscykelkostnad och därmed påvisa kundens långsiktiga ekonomiska nytta vara ett sätt att vinna kundernas förtroende. Det kräver dock ett bra samarbete mellan leverantör och kund för att modellen skall bli bra eftersom det kan vara svårt för leverantören att på egen hand få fram väsentliga data (Sveriges Mekanförbund, 1984). I Sverige har LCC hittills utnyttjats främst inom företag som Försvarets Materialverk, Statens Järnvägar, Vattenfall och Sydkraft samt leverantörer till dessa (Johansson & Nord, 1999).

4.3.3 LCC ur köparens synvinkel

Vid upphandling är det kunden som tar fram en LCC-modell. Upphandlingen kan föregås av att kunden tar fram offertförfrågan och sedan värderar de olika anbuden från leverantörerna. Genom offertvärderingen kan kunden sedan välja den leverantör som med lämnade data uppfyllt prestationskraven till lägsta totalkostnad. Enligt Sveriges Mekanförbund (1984) finns det huvudsakligen tre olika sätt att göra upphandlingar på. Det första är att göra inköp med hjälp av artikelspecifikation, det vill säga kunden går igenom leverantörens sortiment och väljer ut vilka delar som skall upphandlas. Det andra är att kunden själv konstruerar ett system samt en teknisk specifikation som den sedan ber leverantören att tillverka. Det tredje sättet för en kund att genomföra en upphandling är att ge leverantören en funktionspecifikation där leverantören är fri att föreslå bästa lösning. Citytunneln använder sig till exempel av funktionspecifikation vid upphandling av tunnlar och bergrum där de inte har gått in på detaljer utan överlåter till entreprenören att utforma dessa för den givna funktionen. De två första upphandlingssätten används oftast då kunden själv anser sig besitta den större kunskapen och erfarenheten om det aktuella systemet. Det tredje fallet blir, enligt Sveriges Mekanförbund (1984), mest effektivt men att det kan finnas stora svårigheter att ställa funktionella krav.

Förutom dessa tre tillämpningar kan LCC användas i andra sammanhang såsom för budgetprognoser eller för att ge underlag för beslut om modifieringar och förbättringar på befintliga system (FMV, 1992).

4.4 En LCC-modell

En LCC-modell är en kostnadsmodell som bygger på en förenklad bild av den verklighet man vill studera. Den baseras på att man kan förutse väsentliga tekniska och ekonomiska förhållanden under ett systems livslängd. Modellen kan vara enkel eller komplex men oftast eftersträvar man att få en lättförståelig och hanterbar modell. En mycket enkel modell kan ha följande utseende enligt ekvation 4.1;

$$LCC = I + N \times CO - R \quad (4.1)$$

I = Investering

N = Nusummefaktor

CO = Drift- och underhållskostnader (UH) per år

R = Restvärde

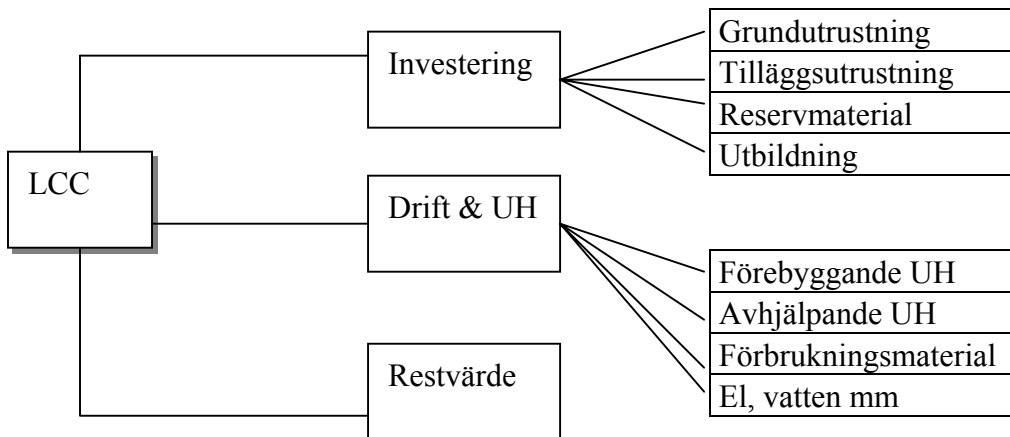
Dessa kostnadsposter bryts sedan ner till ytterligare detaljnoggrannhet om så önskas.

En sådan nedbrytning i ett ytterligare steg kan se ut som i figur 4.3.

Genom en systematisk nedbrytning av detta slag anpassas modellen till det aktuella fallet där målet är att få med de nödvändiga kostnadsposterna för uppgiften.

Detaljeringsgraden för modellen beror på i vilket syfte modellen skall användas. När målet är att jämföra olika investeringsalternativ är inte totalkostnaden för en produkt det mest centrala utan viktigare är att modellen ger en konsekvent rangordning av förslagen. Enligt Sveriges

Mekanförbund (1984) kan modellen reduceras till att endast ta med de särskiljande kostnadsposterna mellan de olika alternativen.



Figur 4.3; Exempel på nedbrytning av LCC-modell.

Om däremot LCC-modellen skall användas vid budgetering ställs större krav på detaljeringsgrad (Schaub, 1990) då syftet är att få fram absolutbelopp på totalkostnad.

4.5 Kalkylränta och nuvärde

Samhällsekonomisk lönsamhet är ett principiellt viktigt kriterium för om ett infrastrukturprojekt ska genomföras. Kalkylräntan är då en central parameter som avgör hur stora ramar som ska anslås till investeringar.

Kalkylränta, vilken även benämns diskonteringsränta, beskriver Persson & Nilsson (1999) som alternativkostnad för kapital. Med det menas att det alltid vid alla investeringar existerar en alternativ användning av pengarna där de kan avkasta en viss ränta. Det belopp som utgör investeringen under olika år måste justeras med hänsyn till denna räntefaktor.

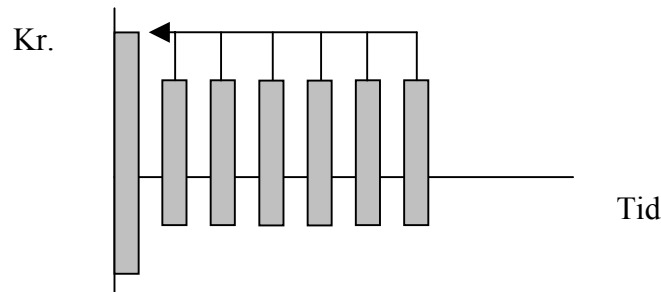
Citytunnelprojektet beräknas utan kalkylränta eftersom det, enligt Per Nordgren på Citytunneln, inte ingår i projektbeskrivningen för Citytunneln att projektet skall belastas med en kalkylränta. Men vid en samhällsekonomisk beräkning som CTEK (2001) har genomfört på projektet utgick de från en ränta på 4 procent. Det är i överensstämmelse med Statens institut för kommunikationsanalys (SIKA, 1999) som framför att kalkylräntan för ett infrastrukturprojekt bör ligga på den procentsatsen.

Vid investeringsbedömningar försöker man göra kostnader vid olika tidpunkter jämförbara. Med hjälp av nuvärdemetoden kan alla betalningar diskonteras till tidpunkt noll, se figur 4.4. Detta görs med hjälp av nuvärdefaktor, se ekvation 4.2. Det kapitalvärde som investeringen utgör kan beräknas som skillnaden mellan diskonterade in- och utbetalningar. Om kapitalvärdet är större än noll anses investeringen vara lönsam då den ger en högre avkastning än kalkylräntan (Persson & Nilsson, 1999).

$$\text{Nuvärdefaktor} = \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{-n} \quad (4.2)$$

i = aktuell kalkylränta

n = tidpunkt (år) för aktuell transaktion. (VI, 2001)



Figur 4.4; Nuvärdesmetoden

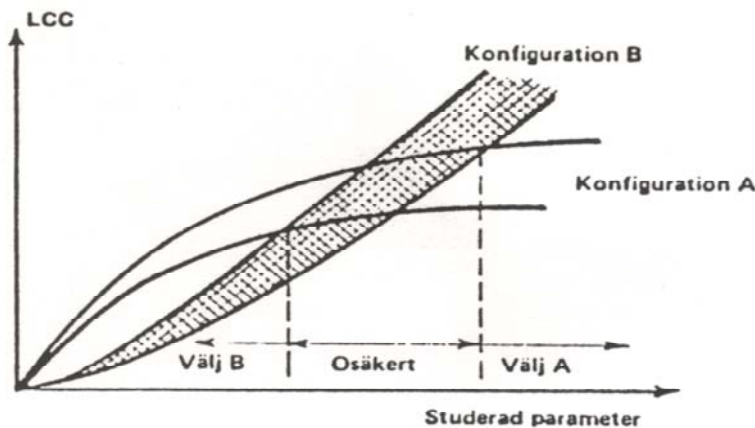
4.6 Modellframtagning och analys av LCC

I litteraturen beskrivs flera olika sätt att arbeta med och genomföra en LCC-analys. Schaub (1990) beskriver åtta olika steg där identifiering av olika kostnadselement utgör flera punkter. Hon avslutar arbetsgången med en känslighetsanalys där man varierar sina indata för att se vilka olika utfall det ger. Sveriges Mekanförbund (1984) har en likartad metod med nio steg där man fastställer mål och avgränsningar, planerar arbetet och så vidare för att avsluta med att värdera resultatet. De skriver att analysarbetet är en iterativ process där man går tillbaka för att värdera nya fakta som erhålls alltefter som arbetet fortskrider.

Jag har valt att beskriva den arbetsgång som Sveriges Mekanförbund har tagit fram.

1. *Identifiera uppgiften*; Man bör klargöra vad uppgiften skall ge för resultat och vid vilken tidpunkt. Det är viktigt att det underlag som så småningom kommer att presenteras kan utgöra en grund för ett beslut där alla antaganden som påverkar resultatet redovisas. Dessutom måste man tidigt överväga om resultatet kommer att vara tillgängligt vid beslutstidpunkten för att undvika att onödigt arbete läggs ned på en analys.
2. *Formulera mål och avgränsningar*; Målet skall formuleras så tydligt och enkelt som möjligt för att underlätta att projektet hålls inom de stipulerade ramar som man har fastställt. Identifiera de resurser som analysen kräver för att nå det uppsatta målet. Begränsa uppgiften så att den tid och de resurser som finns till förfogande kan utnyttjas.
3. *Planera analysen*; Gör upp en tidsplan där man försöker identifiera perioder med liten eller stor arbetsbelastning för att kunna omfördela dessa för att få en jämnare belastning över tiden innan tidsplanen har börjat gälla.

4. *Klarlägg förutsättningar*; Krav och förutsättningar är viktiga randvillkor för analysen. Där ingår t.ex. att identifiera vilka form av underhåll och driftegenskaper en investering har och hur och om de skall värderas i LCC-analysen. Dessutom ingår vilka ekonomiska förutsättningar projektet har, det vill säga vilken livslängd, kalkylränta etc.
5. *Skapa LCC-modellen*; De relevanta kostnadsslagen skall identifieras och beskrivas i modellen. Vanligtvis bygger man en modell där man kan bryta ner de övergripande kostnadsposterna i fler underliggande kostnadselement.
6. *Datainsamling*; Samla in och uppskatta kostnader för de olika alternativen. Det är viktigt att få så relevanta data som möjligt för att inte under/överskatta kostnaderna. För att kunna få fram användbara data behövs det ett bra samarbete till de personer eller organisationer som besitter den kunskapen. Man kan även studera liknande investeringar och de kostnader som de har genererat.
7. *Beräkning och analys*; Sammanställ och beräkna totalkostnaden med hjälp av de data som har samlats in. Ifall flera olika alternativ finns skall skillnader mellan dessa identifieras.
8. *Känslighetsanalys*; Vid de kostnadsposter som anses vara kritiska eller osäkra kan indata varieras för att se hur mycket det ger i utfall. Ett problem med känslighetsanalys är att vissa indata kan vara kopplade till varandra t.ex. felintensitet med underhåll, vilket man måste ta i beaktande vid genomförd analys, se figur 4.5.
9. *Gör värderingar av resultatet*; Värdera resultatet.



Figur 4.5; Känslighetsanalys där man i det osäkra området bör låta andra faktorer tillsammans med LCC vara styrande för beslut. Källa; Sveriges Mekanförbund

4.7 Verifiering av LCC

Den kund som sedan förvaltar och underhåller den investering som är gjord vill gärna verifiera leverantörens kalkyler för att fastställa att de håller sig inom den utlovade gränsen. Man kan verifiera en LCC på två sätt. Dels genom att mäta de kostnader som underhållet

faktiskt medför. Dels genom att mäta de egenskaper som påverkar kostnaderna och besluta om de är godkända eller ej på den nivån (Mekanförbundet, a). Vanligen använder man sig av den första metoden där verksamheten inte är utsatt för förändringar och felflöden är förhållandevis stora.

Enligt Boo Henriksson (Landstingsfastigheter i Jönköpings län) är svårigheter att mäta den största stötestenen med LCC. En leverantör kan utlova flera fördelar med sin produkt, men om man sedan vid drift inte kan verifiera att det stämmer blir metoden verkningslös. Vid intervjun framhöll han vikten av att kunna göra mätning av de olika installationerna för att inte LCC-analysen skall bli uddlös.

4.8 Kravspecifikation

Kravspecifikation kan stå för flera olika betydelser. För en del är det en komplett beskrivning av det man vill att det kravsatta systemet funktionellt skall klara av. För andra är det endast systemets bearbetnings- eller matningsprestanda (Mekanförbundet, a). Beståndsdelarna i en krav-specifikation påminner i många delar om en driftsäkerhetsbeskrivning. Den kan klargöra ansvaret mellan kund och leverantör men även användas som inköpsspecifikation och dokumentation (Johansson & Nord, 1999).

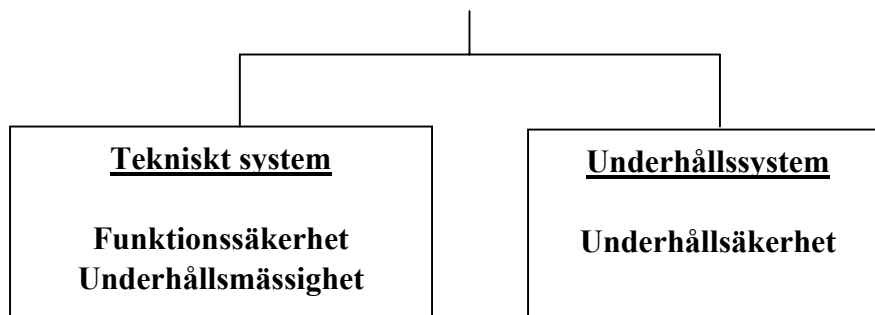
Specifikationens målgrupp finns både externt och internt inom organisationen. Den interna organisationen syftar på produktions-, kvalitets- och planeringspersonal medan den externa målgruppen framför allt är leverantörer. I större projekt finns ofta en övergripande systembeskrivning som behandlar hela systemet som ingår. För varje delsystem finns sedan separata kravspecifikationer som ofta utgör underlag till anbudsinfordran (Mekanförbundet, a) Exempel på kravspecifikation i detta arbete finns i avsnitt 6.1.4 och 6.2.2.

4.9 Driftsäkerhet

Driftsäkerhet är en egenskap hos ett system som bestämmer systemets förmåga att ge hög effekt när fel, störningar och begränsande underhållsresurser påverkar systemets prestationsförmåga (Mekanförbundet, b). För att få största möjliga avkastning på insatt kapital krävs det att driftsäkerheten är optimerad. Syftet med att beräkna driftsäkerheten hos en maskin eller ett system blir därför att ta fram underlag till ekonomisk utvärdering såsom LCC eller för att utgöra en grund för kapacitetsberäkning.

Banverket definierar driftsäkerhet som ”sådana åtgärder som genomförs, i eller i anslutning till en anläggning, syftande till att denna ska fungera som avsett, utan att anläggningens funktionella och tekniska tillstånd förändras” (Banverket, 2002).

Kraven på driftsäkerhet utgör tre olika block som är funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet, se figur 4.6.



Figur 4.6; Begrepp inom driftsäkerhet. Källa, Johansson.

Med hög funktionssäkerhet menas att ett fåtal fel inträffar på en produkt. Med god underhållsmässighet åsyftas att fel på produkten lätt kan avhjälpas, och med underhållssäkerhet avses att lämpliga hjälpmedel och personal finns tillgängliga så att fel snabbt kan åtgärdas (Mekanförbundet, b).

Svensk Standard har tagit fram definitioner på dessa begrepp som återfinns i tabell 4.1.

Tabell 4.1; Definitioner och mått på driftsäkerhetstekniska begrepp. Källa; Frånlund, 2002.

	Funktionssäkerhet	Underhållsmässighet	Underhållssäkerhet
Definitioner enligt Svensk Standar SS-EN 13306	”Förmåga hos en enhet att utföra krävd funktion under givna förhållanden under ett angivet tidsintervall.”	”Förmågan hos en enhet, som används enligt angivna betingelser, att vidmakthållas i, eller återställas till ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion, när underhållet utförs under angivna betingelser och under användning av fastställda förfaringssätt och resurser.”	”Förmågan hos underhållsorganisationen att tillhandahålla de rätta underhållsresurserna på erforderlig plats, för att utföra krävda underhållsåtgärder på en enhet, vid en angiven tidpunkt eller under ett angivet tidsintervall.”
Mått	Medeltid till fel [MTTF] Felintensitet [Z]	Medelreparationstid [MTTR]	Medelväntetid [MTW]

För övergripande krav på driftsäkerheten används termen Tillgänglighet, A, som är ett mått på hur stor del av systemets totala tid som den är fungerande, se ekvation 4.3.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT} \quad (4.3)$$

MTBF = (Mean time between failures) Medeltid mellan fel.

MTTR = (Mean time to repair) Medelreparationstid.

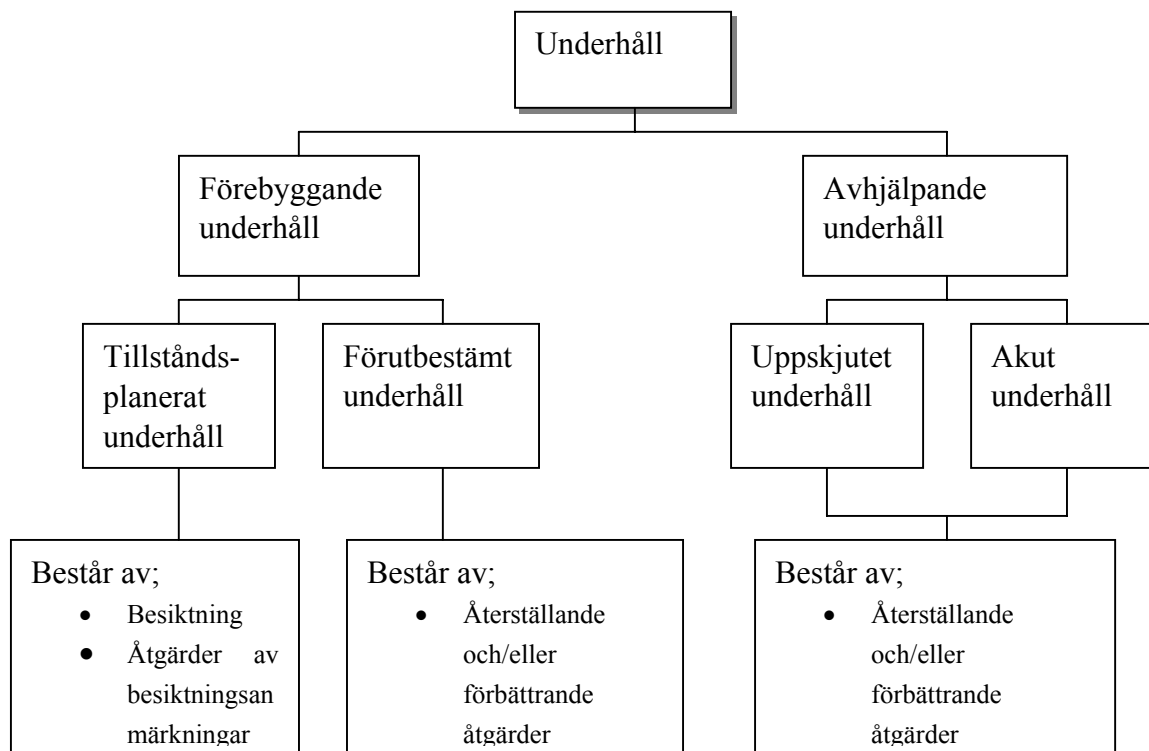
MWT = (Mean Waiting time) Medelväntetid på underhåll.

Tillgängligheten för en anläggning eller utrustning bestäms av många samverkande faktorer, både tekniska och organisatoriska, och det kan bli mycket kostsamt att rätta till fel och dåliga lösningar efter det att en anläggning har tagits i drift. För att få en bra bild av systemet och dess tillgänglighet kan man använda sig av driftsäkerhetsanalys. Analysen gör man genom att beskriva de krav och förutsättningar som skall gälla och om det är möjligt skall kartläggningen kvantifieras. Kartläggningen kan omfatta produktionskrav, driftsäkerhetskrav, utnyttjandetid, underhållets organisation, reparationsfilosofi och avgränsningar mot andra system. Anläggningens funktioner och layout bör dessutom brytas ned och beskrivas med hjälp av funktionsscheman och funktionssäkerhetsblockscheman (Mekanförbundet, b).

Det kan vara svårt att få fram data med tillräcklig kvalitet, men enligt Mekanförbundet (b) går det alltid att skapa tillräckligt bra data för att göra en tillfredställande analys. De vanligaste källor är egna och andras databaser, datorprogram för prediktering av data, skattningar och egna bedömningar från drift- och underhållspersonal (Ibid.).

4.10 Underhåll

Rätt bedrivet underhåll leder till hög tillgänglighet och lång livslängd hos en utrustning. Till underhåll räknas ”alla de åtgärder som vidtas under en anläggnings livstid syftande till att vidmakthålla eller återställa den till avtalad standard” (Banverket, 2002). Underhålls-åtgärderna delas in i förebyggande underhåll och avhjälpande underhåll. Förebyggande underhåll sker antingen utifrån anläggningens tillstånd eller efter ett förutbestämt intervall. Avhjälpande underhåll görs då funktionsfel uppstått i anläggningen, se figur 4.7.



Figur 4.7; Underhållets olika indelningar. Källa; Ahlmann, et al. Egen bearbetning.

4.10.1 Förebyggande underhåll

Svensk Standards definition på förebyggande underhåll är; ”Underhåll som genomförs vid förutbestämda intervaller eller enligt förutbestämda kriterier och i avsikt att minska sannolikheten för fel eller degradering av en enhets funktion” (Frånlund, 2002). Förebyggande underhåll görs innan systemet har upphört att fungera. Ofta kontrolleras vissa parametrar för att upptäcka om inställningen har ändrats eller om parameterinställningen fortfarande är den rätta för bästa drift. De förebyggande åtgärderna kan bestå i smörjning, planerade utbyten, rengöring eller planerade reoveringar. I förebyggande underhåll ingår även indirekt förebyggande underhåll som tillståndskontroll och funktionskontroll där tillståndskontrollen kan baseras på mätningar av till exempel temperatur, vibrationer eller energiförluster, medan funktionskontroll enbart berör kontroll av att en enskild enhet fungerar eller ej.

4.10.2 Avhjälpan underhåll

Svensk Standards definition är; ”Underhåll som genomförs efter det att funktionsfel upptäckts och med avsikt att få enheten i ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion” (Frånlund, 2002). Fel som har uppstått kan ha olika karaktär där vissa inte behöver åtgärdas omedelbart medan andra kräver en akut insats. Med utgångspunkt från vilket fel som uppstått görs en bedömning om felet bör åtgärdas snarast eller om det kan planeras in under ordinarie arbetstid som ett uppskjutet, avhjälpan underhåll. Haverier är akut underhåll och kan inte förutses (Ibid.).

4.11 Utbyte

Om ett delsystem anses ha tjänat ut kan den bytas ut. Det kan vara svårt att skilja mellan vad som är en underhållsåtgärd och vad som betecknas som ett utbyte. Enligt en rapport från Banverket (2002) finns det i praktiken olika kostnadsnivåer som avskiljer dessa åt men rapporten uttrycker ett behov av att bättre kunna definiera och särskilja underhåll och utbyte. Vid avvägningen mellan utbytes- eller underhållsinsatser kan en utbyteskalkyl göras. Den kan användas för att fastställa lämplig tidpunkt för en reinvesteringensåtgärd eller se vilka effekter en tidigare- eller senareläggning av en sådan får. Vid en utbyteskalkyl beräknas nuvärdet av reinvesteringen och detta jämförs med nuvärdet av förändringen av underhållskostnaden som kan förväntas uppstå till följd av att investeringen skjut upp. Hos Banverket (Ibid.) har utbyteskalkyler minskat i användning på grund av att det inte anses vara en bra metod att kvantifiera och värdera effekterna.

4.12 Banverkets syn på drift och underhåll

En stor del av Banverkets budget riktas mot insatser inom drift och underhåll (Banverket, 2002). Enligt Banverket är åtgärderna en fråga för samhällsekonomin där de resurser de har fått tilldelade skall prioriteras korrekt för att uppnå största möjliga effekt och minimera samhällskostnader. Men de hävdar att den samhällsekonomiska kalkylmetodik som används vid nyinvestering inte är tillämpbar för utvärdering av drift- och underhållsinsatser. I deras

intresse finns även aspekter som hastighet, komfort och säkerhet och dessa aspekter är svåra att kvantifiera. Enligt Mats Andersson (2001) finns det ett nytt upplägg till en ekonomisk analysmodell vid samhällsekonomisk bedömning för att få fram bästa möjliga underhållsåtgärder för infrastruktur. I modellen inkluderas olika undermodeller där LCC är en av dem.

4.13 Kvittblivning

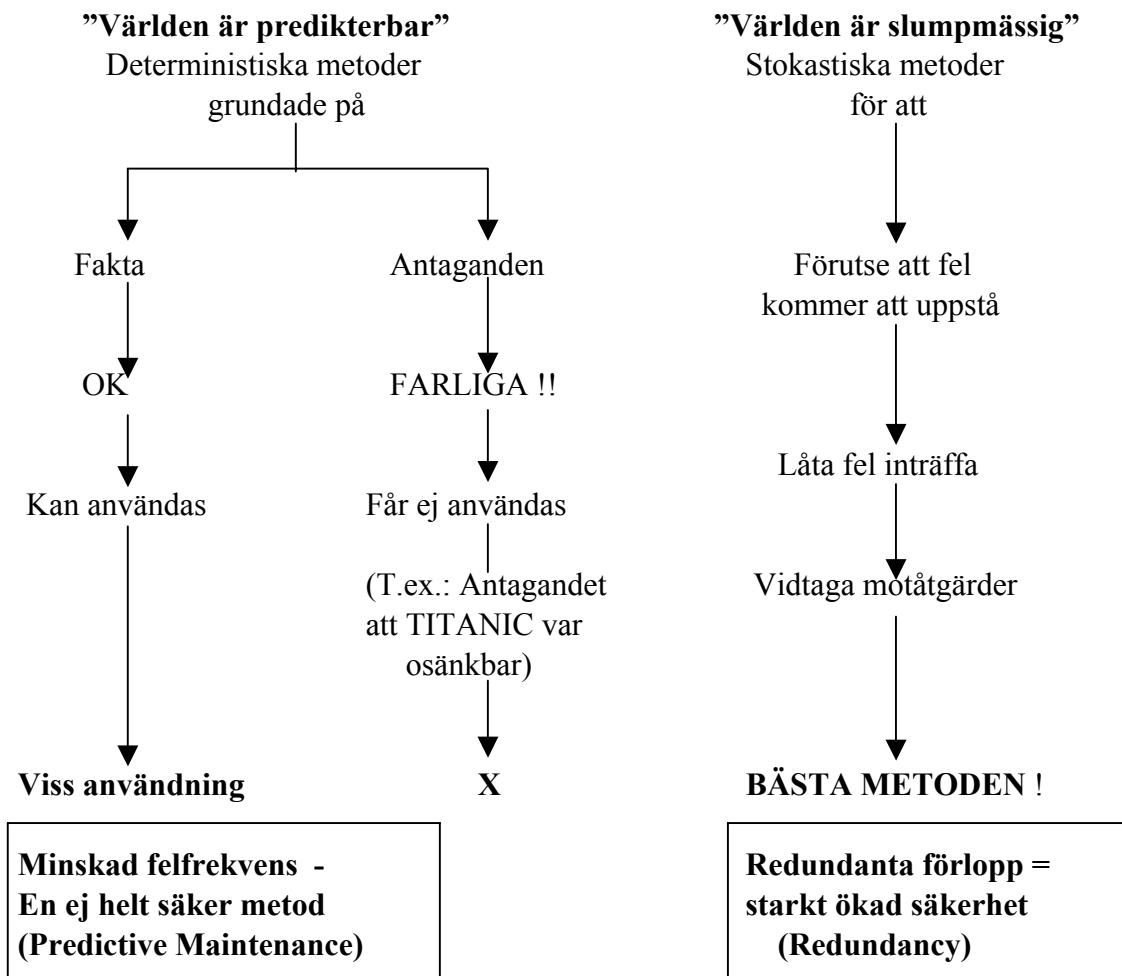
När anläggningen eller systemet har tjänat ut uppstår kostnader för att demontera och eventuellt deponera installationen. Denna kostnad är en engångskostnad och kan vara svår att förutse vid beräkningen.

I ekonomiska termer skall även restvärdet av en anläggning i en livscykelkostnadsberäkning läggas till kalkylen. Ett restvärde finns om inte den kostnadsoptimala livslängden sammanfaller med den tekniska livslängden. Om restvärdet kan realiseras bör detta leda till en minskning av nuvärdets kapitalutgifter. Detta sker genom att nuvärdesberäkna restvärdet och sedan reducera grundinvesteringen med motsvarande belopp före årskostnadsberäkningen.

4.14 Riskhantering och bristkostnader

Att hantera risker är en nödvändig del av ett projekt och en konsekvens av att det oftast finns många okända lösningar. En riskbedömning ingår i en planläggning för att bedöma projektets svårighetsgrad och utifrån bedömningen kan man sedan ta fram resursfördelningar. Alla riskanalyser är beroende av kvaliteten på indata som utgör underlag för analysen (Johansson & Nord, 1999). Det går inte att förutse alla händelser för att stävja fel. Vid t.ex. förebyggande underhåll kan endast vissa fel upptäckas och förhindras men ett haveri kan ske utan att det till synes har indikerats i förväg. I figur 4.8 framgår det att den bästa metoden för en ökad säkerhet är att ha ett stokastiskt medvetande – att man inte kan förhindra att det någon gång kan uppstå ett avbrott - och skapa t.ex. redundanta system som kan överta varandras funktioner vid ett eventuellt haveri.

Hos Citytunneln har en riskanalys gjorts för att kartlägga vilka förutsättningar och funktionella krav entreprenörer och leverantörer har vid val av tekniska lösningar (Citytunneln, 2002a). De tekniska installationerna har olika betydelse för säkerheten och Citytunneln har delat in dem i säkerhetskritiska och säkerhetsstödande system. En LCC-analys kan vara ett sätt att få fram bästa möjliga system beträffande säkerheten vilket även tas upp i avsnitt 5.7.



Figur 4.8; Principiella åtgärder för minskande felfrekvenser och ökad säkerhet. Källa; Fritt efter SAS säkerhetsmanual.

4.14.1 Lagerhållning av reservdelar

Vid riskbedömningen bör man ta fram bristkostnaden vid ett eventuellt stopp för att fastställa hur man skall lösa potentiella problem. Lösningen kan t.ex. vara att lagerhålla kritiska komponenter eller att skapa redundanta system.

Hans Ahlmann beskriver i ABB Industrihandbok (1993) baserad på en modell från Hagberg & Henriksson, att principen för bristkostnadsbedömning är att "en beredskapsreserv ska lagerhållas om den sannolika kostnaden för produktionsbortfall under maskinens kvarstående livslängd överstiger den sannolika kostnaden för lagerhållning, plus den sannolika kostnaden för inkurans". För att bristkostnader skall kunna beräknas krävs att vissa förutsättningar uppfylls;

- Sannolikheten för fel kan beräknas/bedömas.
- Kostnadskonsekvenserna för ett stopp kan beräknas i förväg.
- Beredskapsreserv antas ha sitt fulla värde under lagerhållning.
- Vid inkurans förbrukas hela kapitalet som investerats i detaljen.

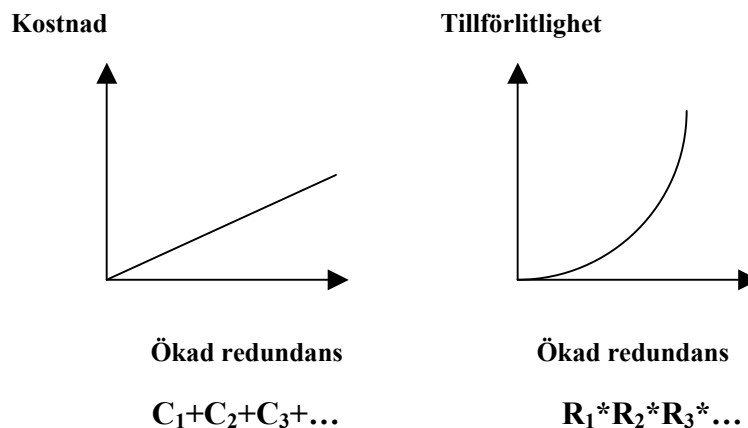
Ahlmann beskriver (Ibid.) att produktionsbortfallet vid fel orsakar en viss kostnad oavsett om aktuell reservdel finns på plats eller ej. Däremot blir naturligtvis ledtiden längre och kostnaden högre om reservdelen måste rekvireras innan maskinen kan repareras.

Vid bedömning av att lagervålla reservenheter bör man även beakta möjligheten att genom ett avtal med leverantören eller serviceföretaget kunna finna en lösning på lagervållningskostnader, se vidare diskussion i avsnitt 5.5.

4.14.2 Redundans

Ett annat sätt – som redan nämnts – är att skapa redundanta system för att få en säkrare drift. Det kan dels vara ett aktivt/parallellt redundant system där de olika maskinerna kan gå i skift och där alla enheterna eller funktionerna belastas på samma sätt under normal drift – operativ- eller dels en passiv/funktionell redundans som endast träder in då ett fel har uppstått – stand by (Bergman & Klefsjö, 2001; Johansson & Nord, 1999).

Att införa ett redundant system kräver naturligtvis större investeringar och ökar underhålls kostnaden – som visas i figur 4.9 – men ger en exponentiellt ökad tillförlitlighet medan



Figur 4.9; Ökad kostnad respektive ökad tillförlitlighet med hjälp av redundans. Källa; Ahlmann, et al.

kostnaderna för investeringen endast ökar additivt (Ahlmann, et al.).

Citytunneln har i sin riskbedömning tagit fram att redundans bör finnas för vissa säkerhetskritiska system (Citytunneln, 2002a)

4.15 Problem med LCC

Olve & Magnuson (1997) tar fram flera troliga orsaker till varför LCC ännu inte har fått genomslag i Sverige.

- Kvartalsrapporter och bokslutet bestämmer hur vi ska se på en investering. En del företagare kan vara mer intresserade att redovisa vinst än att belasta bokslutet med långsiktiga ekonomiska värden.
- Det är svårt att prognostisera framtida kurskonsekvenser, med eller utan investeringen.
- Svårigheter att förutse inflation och framtida penningvärde.
- Decentraliserat resultatansvar kan leda till kortsiktiga mål och suboptimering.

Även Dennis Johansson (2002) ifrågasätter giltigheten i att försöka diskontera framtida kostnader. Han anser att försöka förutse kostnader mer blir en fråga om gissning vilket påverkar LCC-beräkningen. Men han hävdar att det är bättre att göra en beräkning än att inte göra någon form av kalkylering alls.

Lennart Borghagen (1995) beskriver andra aspekter av problemet. Han skriver att det ofta finns en tröghet i organisationen och en ovilja att förändra maktstrukturen. Dessutom finns det ett ointresse av drift och underhåll på många företag. Han tar även upp svårigheten med att verifiera LCC-data där otillräcklig driftuppföljning och erfarenhetsåterföring är ett problem. Trots detta, skriver Lennart Borghagen, har Sverige internationellt sett kommit långt med införandet av LCC.

Det kan även uppstå problem med att använda LCC-analys. Analysen har inga entydiga mått eller värderingskrav utan är ett resultat av en modell och framtagning av indata. Därför bör man vara noggrann vid datainsamlandet. Det kan även uppstå problem vid nedbrytning och identifiering av kostnadsposterna. Vid modellframtagandet bör man bland annat vara uppmärksam på om problemet är rätt definierat, vilka kostnadselement som har uteslutits och varför, samt om alla rimliga alternativ har beaktats (Sveriges Mekanförbund, 1984).

I en rapport från Vägverket (1999), som är en förstudie om LCC-modeller för broar, beskriver de andra aspekter på problem med LCC som är mer anknutna till samhällsekonomi. Bland annat nämner rapporten problem med att få med beräkning av kostnader i en LCC som inte belastar broförvaltaren. Exempel på dessa problem är kostnader för trafiksäkerhet och miljö. Dessutom nämner de att det finns en risk att resultaten från LCC-analysen kan justeras så att önskat resultat uppnås.

5. Upphandling och avtal

Detta kapitel kommer att fokusera kring hur en upphandling går till, dels enligt lagen om offentlig upphandling men även internt hos Citytunneln. Kapitlet tar även upp de olika former av entreprenad och avtal som kan förekomma inom projektet.

Materialet om upphandling och entreprenader kommer framförallt från LOU; s hemsida men även från en intervju med upphandlingsgruppen på Citytunneln.

5.1 Upphandling hos Citytunneln

Upphandling hos Citytunneln styrs av lagen om offentlig upphandling (LOU) vilket innebär att alla inköp av varor, tjänster och entreprenader skall ske med tillämpning av bestämmelserna i LOU. Citytunneln ingår i gruppen försörjningssektorn där även el, vatten osv. ingår.

Det finns flera olika former av hur upphandlingar kan genomföras;

- Öppen upphandling - upphandling där alla leverantörer får lämna anbud
- Selektiv upphandling - upphandling där den upphandlande enheten inbjuder vissa leverantörer att lämna bud.
- Förhandlad upphandling – där den upphandlande enheten inbjuder vissa leverantörer att lämna anbud och därefter förhandlar med en eller flera av dem.
- Förenklad upphandling – upphandling där alla leverantörer kan delta och lämna anbud.
- Urvalsupphandling – upphandling där alla leverantörer har rätt att ansöka om att få lämna anbud och enheten inbjuder vissa av dem att lämna anbud.
- Direktupphandling – upphandling där anbud inte måste infordras.

Valet av upphandlingsform beror på vad som upphandlas och vilket värde det upphandlade har och i vissa fall finns det även skyldigheter att förhandsannonsera om större upphandlingar. När det gäller varor och entreprenader bestäms formen på upphandlingen utifrån värdet av det som skall upphandlas, det så kallade tröskelvärdet. LOU har beslutat om vilka tröskelvärden som skall gälla utifrån vilken typ av vara eller tjänst som skall upphandlas. Om varan eller tjänsten ligger under tröskelvärdet berörs den ej av LOU utan upphandlingen kan ske utan hänsyn till lagen om offentlig upphandling. I annat fall följer man de direktiv som lagen ger.

5.2 Extern process enligt LOU

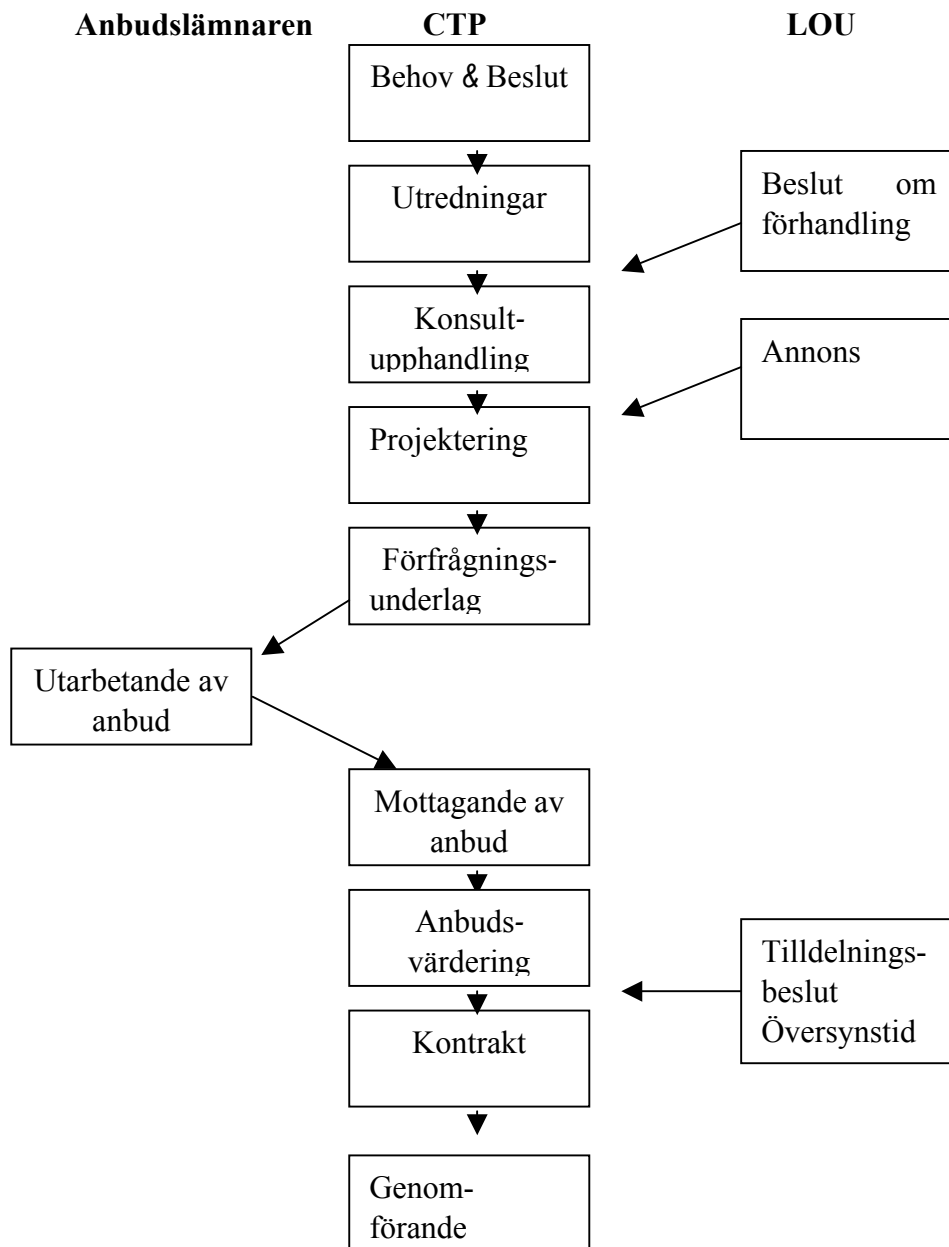
Processen vid upphandling enligt LOU för selektiv och förhandlad upphandling kan se ut som följande;

1. Man börjar med att fastställa värdet av det som skall upphandlas för att se om det ligger över eller under tröskelvärdet. Om värdet är under kan upphandlingen gå vidare

- utan hänsyn till LOU. I detta stadium bestäms även hur upphandlingen skall ske och vilken upphandlingsform som skall användas. Vid större upphandlingar skall en annons om förhandsannonsering ges in till Europeiska unionens förläggare (EUR-OP).
2. Förfrågningsunderlag utarbetas med kvalificeringskrav och utvärderingskriterier. Det är viktigt att bestämma huvudprincipen för anbudsprövningen, om det skall vara ”lägsta pris” eller ”ekonomiskt mest fördelaktiga anbud”. Ekonomiskt mest fördelaktigaste anbud ingår som begrepp i lagen om offentlig upphandling där man kan värdera anbuden efter i förhand fastställda kriterier. Kriteriet kan till exempel vara mest fördelaktigast LCC-beräkning.
 3. Beroende på vilken upphandlingsform som väljs sker upphandlingen i en eller två faser. Vid selektiv och förhandlad upphandling sker den i två faser där man först annonserar och sökanden får göra en intresseanmälan om man vill lämna anbud. Leverantörerna lämnar in sina ansökningar om att få lämna anbud och enheten prövar ansökningarna mot kvalifikationskraven. Kraven kan vara formella men även andra krav förekommer. Vid övriga former sker upphandlingen i endast en fas där förhandsprövning mot kvalifikationskrav ej ingår.
 4. Utvalda leverantörer inbjuds att lämna anbud och får ta del av förfrågningsunderlaget. Om kompletterande information lämnas till en leverantör ska även de övriga leverantörer få ta del av den informationen. Utvalda leverantörer lämnar sina anbud.
 5. Anbudsöppning
 6. Anbuden prövas mot utvärderingskriterierna. Vid selektiv upphandling väljs bästa anbud utifrån kriterierna och vid förhandlad upphandling sker förhandlingar med anbudsgivarna.
 7. Kontraktsberedning.
 8. Slutligt val av leverantör och de övriga leverantörer informeras om valet.
 9. Resultatet av upphandlingen annonseras hos EUR-OP innan kontrakt skrivs.

5.3 Internprocess enligt CTP

Hos Citytunnelprojektet (CTP) börjar processen med att ett beslut fattas vid den enhet där ett behov har uppstått. Det kan till exempel vara vid de olika delprojekten Tunnlarna, Järnväg eller Malmö C men även på högre instans om det är ett större projekt. I och med det startar upphandlingsförfarandet som följer anvisningarna i LOU. Stora investeringar kräver omsorgsfull planering och projektering och detta skede kan kräva extern konsult hjälp. Den interna processen består av att CTP - ofta med hjälp av konsulter - tar fram ett beslutsunderlag och när det är bestämt går CTP ut med en anbudsfrågan till anbudsgivarna. Vid utarbetandet av förfrågningsunderlaget specificerar man utrustningen och anger riktvärden för prestanda. Efter en viss anbudstid utvärderas anbuden och därefter väljer CTP lägsta pris eller det anbud som är mest ekonomiskt fördelaktigast. En principiell skiss på hur den interna processen vid upphandling hos Citytunneln går till finns i figur 5.1. Där återspeglas även vissa delar av LOU:s omfattning vid upphandlingsprocessen.



Figur 5.1; Arbetsgång vid upphandling för Citytunnelprojektet (CTP).

5.4 Olika former av entreprenader

Citytunneln följer de allmänna bestämmelser om hur de olika entreprenaderna skall utformas. Det finns i princip två olika former av entreprenader, totalentreprenad och utförande entreprenad, men däremellan finns flera olika varianter.

Vid utförande entreprenad föreskriver beställaren i princip alla detaljer för entreprenaden och ansvarar för de tekniska lösningarna, beställaren projekterar entreprenaden. Utförande entreprenad är specificerad in i minsta detalj och Citytunneln kan till och med förorda en viss produkt. På grund av lagen om offentlig upphandling skall dock en produkt kunna bytas mot

en likvärdig om entreprenören finner en sådan, men det är ändå beställaren som bestämmer till slut. Ett exempel på utförande entreprenad hos Citytunneln är Malmö C Nedre.

Vid totalentreprenaden beskriver beställaren vilka funktionskrav man har, sedan är det entreprenören som ansvarar för att de tekniska lösningarna uppfyller kraven. Det är entreprenören som projekterar entreprenaden. Hos Citytunneln är tunnlar och bergrum vid Triangeln samt system för brandlarm, SCADA och ITV, ett exempel på totalentreprenad.

Citytunneln har som strategi att i första hand välja totalentreprenader, i annat fall måste det motiveras. Motiven till att välja annan entreprenadform kan till exempel vara att det finns alltför många okända faktorer som kan komma att förändras under tiden. För att en totalentreprenad skall kunna fungera måste förutsättningarna vara låsta efter att kontraktet har skrivits. I annat fall är det bättre att beställaren mer i detalj styr utförandet vilket möjliggör större förändringar av entreprenaden.

Citytunneln arbetar enbart mot huvudentreprenören, all detaljutformning får huvudentreprenören själv ta fram med hjälp av underentreprenörer.

5.5 Underhålls- eller serviceavtal

Underhållet som funktion kan organiseras på många olika sätt inom ett företag. Dels kan en egen enhet inom företaget stå för service och underhåll, dels kan underhållet vara produktionsnära och utföras av dem som är i den dagliga kontakten med systemet eller också kan service och underhåll köpas externt. En allt vanligare lösning är en kombination av egna och externa resurser där de externa resurserna regleras av ett serviceavtal.

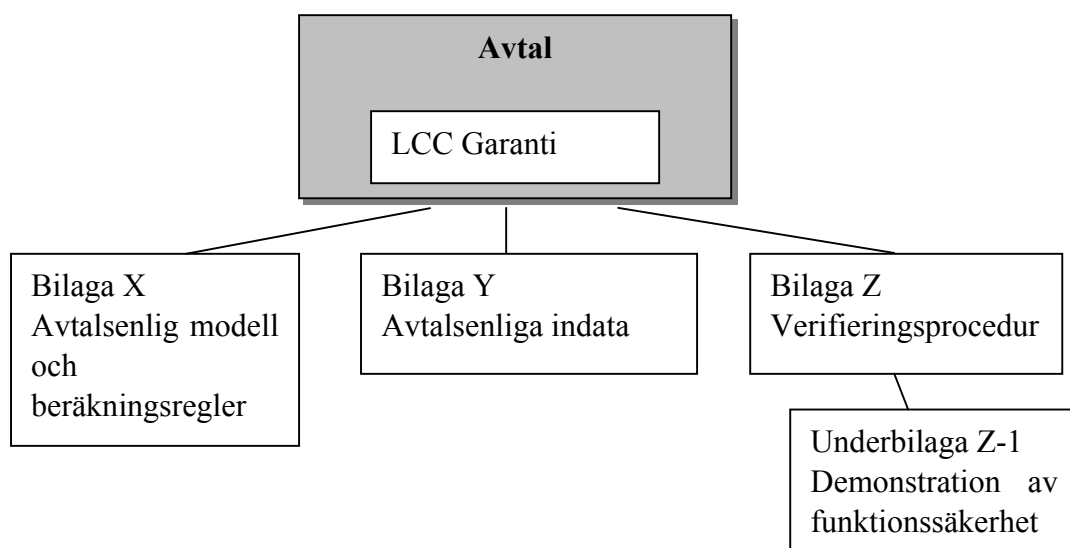
Det finns allmänna bestämmelser (NU 98) som är utgivna av Sveriges Verkstadsindustrier för hur underhållsavtal skall tillämpas. I NU98 regleras och definieras hur bestämmelserna skall tillämpas t.ex. vad som ingår i förebyggande- och avhjälpande underhåll, ansvar för fel i levererade delar, force majeure etc.

Om underhåll och service skall läggas ut på entreprenad kan man, enligt Borghagen (1995), även få fram ett avtal som antingen är ett utförandeavtal eller ett funktionsavtal. Med utförandeavtal menas att avtalet skall säkra ett kostnadseffektivt underhåll medan ett funktionsavtal står för att utrustningen skall vara tillgänglig för avsett ändamål, vid önskad tidpunkt och/eller till lägsta kostnad. I kapitel 4.14.1 nämndes att förutom översyn av drift och underhåll kan även ett avtal reglera beredskapsmöjligheter för reservdelar. I avtalet kan man då skrivas in att det skall finnas garanterad tillgänglighet för alla kritiska komponenter (Ahlmann, 1993).

För Citytunnelprojektet är serviceavtal alltför avlägset i det skede dom nu befinner sig i. Dessutom är det Banverket och de andra intressenterna som kommer att ta över drift och underhåll - eller lägga ut på entreprenad - och Citytunnel är inte involverade i detta. Ett eventuellt serviceavtal kommer inte att bli aktuellt förrän efter garantitiden som är två år.

5.6 LCC-avtal

Vid kontraktsskrivning kan man även införa ett LCC-avtal som garanterar att de data som ligger till grund för LCC-beräkningen kan fastställas och verifieras. Lennart Borghagen (1995) ger ett förslag på avtalsstruktur, se figur 5.2, där han menar att leverantören skall kunna garantera att levererad utrustning har en ägandekostnad, LCC, på högst X kronor där kostnaden är beräknad enligt fastställd modell. Denna garanti skall gälla tills verifieringen av LCC-beräkningen är slutförd. I avtalet skall verifieringsproceduren fastställas och kund och leverantör skall komma överens om vilken typ av mätdata som skall ligga till grund för verifieringen.



Figur 5.2; Avtalsstruktur av LCC-prestation. Källa; Lennart Borghagen.

Om verifierad LCC överskrider garantin skall leverantören vidta åtgärder så att LCC sänks till den gräns som var avtalad. Förslag på åtgärder är framförallt modifiering eller omkonstruktion av utrustningen. Även vite eller annan åtgärd kan användas om det inte är möjligt för leverantören att genomföra en omarbetning (Borghagen,1995).

Olve & Magnusson (1997) framhåller att verifiering av utlovade egenskaper är ett nyckelelement men de påpekar även att en LCC-garanti inte innebär att en leverantör garanterar en viss underhållskostnad för systemets livslängd. De menar att leverantören skall kunna garantera att produkten har sådana egenskaper att den kan underhållas till en viss kostnad, vilket innebär att det inte berör de faktiska underhållskostnaderna utan kostnaderna mot en överenskommen modell. Dessutom anser de - med hänvisning till Pålsson – Wååk - att verifieringen skall ske under kort tid i anslutning till leverans.

5.7 LCC och kontrakt hos Citytunneln

I ett PM (Citytunneln, 2002b) finns det allmänna föreskrifter om hur LCC skall kunna komma in vid upphandling av de olika entreprenaderna. Där rekommenderas det att i de Administrativa Föreskrifterna skall en gemensam avtalstext avseende entreprenörernas LCC-kalkyler formuleras. Detta skall utgöra en del av det förfrågningsunderlag som skall finnas för de olika kontrakten. LCC-analyserna skall utföras i samband med projekteringen och när entreprenaden är upphandlad skall LCC-analyserna revideras och ligga till grund för en optimering av systemet eller utrustningen.

Det är främst tänkt att använda LCC för system eller apparatur som är i utsatt miljö inne i själva tunnelsystemet eller där utrustningen är svårtillgänglig. Utöver en LCC-analys rekommenderas det att även genomföra en Life Support Cost (LSC) och en riskanalys som baseras på driftstörningar och tillgänglighet.

6. Kyl- och ventilationssystem

Här går rapporten igenom hur kyl- och ventilationssystem är uppbyggda och vilka delar som examensarbetet berör. Här beskrivs även förutsättningar för de installationer som så småningom skall ske i tvärtunnlarna till Citytunneln.

I tvärtunnlarna (TT) kommer det att finnas radio-, tele- och elinstallationer som alstrar värme. Den största värmekällan är transformatorer som kommer att avge mellan 1,5 – 8,5 kW värme beroende på storlek. Transformatorerna får inte bli för varma för då slås de av och kopplas ur systemet vilket innebär att tågtrafiken stannar. För att förhindra överhettning krävs ett klimatsystem som ser till att temperaturen i TT håller sig mellan 18 – 25° C och för att förebygga kondens krävs dessutom att ett ventilationssystem installeras som gör att luften inne i TT cirkuleras. När inga människor är i TT kommer luften cirkulera i ett slutet system, det vill säga, ingen luft kommer att tas utifrån tunnlarerna eftersom den luften innehåller förhållandevis mycket damm och partiklar. Vid underhåll- och driftarbete i TT kommer dock spjäll att öppnas ut mot tunneln för att få in ny luft och vädra ut den gamla.

TT kommer att isoleras för att förhindra att fukt tränger in och för att hålla klimatet stabilt. Det finns ingen trolig risk för frysning i tunnlarerna eftersom de befinner sig relativt djupt ner i marken, ca 20-25 meter, och den normala temperaturen i tunnlarerna kommer att vara runt 10°C. Eventuellt kan frysning förekomma vid tunnelmynningarna.

Tillgängligheten för drift- och underhållsarbete i TT kommer att vara begränsad och kommer endast att ske på natten - under ett par timmar - då en tunnel stängs av för tågtrafik.

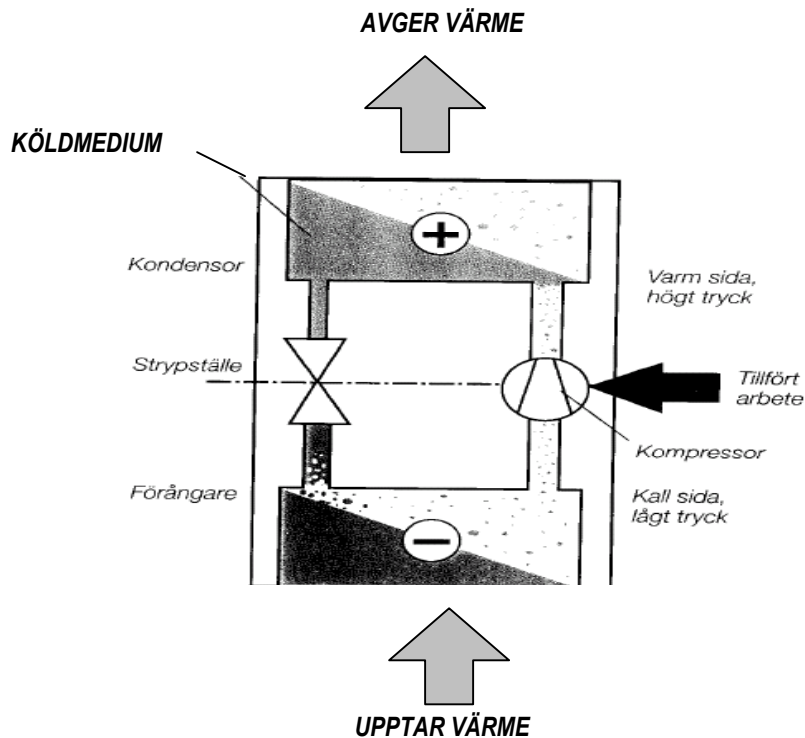
6.1 Klimatsystemet

Klimatanläggningen kommer att vara redundant med två separata kylmaskiner som kommer att gå i skift. Det är ännu inte bestämt om kylmaskinerna kommer att avlösa varandra jämt fördelade över tiden eller om en av maskinerna skall användas mer sällan för att de på så sätt skall få olika drifttid. Vid hög belastning kan det vara nödvändigt att aggregaten går parallellt. Systemet kommer vara kopplat till ett kontrollorgan i form av DUC (Dator Under Central) eller PLC (Powerline Communications) där temperaturen inne i TT kommer att övervakas. Säkerhetstekniskt skall systemet kunna klara 40° C i 24 timmar innan åtgärder anses vara nödvändiga under förutsättning att det endast är kylsystemet i en TT som är utslagen. Enligt säkerhetsrapporten från Citytunneln (2002a) får tunneln ej trafikeras om två eller flera TT är drabbade.

6.1.1 Funktionsprincip för kylprocessen

I en kylprocess utnyttjas ett köldmedium som har egenskaper att kunna förångas och kondenseras vid olika tryck och temperaturer. Köldmediet alstrar kyla genom att uppta värme från utrymmet som skall kylas. Det är möjligt genom att sänka trycket i förångaren så att köldmediets kokpunkt blir lägre än det kylda utrymmets temperatur vilket gör att köldmediet förångas. Genom att komprimera den gas som bildas i förångaren i en kompressor kan den

värme som köldmediet tagit upp föras bort vid en högre temperatur vilket leder till att köldmediet kondenserar. Denna process är den mest vanliga och används inom alla tillämpningar för kyla (Järvinen, 1995). I figur 6.1 visas hur en typisk kretsprocess är uppbyggd. En värmepump och en kylmaskin har i princip samma funktion. Skillnaden är att i ena fallet utnyttjas den kalla sidan, i det andra fallet den varma. Den sida som kylmaskinen nyttjar utgörs av förångaren där värme upptas (Nilsson, 2001).



Figur 6.1; Principiell uppbyggnad av en konventionell värmepump alternativt kylmaskin.

Källa; Nilsson, egen bearbetning.

6.1.2 Köldmedier och klimatpåverkan

Köldmedier är ett samlingsnamn för det medium som finns inne i en sluten kretsprocess från vilken kyla eller värme alstras. I maskinen finns köldmediet inneslutet och under drift skall inget läckage förekomma. Det är vid haverier, allmän hantering av köldmediet och vid skrotning av maskinerna som de huvudsakliga utsläppen sker.

Det köldmedium som idag rekommenderas är ett HFC-köldmedium (Hydro-Fluoro-Carbon). HFC ersätter gamla och numera förbjudna köldmedier och inom den gruppen, R400-serien, finns det många olika köldmedier med olika egenskaper.

När man diskuterar olika köldmediers klimatpåverkan används normalt begrepp som ODP (Ozone Depletion Potential) och GWP (Global Warming Potential). Köldmedier med påverkan på ODP innehåller klor eller brom vilket gör att HFC-köldmedier inte har någon ODP påverkan. De har däremot en kraftig påverkan på växthuseffekten, GWP (Nilsson, 2001).

I Sveriges klimatstrategi (Miljödepartementet, 2001) anges att regeringens bedömning - när det gäller begränsning i användning av den fluorerande gasen HFC - är att användningen bör begränsas till områden där alternativ saknas. Regeringen fastslår vidare att förbud mot användning av fluorerade gaser för påfyllning av befintliga system inte är en kostnadseffektiv åtgärd, men att förbud för användning bör införas för vissa områden.

I Danmark har Miljøstyrelsen (2003) beslutat att HFC-köldmediet skall vara helt borta från danska marknaden till 2006.

6.1.4 Kravspecifikation av klimatsystemet

Det finns ett framtaget förslag på hur klimatsystemet skall se ut med dess olika installationer.

- Kapaciteten ska delas upp på två lika aggregat vardera dimensionerad för 60 –70 % av total kyleffekt.
- Vardera anläggningen skall vara uppbyggd med separata kondensorer och kompressordelar.
- Friblåsande takmonterade fläktkylare med filter.
- Dimensionerad uteluft +5 till + 25° C, 60 % RF.
- Kondition i rum +18 till +25° C, 30-50 % RF.

Fukten som kylmaskinerna alstrar kommer att kondenseras ut med kylbatterier och kondensatorerna kommer att sitta ute i tunnlarna.

6.2 Ventilationssystem

Ventilationssystemet kommer att vara i kontinuerlig drift för att förhindra kondens. Under den största delen av dygnet kommer ingen ny luft in till systemet utan den luft som redan finns inne i TT kommer att cirkulera med hjälp av en fläkt. Vid drift- och underhållsarbete kommer ett spjäll att öppnas ut mot tunnlarna för att syresätta luften inne i TT. Ett filter kommer då att aktiveras för att förhindra att damm och partiklar kommer in i TT genom ventilationen.

6.2.1 Filter och dess utformning

Erfarenheter från tunneln vid Arlanda visar att det bildas stora mängder damm och partiklar vid tågtrafik i tunnlar. Damm uppstår framförallt när tågen bromsar in vid terminalen och består av cirka 85 procent oorganiskt material - främst järn - samt cirka 15 procent organiskt material. Det organiska materialet kan vid inbromsningarna förångas på grund av höga temperaturer och bildar då bland annat formaldehyd som är starkt luftvägsirriterande (Previa, 2000).

Stoftet har även analyserats för att fastställa dess storlek (Camfil Farr, 2001). Det bestod av partiklar i storleksintervallet 0.5 µm – 10 µm men det förekom även enstaka partiklar som var större än 20 µm.

6.2.2 Kravspecifikation av luftbehandlingssystemet

Luftbehandlingssystemet kommer att ha följande uppbyggnad;

- Blandningsspjäll för cirkulationsluft, el-batteri, fläktedel och kylbatteri.
- Luftväxlingen dimensioneras för 4 pers. á 7 liter/pers.
- Två brandspjäll, EI60, monteras men de är normalt stängda.
- Kanalmonterade fläktar.
- Filter EU7, F1, monteras i kanal för avskiljande av stoft och filter EU3, F2, för cirkulationsluft.
- Injusteringsspjäll, SP, skall monteras.
- Ventilationskanalen av Spirokanal i förzinkad plåt.
- Tilluftsdon monteras för att åstadkomma en kastlängd och effektiv spridning av luft.

Luftbehandlingssystemet har ingen direkt säkerhetsaspekt i TT. Dess funktion är underställd kylanläggningen och skall främst verka för att kondens bortföres.

6.3 Kontroll och drift

Tester kommer att ske innan anläggningen tas i bruk för att fastlägga om installationerna säkerhetstekniskt kan garanteras. Exempel på test för kylmaskinerna kan vara att slå av den ena för att se om en maskin kan hålla den bestämda temperaturen under ett eller flera dygn.

Banverket kommer att ta över driften av tunnarna och dess installationer. Det är ännu inte fastställt om Banverkets driftorganisation själva kommer att se över kyl- och ventilationsanläggning eller om det kommer att läggas ut på entreprenad. Angående inspektionsfrekvens, reservdelar och den personal som skall sköta anläggningen är det i dagsläget ännu inte bestämt hur det skall ske.

6.4 Kvittblivning

En intressant fråga är vad som händer med kyl- och ventilationsanläggningarna när de har tjänat ut sin tid. Dessa system består nämligen av stora mängder metall vilket gör att mycket går att ta tillvara och återanvända. Väldigt lite forskning har gjorts om vad som händer denna typ av system i slutet av dess livslängd (Nilsson, 2001).

6.4.1 Deponi

I dag kasseras inga kylanläggningar direkt på en soptipp utan någon form av upparbetning. Inte ens små kylmaskiner såsom kylskåp och frysboxar slängs utan att delar tas till vara för återvinning (Sysav, 2003). Däremot deponeras köldmediet som finns inneslutet i kylmaskinen. Det finns idag ingen separat kostnad för att deponera köldmedium eftersom det är inkluderat i priset när kylmaskinen levereras från fabriken. Däremot måste man upprätta en rapport till Naturvårdsverket att kylmaskinen inte längre är i drift (Naturvårdsverket, 2003).

6.4.2 Återvinning

Vid återvinning tar man bort gamla slitna delar och ersätter med nya. För att återvinning skall ske kan man göra ett tillägg i serviceavtalet om att maskinerna efter brukstiden skall tas tillvara och köldmediet omhändertas. Det finns mängder av el-produkter som varken kommunen eller producenterna har något ansvar för att ta hand om och det inkluderar elektrisk utrustning som är fastmonterad i byggnader, t.ex. fasta kylanläggningar. Det förvaltande företaget kan själv anlita en återvinnare och betala för bearbetningen (El-kretsen, 2003).

7. Verifiering av allmän LCC-modell

I detta kapitel redovisas hur den allmänna modellen skapades och vilka företag som var med i studien. Här finns även de svar på modellförslaget som har kommit fram genom olika intervjuer. I slutet på kapitlet revideras modellen och det beskrivs hur nya specificerade modeller kan tas fram.

Utifrån litteraturen (Blanchard, 1992; Hagberg & Henriksson, 1994; Schaub 1990; Sveriges Mekanförbund, 1984) skapade jag en LCC-modell, se bilaga 3, som skulle kunna appliceras på flera olika tekniska installationer såsom hissar, belysning, rulltrappor, ventilation, klimatanläggning och så vidare. Modellen skulle vara lätt att förstå och enkel att presentera för de olika levererande företagen. Jag tog medvetet med alla kostnader som jag ansåg kunde uppstå fast Sveriges Mekanförbund (1984) menar att det vid upphandling ej krävs en fullständig kostnadsbild utan endast de särskiljande kostnaderna behöver tas med. Orsaken till att alla kostnadsposterna togs med var att de som sedan skulle verifiera modellen skulle få en möjlighet att ha åsikter på omfattningen av modellen samt kommentera kostnadsposter och kunna jämföra med eventuella egna modeller.

För att se om modellen kunde uppfylla sitt syfte gjordes ett antal intervjuer med teknisk- och ekonomisk ansvarig personal från olika branscher och med olika erfarenhet av att arbeta med LCC. Målet var att försöka få intervjuer från de branscher som kan innefattas i den målgrupp som Citytunneln har vid en framtida upphandling. Jag exkluderade företag som arbetar med kyl- och ventilationssystem, eftersom dessa skulle kontaktas i ett senare skede av arbetet. Intervjuerna skedde delvis per telefon men även genom personlig kontakt. En intervjuguide användes som bas vid intervjuerna för att försäkra att en viss kvalitet på intervjuerna skulle hållas, se bilaga 2. De intervjuer som fördes över telefon tog i snitt trettio minuter att genomföra och var av mer semistrukturerad karaktär då telefonintervjuer har sina begränsningar enligt diskussionen i metodavsnittet 3.3.2.

Verifieringen var genomförd av företag och organisationer från hela Sverige men även från berörd personal på Citytunneln. Följande branscher var inkluderade i studien;

- 2 Hiss- och Rulltrappföretag
- 2 Byggföretag med egen förvaltning
- 2 Konsulter med erfarenhet av LCC
- 3 Personal på Citytunneln
- 1 Luftbehandlingsföretag

Av dessa hade tre personer ingen egen erfarenhet av LCC-analyser men de hade stor erfarenhet från branschen och hade arbetat med andra analysmetoder.

7.1 Intervjusituationen

Det var svårt att finna företag eller organisationer som hade erfarenhet av att arbeta med LCC och de som hade erfarenhet hade ofta tagit fram egna specificerade modeller. Fem av de intervjuade träffade jag personligen medan med de andra fem gjordes intervjun per telefon. Innan intervjuerna skickade jag ut ett brev, se bilaga 4, per E-post samt den LCC-modell som jag hade tagit fram. Jag hade skrivit upp ett antal frågor men höll mig inte alltid till frågemallen då jag i vissa lägen bedömde att frågorna var irrelevanta eller att tidsaspekten gjorde att vissa frågor föll bort. Detta gällde speciellt för telefonintervjuerna medan de personliga intervjuerna var mer strukturerade.

Intervjuerna finns nedskrivna men bifogas ej detta arbete, vid förfrågan kan de rekvireras.

7.2 Reaktioner på modellen

Eftersom erfarenheten med att arbeta enligt LCC-metoden var så skiftande blev svaren mycket varierande. Dessutom visste inte de företag och organisationer som jag intervjuade att modellen var tänkt för ett specifikt ändamål, Citytunneln tekniska installationer. Den personal som jag intervjuade på Citytunneln fick därmed ett försprång eftersom de direkt kunde applicera modellen till de tilltänkta funktionerna.

7.2.1 LCC-begreppet

När stötte ni för första gången på begreppet LCC?

Den som hade längst erfarenhet av metoden hade arbetat med LCC sedan mitten av 1980-talet.

De flesta som hade erfarenhet av LCC ansåg att det var en verksam metod att använda vid investeringsbeslut. Andra metoder som nämndes var en kostnadsberäkning som de kallade förstudier.

Tidsmässigt bedömdes det att avsätta resurser för kostnadsberäkning var viktigt. Det gjordes dock inte beräkning på alla komponenter och system eftersom det ansågs utgöra en allt för stor kostnad.

Vid vilka typer av installationer använder ni er av LCC?

Framförallt verkade det vara vid beräkning av luftbehandlingsaggregat som LCC användes, mycket på grund av att den branschen har arbetat medvetet med att få fram mätmetoder för hur systemen fungerar vid drift. LCC hade prövats vid upphandling av andra system, såsom kylmaskiner och pumpar, men det hade uppstått problem både med leverantörer som inte var vana att ta fram underlag för LCC samt med metoder att mäta hur systemen fungerade efter installation.

7.2.2 Upphandlingsprocessen

Hur ser upphandlingsprocessen ut?

Oftast är det konsulter som bereder upphandlingen och tar fram specifikationer för de olika system som skall vara med. Några företag använder sig av funktionsbeskrivning vid

upphandling där det levererande företaget själv får ta fram rätt system medan andra nästan aldrig gör funktionsentreprenader utan kunden själv arbetar fram de specifikationer som sedan ligger till grund för entreprenaden.

Det finns inget svar på hur lång tid en upphandling tar, från ett antal månader till flera år. Det beror på hur komplicerad och omfattande entreprenaden är.

Hur vanligt är det att kunden/leverantören frågar efter en LCC-analys?

Det sker i undantagsfall att en leverantör erbjuder en LCC och det är sällan att kunden frågar efter en LCC.

Hur stor tillförlitlighet skulle ni ha till en modell som leverantören tillhandahåller?

Det ansågs att det inte skulle vara ett problem om det levererande företaget tog fram egna LCC-analyser bara de bygger på samma modell så att de blir jämförbara. Någon ansåg dock att den statistik som det levererande företaget tog fram inte var så tillförlitlig.

Om entreprenörerna själva skall ta fram underlaget till LCC-beräkningen är det viktigt att man är tydlig med vad man vill ha och hur det skall räknas ut, så att man undviker missuppfattningar. En av de intervjuade föreslog att man kan skicka med en datamodell till leverantören så att de själva kan fylla i och försöka få fram den bästa konfigurationen.

Frågor som kom fram under intervjuerna var;

- Hur mycket tid har man för att ta fram de olika uppgifter och hur vederhäftiga blir de?
- Har man uppgifter om hur ofta de går sönder och vet man vilken typ av servicereparatör man behöver osv?

Man kanske hellre skall ligga på en mer allmän nivå och göra fler antaganden istället för att utföra en LCC-beräkning utan vederhäftiga data.

7.2.3 LCC-modellen

Finns alla kostnadsdrivande poster med?

Av de med erfarenhet av LCC ansåg många att modellen var för omfattande och ett alltför stort antal kostnadsposter var med. Någon uttryckte det som att man inte såg skogen för alla träden. En konsult ansåg dock att modellen var på en rimlig nivå när det gäller uppbyggnad och specialisering och han hävdade att man skulle kunna använda den för flera olika applikationer såsom hissar, ventilation etc. Om det finns specifika aspekter - som till exempel energiförbrukning - måste det kanske penetreras noggrannare.

Av de som inte hade egen erfarenhet av LCC var åsikten att modellen inte var för omfattande utan sågs mer som en checklista där alla kostnadsposter bör finnas med.

Är det någon del av den föreslagna modellen som är missvisande?

Oftast koncentrerar de intervjuade sig på energianvändningen och att försöka minimera driftkostnaderna. De har då tagit fram egna modeller som främst räknar fram kostnader för energiåtgång och ansåg att kostnader för underhåll och service inte var så relevanta.

Hur tar ni fram kostnadsunderlag för underhåll och drift?

Någon räknade med en schablonkostnad för underhåll på en procent av investeringskostnaden per år.

En av de intervjuade poängterade hur viktigt det är med grundläggande dokumentation för drift och underhåll samt att kostnad för utbildning är med eftersom det säkerställer att man kan ha låga drift och underhållskostnader. Där kan man upptäcka brister innan man startar. Dokumentationen skall ligga i perioden innan slutbesiktning, då all utbildningen skall vara avklarad och handlingarna överlämnas till driftansvarige.

Finns det tillgänglig data angående felintensitet, tid för att avhjälpa fel etc.?

Flera ansåg att det inte fanns underlag att ta fram kostnader för underhåll och felintensitet medan ett företag ansåg att det inte skulle vara något problem att ta fram dessa parametrar. De hade kostnader för olika materialval, felintensitetskostnader, genomsnittlig åtgärdstid och så vidare.

Anser ni det möjligt att få fram en effektiv modell som kan fungera för olika typer av tekniska installationer?

Många ansåg att modellen måste anpassa genom att man tar fram en generell modell och sedan lägga till nya parametrar för de olika systemen. Åsikten var att man inte kan jämföra olika system som t.ex. hissar och värmepumpar med varandra.

Andra aspekter som kom fram från intervjuerna med personal från Citytunneln;

- De menade att det inte finns beslut på att styra inköpet för att få ner t.ex. driftkostnaden och att försöka begränsa elförbrukning är inte aktuellt, där är ett pumpsystems förbrukning en så ytterst liten del av den samlade elförbrukningen för Banverkets del.
- En person ansåg att driftkostnad för ett infrastruktursystem är mer en fråga för samhällsekonomin än en företagsekonomisk fråga.
- LCC kan användas på två sätt. Antingen är det en LC-Cost där slutsumman är viktig eller en LC-Costing som är mer ett verktyg i driftsäkerhetsarbetet där man kan analysera och påverka konstruktionslösningar för att få bättre driftsäkerhet eller billigare underhåll, se diskussion i kapitel 4.1. Citytunnelns personal trodde att Banverket – som initierat målsättningen om att använda LCC – mer var intresserad att få fram en kvalitetsparameter. Att beslutet var mer baserat på teknik där miljö men framförallt säkerhet är det primära och ekonomin sekundär.
- Det finns ingen uträknad kostnad för stillestånd men Banverket kräver hög tillgänglighet. Man skulle kunna styra modellen för att få fram hög tillgänglighet, där den grupp som eventuellt kommer att ta fram LCC-analyser bestämmer en kostnad för stillestånd.

7.2.4 Uppföljning

Använder ni er av kostnadsuppföljning?

Ofta finns det ingen direkt uppföljning av systemen. När bygget är klart sker en slutbesiktning och efter två år sker en garantibesiktning. Banverket gör ingen direkt mätning av t.ex.

elförbrukning etc. Om någon del ej uppfyller fastställda krav är det upp till entreprenören att göra en förbättring. Någon påpekade att utrustningen idag är så specialiserad och specificerad att det inte bör hända att den går sönder i förtid.

Hur fastställer ni mätprinciper vid uppföljning?

Ett företag påstod att om det är tillgänglighet som är den kritiska faktorn är det bara att se hur ofta det inträffar stopp under garantitiden. Man kan även plocka ut ett par parametrar som man är osäker på eller som är viktigast och som man kan mäta. De skall vara med redan vid upphandling så att leverantören är medveten om att mätning kommer att ske.

Använder ni er av vite vid uppkomna fel eller brister?

En poängterar vikten av uppföljning där man skall kunna mäta verkningsgraden av installationen. Utan uppföljning är det meningslöst att genomföra en LCC. I deras fall har de i anslutning till slutbesiktningen en LCC besiktning där en utbildad besiktningsgrupp mäter de parametrar som skall vara uppfyllda. Om förutsättningarna inte uppfylls blir det böter.

För att få mer engagemang från entreprenörernas sida menade någon att man kanske kan skriva avtal med entreprenören med ett långt servicetagande så att han måste höja kvaliteten på sina produkter för att undvika dyrt åtagande.

7.3. Omarbetning av modell

Den ursprungliga modellen innehåller alla de kostnadsposter som jag kunde identifiera i samband med tekniska installationer och som jag ansåg vara relevanta. En LCC-modell som skall användas främst för att jämföra olika investeringsalternativ behöver inte innehålla alla dessa poster då den främst skall användas för att rangordna alternativen.

Det som framkom ur intervjuerna var att den allmänna modellen måste omarbetas och kan enbart utgöra en bas där specifika modeller kan tas fram för varje ny typ av installation, se åter figur 1.2 som beskriver examensarbetets princip för modellframtagningen för Citytunneln.

I den omarbetade modellen visas nya kostnadsposter som utifrån intervjuerna framstod som nödvändiga.

Jag har valt att inte ta med kostnader för stillestånd i denna modell. Vid intervjuer med personal från Citytunneln, avsnitt 7.2.3, framkom att det inte finns någon sådan kostnad uträknad och att Banverket inte tar med det i sina egna beräkningar. I praktiken finns det naturligtvis en stilleståndskostnad även för Banverket och vid användning av LCC-modellen vid upphandling kan en eventuell stilleståndskostnad läggas till.

Den verifierade generella modellen för Citytunneln är uppdelad i fem huvudkostnader som i sin tur bryts ned i underavdelningar, se även figur 7.1;

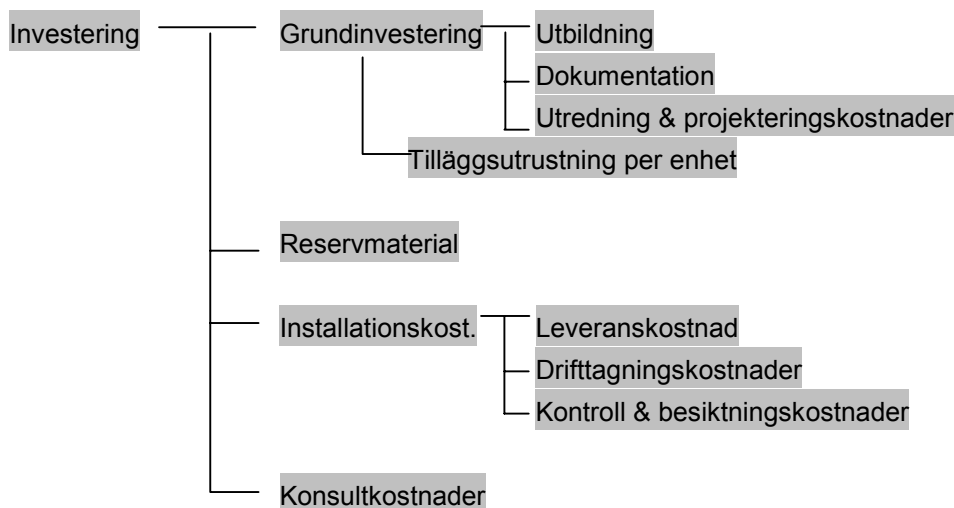
- Investeringskostnader
- Årliga driftkostnader
- Årliga underhållskostnader
- Övriga årliga kostnader
- Kvittblivningskostnader



Figur 7.1; De fem huvudkostnadsposterna i den generella modellen.

7.3.1 Investeringskostnader

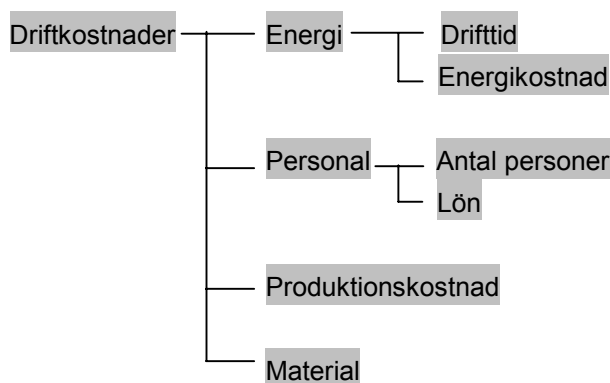
I investeringskostnader finns alla de kostnader som uppstår vid grundinvestering. Upphandlingskostnader, projekteringskostnader och kostnader för utbildning och dokumentation skall räknas med i investeringskostnader. Här ingår även kostnader för installation av systemen där koppling till olika driftenheter och leverantörens egna drifttagningskostnader skall inkluderas. Där ingår även tilläggsutrustning per enhet, eventuellt reservmaterial som kan ingå i utrustningen och den leveranskostnad som även uppstår vid installation. Hur underavdelningarna är länkade presenteras i figur 7.2.



Figur 7.2; Investeringskostnader och dess olika nivåer.

7.3.2 Årliga driftkostnader

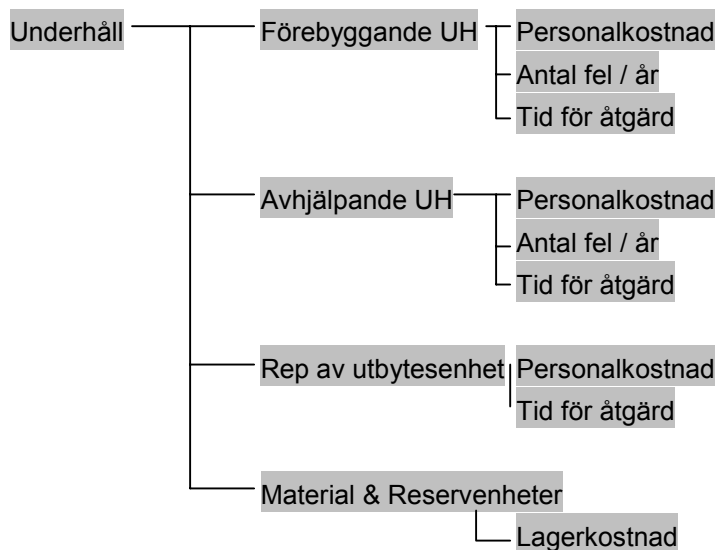
I årliga driftkostnader ingår vad utrustningen kräver i drift. Det kan vara energikostnader, kostnader för vatten etc. men även kostnader för material som används för drift. Till energikostnader skall även utrustningens energiåtgång läggas. Här skall även kostnader för driftpersonal tas med. Den posten kan antingen utgöras av antal personer multiplicerat en lönekostnad eller som en schablonkostnad som utgör en uträknad produktionskostnad. För information om underavdelningar, se figur 7.3.



Figur 7.3; Driftkostnader och dess olika nivåer.

7.3.3 Årliga underhållskostnader

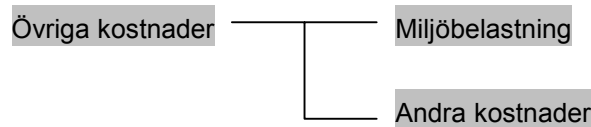
Underhållskostnaderna är främst indelade i avhjälpande- och förebyggande underhåll men poster för reparation av utbytesenheter och reservdelar finns också med. Även här finns löne- eller produktionskostnader med i beräkningen, se figur 7.4. För reservenheter och material kan det tillkomma en kostnad för lagerhållning som en enskild post.



Figur 7.4; Underhållskostnader och dess olika nivåer.

7.3.4 Övriga årliga kostnader

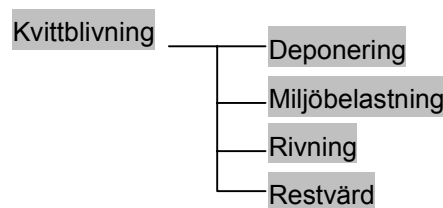
Under posten övriga årliga kostnader kan kostnader för miljöpåverkan finnas. Det kan vara kostnader som myndighetskrav på säkerhetsbesiktningar eller omhändertagande av köldmedium etc. Här kan även andra kostnader som inte härrörs vare sig från drift eller från underhåll placeras, se figur 7.5. Det kan vara kostnader för administration, försäkringar eller andra fasta kostnader som man anser skall vara med.



Figur 7.5; Övriga kostnader

7.3.5 Kvittblivningskostnader

Kvittblivningskostnader är ingen årlig kostnad utan uppstår när anläggningen skall avvecklas. Det kan vara kostnader för rivning, deponering och för att omhänderta miljöbelastande komponenter som kan finnas inneslutna i konstruktionen, se figur 7.6. Det kan även finnas ett restvärde av anläggningen. I så fall tas det upp som en minuspost vid uträkningen.



Figur7.6; Kostnader för kvittblivning.

7.4 Hur den allmänna modellen skall användas

Utifrån syfte och behov anpassas den specifika modell som tas fram ur den ursprungliga allmänna modellen. Den specifika modellen skall spegla syftet med LCC-beräkningen och det projekt som beräkningen skall användas i. Det kan räcka med en grov modell som endast tar upp vissa särskiljande kostnader, om det motsvarar ändamålet.

Man måste beakta att somliga kostnader uppstår endast en gång under en maskins eller ett systems livslängd - såsom investerings- och kvittblivningskostnader – medan andra kostnader återkommer årligen.

Till beräkningen skall även vissa förutsättningar kopplas. De består av fastställd kalkylränta, livslängd, reella prisökningar etc. och kan varieras efter egna antaganden. Alla kostnadsposter kan individuellt knytas till olika förväntade prisökningar eller prissänkningar och ge ett uträknat nuvärde.

8. Tillämpning av modellen

Här kommer den praktiska tillämpningen av modellen presenteras och kapitlet kommer att redogöra för de data som har kommit in. Det är data från leverantörer för kylsystemet och luftbehandlingsystemet i tvärtunnlarna som behandlas. Till detta kommer även en känslighetsanalys att göras utifrån materialet för kylanläggningen.

Åtta företag kontaktades i Malmö-området där fem företag delgavs förutsättningar för kylanläggningen och tre företag informerades om förutsättningarna för luftbehandlingsanläggningen.

- Bravida Väst AB / Fläktwoods AB
- Carrier AB
- Dahqvist AB
- GK Teknisk Fastighetsservice
- Industri och Marinkyl AB
- Sydtotal AB
- Ventilation Entreprenad AB
- York Refrigeration AB

I samband med förfrågan skickades ett brev ut med bakgrund och förutsättningar, se bilaga 4, samt ett beräkningsprogram i Excell, se bilaga 7. LCC-modellen är en förenkling av verkligheten och den togs fram för att se skillnaderna mellan leverantörer. För Citytunneln är det främst driftsäkerhet som är den viktigaste parametern samt att underhållet skall hållas till ett minimum på grund av att tillgängligheten är begränsad.

8.1. Kylanläggningen

Samtliga leverantörer tog fram ett aggregat efter de förutsättningar som beskrivs i kapitel 6.1.4⁴. Maskinerna var snarlika men skiljde sig ändå åt i uppskattad kostnad, som framgår i bilaga 5. Alla hänvisningar till skillnader mellan de olika företagen som görs i detta avsnitt finns beskrivet beräkningsmässigt i bilaga 5.

⁴ Det framgick inte i utskicket att Citytunneln stod som uppdragsgivare men ett företag hade blivit kontaktad av Citytunneln och kände igen premisserna som var beskrivna i examensarbetets utskick.

Det företaget påpekade att om uppdragsgivaren hade framgått i mitt brev hade de tagit fram helt andra kylmaskiner, kanske till och med specialbyggda enheter på grund av den miljö som kylmaskinerna skall verka i. Läsaren måste beakta att leverantörernas förslag enbart bygger på de förutsättningar som kunde ges vid detta tillfälle eftersom Citytunneln pga LOU ej ville gå ut med att det är de som är den tilltänkta kunden.

8.1.1 Förutsättningar

I den modell som företagen blev tilldelad fanns vissa förutsättningar givna. Dessa var lika för alla och skulle ej ändras av de olika leverantörerna. Jag hade valt att räkna med en kalkylränta på 4 procent enligt diskussion i kapitel 4.5 samt en produktionskostnad som jag satte till 350 kronor. Beräkningen tog inte hänsyn till skatteeffekter men en förväntad reell prisökning på 2 procent var medräknad. Denna prisökning var kopplad till alla de årliga kostnadsposterna så som drift-, underhåll- och övriga kostnader. Leverantörerna själva fick fylla i vad de ansåg att kylsystemets livslängd var och samtliga menade att systemet skulle hålla i femton år.

8.1.2 Investeringskostnad

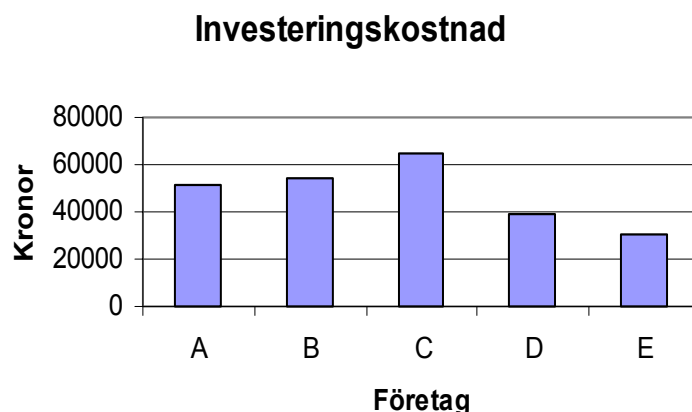
I investeringskostnaden finns grundutrustningen som i detta fall består av en kylenhet, kompressordel, förångardel och en kondensor. Till grundutrustningen skulle även projekterings-, utbildnings- och dokumentationskostnader läggas. Eftersom samtliga företag hade tagit fram en kylmaskin som var standard på marknaden fanns det med maskinen en utbildningsbroschyr där de viktigaste momenten för underhåll- och driftskötsel var beskrivna. Ingen av företagen ansåg att ytterligare utbildning var nödvändig. De flesta ansåg att detta inte skulle ha legat under grundutrustning utan man skulle kunna ha haft det som en egen post och att grundutrustning enbart skulle uppta kostnader för aggregat.

Endast ett företag, D, inkluderade tilläggsutrustning som bestod av montageutrustning och isolering.

Alla hoppade över reservmaterial. De ansåg i princip att kylmaskinen var för liten för att reservmaterial skulle vara relevant.

Installationskostnad omfattar kostnaden för att få maskinen på plats i funktionsdugligt tillstånd. Företagen har räknat med en utgift för elektriker och håltagare etc. För leveranskostnad fanns det olika åsikter. De flesta hade kostnaden inbakad i grundutrustningen men ett företag ansåg att det var bra att den var separerad eftersom det ändå uppstår en kostnad dels att få kylmaskinen levererad från centrallagret och dels en kostnad när den levereras ut till kunden.

Ett företag, C, ville inte separera kostnaderna utan ansåg att samtliga poster skulle ligga som

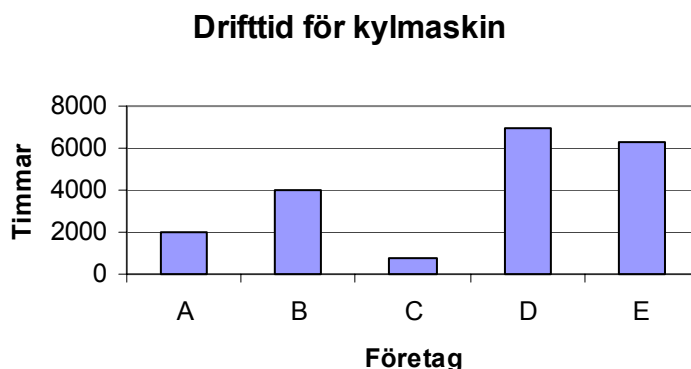


Figur 8.1; Skillnaden av investeringskostnaden mellan de olika företagen.

grundutrustning. För att åskådliggöra skillnaderna i investeringskostnader är figur 8.1 framtagen.

8.1.3 Årlig driftkostnad

I LCC-modellen var inte drifttid för kylmaskinen fastställd. Studien överlät till de olika leverantörerna att utifrån de givna förutsättningarna ta fram en - vad de ansåg - rimlig drifttid för systemet. Det blev ett spann mellan 800 och 7000 timmar, se figur 8.2. Det är naturligtvis svårt att få fram i vilken omfattning kylsystemet kommer att vara i drift. Det beror på i dagsläget många okända parametrar så som vilken isolering väggarna kommer att ha, genomsnittstemperatur i tunneln etc.



Figur 8.2; Skillnaden på uppskattad drifttid mellan de olika företagen.

På grund av att drifttiden varierade mycket mellan de olika förslagen gav det en stor diskrepans mellan företagens årliga driftkostnader

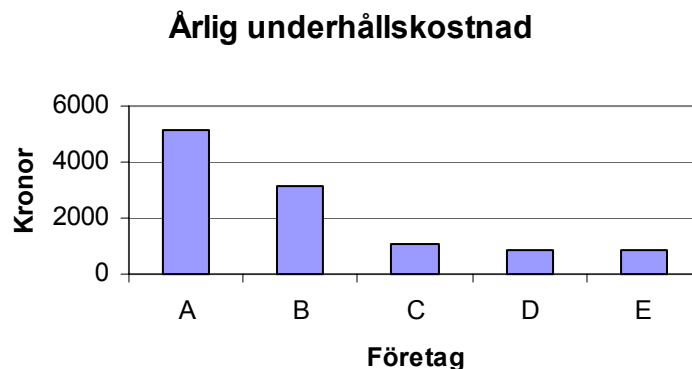
8.1.4 Årlig underhållskostnad

De problem som uppstod vid framtagning av relevanta data från leverantörerna var främst att de inte hade säkerställd information om avhjälpande underhållsfrekvenser. Enligt dem förekom inget avhjälpande underhåll. Efter att ha blivit tillfrågade ånyo kunde de medge att det eventuellt kunde inträffa att någon funktion av kylmaskinen kunde haverera men ingen av de medverkande hade någon fastställd statistik på felfrekvenser utan gjorde ett antagande.

En leverantör, B, tog med som avhjälpande underhåll att rengöring av filter är en kostnad även om den kan utföras av kunden och inte kräver en servicetekniker. Vid förfrågan angående filterrengöring hos de andra företagen ansågs det inte vara förenat med en kostnad på grund av att kunden enkelt kan åtgärda detta vid behov. På kylmaskinerna tänds en lampa när filtret är i behov av rengöring och det kan vara svårt att i förväg fastställa rengöringsfrekvens beroende på hur mycket stoft det finns i luften där kylmaskinen skall verka.

Vid förebyggande underhåll skiljde sig i stort sätt inte antal åtgärder. De flesta har räknat med att det endast kräver en årlig översyn av kylmaskinen som tar mellan två till fyra timmar. Figur 8.3 ger oss skillnaden i årlig underhållskostnad mellan de olika leverantörerna. Att företag A har fått en så pass hög underhållskostnad beror på att de även har tagit med en årlig materialkostnad på 1500 kronor som skall täcka ett eventuellt byte av enhet vid haveri. Samma företag och företag B har även gjort en bedömning att reparation av utbytesenhet kan

förekomma vart annat år, respektive vart femte år, där reparationen skall ta fyra till fem timmar att genomföra.



Figur 8.3; Årlig underhållskostnad för kylmaskinen enligt leverantörerna.

8.1.5 Årliga övriga kostnader och kvittblivning

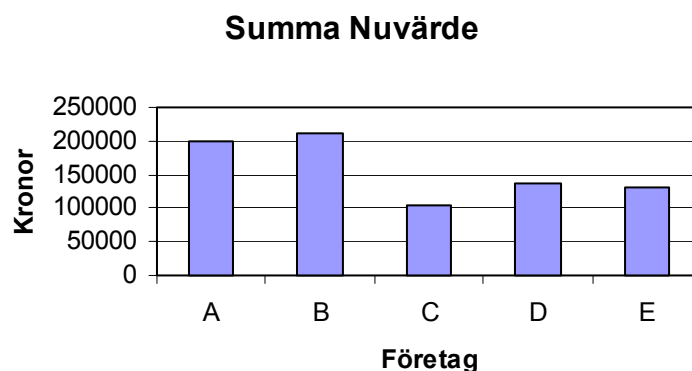
Till övriga kostnader inkluderas miljöbelastningskostnader. Det finns ett myndighetskrav att ett ackrediterat företag skall upprätta köldmediumsrapport till Naturvårdsverket. Vissa företag tog med tiden för att upprätta rapporten i det förebyggande underhållsarbetet medan andra ansåg att det var en fristående kostnad.

Ingen hade andra årliga kostnader.

Till kvittblivningskostnader inkluderades kostnader för rivning, deponering och återvinning av material.

8.1.6 Summa nuvärde

Beräkningsprogrammet i Excell genomförde en nuvärdesberäkning av investeringen och följande resultat från de olika företagen togs fram, se figur 8.4.



Figur 8.4; Det nuvärde som företagens förslag ger.

Vi ser att företag C har det bästa nuvärdet men man måste ta vissa faktorer i beaktande. I deras beräkning är inte kostnader för filterrengöring eller kostnad för material vid ett

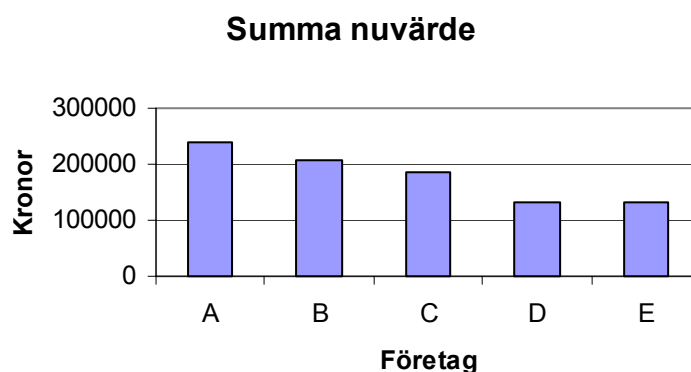
eventuellt haveri medtagna. Dessutom har de tagit fram den lägsta drifttiden, 800 timmar, jämfört med medelvärdet som är på 4010 timmar.

Eftersom svaren var så skiftande bestämde jag mig för att normalisera uppgifterna. Om beräkningarna görs om med vissa fastställda parametrar som utgör medelvärdet av vad som framkom av företagens egna beräkningar får vi ett mer jämförbart material.

Dessa parametrar ändras i de olika företagens beräkningar, allt annat lika;

- Drifttiden fastställs till 4010 timmar,
- Avhjälpande underhåll sker 2,5 gånger per år då rengöring av filter inkluderas. Genomsnittlig tid för avhjälpande underhåll stipuleras till 2,1 timmar.
- Förebyggande underhåll sker 1,2 gånger per år under en genomsnittlig tid på 2,6 timmar.
- En årlig materialkostnad på 300 kronor läggs till

De företag som även hade tagit med kostnadsposten för reparation av utbytesenhet får dessa konton ställda till noll eftersom den kostnaden troligtvis kommer att täckas av den utökade avhjälpande underhållet.



Figur 8.5; Resultatet av summa nuvärde med vissa gemensamma förutsättningar.

I figur 8.5 åskådliggörs att företag D och E i stort sätt ligger kvar på samma nuvärde som i figur 8.4, medan företag C hamnar på en högre summa. Företag B, som i den ursprungliga beräkningen blev något missgynnad på grund av att det var endast de som tog i beräkningen kostnad för rengöring av filter, hamnar här på en förbättrad position.

8.2 Luftbehandlingssystemet

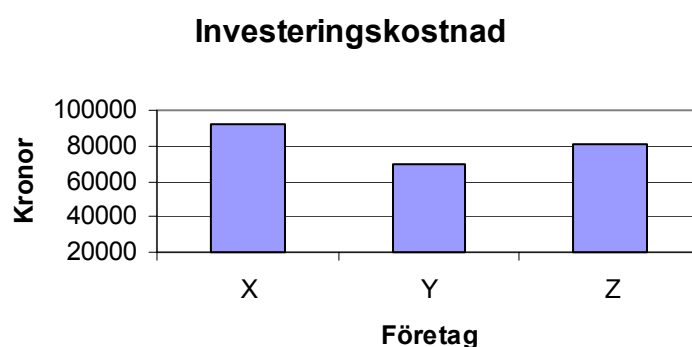
Vid arbetet med att studera luftbehandlingssystemet uppstod problem med att få tag på leverantörer som var villiga att medverka i studien. Dels var det svårt att väcka ett intresse att delta från leverantörerna sida och dels verkade det som om den branschen till stor del är uppdelad i ren aggregatförsäljning och företag som enbart säljer service. I ett fall ordnade det sig så att ett företag stod för investeringskostnaden medan deras samarbetspartner tog fram uppgifter på underhållskostnaden. Samtliga svar är sammanställda i bilaga 5.

8.2.1 Förutsättningar

Samma förutsättningar som för kylanläggningen gällde med den skillnaden att drifttiden var fastställd till 8760 timmar, se bilaga 7. Leverantörerna ansåg samtliga att luftbehandlings-systemets livslängd är tio år och detta gäller främst fläkten men de påpekade att det mesta av installationen såsom ventilationskanaler etc. inte är slitet efter den tiden utan ofta kan sitta kvar när vissa mekaniska apparater skall förnyas.

8.2.2 Investeringskostnad

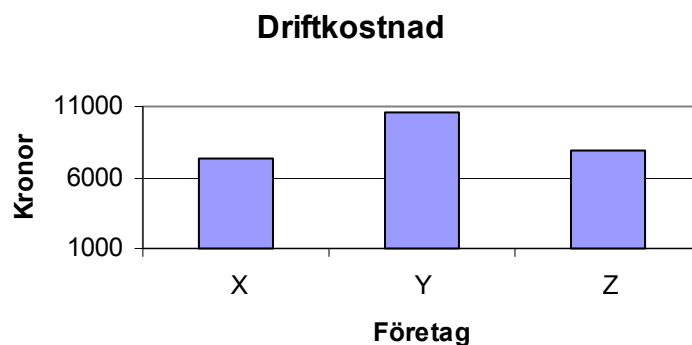
I investeringskostnaden finns grundutrustning som består av ett kylbatteri, filter spjäll, från- och tilluftsdon, utväggsgaller och brandgasspjäll. Ett företag hade i tilläggsutrustning tagit med apparatskåp för styr- och reglerutrustning, se figur 8.6. Vi ser att företag Y har det bästa priset för investeringen på 70000 kronor.



Figur 8.6; Skillnaden i investeringskostnad för luftbehandlingssystem.

8.2.3 Årlig driftkostnad

Det enda som skiljer de olika leverantörer åt när det gäller driftkostnad är genomsnittlig energiåtgång av utrustning per timme. Det spänner mellan 1,4 till 2 kW och ger en skillnad för summa nuvärde för energi på sammanlagt 28 000 kronor. I figur 8.7 redovisas skillnaden mellan de olika företagens uppgifter för den årliga driftkostnaden.



Figur 8.7; Årlig driftkostnad för luftbehandlingssystem

8.2.4 Årliga underhållskostnader och övriga kostnader

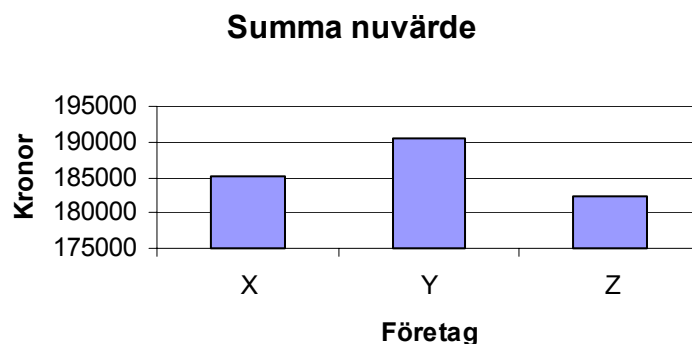
Det skiljde inte så mycket i synsätt angående underhåll mellan de olika företagen. Ingen ansåg att det skulle uppstå behov av avhjälpande underhåll eftersom de alla ansåg att systemet var driftsäkert. Det enda som eventuellt kunde haverera är fläkten men kostnaden för ett fläktbyte är förhållandevis liten jämfört med den övriga investeringen.

För förebyggande underhåll räknade alla tre leverantörer med byte av filter två gånger om året då även övrig kontroll av systemet skulle ske. Till detta finns då en materialkostnad som består av filterkostnad. Vid frågeställningen om det fanns något sätt att påverka underhållskostnaden framkom att filterna byts även om det inte behövs eftersom man inte vet om det håller ännu ett halvår men att man kan installera en så kallad filtervakt som indikerar när det är dags att byta. Denna investering skulle gå på 1000–1500 kronor och troligtvis förskjuta filterbytet och underhållsfrekvensen något. Detta skulle troligtvis ge en förbättrad underhållskostnad eftersom filterna endast utsätts för damm när någon går in i tvärtunneln då spjällen öppnas ut mot tunneldelen.

Ingen av leverantörerna ansåg att det fanns en kostnad för miljöbelastning eller att det var motiverat med att räkna på utbytesenheter. De ansåg samtliga att det var förhållandevis litet luftbehandlingssystem där man inte reparerar utan köper nytt om något skulle fallera.

8.2.5 Summa nuvärde

Efter det att nuvärdet beräknades framgick följande skillnader enligt figur 8.8.



Figur 8.8; Olikheten i summa nuvärde för luftbehandlingssystem.

Skillnaden mellan det som visas i figur 8.6 och figur 8.8 ger en mönsterbild av hur en LCC kan användas. Företag Y som hade den lägsta investeringskostnaden i den första beräkningen har ett helt annat resultat när man räknar med alla kostnader som uppstår under en livscykel jämfört med de övriga leverantörerna. Skillnaden består främst i att företag Y:s genomsnittliga energiåtgång är högre än för de övriga.

8.3 Känslighetsberäkning för kylsystem

Noggrannhet i utdata är beroende av noggrannhet i indata. Om indata varierar kan man få fram hur mycket det ger och på så sätt framgår ett sämsta eller bästa scenario.

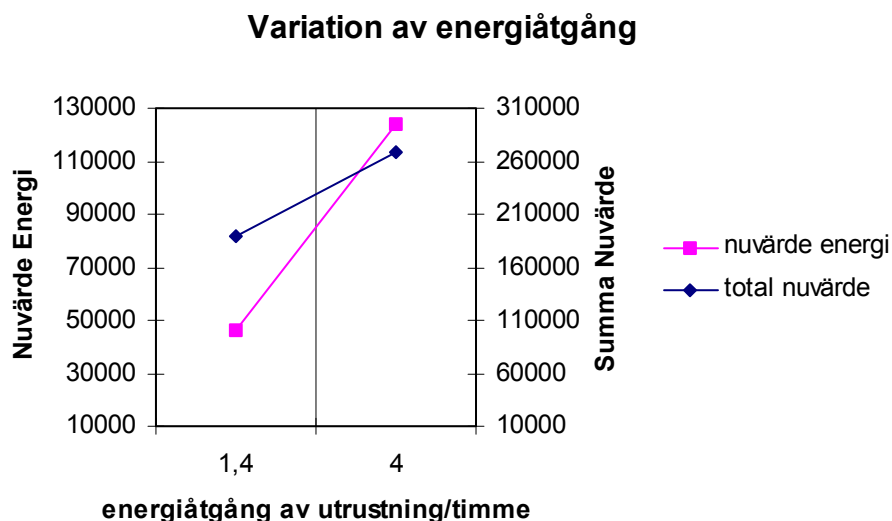
Utifrån de data som kylföretagen gav genomfördes en medelvärdesberäkning. Dessa medelvärden för grundutrustning, drifttid etc., se bilaga 5, användes i LCC-modellen och ett

nytt nuvärde för kylsystemet framställdes, se bilaga 6. Följande känslighetsanalys gäller endast för detta system och resultaten kan endast hänföras till detta fall.

Av diagrammet i bilaga 6 framgår kostnaderna för underhåll och drift är de som främst avgör hur mycket livscykelkostnaden kommer att bli. Det betyder att förändringar i någon av dessa kostnadsposter kommer att påverka livscykelkostnaden mest. Observera att i dessa känslighetsanalyser modifieras kostnaderna en och en, medan förändringar i verkligheten kan vara betydligt mer komplexa.

8.3.1 Variation av driftkostnad

I de förslag som leverantörerna gav varierade den genomsnittliga energiåtgången för utrustningen per timme mellan 1,4 och 4 kW. I det system som känslighetsanalysen bygger på uppgår energiåtgången till 2,538 kW men om vi utgår från de värden som har givits och sätter in dem i systemet kan man bedöma vilken skillnad i energikostnad de olika varianterna av energiåtgång ger. Av figur 8.9 framgår att om man förändrar energiuttaget påverkar det driftkostnaden och även naturligtvis den totala kostnaden.



Figur 8.9; Variation av genomsnittlig energiåtgång av utrustning per timme.

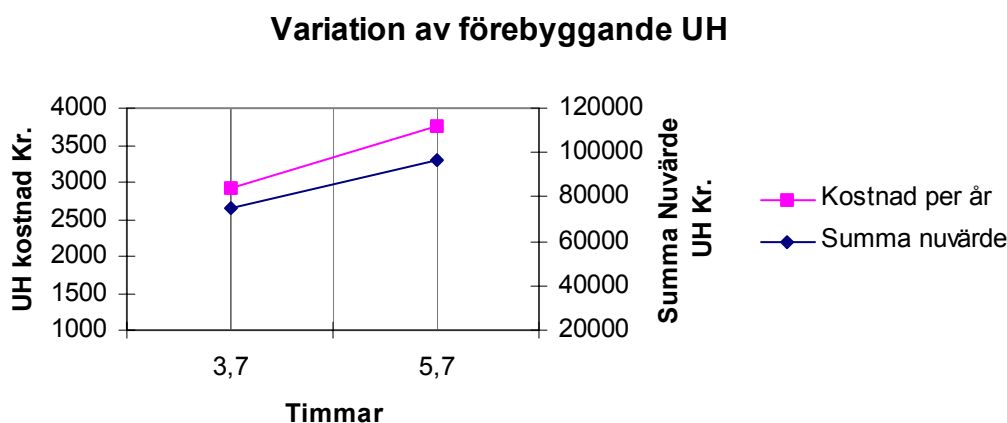
Med en ökning av energiåtgången från 2,538 kW till 4 kW ökade nuvärdeskostnaden för energi med 57 procent. Om energi-åtgången däremot minskade till 1,4 kW gav det ett minskat nuvärde för energi med 70 procent jämfört med den energikostnad som medelvärdet utgör. Det betyder en vinst på 35 286 kronor under femton år vilket kanske inte utgör en så stor summa, men om alla 26 aggregaten tas med i beräkningen ger det en vinst på ca 900 000 kronor jämfört med medelvärdet under deras livstid. Skillnaden i summa nuvärde mellan de kylmaskiner som hade lägsta och högsta energiåtgång – allt annat lika – är ca 80 000 kronor för ett aggregat vilket ger en skillnad på 2 miljoner om man räknar med alla 26 kylmaskiner.

8.3.2 Variation av underhållskostnad

Kostnaden för underhållet är väsentligt i detta fall. Eftersom tillgängligheten är begränsad utgör antal underhållstillfällen samt den tid det tar att utföra arbetet av intresse.

I det system som känslighetsanalysen utgår ifrån uppgår förebyggande och avhjälpande underhåll sammanlagt till 3,7 gånger per år under en genomsnittlig tid på 4,7 timmar. Systemet bygger på det medelvärde av data som samtliga företag som var med i undersökningen har gett.

Om vi i LCC-beräkningen varierar tiden för att utföra detta arbete med mellan en timme - allt annat oförändrat - får vi fram följande skillnader i kostnader, se figur 8.10.



Figur 8.10; Känslighetsanalys där antal timmar för underhåll varierar från 3,7 till 5,7.

Det framgår av figur 8.10 att om tiden för att utföra underhåll kan kortas ned med en timme kan den årliga kostnaden sjunka med 14 procent vilket vid en nuvärdesberäkning för årligt underhåll ger en skillnad på ca 10 800 kronor för ett aggregat under femton år. Om detta beräknas för samtliga 26 aggregat kommer summan man vinner på en kortare tid för underhållsarbete uppgå till ca 280 000 kronor - jämfört med ursprungligt beräkning - under deras livstid.

8.4 Reaktionen från företagen

Alla företag som var med i studien ansåg att det var enkelt att använda sig av modellen som utgjordes av Excellfilen men de flesta ansåg att några av posterna som fanns med var onödiga - såsom reparation av utbytesenhet och reservmaterial. Det företag som visste vem som var uppdragsgivare påpekade dock att de posterna kommer att bli relevanta när Citytunneln själv går ut med anbudsfrågan eftersom då kommer ett annat säkerhetstänkande att gälla.

9. Slutsatser och rekommendationer

I detta kapitel kommer arbetets konklusioner diskuteras och vilka rekommendationer som kommer fram ur diskussionen.

Examensarbetet hade till uppgift att utifrån relevanta teorier och praxis ta fram en modell som skall kunna användas för vidare upphandling inom flera olika tekniska funktioner för Citytunnelprojektet. Vidare skulle examensarbetet med hjälp av modellen ta fram livstidskostnader och analyser för tekniska system.

9.1 Slutsats angående den allmänna modellen

Examensarbetet har haft för avsikt att konstruera en modell som skall vara realistisk och kunna användas till det syfte den är skapad, Citytunnels tekniska installationer. Således har jag försökt utforma modellen så att den motsvarar den data jag har erhållit genom intervjuer och enbart tagit med de kostnadsposter som jag anser vara relevanta och därmed bör ingå i modellen.

Den allmänna modellen är tänkt att utgöra en bas där specifika modeller kan tas fram för enskilda syften. Det har framkommit att en viktig parameter för att använda modellen är att den framställs användarvänlig, att den skall vara lätt att ta till sig och att den bör generera sin egen beräkning och utdata i så stor utsträckning som möjligt.

Det kom fram i intervjuerna att Banverket primärt är intresserad av LC-Costing där man bland annat kan gå in och försöka påverka konstruktionslösningarna för att få bättre driftsäkerhet eller mindre underhållsfrekvens. Med detta i åtanke kan en LCC utgöra en grund för vidare diskussioner och utifrån den allmänna modellen kan man plocka fram de kostnadsposter som bäst speglar det problem man vill belysa vid en anbudsförfrågan av t.ex. ett säkerhetskritiskt system.

Andra aspekter som kom fram vid intervjuerna var att om man använder sig av LCC bör man på något sätt kunna verifiera de uppgifter som tas fram för att LCC-analysen skall bli vederhäftig och användbar. Redan i kontraktsnivå är det viktigt att ha en klar beskrivning av hur verifieringen skall utföras.

9.2 Slutsats angående tillämpning av modellen

När den allmänna modellen skulle tillämpas praktiskt uppstod vissa frågetecken angående de data som leverantörerna delgav mig. Ingen av de tillfrågade hade någon statistik på underhållsfrekvens eller avrapportering av fel. De gjorde samtliga ett antagande om underhålls- och felfrekvens som byggde på deras erfarenhet men som samtidigt kändes något svävande och därmed blev det underlag de lämnade synnerligen skiftande. Jag anser att det är anmärkningsvärt att företag som i stor utsträckning lever på att sälja serviceavtal inte har tagit fram vederhäftig fakta som grund när de skall bedöma omfattningen av sina åtaganden.

För att stävja detta och för att en LCC-analys skall bli objektiv krävs det dels att alla får del av en mycket detaljerad kravspecifikation där många parametrar är fastställda och dels att man har möjlighet att göra någon form av normalisering av de data som kommer in.

Idealt är naturligtvis att göra LCC-analysen till en iterativ analys där beställaren och leverantören kan få ta del av varandras uppgifter och få återkomma med förnyade förslag tills man gemensamt kommer fram till den bästa möjliga lösningen. Men det kräver både tid och resurser och om leverantören inte är försäkrad av att få ordern i slutändan är det möjligt att han inte är intresserad av att vara med i processen, dessutom kan LOU begränsa Citytunnelns möjligheter att fritt bestämma villkor och upphandlingsprocess.

För att få fram relevanta data att beräkna driftsäkerhet och förväntad underhållskostnader kan man behöva gå ner till material och komponentnivå, men frågan är om man vinner något med det i detta fall med kyl- och luftbehandlingssystem. Man måste även beakta kostnaden att lägga ned ett stort arbete med att få fram giltiga data jämfört med produktens syfte och säkerhetsaspekt. Om riskbedömningen har kommit fram till att säkerhetsaspekten för systemet är signifikativt bör även det tas med i LCC-analysen och kostnaden för datainsamling skall stå i relation till risken och produktens värde.

Är bedömningen den att det är väsentligt att ta fram fakta angående vissa komponenter finns en mängd källor för informationsinsamling tillgängliga. Det kan vara genom att utnyttja egen och andras erfarenhet eller genom faktahandböcker/databaser. I intervjuerna nämndes bland annat T-boken som kärnkraftsindustrin har som underlag vid material- och komponentbedömningar.

Avslutningsvis måste jag betona att det är vanskligt att dra några matematiska konklusioner utifrån modellen och dess resultat för Citytunnelns del, såsom det realiserades i detta examensarbete. Dels hade företagen inte fullständig informerade om projektet och vem som var den faktiska kunden och dels kommer företagen vid en konkret anbudssituation att ge ett mer genomtänkt underlag än vad som troligtvis var fallet i denna studie. Däremot är LCC-modellen fullt relevant och användbar vid de aktuella upphandlingstillfällena.

9.3 Rekommendationer

Examensarbetet rekommenderar Citytunneln att använda sig av LCC-metoden vid upphandling för vissa tekniska system. För att metoden skall vara effektiv i praktiken bör vissa punkter beaktas;

- I anbudsförfrågan skall man ange att värderingen kommer att ske på basis av en definierad LCC-modell och om så bedöms lämpligt skall man även låta leverantörerna själva beräkna livscykelkostnaden enligt erlagd modell.
- Modellen skall visas och definieras i anbudsförfrågan och där skall även klargöras att modellen syfte är t.ex. att påverkar systemegenskaperna såsom driftsäkerhet och underhåll.

- Om anbudsgivarna inte kan ge nödvändig data skall man redan vid anbudsfrågan göra ett förbehåll att sådana uppgifter kan ersättas med egna värden som baseras på erfarenhet och bedömningar.
- Om det är möjligt skall man gå igenom de uppgifter som har framkommit med anbudsgivaren och diskutera om vissa känsliga punkter eventuellt går att bygga bort eller på annat sätt förändras.
- Efter installation skall ett väl fungerande uppföljningssystem byggas upp där man går igenom om de lämnade uppgifterna stämmer med verkligheten.
- Till kontraktet bör ett LCC-avtal läggas där leverantören garanterar att levererad utrustning har en ägandekostnad på högst X antal kronor och där beräkningen bygger på en fastställd modell.

LCC-modellen kan även utgöra ett underlag för diskussioner med leverantörerna angående driftsäkerhet och underhåll.

Om en LCC-beräkning skall ligga till grund för upphandling får modellen som beräkningen bygger på inte vara alltför generell då den inte kommer att ge de fakta och beslutsunderlag som den är tänkt att ge. En alltför generell modell kommer inte tillräckligt kunna förevisa de skillnader mellan olika anbudsgivare för att vara vederhäftig. Samtidigt är det viktigt att modellen inte blir för omfattande och komplicerad och på så sätt stänger ute vissa leverantörer som skulle kunna ge ett bra anbud.

9.4 Fortsatt arbete

I arbetet finns det fortfarande några lösa trådar som man bör följa upp för att helt penetrera problemet. T.ex. hade examensarbetet inte för avsikt att bedöma materialval och systemdesign på kylsystemet och luftbehandlingssystemet men eftersom de uppgifter som kom fram var alltför vaga för att vara behjälpliga är kanske nästa steg att göra en sådan granskning om det anses vara säkerhetsmässigt motiverat.

Något som även måste mer belysas är i vilken omfattning LCC kan inbegripas i kontraktsskrivning och hur ett sådant avtal skulle kunna se ut.

Dessutom behövs en mer ingående beskrivning hur en verifiering skall gå till vid avlämnandet av installationen med hänvisning till LCC-underlaget.

Källförteckning och referenser

Skriftliga källor

Ahlmann Hans, (1993), *ABB Industrihandbok kap 13: Service och underhåll*, ABB Industrigruppen, Örebro

Bergman, Bo & Klefsjö, Bengt, (2001), *Kvalitet – från behov till användning*, Studentlitteratur, Lund.

Blanchard, Benjamin, (1992), *Logistics engineering and management*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Borghagen, Lennart, (1995), *Vi för tekniken vidare kap 11: Aktioner och reaktioner av LCC*, STF, Stockholm

Dahmström, Karin, (2000), *Från datainsamling till rapport*, Studentlitteratur, Lund.

Darmer, Per & Freytag, Per, (1995), *Företagsekonomisk undersökningslitteratur*, Studentlitteratur, Lund.

Frånlund, Jan, (2002), *Några begrepp inom underhåll och driftsäkerhet*, UTEK, Stockholm.

Hagberg, Leo & Henriksson, Tomas, (1994), *Lönsamt underhåll, 8 steg till säkrare produktion*, Captrona Fackpress AB, Lund.

Johansson, Berndt & Nord, Christer, (1999), *Nyanskaffning av produktionssystem – mer än bara inköp*, Institutet för Verkstadsteknisk Forskning och LCP Consultants, Lund

Johansson, Dennis, (2002), *Modelling LCC for Different Indoor Climate Systems*, Institutionen för Byggnadsfysik, LTH, Lund.

Johansson, Karl-Edward, (1997), *Driftsäkerhet och underhåll*, Studentlitteratur, Lund.

Lekvall Per & Whalbin Clas, (1993), *Information för marknadsföringsbeslut*, IHM Förlag AB, Göteborg.

Mekanförbundet, Cape-Tech AB, Systecon AB, *6 häften om produktion*,

(a) Livslängdskostnader – Krav – Kontrakt,

(b) Driftsäkerhet

Olve, Nils-Göran & Magnuson, Åke, (1997), *Life cycle cost, life cycle profit : mer än noggrann investeringskalkyl?*, Svenskt underhållstekniskt centrum, Stockholm

Persson, Ingvar & Nilsson, Sven-Åke, (1999), *Investeringsbedömning*, Liber Ekonomi, Helsingborg.

Schaub, Maria, (1990), *LCC-kalkyl – ett sätt att kunna värdera och jämföra olika investeringars livskostnad*, Ord och Forum AB, Uppsala.

Sveriges Mekanförbund, (1984), *LCC – En teknik att påverka totalkostnaden under en produkts livslängd*, Mekanpublikation, Stockholm.

Sörqvist, Lars, (2001), *Kvalitetsbristkostnader – Ett hjälpmedel för verksamhetsutveckling*, Studentlitteratur, Lund.

VI, Sveriges Verkstadsindustrier, (2001), *Kalkylera med LCC-energi*, Industrilitteratur AB, Stockholm.

Wååk, Olof, (1997), *Cut Maintenance and Logistics Support Cost with 50 %*, Systecon AB, Stockholm.

Rapporter och artiklar

Andersson Mats, (2001), *Maintaining Sweden's Railway Infrastructure – Towards a Framework For Economic Assessments*, Banverket,

Banverket, (2002), *ASEK 3- delprojekt drift och underhåll i Banverket*,

Camfil Farr, (2001), *Analys av stoft från bromsbelägg på tågagnar*, Trosa

Citytunneln, (2002),

(a) *Säkerhet i tekniska system och funktioner. Stationer och tunnlar.*, Malmö

(b) *Citytunneln – LCC*, Malmö

FMV, (1992), *Metodanvisning – FMV LCC-analys*, Stockholm

Järvinen, Mattias, (1995), *Kylning till låga temperaturer*, Naturvårdsverket, Stockholm.

Nilsson, Per-Erik, (2001), *Köldmedier*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

NU98, (1998), *Allmänna bestämmelser för Underhåll*, Sveriges Verkstadsindustrier, Stockholm.

Previa, (2000), *Ang. dammproblem i terminalen för fjärrtåg på Arlanda*, Märsta

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

Sveriges Verkstadsindustrier (1993), *LCC, ett beslutsverktyg som ger effektivare tekniska utrustningar med lägre totalkostnad*, Verkstadsindustrier, Stockholm.

VVB VIAK, (2000), *Underlagsrapport angående miljöpåverkan*, Malmö

Internetkällor

Allmänna bestämmelser för totalentreprenad,

<http://www.std.se/AB03/Sammanst%C3%A4llning%2003-02-14.pdf>, (2003-10-25)

Banverket, (2001), *Citytunneln - Samhällsekonomisk bedömning*,

http://www.citytunneln.com/upload/Dokumentbank/Nedladdningsbart/Samhallsekonomisk_bedomning_Banverket.pdf, (2003-09-18)

Citytunneln, <http://www.citytunneln.com>, (2003-09-11)

CTEK, (2001), *Samhällsekonomisk utvärdering av Citytunneln*,

http://www.citytunneln.com/upload/Dokumentbank/Nedladdningsbart/Samhallsekonomisk_bedomning_CTEK.pdf, (2003-10-27)

El-kretsen, [http://www.el-kretsen.se/El-](http://www.el-kretsen.se/El-Kretsen%20i%20Sverige%20ABfiler/Kommun/Sorteringsinfo.htm)

[Kretsen%20i%20Sverige%20ABfiler/Kommun/Sorteringsinfo.htm](http://www.el-kretsen.se/El-Kretsen%20i%20Sverige%20ABfiler/Kommun/Sorteringsinfo.htm), (2003-09-24)

Europeiska unionens förläggare, <http://eur-op.eu.int/>, (2003-10-25)

Miljödepartementet,

(a) Pressmeddelande, 2003-03-06

http://www.regeringen.se/galactica/service=irnews/action=obj_show?c_obj_id=49576, (2003-09-17)

(b) Proposition 2001/02:55, (2001), *Sveriges klimatstrategi*, Stockholm.

<http://www.riksdagen.se/debatt> (2003-10-16)

Miljøstyrelsen, (2003) *Drivhusgasser skal erstattes af mindre skadelige alternativer*, Köpenhamn, <http://www.mst.dk>, (2003-10-16)

Naturvårdsverket, (2003), *Statens naturvårdsverks föreskrifter om kyl- och värmepump-anläggningar innehållande CFC, övriga CFC, haloner, HCFC och HFC ("köldmediekungörelsen"); SNFS (1992:16)*

<http://www.naturvardsverket.se/dokument/lagar/foeskri/snfstext/192-16.htm>, (2003-12-01)

Nämnden för offentlig upphandling, <http://www.nou.se/>, (2003-10-25)

Regering, (1997), Proposition 1996/97:161, *Öresundsförbindelsen och Citytunneln*, Stockholm. <http://www.riksdagen.se/debatt> (2003-09-18)

Sysav, <http://www.sysav.se/index.html> (2003-09-24)

Vägverket, (1999), *Förstudie till FoU-ramprojekt, LCC-modeller (bro)*,
http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/bro_tunnel/Forstudie_FoU_Bro/FoU_forstudie_BRO/LCC_modeller.pdf, (2003-10-14)

Muntliga källor

Hans Ahlmann, handledare, Professor Emeritus, LTH
Per Ståhl, handledare, Entreprenadledare, Citytunneln

Per Bengtsson, chef för nyinstallationer, Schindler hissar, (2003-09-24)
Bengt Svensson, teknisk chef, IV Produkt AB, (2003-09-23)
Jonas Gräslund, Skanska fastigheter Stockholm AB, (2003-09-29)
Bo Nilsson, projekteringsledare installationer, Citytunneln, (2003-09-22)
Rick Scherstein, entreprenadledare, Citytunneln, (2003-09-23)
Sven-Åke Petterson, installationssamordnare, Citytunneln, (2003-09-18)
Boo Henriksson, VVS-ingenjör, Landstingsfastigheter i Jönköpings län, (2003-10-06)
Johny Westergård, konsult, Carl Bro Energikonsult AB, (2003-09-30)
Thomas Henriksson, konsult, OEE Consultants AB, (2003-10-17)
Leif Jansson, teknisk chef, OTIS, (2003-10-14)
Lars Malthe, funktionsledare för upphandling, Citytunneln. (2003-10-20)
Lars Olsson, extern kylexpert, (2003-10-21)
Per Nordgren, kostnadscontroller, Citytunneln, (2003-10-27)
Dan Olsson, GK Teknisk fastighetsservice, (2003-11-20)
Roger Arvidsson, York Refrigeration AB, (2003-11-20)
Jan Dahlqvist, G.Dahlqvist AB, (2003-11-21)
Richard Persson, Carrier, (2003-11-21)
Jimmy Lexryd, Industri och Marinkyl AB, (2003-11-25)
Anders Lindblad, Sydtotal AB, (2003-11-28)
Patrik Nilsson, Bravida Väst AB, (2003-12-02)
Kenneth Lundqvist, Ventilation Entreprenad AB, (2003-12-15)

Bilagor

Bilaga 1. Term- och förkortningslista

A; Tillgänglighet vid drift.

CBA; (Cost-Benefit Analys) Samhällsekonomisk prioriteringsbedömning.

COP; (Coefficient of performance) Faktor vid beräkning av kylsystemets verkningsgrad, dvs. förhållandet mellan avgiven och tillförd effekt.

CTEK; Centrum för Transportekonomi

DUC; (Dator Under Central) Styr, reglering och övervakning av olika tekniska system.

EUR-OP (Europeiska Unionens Förläggare) är förlaget för EU-institutionerna och övriga gemenskapsorgan och ansvarar för att producera och distribuera alla EU:s publikationer på olika typer av medier och via olika distributionskanaler.

GWP; (Global Warming Potential) Köldmediers miljöpåverkan på växthuseffekten i relation till CO₂.

HFC; (Hydro-Fluoro-Carbon) Molekylsammansättning för köldmedier inom R400-serien.

Injusteringsspjäll; Ett spjäll i ventilationskanalen för att styra luftflödet.

ITV; Bildövervakning med hjälp av Intern TV.

Kalkylränta; Den faktor som används för att omräkna framtida betalningar till dagens värde. Kalkylräntan är ofta ett uttryck för företagets genomsnittliga avkastningskrav eller finansieringskostnad.

LCC; (Life Cycle Cost) Resultatet av en LCC-beräkning. Med LCC kan även underförstått menas LCC-metodik, -analys, -modell eller -beräkning.

LCC-analys; Tillämpning av LCC-metodiken under en viss fas av en given maskin eller systems livslängd.

LCC-beräkning; Beräkning av livscykelkostnaden med hjälp av LCC-modell.

LCC-metodik; En metodisk tillvägagång för att bättre förstå och styra en maskin eller ett systems livscykelkostnad.

LCC-modell; En kostnadsmodell som skall återspegla en maskin eller ett systems livscykelkostnad.

LCP; (Life Cycle Profit) Livstidsförtjänster - där man till LCC även beaktar intäkterna.

LOU; (Lagen om Offentlig Upphandling) Denna lag innehåller allmänna bestämmelser om offentlig upphandling, särskilda bestämmelser om offentlig upphandling av varor, av byggtjänster, inom vatten-, energi-, transport- och telekommunikationsområdena, av tjänster samt bestämmelser om upphandling i de fall upphandlingen understiger de tröskelvärden som anges och i vissa andra fall.

LSC; (Life Support Cost) Kostnad för drift och underhåll av systemet.

MTBF; (Mean time between failures) Medeltid mellan fel.

MTTF; (Mean time to failures) Medeltid till fel.

MTTR; (Mean time to repair) Medelreparationstid.

MWT; (Mean Waiting time) Medelväntetid på underhåll.

ODP; (Ozone Depletion Potential) Köldmediers miljöpåverkan på ozonlagret i relation till köldmediet R11.

PLC; (Powerline Communications) Ett övervakningssystem som går över elnätet.

Redundans; att låta andra komponenter ta över den felande komponentens funktion.

RF; Relativ Fuktighet

SCADA; Med hjälp av ett SCADA-system (Supervisory Control And Data Acquisition) kan man styra och övervaka hela anläggningen från ett antal processbilder och löpande få rapporter och statistik samt larm från anläggningen. SCADA-systemet installeras på en dator som ofta placeras i ett kontrollrum.

SIKA; Statens Institut för Kommunikationsanalys

Tilluftsdon; Don för ingående luft.

Bilaga 2. Frågemallar

Frågemall 1. Allmän LCC-modell

LCC begreppet

- När stötte ni för första gången på begreppet LCC?
- Hur länge har ni arbetet med den typen av analysmetoder?
- Hur tycker ni att det fungerar?
- Är det ett användbart instrument?
- Finns det andra modeller för investeringsbedömning än LCC, som ni rekommenderar?
- Är framtagningen av en LCC-beräkning genomförbart rent tidsmässigt?
- Vid vilka typer av installationer använder ni er av LCC?

Upphandlingsprocessen

- Hur ser upphandlingsprocessen ut?
- Använder ni konsulter för att bereda upphandlingen?
- Hur lång tid tar en upphandlingsprocess?
- Vilka beslutsunderlag ligger till grund vid investeringar?
- Vem tar fram beslutsunderlagen?
- Vem tar fram förfrågningsunderlaget, anvisningar och riktlinjer?
- Hur vanligt är det att kunden/leverantören frågar efter en LCC-analys?
- Hur skulle ni ställa er till om en leverantör erbjuder sig att ta fram en LCC beräkning för sin produkt/system?
- Hur stor tillförlitlighet skulle ni ha till en modell som leverantören tillhandahåller?

LCC-modellen

- Finns alla kostnadsdrivande poster med?
- Är det någon del av den föreslagna modellen som är missvisande?
- Om ni har en egen modell – hur är den LCC-modell som jag tagit fram jämfört med er egen?
- Hur tar ni fram kostnadsunderlag för underhåll och drift?
- Finns det tillgängliga data angående felintensitet, tid för att avhjälpa fel etc.
- Anser ni det möjligt att få fram en effektiv LCC-modell som kan fungera för olika typer av tekniska installationerna?
- Har ni synpunkter på avgränsningar och omfattningen av modellen?
- Finns det en nytta med posten – miljöbelastningskostnader?
- Gör ni beräkningar, med er modell, för hela systemets/produktens livslängd?

Uppföljning och kontroll

- Använder ni er av kostnadsuppföljning?
- Hur fastställer ni mätprinciperna vid uppföljning?
- Hur sker den löpande uppföljningen?
- Använder ni er av vite vid uppkomna fel eller brister?

Frågemall 2. Kylanläggning

Allmänna frågor om LCC och modellen

- Vad är Er erfarenhet av LCC?
- Hur ofta har det förekommit LCC-beräkningar vid anbud?
- Vilka vanliga problem finns det i samband med LCC-beräkning?
- Hur upplevde Ni att arbeta med examensarbetets modell?
- Vad kan tillföras modellen för att bättre beskriva verkligheten?

Investeringskostnader

- Vilka kostnader finns det i samband med grundutrustning?
- Vilka kostnader finns det i samband med utbildning av personal?
- Vilka kostnader finns det i samband tilläggsutrustning per enhet?
- Vilka kostnader finns det i samband reservmaterial?
- Vilka kostnader finns det i samband med installation?
- Vilka kostnader finns det i samband leveranskostnad per enhet?
- Vad gör ni för att påverka kostnaden?

Driftkostnader

- Vad gör ni för att påverka kostnaden för driften?
- Finns det några övriga driftkostnader?

Underhållskostnader

- Vad består avhjälpande underhåll vanligtvis av?
- Vilka kostnader finns det i samband med avhjälpande underhåll?
- Hur ofta sker avhjälpande underhåll?
- Vem utför vanligtvis avhjälpande underhållet?
- Är det mer än en person som krävs vid underhållsarbetet?
- Händer det att haverier uppstår?
- Om ja – i vilken omfattning?
- Vilka kritiska händelser eller felfunktioner kräver omedelbara åtgärder?
- Vem gör ingripande och återställande i dessa fall?
- Vilka händelser eller stopp har en längre ledtid och är därmed mindre kritiska?
- Vad består förebyggande underhåll vanligtvis av?
- Vilka kostnader finns det i samband med förebyggande underhåll?
- Hur ofta sker förebyggande underhåll?
- Vem utför vanligtvis förebyggande underhållet?
- Vilken är utrustningens trånga sektor eller kritiska komponent?
- Förekommer utbytesenheter som repareras på verkstad?
- Förekommer det att man har reservenheter?
- Kostnader för dokumentation?
- Materialkostnader och vad för material?
- Finns det enskilda underhållskostnader som inträffar bara under ett år?
- Hur vet kunden att Ni har hög driftsäkerhet? Kan uppgifterna verifieras?
- Vad gör ni för att påverka kostnaden för underhåll?

Övriga kostnader

- Vilka miljöbelastningskostnader finns det?
- Vilken typ av köldmedium rekommenderar Ni?
- Kan man byta kylmedium om miljölagstiftningen ändras?
- Vilka övriga kostnader finns det?
- Kostnader för kvittblivning?

Övriga frågor

- Hur definiera Ni livslängd?
- Vilka vitala delar kan man byta för att livslängden skall öka?
- Vilken typ av kompressor rekommenderar Ni och varför?
- Anläggningens genomsnittliga COP över året?
- Totalkostnad inklusive drift- och underhållskostnader under systemets livstid

Serviceavtal

- Hur ser ett vanligt serviceavtal ut?
- Fasta / rörliga kostnader i ett serviceavtal?
- Vilka är de enkla stopp som kundens personal själva kan och bör klara av?
- Utbildningskostnad och omfattning?
- Vid stopp eller haveri: Hur fort kan servicepersonal och reservdelar finnas på plats?
- Finns alltid utbytes eller reservenheter i lager?
- Finns det reservdelar som man med fördel lagrar på plats?
- Vem står för investeringen i sådana reservdelar –enheter?
- Vad skulle kostnaden för ett ofta använt avtal vara i detta fall?

Uppföljning

- Vilken typ av uppföljning finns för systemet?
- Hur kan man verifiera att uppgifterna i beräkningen stämmer?
- Hur ställer Ni er till användningen av LCC-avtal?

Frågemall 3. Luftbehandlingssystem

Allmänna frågor om LCC och modellen

- Vad är Er erfarenhet av LCC?
- Hur ofta har det förekommit LCC-beräkningar vid anbud?
- Vilka vanliga problem finns det i samband med LCC-beräkning?
- Hur upplevde Ni att arbeta med examensarbetets modell?
- Vad kan tillföras modellen för att bättre beskriva verkligheten?

Investeringskostnader

- Vilka kostnader finns det i samband med grundutrustning?
- Vilka kostnader finns det i samband med utbildning av personal?
- Vilka kostnader finns det i samband tilläggsutrustning per enhet?
- Vilka kostnader finns det i samband reservmaterial?
- Vilka kostnader finns det i samband med installation?
- Vilka kostnader finns det i samband leveranskostnad per enhet?
- Vad gör ni för att påverka kostnaden?

Driftkostnader

- Vad gör ni för att påverka kostnaden för driften?
- Finns det några övriga driftkostnader?

Underhållskostnader

- Vad består avhjälpande underhåll vanligtvis av?
- Vilka kostnader finns det i samband med avhjälpande underhåll?
- Vem utför vanligtvis avhjälpande underhållet?
- Är det mer än en person som krävs vid underhållsarbetet?
- Vilka kritiska händelser eller felfunktioner kräver omedelbara åtgärder?
- Vem gör ingripande och återställande i dessa fall?
- Vilka händelser eller stopp har en längre ledtid och är därmed mindre kritiska?
- Vad består förebyggande underhåll vanligtvis av?
- Vilka kostnader finns det i samband med förebyggande underhåll?
- Hur ofta sker förebyggande underhåll?
- Vem utför vanligtvis förebyggande underhållet?
- Förekommer utbytesenheter som repareras på verkstad?
- Förekommer det att man har reservenheter?
- Kostnader för dokumentation?
- Materialkostnader och vad för material?
- Finns det enskilda underhållskostnader som inträffar bara under ett år?
- Hur vet kunden att Ni har hög driftsäkerhet? Kan uppgifterna verifieras?
- Vad gör ni för att påverka kostnaden för underhåll?

Övriga kostnader

- Vilka miljöbelastningskostnader finns det?
- Vilka övriga kostnader finns det?
- Kostnader för kvittblivning?

Övriga frågor

- Hur definiera Ni livslängd?
- Vilka vitala delar kan man byta för att livslängden skall öka?
- Anläggningens genomsnittliga verkningsgrad över året?
- Totalkostnad inklusive drift- och underhållskostnader under systemets livstid

Serviceavtal

- Hur ser ett vanligt serviceavtal ut?
- Fasta / rörliga kostnader i ett serviceavtal?
- Vilka är de enkla stopp som kundens personal själva kan och bör klara av?
- Utbildningskostnad och omfattning?
- Vid stopp eller haveri: Hur fort kan servicepersonal och reservdelar finnas på plats?
- Finns alltid utbytes eller reservenheter i lager?
- Finns det reservdelar som man med fördel lagrar på plats?
- Vem står för investeringen i sådana reservdelar –enheter?
- Vad skulle kostnaden för ett ofta använt avtal vara i detta fall?

Uppföljning

- Vilken typ av uppföljning finns för systemet?
- Hur kan man verifiera att uppgifterna i beräkningen stämmer?
- Hur ställer Ni er till användningen av LCC-avtal?

Bilaga 3. LCC-modeller

Allmän LCC-modell

Investering

- Grundutrustning
- Tilläggsutrustning per enhet
- Reservmaterial
- Konsultkostnader

Anskaffningskostnader

- Installationskostnad per enhet
 - Lön samt övriga personalkostnader
 - Förhandlingskostnader
 - Extra Leverantörskostnader
- Leveranskostnad per enhet
- Konsultkostnader
- Maskiner eller instrument

Icke kapitaliserbara utgifter

- Stilleståndskostnader
 - Drifttid per år i timmar
 - Kostnad för otillgänglighet per timmar
- Utbildningskostnad m.m. i samband med installation

Årliga underhållskostnader

- Administration
- Förrådshantering
- Lokaler för underhåll
- Utbildning
- Underhållsutrustning
 - Nyttjande och underhåll av underhållsutrustning
- Avhjälpande underhåll på plats
 - Antal olika platser med avhjälpande underhåll
 - Antal fel/år på plats X
 - Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel
 - Timkostnad personal
 - Traktamente, restid, bilkostnad
- Förebyggande underhåll på plats
 - Antal olika platser med förebyggande underhåll
 - Antal förebyggande underhåll/år på plats X
 - Genomsnittlig tid för att förebygga fel
 - Timkostnad personal
 - Traktamente, restid, bilkostnad
- Reparation av utbytesenhet på verkstad

- Genomsnittlig tid för reparation/år
- Timkostnad personal
- Reservenheter
 - Utbytesenheter
 - Reservdelar
 - Lagerhållningskostnad
- Dokumentation för användning och underhåll

Serviceavtal

- Fast årlig kostnad
- Tillägg baserat på drifttid
- Kundens eget arbete

Årliga driftkostnader

- Energi
 - Drifttid per år i timmar
 - Driftkostnad per timme
- Materiel
- Försäkringskostnader
- Löner
 - Genomsnittlig arbetstid för driftpersonal
 - Timkostnad personal

Miljöbelastningskostnader

Årliga fasta kostnader

- Administration
- Lokalkostnader

Restvärde/avvecklingskostnader

- Försäljningsvärdet
- Kostnad för avveckling

Finansiella faktorer

- Energipris
- Kalkylränta
- Livslängd
- Inflation
- Skatt

LCC-modell Kylanläggning

Investering

- Grundutrustning
- Tilläggsutrustning per enhet
- Reservmaterial
- Installationskostnad per enhet
- Leveranskostnad per enhet

Årliga underhållskostnader

- Avhjälpande underhåll på plats
 - Gånger per år för avhjälpande underhåll
 - Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel per gång
- Förebyggande underhåll på plats
 - Gånger per år för förebyggande underhåll
 - Genomsnittlig tid för att förebygga fel per gång
- Reparation av utbytesenhet på verkstad
 - Gånger per år för reparation av utbytesenhet på verkstad
 - Genomsnittlig tid för reparation per gång
- Materialkostnader per år

Årliga driftkostnader

- Energi
 - Drifttid för kylmaskin
 - Energifpris
 - Genomsnittlig energiåtgång av utrustning per timme
- Övriga driftkostnader per år

Årliga övriga kostnader

- Miljöbelastningskostnader
- Andra övriga kostnader

Kvittblivningskostnader

- Kostnad för avveckling

Finansiella faktorer

- Energifpris 0.6 kr./kWh
- Förväntad real prisökning 2 %
- Livslängd (år)
- Produktionskostnad 350 kr./h
- Reell kalkylränta 4 %

LCC-modell Luftbehandlingssystem

Investering

- Grundutrustning
- Tilläggsutrustning per enhet
- Reservmaterial
- Installationskostnad per enhet
- Leveranskostnad per enhet

Årliga underhållskostnader

- Avhjälpande underhåll på plats
 - Gånger per år för avhjälpande underhåll
 - Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel per gång
- Förebyggande underhåll på plats
 - Gånger per år för förebyggande underhåll
 - Genomsnittlig tid för att förebygga fel per gång
- Reparation av utbytesenhet på verkstad
 - Gånger per år för reparation av utbytesenhet på verkstad
 - Genomsnittlig tid för reparation per gång
- Materialkostnader per år

Årliga driftkostnader

- Energi
 - Drifttid 8760 h
 - Energipris
 - Genomsnittlig energiåtgång av utrustning per timme
- Övriga driftkostnader per år

Årliga övriga kostnader

- Miljöbelastningskostnader
- Andra övriga kostnader

Kvittblivningskostnader

- Kostnad för avveckling

Finansiella faktorer

- Energipris 0.6 kr./kWh
- Förväntad real prisökning 2 %
- Livslängd (år)
- Produktionskostnad 350 kr./h
- Reell kalkylränta 4 %

Bilaga 4. Utskick

Brev angående den allmänna LCC-modellen

Hej!

Refererar till tidigare kontakt med Er och skickar information enligt överenskommelse.

Jag heter Karin Wittenfelt och läser sista terminen Industriell Ekonomi på Lunds Tekniska Högskola och under hösten –03 skall jag göra mitt examensarbete på institutionen för produktionsekonomi. Mitt examensarbete består i att få fram en LCC-modell som skall kunna användas vid upphandling för tekniska installationer. Modellen ska jämföra olika anbudsalternativ och får fram totalkostnaden under den tekniska installationens livstid.

Under intervjun kommer jag att använda mig av en bandspelare för att underlätta mitt arbete. Naturligtvis kommer den inspelade intervjun att behandlas konfidentiellt dvs. ingen annan än jag kommer att ta del av själva inspelningen.

I bifogat dokument beskriver jag kortfattat bakgrunden till examensarbetet samt några frågeställningar som jag vill att Ni skall fundera kring. Dessutom bifogar jag ett förslag på en LCC-modell som jag vill att ni skall kommentera.

Vid eventuella frågor eller problem, kontakta mig gärna – framförallt via e-post.
Jag ser fram emot intervjun.

Karin Wittenfelt
Telefon; XXXX
E-postadress; cii99kw1@i.lth.se

Bakgrund

Vid upphandling av olika tekniska installationer tas i många fall hänsyn främst till kostnader för grundinvesteringen, vilka är lätta att identifiera. Därmed förbises ofta de kostnader som uppkommer senare i investeringen livstid såsom drift- och underhållskostnader. För många investeringar utgör grundinvesteringen bara en liten del av den totala livslängdskostnaden vilket kan leda till att kostsamma investeringsbeslut fattas. Sedan många år tillbaka finns det dock modeller som tar hänsyn till kostnader som en investering medför under hela dess livslängd. Life Cycle Cost-modellen (LCC) är ett exempel på en sådan modell. Det är en kostnadsmodell som skall återspegla en ”total” kostnad för en produkt eller ett systemalternativ sett ur användaren/kundens synvinkel. Det är också en modell som kan användas i flera olika sammanhang, bland annat för att utvärdera offerter.

I mitt examensarbete skall jag försöka få fram en användarvänlig modell för LCC-analys som framförallt skall användas vid upphandling. Det är först och främst upphandling av tekniska installationer för offentliga lokaler som är den tänkta användningsområdet av modellen.

I begreppet *tekniska installationer* omfattas allt ifrån hissar och rulltrappor till fläktar och klimatanläggning. Som Ni förstår skall det vara en modell som är relativt allmän men ändå skall uppfylla sitt syfte – att få fram det system/produkt som är mest kostnadseffektivt under hela sin livslängd.

Vid intervjun kommer jag att ställa allmänna frågor om LCC begreppet och hur och i vilken omfattning Ni använder er av det.

Dessutom skickar jag med ett förslag på en LCC-modell som jag vill att Ni tittar igenom och har synpunkter på. Modellen är baserad på den tillgängliga litteratur som finns i ämnet men jag vill gärna att de med praktisk erfarenhet i branschen, tekniska installationer, får ta ställning till föreslagna modell.

Frågor som jag *bland annat* kommer att ställa angående modellen;

1. Finns alla kostnadsdrivande poster med?
2. Är det någon del av den föreslagna modellen som är missvisande?
3. Om Ni har en egen modell – hur är den LCC-modell som jag tagit fram jämfört med er egen?
4. Hur tar Ni fram kostnadsunderlag för underhåll och drift?
5. Finns det tillgängliga data angående felintensitet, tid för att avhjälpa fel etc.
6. Anser Ni det möjligt att få fram en effektiv LCC-modell som kan fungera för olika typer av tekniska installationerna?

Brev angående LCC-modellen för Kylanläggningen

Hej!

Refererar till tidigare kontakt med Er och skickar information enligt överenskommelse.

Jag heter Karin Wittenfelt och läser sista terminen Industriell Ekonomi på Lunds Tekniska Högskola och under hösten –03 gör jag mitt examensarbete på institutionen för produktionsekonomi. Mitt examensarbete består blanda annat av att genomföra en livscykelkostnadsberäkning (LCC) av ett klimatsystem. Examensarbetet ska jämföra olika tekniska lösningar och få fram totalkostnaden under ett kylsystems livstid. Applikationen av system bygger på ett verkligt fall som så småningom skall sättas i bruk. Uppdragsgivaren till detta examensarbete vill se om en LCC-analys kan ge ett mer heltäckande beslutsunderlag vid val av utrustning vid framtida upphandling.

Under intervjun kommer jag att använda mig av en bandspelare för att underlätta mitt arbete. Naturligtvis kommer den inspelade intervjun att behandlas konfidentiellt dvs. ingen annan än jag kommer att ta del av själva inspelningen. Ert företag kommer att få ta del av resultatet men det kommer inte att framgå vilka företag som är med i studien.

I bifogat dokument beskriver jag kortfattat bakgrunden till examensarbetet samt några frågeställningar som jag vill att Ni skall fundera kring. Dessutom bifogar jag en LCC-modell som kommer att användas vid beräkningen.

Vid eventuella frågor eller problem, kontakta mig gärna.
Jag ser fram emot intervjun.

Karin Wittenfelt

E-postadress; cii99kw1@i.lth.se

Mobiltelefon; XXXXX

Bakgrund och förutsättningar

Vid upphandling av olika tekniska installationer tas i många fall hänsyn främst till kostnader för grundinvesteringen, vilka är lätta att identifiera. Därmed förbises ofta de kostnader som uppkommer senare i investeringen livstid såsom drift- och underhållskostnader. För många investeringar utgör grundinvesteringen bara en liten del av den totala livslängdskostnaden vilket kan leda till att kostsamma investeringsbeslut fattas. Sedan många år tillbaka finns det dock modeller som tar hänsyn till kostnader som en investering medför under hela dess livslängd. Life Cycle Cost-modellen (LCC) är ett exempel på en sådan modell. Det är en kostnadsmodell som skall återspegla en *total* kostnad för en produkt under hela livstiden eller ett systemalternativ sett ur användaren/kundens synvinkel. Det är också en modell som kan användas i flera olika sammanhang, bland annat för att utvärdera av tekniska lösningar.

I mitt examensarbete skall jag genomföra en LCC-beräkning för ett klimatsystem. Klimatsystemet är tänkt för ett isolerat teknikrum med känslig apparatur där temperaturen skall hållas konstant. Dessa förutsättningar gäller;

- Kapaciteten ska delas upp på två lika aggregat vardera dimensionerad för 60 –70 % av total kyleffekt.
- Vardera anläggningen uppbyggd med separata kondensor och kompressordel.
- Friblåsande takmonterade fläktkylare med filter.
- Dimensionerad uteluft +5°C till + 25° C, 60% RF.
- Kondition i rum +18 - 25 C°, 30 -50 % RF.
- Sensibel kylkapacitet 8 kW.

En annan viktig faktor är att tillgängligheten för teknikutrymmet är mycket begränsat vilket innebär att en robust driftsäkerhet är väsentlig.

Frågor som undersökningen bland annat vill få svar på;

- Anläggningens genomsnittliga COP över året?
- I vilken omfattning är det behov av förebyggande- och avhjälpande underhåll?
- Vilken typ av köldmedium rekommenderar Ni? Motiv för val - kostnad och miljöaspekter. Kan man byta kylmedium om miljölagstiftningen ändras?
- Totalkostnad inklusive drift- och underhållskostnader under systemets livstid.

Jag bifogar ett Excel dokument där själva beräkningen av LCC genomförs. Där finns alla de kostnadsposter som examensarbetet vill få svar på. Om Ni anser att Ni ej har någon kostnad vid en specifik post går det att hoppa över den. Om Ni anser att en kostnadspost fattas finns det utrymme i *övriga kostnader*.

Vid Inputfliken skall de värden för de olika posterna skrivas in i de blåmarkerade fälten. Glöm inte att införa livslängd för kylsystemet. Programmet utför sedan automatisk en nuvärdesberäkning av systemet.

Analysen omfattar även områden som berör drift och underhåll där underhållet är uppdelat på förebyggande och avhjälpande underhåll.

Vid intervjun kommer jag att gå igenom alla kostnadsposter i LCC-beräkningen och de resultat Ni har tagit fram vid de olika posterna, frågor om de underlag som Ni baserar era resultat på samt hur Ni bygger upp ett serviceavtal

Brev angående LCC-modellen för Luftbehandlingssystem

Hej!

Refererar till tidigare kontakt med Er och skickar information enligt överenskommelse.

Jag heter Karin Wittenfelt och läser sista terminen Industriell Ekonomi på Lunds Tekniska Högskola och under hösten –03 gör jag mitt examensarbete på institutionen för produktionsekonomi. Mitt examensarbete består blanda annat av att genomföra en livscykelkostnadsberäkning (LCC) av ett luftbehandlingssystem. Examensarbetet ska jämföra olika tekniska lösningar och få fram totalkostnaden under ett ventilationssystemets livstid. Applikationen av system bygger på ett verkligt fall som så småningom skall sättas i bruk. Uppdragsgivaren till detta examensarbete vill se om en LCC-analys kan ge ett mer heltäckande beslutsunderlag vid val av utrustning vid framtida upphandling.

Under intervjun kommer jag att använda mig av en bandspelare för att underlätta mitt arbete. Naturligtvis kommer den inspelade intervjun att behandlas konfidentiellt dvs. ingen annan än jag kommer att ta del av själva inspelningen. Ert företag kommer att få ta del av resultatet men det kommer inte att framgå vilka företag som är med i studien.

I bifogat dokument beskriver jag kortfattat bakgrunden till examensarbetet samt några frågeställningar som jag vill att Ni skall fundera kring. Dessutom bifogar jag en LCC-modell som kommer att användas vid beräkningen.

Vid eventuella frågor eller problem, kontakta mig gärna.
Jag ser fram emot intervjun.

Karin Wittenfelt

E-postadress; [XXX](#)

Mobiltelefon; XXXXX

Bakgrund och förutsättningar

Vid upphandling av olika tekniska installationer tas i många fall hänsyn främst till kostnader för grundinvesteringen, vilka är lätta att identifiera. Därmed förbises ofta de kostnader som uppkommer senare i investeringen livstid såsom drift- och underhållskostnader. För många investeringar utgör grundinvesteringen bara en liten del av den totala livslängdskostnaden vilket kan leda till att kostsamma investeringsbeslut fattas. Sedan många år tillbaka finns det dock modeller som tar hänsyn till kostnader som en investering medför under hela dess livslängd. Life Cycle Cost-modellen (LCC) är ett exempel på en sådan modell. Det är en kostnadsmodell som skall återspegla en *total* kostnad för en produkt under hela livstiden eller ett systemalternativ sett ur användaren/kundens synvinkel. Det är också en modell som kan användas i flera olika sammanhang, bland annat för att utvärdera av tekniska lösningar.

I mitt examensarbete skall jag genomföra en LCC-beräkning för ett luftbehandlingsystem. Luftbehandlingsystemet är tänkt för ett isolerat teknikrum med känslig apparatur som är värmealstrande där temperaturen skall hållas konstant med hjälp av en kylanläggning. För att klara kravet på luftväxling och temperatur kommer ett luftbehandlingsystem, som kommer att vara i drift kontinuerligt, installeras bestående av ;

- Blandningsspjäll för cirkulationsluft, el-batteri, fläkt del och kylbatteri.
- Luftväxlingen dimensioneras för 4 pers. á 7 liter/pers.
- Två brandspjäll, EI60, monteras men de är normalt stängda.
- Kanalmonterade fläktar.
- Filter EU7, F1, monteras i kanal för avskiljande av stoft och filter EU3, F2, för cirkulationsluft.
- Injusteringsspjäll, SP, skall monteras.
- Ventilationskanalen av Spirokanal i förzinkad plåt.
- Tilluftsdon monteras för att åstadkomma en kastlängd och effektiv spridning av luft.
- Kondition i rummet, +18° till + 25° C, >30 RH (%) <55.
- Dimensionerad uteluft +5°C till + 25° C, 60% RF.
- Teknikrummets storlek: 47 m², takhöjd 3 meter.

En annan viktig faktor är att tillgängligheten för teknikutrymmet är mycket begränsat vilket innebär att en robust driftsäkerhet är väsentlig.

Frågor som undersökningen bland annat vill få svar på;

- Vad är Er erfarenhet av att arbeta med LCC?
- Totalkostnad inklusive drift- och underhållskostnader under systemets livstid.
- Vilken typ av underhåll kräver systemet och hur ofta?
- Hur kan man verifiera att uppgifterna stämmer?
- Total verkningsgrad?

Jag bifogar ett Excel dokument där själva beräkningen av LCC genomförs. Där finns alla de kostnadsposter som examensarbetet vill få svar på. Om Ni anser att Ni ej har någon kostnad vid en specifik post går det att hoppa över den. Om Ni anser att en kostnadspost fattas finns det utrymme i *övriga kostnader*.

Vid Inputfliken skall de värden för de olika posterna skrivas in i de blåmarkerade fälten. Glöm inte att införa livslängd för luftbehandlingssystemet. Programmet utför sedan automatisk en nuvärdesberäkning av systemet.

Analysen omfattar även områden som berör drift och underhåll där underhållet är uppdelat på förebyggande och avhjälpande underhåll.

Vid intervjun kommer jag att gå igenom alla kostnadsposter i LCC-beräkningen och de resultat Ni har tagit fram vid de olika posterna, frågor om de underlag som Ni baserar era resultat på samt hur Ni bygger upp ett serviceavtal.

Bilagor

Bilaga 5. Sammanställning av redovisad data

Sammanställning av Kylsystem

Företag:

	A	B	C	D	E	Medelvärde
Investeringskostnader						
Grundutrustning	30000	34000	65000	19040	17250	33058 kr.
Tilläggsutrustning / enhet	0	0	0	740	0	148 kr.
Reservmaterial	0	0	0	0	0	0 kr.
Installationskostnad/enhet	20000	20000	0	19000	13500	14500 kr.
Leveranskostnad/enhet	1000	0	0	500	0	300 kr.
Summa Investeringskostnad	51000	54000	65000	39280	30750	48006 kr.
Årlig driftkostnad						
Drifttid för kylmaskin	2000	4000	800	7000	6250	4010 h/år
Energipris	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6 kr./kWh
Genomsnittlig energiåtgång av utrustning/timme	4	3,2	2,2	1,49	1,8	2,538 kW
Övriga driftkostnader / år	0	0	0	0	0	0 kr.
Driftkostnad/år	4800	7680	1056	6258	6750	5308,8 kr.
Årlig underhållskostnad						
Avhjälpande underh. på plats, gånger /år	0	12	0,25	0,25	0,1	2,52 ggr/år
Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel/ gång	0	0,5	4	2	4	2,1 timmar
Förebyggande underh. på plats, gånger /år	2	1	1	1	1	1,2 ggr/år
Genomsnittlig tid för att förebygga fel/gång	4	3	2	2	2	2,6 timmar
Reparation av utbytesenhet på verkstad, gånger /år	0,5	0,2	0	0	0	0,14 ggr/år
Genomsnittlig tid för reparation av utbytesenhet/gång	4	5	0	0	0	1,8 timmar
Materialkostnader / år	1500	0	0	0	0	300 kr.
Underhållskostnad/år	5175	3150	1050	875	840	2218 kr.
Årliga övriga kostnader						
Miljöbelastningskostnader	1500	1000	700	0	0	640 kr.
Andra övriga kostnader	0	0	0	0	0	0 kr.
Kostnad övrigt	1500	1000	700	0	0	640 kr.
Kvittblivningskostnader, deponering	5000	1000	3000	7500	3000	3900 kr.
Summa nuvärdekostnad	200360	211711	103403	136808	130805	156 618 kr.
Summa nuvärdek. Energi	61858	98972	13609	80647	86988	68 415 kr.
Summa nuvärdek. Underhåll	64435	45105	13531	11276	10825	29 034 kr.
Summa nuvärdek. Övrigt	19331	12887	9021	0	0	8 248 kr.

Bilagor

Sammanställning av Luftsystem

	X	Y	Z	Medelvärde
Investeringskostnader				
Grundutrustning	52356	60000	37000	49785,33 kr.
Tilläggsutrustning / enhet	0	0	30000	10000,00 kr.
Reservmaterial	0	0	0	0,00 kr.
Installationskostnad/enhet	37920	10000	10000	19306,67 kr.
Leveranskostnad/enhet	2000	0	3500	1833,33 kr.
Summa Investeringskostnad	92276	70000	80500	80925,33 kr.
Årlig driftkostnad				
Drifttid för kylmaskin	8760	8760	8760	8760,00 h/år
Energipris	0,6	0,6	0,6	0,60 kr./kWh
Genomsnittlig energiåtgång av utrustning/timme	1,4	2	1,5	1,63 kW
Övriga driftkostnader / år	0	0	0	0,00 kr.
Driftkostnad/år	7358,4	10512	7884	8584,80 kr.
Årlig underhållskostnad				
Avhjälpande underh. på plats, gånger /år	0	0	0	0,00 ggr/år
Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel/ gång	0	0	0	0,00 timmar
Förebyggande underh. på plats, gånger /år	2	2	2	2,00 ggr/år
Genomsnittlig tid för att förebygga fel/gång	2	1	2	1,67 timmar
Reparation av utbytesenhet på verkstad, gånger /år	0	0	0	0,00 ggr/år
Genomsnittlig tid för reparation av utbytesenhet/gång	0	0	0	0,00 timmar
Materialkostnader / år	1200	1500	1500	1400,00 kr.
Underhållskostnad/år	2600	2200	2900	2566,67 kr.
Årliga övriga kostnader				
Miljöbelastningskostnader	0	0	0	0,00 kr.
Andra övriga kostnader	0	0	0	0,00 kr.
Kostnad övrigt	0	0	0	0,00 kr.
Kvittblivningskostnader, deponering	3800	7500	5635	5645,00 kr.
Summa nuvärdekostnad	185041	190598	182208	185948,88 kr.
Summa nuvärdek. Energi	66233	94619	70964	77272,16 kr.
Summa nuvärdek. Underhåll	23403	19802	26103	23102,68 kr.
Summa nuvärdek. Övrigt	0	0	0	0,00 kr.

Bilaga 6. Underlag för Känslighetsberäkning

Fyll endast i rutor som är blåmarkerade
Hoppa över de poster där Ni ej har någon kostnad

Förutsättningar		
Livslängd	15	år
Produktionskostnad	350	kr./h
Reell kalkylränta	0,04	
Enegipris	0,6	kr./kWh
Förväntad real prisökning	0,02	

Investeringskostnader		
Grundutrustning	33058	kr.
Tilläggsutrustning / enhet	148	kr.
Reservmaterial	0	kr.
Installationskostnad/enhet	14500	kr.
Leveranskostnad/enhet	300	kr.
Summa Investeringskostnad	48006	kr.

Årlig driftkostnad		
Drifttid för kylmaskin	4010	h/år
Enegipris	0,6	kr./kWh
Genomsnittlig energijätgång av utrustning/timme	2,538	kW
Övriga driftkostnader / år	0	kr.
Driftkostnad/år	6106,43	kr.

Årlig underhållskostnad		
Avhjälpande underh. på plats, gånger /år	2,52	ggr/år
Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel/ gång	2,1	timmar
Förebyggande underh. på plats, gånger /år	1,2	ggr/år
Genomsnittlig tid för att förebygga fel/gång	2,6	timmar
Reparation av utbytesenhet på verkstad, gånger /år	0,14	ggr/år
Genomsnittlig tid för reparation av utbytesenhet/gång	1,8	timmar
Materialkostnader / år	300	kr.
Underhållskostnad/år	6664,8	kr.

Årliga övriga kostnader		
Miljöbelastningskostnader	640	kr.
Andra övriga kostnader	0	kr.
Kostnad övrigt	640	kr.

Kvittblivningskostnader, deponering	3900	kr.
-------------------------------------	------	-----

Summa nuvärdekostnad	223752	kr.
Summa nuvärdek. Energi	78694	kr.
Summa nuvärdek. Underhåll	85890	kr.
Summa nuvärdek. Övrigt	8248	kr.

Bilagor

Kostnader per år

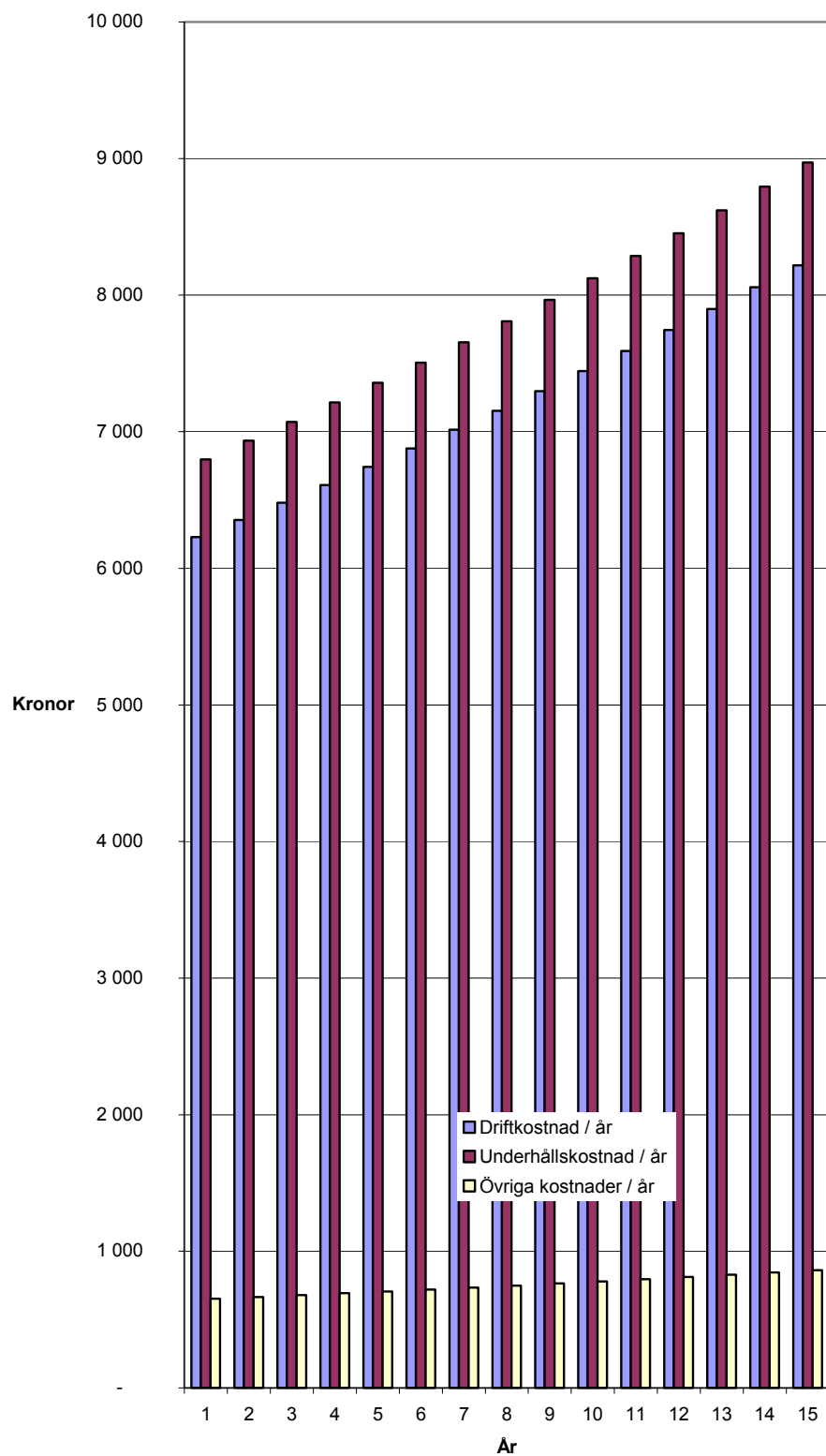


Diagram över de olika kostnadsposterna för Kylsystemet under 15 år. Diagrammet bygger på data från beräkningen för Känslighetsanalysen.

Bilagor

Bilaga 7. LCC-modellmall i Excell för Kyl- och Ventilationssystem

Livscykelberäkning av Kylsystem

Fyll endast i rutor som är blåmarkerade

Hoppa över de poster där Ni ej har någon kostnad

Förutsättningar		
Livslängd	10	år
Produktionskostnad	350	kr./h
Reell kalkylränta	0,04	
Enegipris	0,6	kr./kWh
Förväntad real prisökning	0,02	

Investeringskostnader		
Grundutrustning	0	kr.
Tilläggsutrustning / enhet	0	kr.
Reservmaterial	0	kr.
Installationskostnad/enhet	0	kr.
Leveranskostnad/enhet	0	kr.
Summa Investeringskostnad	0	kr.

Årlig driftkostnad		
Drifttid för kylmaskin	0	h/år
Enegipris	0,6	kr./kWh
Genomsnittlig energiåtgång av utrustning/timme	0	kW
Övriga driftkostnader / år	0	kr.
Driftkostnad/år	0	kr.

Årlig underhållskostnad		
Avhjälpande underh. på plats, gånger /år	0	ggr/år
Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel/ gång	0	timmar
Förebyggande underh. på plats, gånger /år	0	ggr/år
Genomsnittlig tid för att förebygga fel/gång	0	timmar
Reparation av utbytesenhet på verkstad, gånger /år	0	ggr/år
Genomsnittlig tid för reparation av utbytesenhet/gång	0	timmar
Materialkostnader / år	0	kr.
Underhållskostnad/år	0	kr.

Årliga övriga kostnader		
Miljöbelastningskostnader	0	kr.
Andra övriga kostnader	0	kr.
Kostnad övrigt	0	kr.

Kvittblivningskostnader, deponering	0	kr.
-------------------------------------	---	-----

Summa nuvärdekostnad	0	kr.
Summa nuvärdek. Energi	0	kr.
Summa nuvärdek. Underhåll	0	kr.
Summa nuvärdek. Övrigt	0	kr.

LCC-beräkning av Ventilationssystem

Fyll endast i rutor som är blåmarkerade
Hoppa över de poster där Ni ej har någon kostnad

Förutsättningar	
Livslängd	10
Produktionskostnad	350
Reell kalkylränta	0,04
Enepris	0,6
Förväntad real prisökning	0,02

Investeringskostnader		
Grundutrustning 1 st Aggregat EU-11	0	kr.
Tilläggsutrustning / enhet 1 st Apparatskåp för styr & reglerutr.	0	kr.
Reservmaterial	0	kr.
Installationskostnad/enhet	0	kr.
Leveranskostnad/enhet	0	kr.
Summa Investeringskostnad	0	kr.

Årlig driftkostnad		
Drifttid för fläkten	8760	h/år
Enepris	0,6	kr./kWh
Genomsnittlig energiåtgång av utrustning/timme	0	kW
Övriga driftkostnader / år	0	kr.
Driftkostnad/år	0	kr.

Årlig underhållskostnad		
Avhjälpande underh. på plats, gånger /år	0	ggr/år
Genomsnittlig tid för att avhjälpa fel/ gång	0	timmar
Förebyggande underh. på plats, gånger /år	0	ggr/år
Genomsnittlig tid för att förebygga fel/gång	0	timmar
Reparation av utbytesenhet på verkstad, gånger /år	0	ggr/år
Genomsnittlig tid för reparation av utbytesenhet/gång	0	timmar
Materialkostnader / år	0	kr.
Underhållskostnad/år	0	kr.

Årliga övriga kostnader		
Miljöbelastningskostnader	0	kr.
Andra övriga kostnader	0	kr.
Kostnad övrigt	0	kr.

Kvittblivningskostnader, deponering	0	kr.
-------------------------------------	---	-----

Summa nuvärdekostnad	0	kr.
Summa nuvärdek. Energi	0	kr.
Summa nuvärdek. Underhåll	0	kr.
Summa nuvärdek. Övrigt	0	kr.