



Hållbara konstruktionslösningar

- En jämförelse med hjälp av LCC och LCA

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

FRIDA BENGTS
MARTINA JOHANSSON

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2011
Examensarbete 2012:02

EXAMENSARBETE 2012:

Hållbara konstruktionslösningar

- En jämförelse med hjälp av LCC och LCA

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

FRIDA BENGTS

MARTINA JOHANSSON

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2011

Hållbara konstruktionslösningar
- En jämförelse med hjälp av LCC och LCA

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

FRIDA BENGTS
MARTINA JOHANSSON

© FRIDA BENGTS & MARTINA JOHANSSON, 2011

Examensarbete/Institutionen för energi och miljö,
Chalmers tekniska högskola 2012:

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för miljösystemanalys
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Tryckeriets namn/ Institutionen för energi och miljö

Göteborg 2011

Hållbara konstruktionslösningar

- En jämförelse med hjälp av LCC och LCA

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

FRIDA BENGTS, MARTINA JOHANSSON

Institutionen för energi och miljö

Avdelningen för miljösystemanalys

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Inom byggbranschen har hållbar utveckling blivit central och handlar om att ta hänsyn till de konsekvenser som byggnader och tjänster har för miljön och ekonomin. Detta innebär att effektivisera energi och materialflöden genom att optimera produkter och tjänster.

Syftet med detta arbete är att tillsammans med COWI utveckla en arbetsmetod som gör det möjligt att utvärdera konstruktionslösningars miljöbelastning och ekonomiska rimlighet. Syftet är också att jämföra likheter och skillnader i LCC, livscykelkostnader, och i LCA, livscykelanalys, metodernas sätt att värdera byggnadens livscykel med avseende på miljö och ekonomi.

Metoderna LCC och LCA utvärderar produkter och tjänster ur ett livscykelperspektiv. LCC, fokuserar på kostnaderna, och LCA, miljöbelastning, har använts som underlag för en arbetsmetod som skall utvärdera konstruktionslösningars miljöbelastning och ekonomiska rimlighet. Metoden är utformad som en checklista som baseras på COWIs nyckelord Nyttan – Värde – Kostnad. Checklistan utgår ifrån den färdiga produktens funktion och jämför olika förslag på utformning för att utvärdera konstruktionens miljöbelastning i relation till kostnaden för produkten. Resultatet från checklistan kan användas för att motivera val och för att göra rekommendationer till kunder. De konstruktionslösningar som användes i studien är trä och betongstommar.

Resultatet visar att arbetsmetoden är ett bra verktyg för att åstadkomma effektivisering och optimering av byggmaterial. I beräkningarna framkom att den mest ekonomiskt belastande fasen för en byggnad är tillverkningen och den största miljöbelastning ligger i användningsfasen av byggnaden.

Nyckelord: LCC, LCA, Uthållighetsaspekt, Hållbart byggande, Ekonomi, Miljö, Social, nytta, värde, kostnad

Sustainable construction design solutions
-A comparison using LCC and LCA
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
FRIDA BENGTS, MARTINA JOHANSSON
Department of Energy and Environment
Division of environmental system analysis
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In the building construction industry sustainable development has become more important and has been interpreted in terms of efficiency and optimization of products and services. Sustainable development is to create efficient flows of energy and materials by optimization of products and services. In order to optimize the industry, methods and models that are easy to follow are needed.

The purpose of this thesis is to, together with COWI, develop a method that makes it possible to evaluate design solutions with both low environmental load and economic feasibility. The aim is also to compare the similarities and differences in the methods LCC, Life Cycle Cost, and LCA, Life Cycle Assessment, way of putting value to a construction's life cycle with focus on economy and environment. The materials used are wood and concrete.

The methods LCC and LCA evaluate products and services from a lifecycle perspective. LCC, focus on economy, LCA focus on environment, and have in this study been used to develop a working procedure to evaluate the environmental impact and the economic feasibility of construction solutions. The method is designed as a checklist and is developed from COWI's core Utility-Value-Cost to guide engineers to evaluate construction solutions and give recommendations to customers. In the checklist, the finished product's function is the main starting point in comparing different proposals of construction solutions from environmental and economic perspectives. In the results from the study, the working procedure has proved to be a useful tool in increased efficiency and optimizing building materials. The calculations show that during the buildings life time the highest economic burden can be found in the construction phase and the environmental load in the use phase of the building.

Key words: LCC, LCA, Sustainability aspect, sustainable construction development, economics, environment, social, utility, value, cost.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	VI
1 INLEDNING	7
1.1 Syfte	7
1.2 Metod	7
1.3 Avgränsningar	8
2 EKONOMI- OCH MILJÖBEDÖMNINGAR	9
2.1 Livscykelkostnad, LCC	9
2.1.1 LCC i byggbranschen	10
2.1.2 Användning och procedur i LCC	11
2.1.3 LCC-verktyg	11
2.2 Livscykelanalys, LCA	12
2.2.1 Användning och procedur i LCA	13
2.2.2 Viktning och viktningsmodeller	14
2.3 Hållbart byggande på COWI	14
3 METOD	15
3.1 Process och utgångspunkt för arbetet	15
3.1.1 Litteraturstudie	15
3.1.2 Intervjuer	16
3.2 Arbetsgång för arbetsmetod	17
3.2.1 Utgångspunkter för arbetsmetoden	17
3.2.2 Antaganden och utgångspunkter för LCC-modellen	18
3.3 LCC och LCA för trä- och betongvägg	19
3.3.1 Ingångsdata för LCC-beräkningen	19
3.3.2 Ingångsdata för LCA-beräkningen	21
3.4 Analysstrategi	23
3.4.1 Arbetsmetodens tillämpbarhet	23
3.4.2 Likheter och skillnader mellan miljö- och ekonomiaspekter i LCC och LCA	23
4 RESULTAT	25
4.1 COWIs arbetsprocess för hållbara konstruktionslösningar	25
4.1.1 Resultaten från installationsteknik	25
4.1.2 Resultaten från Husbyggnadsteknik	25

4.1.3	Konstruktörernas prioriteringar	26
4.2	Arbetsmetoden	27
4.2.1	LCC-arbetsgång	30
4.3	LCC-resultat för väggtyperna	32
4.4	Samanställning av LCC-beräkningarna och LCA-viktningen	32
5	ANALYS	34
5.1	Arbetsmetodens användbarhet, enkelhet, kostnadseffektivitet och miljöbelastning	34
5.1.1	Kostnadseffektivitet med hjälp av LCC	34
5.2	Likheter och skillnader mellan miljö- och ekonomiaspekter i LCC och LCA	35
5.2.1	Päron och Äpplen eller kompletterande information?	35
5.2.2	Miljöbelastning = kostnadsbelastning?	36
5.2.3	Integrering av kostnader och miljöbelastning i materialval	36
6	DISKUSSION	37
6.1	Styrkor och svagheter med arbetsmetoden	37
6.1.1	Arbetsmetoden och hållbarhet	38
6.1.2	Arbetsmetoden och användaren	38
6.2	Styrkor och svagheter i beräkningarna	38
6.2.1	Indata till LCC-beräkningarna	39
6.2.2	Indata till LCA-beräkningarna	39
7	SLUTSATSER	41
8	REFERENSER	42

Figurförteckning

Figur 1: De tre delarna i hållbar utveckling (COWI)	7
Figur 2: Livscykelkostnad för en vanlig glödlampa och en lågenergilampa under 10 år	9
Figur 3: Illustration av hur miljöarbetet oftast bedrivs (Bengt Dahlgren AB 2007)	10
Figur 4: Illustration av hur miljöarbetet bör bedrivas (Bengt Dahlgren AB 2007)	11
Figur 5: LCA-modell, flödesschema för en produkts livscykel, mellan varje steg sker ofta transporter (Baumann & Tillman 2004)	13
Figur 6: Ritning av de två olika väggtyperna	20
Figur 7: Struktur av data för studien (Björklund 1997)	21
Figur 8: Exempel på flödesschema för konstruktion av invändig vägg (Björklund 1997)	22
Figur 9: Diagram över prioriteringsordning vid val av konstruktionslösning	26
Figur 10: Diagram över vad konstruktörer värderar vid projektering	26
Figur 11: Flödesschema för arbetsgång för att	27
Figur 12: Diagram över LCC-kostnader för de olika väggtyperna	32
Figur 13: Grafisk sammanställning av normaliserade beräkningsresultat för LCC och LCA	33

Förord

Vi skulle vilja börja med att tacka våra handledare, Kristin Fransson och Anna Wenander, som hjälpt oss genom hela arbetet i både med- och motvind. Kristin vill vi tacka för att hon har varit ett bra stöd och hjälpt oss hitta tillbaka till rätt väg när vi villat bort oss. Vi vill även tacka för alla kloka råd. Anna tackar vi för alla frågor och funderingar hon har gett oss, vi vill även tacka för de bra diskussioner vi har haft som har hjälpt oss framåt i arbetet.

Vidare vill vi även tacka de på COWI och Chalmers som hjälpt oss och stått ut med alla våra frågor. Även ett tack till alla andra personer och företag vi varit i kontakt med i samband med detta examensarbete.

Ett stort tack till Johanna och Elis som varit trevliga kontorskamrater (och ätit upp alla kakor). Vi vill även tacka de som korrekturläst vår rapport och kommit med värdefulla synpunkter.

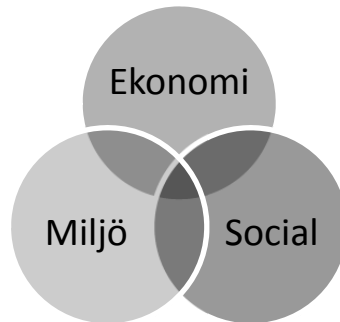
Slutligen vill vi tacka varandra för ett grymt samarbete och väl genomfört examensarbete!

Göteborg april 2012

Frida Bengts och Martina Johansson

1 Inledning

Under de senaste åren har hållbar utveckling blivit ett mer och mer centralt begrepp i samhället. Begreppet som det ser ut idag innefattar tre delar, det ekonomiska, det ekologiska och det sociala, se figur 1. (EU 2011).



Figur 1: De tre delarna i hållbar utveckling (COWI)

För att företag ska hänga med i utvecklingen och följa de lagar och krav som uppkommit i samband med hållbar utveckling skapar de ofta egna rutiner och arbetssätt för att inkludera hållbar utveckling i arbetet. Olika företag väljer av olika anledning att fokusera på olika delar och skapar på så sätt unika metoder och rutiner. På COWI, ett internationellt konsultföretag, finns en önskan om att utveckla arbetet med hållbar utveckling genom att skapa en arbetsmetod som gör det möjligt att jämföra olika konstruktionslösningar i linje med deras arbete med hållbart byggande, med syfte att skapa konstruktionslösningar med rimlig miljöbelastning och kostnad. Detta innebär att deras tekniska lösningar ska vara optimerade, rätt produkt på rätt plats, så att kostnader och miljöpåverkan kan minskas. Metoden ska bland annat innefatta en modell som ska vara en hjälp i att beräkna kortsiktiga och långsiktiga kostnader, dvs. livscykelkostnader, för konstruktionslösningar.

1.1 Syfte

Syftet är att jämföra likheter och skillnader mellan miljö och ekonomi när LCC och LCA används för att sätta kostnader eller värde på livscykeln. Syftet är även att skapa en arbetsmetod och en modell som gör det möjligt att jämföra olika konstruktionslösningar med hänsyn till både miljö och hållbar ekonomi, dessa ska vara en hjälp i COWIs hållbarhetsarbete. Metoden ska också vara i linje med sambandet Nyttä – Värde – Kostnad som COWI arbetar med. Detta ska sedan utvärderas efter två av delarna i hållbar utveckling; ekonomi och miljö.

1.2 Metod

Information och underlag till denna rapport tas fram med hjälp av:

- Enkätundersökningar och intervjuer på COWI
- Samarbete och diskussioner med konstruktörer på COWI
- Personliga kontakter och intervjuer med personer inom byggbranschen
- Beräkningar på LCC och LCA
- Litteraturstudie; rapporter, artiklar och böcker som behandlar ämnesområdet

Dessa metoder har valts för att få bakgrundsfakta och kunna jämföra olika faktauppgifter med varandra. För att jämföra miljö och ekonomi jämförs resultaten av LCC- och LCA-beräkningarna. För att utvärdera arbetsmetoden och modellen används LCC-beräkningar där två exempel kommer att jämföras med varandra. Hur COWI uppfattar metoden och modellen utvärderas också med en enkät.

1.3 Avgränsningar

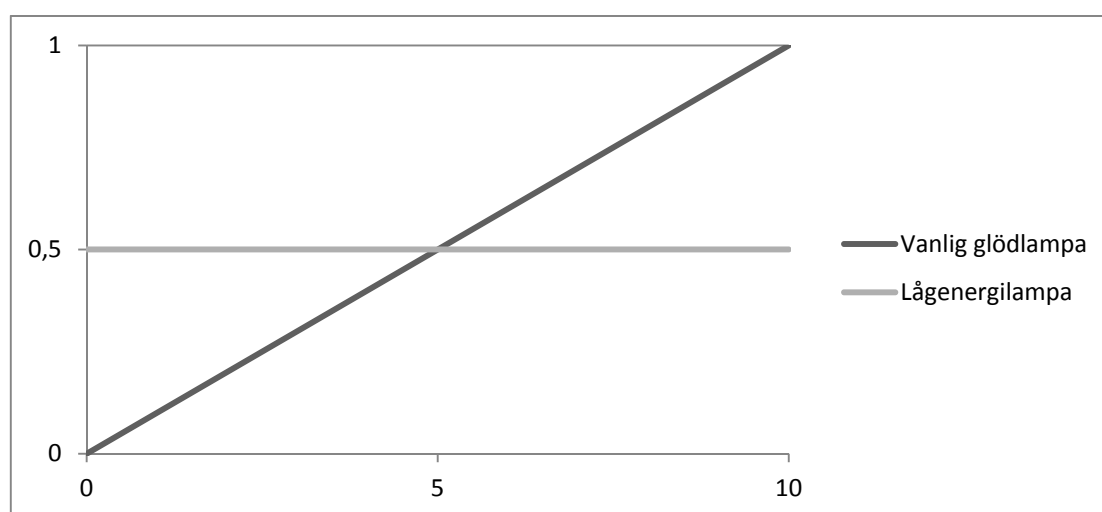
Arbetsmetoden tas fram utefter COWIs behov och deras syn på hållbar utveckling. Fokus för LCC ligger främst på byggbranschen, LCA är mer allmänt beskriven. Enkätundersökningarna görs med ett urval på två av COWIs avdelningar i Göteborg. Modellen tas fram som en generell modell som ska gå att använda på andra konstruktionslösningar än de som visas i exempel. Vid exempelberäkning av LCC ses livslängden som byggnadens eller konstruktionslösningen livslängd och inte hela livslängden på de material som ingår i byggnaden eller lösningen. Vid beräkning av LCA ses livslängd för hela materialens livscykel. Därför jämförs livsfaserna procentuellt mellan LCA och LCC. Vid LCA-viktning används en studie av en utförd LCA som underlag. Detta innebär att olika hänsyn tas vid LCA- och LCC-beräkningarna vilket bortses från i jämförelsen. Det kan även vara så att ny teknik och andra regler och normer uppkommit sedan LCA-studien gjordes. Detta bortses från på grund av att det ger liten inverkan på jämförelsen mellan LCA och LCC.

2 Ekonomi- och miljöbedömningar

För att bygga samhället hållbart behövs smarta och genomtänkta lösningar som har rimlig miljöbelastning och kostnad. Detta kan sammanfattas i rätt produkt på rätt plats, dvs. ett effektivare, mer ekonomiskt och mer resurseffektivt samhälle. För att kunna utvärdera produkter och tjänsters totala kostnads- och miljöpåverkan redan under projektering behövs verktyg för att göra bedömningar, t.ex. livscykelbedömningar. (Levin et al. 2008)

2.1 Livscykelkostnad, LCC

LCC står för Life Cycle Cost, översatt till svenska betyder det livscykelkostnad. LCC kan alltså ta hänsyn till kostnader under en produkts hela livscykel, från det att råvaran utvinns till att produkten blir avfall, vaggas till grav. Vid en investering läggs vanligtvis fokus på investeringskostnaden, men genom att lägga till kostnader för användningsstadiet kan en mer nyanserad bild ges av hela kostnadsutfallet för konstruktionens livscykel. Beroende på vilken del av livscykeln som analyseras definieras livslängden olika, t.ex. från råvaruutvinning till graven eller från det att produkten tillverkas till graven. Om investeringen även inkluderar användningsstadiet kan ekonomiska vinningar göras eftersom hänsyn tas till framtida kostnader och framtida miljöbelastning genom att en längre livslängd kan bidra till minskad resursförbrukning och därmed minskade kostnader. (Levin et al. 2008 Nilson 2001). Som exempel kan en glödlampa illustreras. En lågenergilampa kostar fem gånger så mycket som en vanlig glödlampa, men har tio gånger längre livslängd. Det går alltså åt tio vanliga glödlampor under livslängden för en lågenergilampa. Totala kostnaden för lågenergilampan kommer att bli hälften så stor som kostnaden för den vanliga glödlampan, se figur 2.



Figur 2: Livscykelkostnad för en vanlig glödlampa och en lågenergilampa under 10 år

Det skulle både ligga ekonomiska och miljömässiga vinningar i att använda lågenergilampan. Det visar sig här att det trots en högre investeringskostnad fås en lägre totalkostnad och materialåtgången blir tio gånger lägre. Genom att genomföra en livscykelkostnadsberäkning för en produkt eller tjänst är det lättare att ur ett

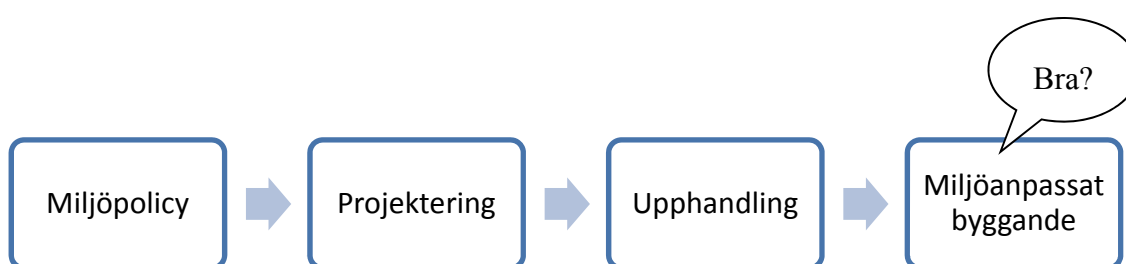
helhetsperspektiv avgöra vad som är bra investeringar ur både ett miljömässigt och ett ekonomiskt perspektiv.

Beräkningarna i LCC omvandlar framtida kostnader till nutid, detta innebär en inneboende osäkerhet i beräkningarna som beror på svårigheter att förutse framtida prisutveckling. LCC ger endast uppskattade kostnader men eftersom att osäkerheten är lika för alla alternativ, då samma livslängd används, kan LCC ändå ge en bra jämförande bild. Ibland kan en känslighetsanalys utföras för att se hur resultatet förändras t.ex. med olika stora prisökningar.

2.1.1 LCC i byggbranschen

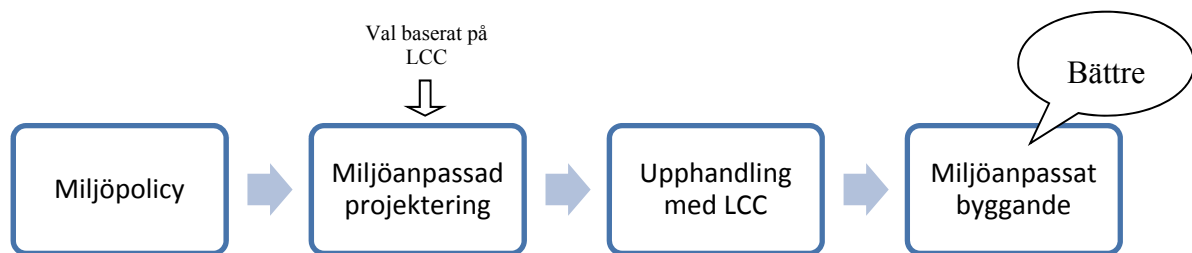
Inom byggbranschen är det viktigt att kunna jämföra kortsiktiga och långsiktiga kostnader för olika alternativ på ett enkelt och effektivt sätt. Detta för att lättare kunna ta beslut om det mest kostnadseffektiva och bästa alternativet och på så sätt skapa kvalitetssäkring och därmed ekonomisk relevans. Användningen av LCC i byggbranschen idag fokuserar till största del på energianvändning i energikrävande installationer. Alltså används LCC oftast för att utvärdera minsta möjliga energianvändning, vilket troligen beror på att det fokus koldioxidemissioner utgör som dominerande miljöbelastning från energianvändningen och de kostnader som är förknippade med hög energianvändning.

I ett projekt finns det ofta både beställare, investerare och förvaltare och dessa är inte alltid samma person eller företag. Detta gör att det inte alltid är prioriterat att överväga framtida kostnader redan under projektering. För att skapa ett hållbart samhälle är det viktigt att tänka både på nutid och framtid, både ekonomiskt och miljömässigt. Vid projektering idag används sällan metoder för att beakta framtida kostnader för t.ex. renovering och underhåll av konstruktionslösningar. I dagens projekt bestäms det oftast i början av projektet att det ska hållas en viss miljöpolicy, sedan när arbetet fortsätter med projektering och upphandling glöms ibland denna miljöpolicy bort. Detta resulterar då i ett miljöarbete som ofta inte hänger med i hela kedjan och viktiga bitar glöms eller prioriteras inte längs vägen, se figur 3. (Bengt Dahlgren AB 2007)



Figur 3: Illustration av hur miljöarbetet oftast bedrivs (Bengt Dahlgren AB 2007)

För att miljöarbetet ska bli hållbart och trovärdigt krävs att miljöarbetet arbetas in i hela kedjan, från idé till förvaltning, detta beskrivs i figur 4.



Figur 4: Illustration av hur miljöarbetet bör bedrivas (Bengt Dahlgren AB 2007)

2.1.2 Användning och procedur i LCC

Kostnadsberäkningar som görs med hjälp av LCC kan användas som beslutsunderlag för att jämföra produkter redan vid projektering och planering (Levin et al. 2008). Det finns idag många sätt att genomföra en LCC på, främst eftersom det finns många olika modeller att följa. Det går även att själv skapa en LCC-modell. Modellerna kan då bli olika avancerade och kan anpassas för ändamålet. Ett exempel på en arbetsmetod för att skapa och beräkna LCC är (Levin et.al 2008):

1. **LCC-modellens omfattning:** Ta reda på vad modellen ska beräkna. Skapa mål och avgränsningar för modellen. En LCC-modell bör vara så enkel som möjligt.
2. **Fastställ LCC-modell:** Skapa en ekvation med de delar som ska ingå i LCC-modellen.
3. **Inventering av data:** Ta fram data för de olika delarna.
4. **Sammanställning:** Genomför LCC-beräkningar. Alla framtida kostnader måste räknas om till nutid för att kunna summeras och jämföras. Omräkningsfaktorer kan bl.a. bero på energiprisökning eller inflation. Det kan vara en hjälp att utforma ett dokument med ekvationer så att samma modell kan användas flera gånger.
5. **Tolkning av resultat:** Efter att LCCn har sammanställts kan målet med LCC-beräkningen analyseras. Det kan t.ex. vara att jämföra två alternativa lösningar eller att göra en budget.

För att jämföra framtida kostnader med nutida måste dessa räknas om till ett jämförbart värde. Detta kan utföras på i huvudsak två sätt, antingen genom att räkna om investeringskostnaden till en årskostnad eller genom att räkna om årskostnaden till ett värde jämförbart med investeringskostnaden. När kostnader räknas om i tid ska kalkylränta ligga som grund och hänsyn tas till eventuell inflation. För att beräkna LCC kan payback-metoden, annuitetsmetoden, internräntemetoden eller nuvärdesmetoden användas (Olsson 2009). Nuvärdesmetoden fungerar bra att använda ihop med LCC eftersom hänsyn tas till att pengars värde förändras över tid. Den ger då en god uppskattning av de totala kostnaderna för produkten. Vid beräkning av LCC jämförs de framtida utgifterna under livslängden för de olika investeringsalternativen. Det alternativ med lägst totalkostnad blir då det mest lönsamma. (Olsson 2009)

2.1.3 LCC-verktyg

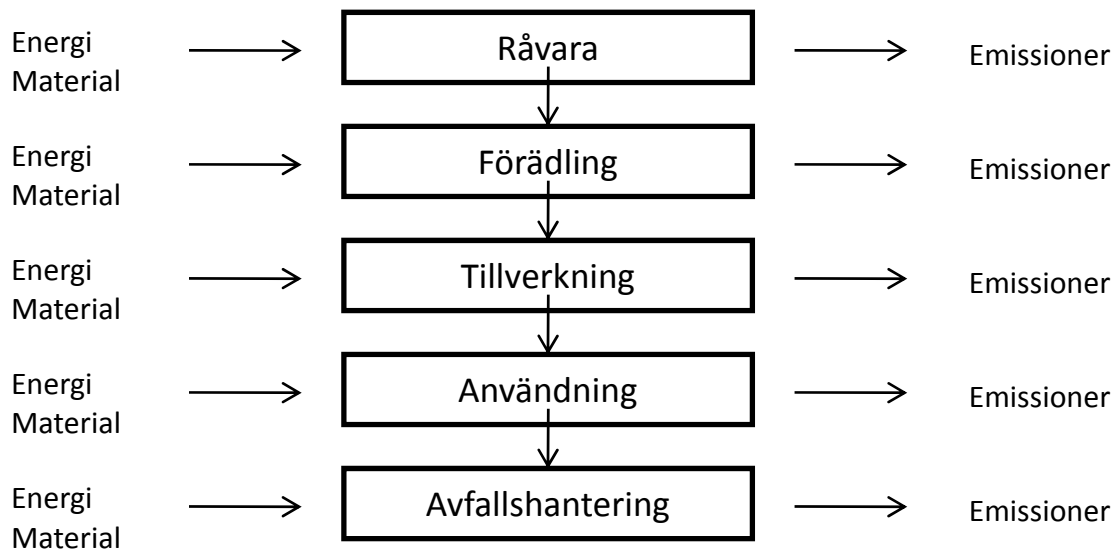
Det finns en standard för LCC (ISO 15686-5 2008), och många företag utvecklar egna modeller. De flesta modeller som finns idag används för att generera val av

installationstekniska komponenter och system (*Levin et al. 2008*). Syftet med en LCC-modell är att kunna ta fram och jämföra olika investeringsalternativs kostnader under en konstruktions livslängd. Största svårigheten med att använda en LCC-modell är att hitta relevant och korrekt indata. Det saknas ofta färdiga tabeller eller liknande där data kan hämtas. Nedan följer några exempel på verktyg som används i byggbranschen idag.

- **Belok**, Beställargruppen lokaler, har utvecklat ett LCC-verktyg som är uppdelat i sex olika kalkyler: generell, pumpar, fläktar, luftfilter, belysningsystem och fönster. Den kalkyl som är mest lämpad för konstruktionslösningar är den generella som tar hänsyn till investerings-, energi-, underhållskostnad och restvärde samt åskådliggör kostnaderna i enkla diagram. Verktöget är webbaserat och gratis att använda. (*Belok 2011*)
- **Kalkylera med LCC_{energi}**, baserat på ENEU 2000, är framtaget av konsultföretaget Bengt Dahlgren AB. Verktöget används för planering, projektering och upphandling av energikrävande installationer och tar hänsyn till investeringskostnaden och framtida driftkostnader. Driftkostnaden uppskattas med hjälp av nuvärdesmetoden till investeringstillfället. I verktöget finns ett blankettsystem som kan användas vid upphandling. (*Nilson 2001*)
- **Älvstranden utveckling AB** har utvecklat ett Excel-blad för LCC-beräkningar för komponenter och hela byggnader. Verktöget behandlar både nuvärdesmetoden och Payback-metoden och redovisar resultaten av beräkningarna i diagramform. De behandlade posterna i beräkningarna är investeringskostnad, reinvestering och byte, löpande drift och underhåll, energi och hyresintäkt/-bortfall. Verktöget användes bl.a. för Hamnhuset i Göteborg. (*Älvstranden utveckling AB 2011*)
- **ED-kalkyl** är boverkets LCC-verktyg för att uppskatta åtgärds-kostnaden i samband med energideklARATIONER. Verktöget är avsett för fastighetsägare och beräknar nuvärde och besparingskostnad för energibesparande investeringar. (Besparingskostnad = det energipris eller den energikostnad som precis ger lönsamhet). (*Ed-kalkyl 2011*)
- **Energimyndigheten** har på sin hemsida ett Excel-verktyg som gör det möjligt att jämföra två olika energikrävande utrustningar med hjälp av nuvärdesmetoden. Verktöget tar hänsyn till investerings-, underhålls-, energi och miljö-kostnad samt restvärde för utrustningen. (*Energimyndigheten 2011*)

2.2 Livscykelanalys, LCA

LCA står för Life Cycle Assessment, direkt översatt betyder det livscykelbedömning. En livscykelbedömning innebär en bedömning av en produkts miljöbelastning. I en LCA analyseras miljöbelastningen, som kommer från ingående processer och resurser från råvaruutvinning, förädling, tillverkning, användning och avfallshantering, från en produkt eller ett tekniskt system, se figur 5, för att beräkna hur stora emissionerna är och hur mycket energi och material som går åt i varje led. I en LCA kan tidsspannet avgränsas till hela livslängden, dvs. från vaggan till graven eller till en del av livscykeln, detta kallas grind till grind.



Figur 5: LCA-modell, flödesschema för en produkts livscykel, mellan varje steg sker ofta transporter (Baumann & Tillman 2004)

Styrkan med LCA är att den kan fokusera på hela processen eller bara vissa utvalda delar, detta gör att den kan användas för att visa var under en produkts livslängd det går åt mest energi eller var emissionerna är störst eller minst. LCA kan också ge underlag för att jämföra olika produkter och system eller att sätta in åtgärder för att förbättra en produkt. Vid tillverkning av vissa produkter kan även energi utvinnas eller andra produkter tillverkas, detta räknas då in som positiva eller negativa utfall i processen. I en LCA tas ingen hänsyn till risker, inte heller ekonomiska och sociala aspekter tas normalt med i beräkningarna. (Baumann & Tillman 2004)

2.2.1 Användning och procedur i LCA

När en LCA genomförs finns det fyra tydliga steg att följa för att få fram bästa resultat av analysen. (ISO 14040 2006, Baumann & Tillman 2004)

1. **Mål och omfattning:** Definiera syftet med analysen. Ta fram frågeställning, avgränsningar, antaganden och metod för datainsamling. Fastställ vilka miljöparametrar som ska finnas med. En funktionell enhet bestäms som gör det möjligt att jämföra de olika parametrarna. Analysens omfattning bestäms, vagga-grav, vagga-grind eller annan passande avgränsning. Efter dessa beslut görs ett förenklat flödesschema där de huvudsakliga processerna noteras.
2. **Inventering av material- och energiflödesanalys:** Inventera data för de in- och utflöden av material och energi som finns. Detta sammanställs i ett detaljerat flödesschema.
3. **Miljöpåverkansbedömning:** De insamlade uppgifterna ska här bedömas. Det finns olika sätt att bedöma miljöpåverkan, t.ex. genom kvantitativ viktning eller kvalitativ bedömning med hjälp av expertpanel.
4. **Tolkning av resultat:** I detta sista steg sätts uppgifterna och bedömningen i relation till de mål som kan tänkas finnas, t.ex. politiska mål. Den tolkas också utifrån den omfattning som bestämdes för LCA:n i steg ett.

2.2.2 Viktning och viktningssmodeller

Viktning av en LCA sker under miljöpåverkansbedömningsfasen. Att vikta går ut på att alla de resurser och utsläpp processen skapar bedöms utefter vilken typ av miljöpåverkan de ger upphov till. Med hjälp av denna bedömning kan de kategoriseras och delas in i grupper som står för de olika typerna av miljöpåverkan. För att få fram ett värde eller en betydelse för dessa miljöpåverkanskategorier används olika viktningssfaktorer eller olika typer av viktningssmodeller. (Baumann & Tillman 2004). Exempel på två befintliga viktningssmetoder ses nedan.

- **EPS2000:** EPS står för Environmental Priority Strategies in product design. Metoden har fokus på fem skyddsåtgärder; människors hälsa, ekosystemets produktionskapacitet, biologisk mångfald, abiotiska resurser och vissa kultur- och rekreationsvärden. EPS använder "betalningsvilja" för att sätta värde på dessa åtgärder. Betalningsvilja innebär att priset på miljöpåverkan sätts efter vad marknaden är villig att betala för att undvika de negativa effekterna av miljöpåverkan. (Baumann & Tillman 2004)
- **Environmental Theme, ET:** Denna metod innebär att en tematisk klassificering och karakterisering görs för olika miljöpåverkan. Olika tema i ET är oftast föroreningar och utarmning av resurser. Från början bedömdes dessa effekter av expertpanel, men den svenska versionen bedömer istället efter miljömålen i den svenska miljöpolitiken. Eftersom miljömål har en relativt kort gällandeperiod, fem till tio år, har det utvecklats två typer av ET, ET-kort och ET-lång. ET-lång bedöms istället med hjälp av maximalvärden inom den region miljöpåverkan sker. (Baumann & Tillman 2004)

2.3 Hållbart byggande på COWI

På COWI finns en tydlig plan för deras arbete med hållbart byggande. I planen finns beskrivet att COWIs lösningar ska vara ekonomiskt försvarbara, miljömässigt riktiga och att de som konsulter ska råda kunder till socialt ansvarstagande. Bl.a. ska de jobba utifrån Nyttan – Värde – Kostnad, där LCC ska vara en del.

- Nyttan innebär att produkten väljs utifrån den funktion produkten ska fylla, dvs. att i första hand läggs fokus på vad produkten är menad att utföra och därefter beslutas vilken typ av produkt som kan utföra detta.
- Värdet avser de för- och nackdelar som lösningen har. För- och nackdelarna värderas utifrån beständighet, enkelhet och miljömässig riktighet (beskrivs i kapitel 3.2.1).
- Kostnad ska se till totalekonomin i lösningen, dvs. kortsiktiga och långsiktiga kostnader. Detta utvärderas med hjälp av LCC vilket bidrar till ekonomisk försvarbarhet (beskrivs i kapitel 3.2.1).

Idag används LCC-beräkningar på COWI endast för energikrävande installationer, som exempelvis luftbehandlingsaggregat. LCC-metoden som används är verktyget Kalkylera med LCC_{energi} men COWI har en önskan om att använda LCC till fler områden. Detta gäller främst för konstruktionslösningar som behandlas i denna rapport. (Wenander, COWI 2011) Kalkylera med LCC_{energi}, baserat på ENEU 2000, är en metod som kan användas vid upphandling och projektering av energikrävande installationer. Den syftar till att främja ekonomisk hållbarhet och långsiktigt tänkande genom att förutom beräkning av investeringskostnad även ta hänsyn till driftkostnader. (STEM). (Nilson 2001)

3 Metod

Rapporten baseras på litteraturstudier och intervjuer som genomförts i början av arbetet samt under projektets gång. Relevanta rapporter, artiklar och böcker studeras med fokus på hållbar utveckling, LCC och LCA. För att få ytterligare underlag genomförs enkätundersökningar och intervjuer på COWI om hur de arbetar idag och hur de vill arbeta i framtiden med hållbar utveckling.

3.1 Process och utgångspunkt för arbetet

Utgångspunkt för detta arbete är att ta fram en arbetsmetod som kan hjälpa COWI i deras arbete med hållbar utveckling. Metoden ska fokusera på miljö och ekonomi och ska kunna användas för att jämföra olika alternativ till konstruktionslösningar utifrån hållbarhetsaspekter som ligger i linje med COWIs hållbarhetsarbete. Deras önskemål är att metoden ska kunna arbetas in i deras rutiner så att de i sitt dagliga arbete ska kunna säkerställa en rimlig kostnad och låg miljöbelastning av konstruktionslösningar. För att få med hållbarhetsaspekterna i arbetsmetoden utformas den som en checklista som ska vara enkel för konstruktörerna att genomföra så att de kan använda den i sitt dagliga arbete. För att ta hänsyn till kostnader ingår ett LCC-verktyg i checklistan.

Med utgångspunkt från COWIs önskemål väljer vi att utöver LCC även studera LCA för att kunna utvärdera miljöbelastningen. Eftersom både LCC och LCA analyserar produkter och tjänsters livscykler tycker vi att de är representativa för syftet att ta fram en arbetsmetod som fokuserar på hållbar utveckling. Vi väljer även att använda dessa för att göra en jämförelse mellan miljö och ekonomi för att se vilka likheter och skillnader som finns när olika metoder används för att sätta värde på livscykeln. Utifrån detta formulerar vi vårt syfte. För att utvärdera om arbetsmetoden fungerar planerar vi att utföra LCC- och LCA-beräkningsexempel för två alternativa konstruktionslösningar. Beräkningarna kommer även användas som underlag för att göra jämförelsen mellan miljö och ekonomi.

Dataunderlaget till studien består av litteraturstudier, beräkningar och intervjuer. På COWI genomförs enkätundersökningar och intervjuer vilka utvärderades med fokus på LCC, LCA och hållbar utveckling. Hållbarhetsaspekterna tas fram utifrån COWIs arbete med hållbar utveckling, LCC, LCA samt samhällets strategier för hållbar utveckling. På COWI finns idag en LCC-modell som används för energikrävande installationer, denna kommer användas som underlag för vår LCC-modell.

3.1.1 Litteraturstudie

Sökord som används för att finna litteratur är LCC, LCA, underhåll, drift, energi, transmission, infiltration, förluster, energipris, kostnader, framtida kostnader, nuvärde, investering, reinvestering, demontering, rivning, avfall, miljöavgifter, livslängd, beständighet, hållbar utveckling, ekonomi och value engineering. Dessa sökord är representativa för de fakta som behövs för att kunna svara på frågeställning och syfte. Sökorden används i databaserna Google Scholar, Libris och Artikelsök.

Fakta till LCA-kapitlet hämtas främst från boken *Hitch hikers guide to LCA*. Denna information kompletteras och styrks genom ISO-standarden för LCA och information

från Internetkällor. Som underlag till LCA-beräkningarna används en befintlig LCA-studie för två stomtyper. Alla data till beräkningarna är hämtas från denna rapport.

Underlag till fakta om LCC hämtas genom studier av befintliga LCC-modeller och -verktyg. Övrig fakta hämtas från ISO-standarder, internetkällor, artiklar, böcker om bl.a. byggteknik samt rapporter. Indata till LCC-beräkningarna hämtas från litteratur för respektive område.

Investeringskostnader hämtas från Sektionsfakta NYB, underhållskostnader hämtas från Repab – Underhållskostnader, reinvesterings- och demonteringskostnader hämtas från Sektionsfakta ROT och Repab – Underhållskostnader.

3.1.2 Intervjuer

Intervjuer med personer inom byggbranschen genomförs via möten, telefon och mailkontakt. Frågor som ställs berör områdena LCC, LCA, hållbar utveckling samt hur dessa påverkar byggbranschen. Faktaunderlag och information framkommer även under diskussioner, enkätundersökningar och intervjuer med personer på COWI. Dessa diskussioner tar upp redan insamlad fakta och bedömer den samt COWIs syn på LCC, LCA, hållbar utveckling och hur dessa påverkar byggbranschen.

För att få underlag till vår LCC-modell genomför vi två enkätundersökningar, en på husbyggnadsteknik och en på installationsteknik på COWI vilka ses i bilaga 4. Frågorna i enkäterna tas fram i samråd med Anna Wenander, vår handledare på COWI. Avdelningscheferna på respektive avdelning kontrollerar och diskuterar även innehållet i enkäterna med oss. Det är viktigt att frågorna i enkäterna är ställda på sådant sätt att svaren går att utvärdera mot vår LCC-modell.

Enkätundersökningen till husbyggnadsteknik görs för att få en bild av hur byggkonstruktörerna på avdelningen väljer material idag. Frågorna är vinklade mot de delar som finns representerade i LCC-modellen och lämnas till ett 20-tal personer. Anledningen till enkäten är att ta reda på om det redan idag finns ett LCC-tänk på COWI, vi vill även utvärdera:

- om vi valt rätt delar i vår modell.
- om konstruktörerna arbetar på samma sätt och om det skulle behövas riktlinjer och arbetsmetoder för att göra materialval.

Enkäten på installationsteknik behandlar hur det är att arbeta med LCC_{energi} och hur arbetet med LCC fungerar idag på COWI. Därutöver vill vi också

- få en uppfattning om hur det fungerar att använda LCC på ett konsultföretag.
- öka vår egen förståelse för LCC-metoden som vi utgått från vid utformning av vår LCC-modell.

För att utvärdera och analysera om och hur vår arbetsmetod fungerar genomförs en standardiserad intervju på COWI, efter att den godkänts av avdelningschefen. Konstruktörer läser igenom arbetsmetoden och försöker tänka sig in i att använda den i det dagliga arbetet. Vi ställer sedan frågorna:

- Skulle denna arbetsmetod vara användbar i ditt arbete?
- Är frågorna passande för ditt arbete?
- Skulle arbetsmetoden hjälpa dig i ditt arbete?
- Saknas någon del i denna arbetsmetod?
- Behöver någon fråga ändras eller utvecklas?

- Är det lätt att förstå vad och hur du ska göra?
- Är det lätt att förstå frågorna?
- Finns det någon liknande arbetsmetod eller checklista sedan innan?

3.2 Arbetsgång för arbetsmetod

Utgångspunkten för arbetsmetoden är att den ska ligga i linje med COWIs syn på hållbar utveckling. Utifrån analysen av enkätundersökningens, som ger underlag för hur COWI arbetar idag, LCC, LCA och samhällets strategier för hållbar utveckling tar vi fram hållbarhetsaspekter. Med hjälp av dessa hållbarhetsaspekter skapar vi en checklista som konstruktörerna ska kunna använda i sitt dagliga arbete för att säkerställa hållbara konstruktionslösningar. Konstruktörerna får läsa igenom checklistan, som arbetsmetoden består av, och försöka tänka sig in i hur de skulle ha nytta av den i arbetet. Efter detta får de svara på de frågor vi tycker är lämpliga för att utvärdera metoden vilka kan ses ovan i kapitel 3.1.2.

3.2.1 Utgångspunkter för arbetsmetoden

Utgångskriterier för arbetsmetoden är att den ska vara enkel och kostnadseffektiv så att den kan användas i det dagliga arbetet dvs. lätt att använda, överskådlig och leda till att minimera fel. Underlaget för metoden är enkätundersökningarna litteraturstudien samt sambandet *Nytta – Värde – Kostnad*, vilket beskrivs i kapitel 2.3, som COWI använder i sitt hållbarhetsarbete.

Utifrån detta tas nedanstående hållbarhetsaspekter fram utifrån vilka checklistan skapats.

- **Beständighet:** Med beständighet menar vi att funktion, stadga och bärförmåga ska upprätthållas under konstruktionslösningens hela livslängd.
- **Enkelhet:** Med enkelhet syftar vi på att konstruktionen ska vara lätt att bygga, förvalta, bruka, riva och återvinna.
- **Miljömässig riktighet:** Syftar till att utvärdera konstruktionslösningens miljöpåverkan baserat på sakområdena representerade i miljöklassningssystemen LEED och Breeam (*SGBC 2011*). Av dessa områden väljer vi ut de som direkt går att applicera på konstruktionslösningar:
 - **Material och kemikalier:** Konstruktionslösningen ska bestå av bra material som uppfyller lagar, förordningar och de krav kunden ställer dvs. att val av material utförs med målsättningen att undvika farliga kemikalier.
 - **Avfall:** Konstruktionslösningens byggavfallsmängd skall minimeras och uppfylla gällande lagstiftning. Avfallet ska också vara lätt att sortera i de fraktioner som finns på arbetsplatsen.
 - **Energi:** Konstruktionslösningen ska medverka till att transmissions- och infiltrationsförlusterna är låga vilket minskar energianvändningen för byggnaden.
 - **Inomhusmiljö:** Konstruktionslösningen ska uppfylla lagar och krav samt bidra till god inomhusmiljö med avseende på bl.a. låg reflektion, låg emittans, låg påverkan från elektromagnetiska fält, minskat buller och behaglig temperatur.

- **Ekonomisk försvarbarhet:** Genom att använda sambandet Nyttä – Värde – Kostnad i projekteringsarbetet effektiviseras produkter vilket ger rätt produkt på rätt plats och optimerad kostnad dvs. att göra smarta investeringar. Det innebär också att en högre kostnad kan motiveras om t.ex. funktionen eller användbarheten är bättre än för ett annat alternativ. Används LCC för att beräkna totalkostnader skapas mervärde genom att val kan göras som minskar totalkostnaden och miljöpåverkan.

3.2.2 Antaganden och utgångspunkter för LCC-modellen

LCC-modellen vi tar fram utformas utifrån den redan befintliga LCC-modellen ”kalkylera med LCC_{energi} ”:

$$LCC_{TOT} = \text{Grundinvestering} + LCC_{\text{ENERGI}} + LCC_{\text{UNDERHÅLL}} + LCC_{\text{MILJÖ}} - \text{Restvärdet}$$

Eftersom modellen inte är utformad för konstruktionslösningar modifierar och anpassar vi den med hjälp av COWIs hållbarhetsarbete och hur de vill arbeta. Vi studerar även andra modeller för jämförelser. Utifrån detta tar vi fram kostnadsområden representativa för konstruktionslösningars livscykel; grundinvestering, energi, underhåll, reinvestering och demontering vilka beskrivs nedan. De olika delarna representerar delar av livscykeln. Grundinvesteringen sker vid produktens vagga. Energi, underhåll och reinvestering sker under användningsfasen och demontering representerar graven. På detta sätt representeras hela produktens livslängd och kostnader kan sättas på varje post. Med hjälp av dessa områden skapas LCC-modellen.

Grundinvestering: Grundinvesteringen definieras som kostnaden för anskaffningsvärdet, dvs. från idé till färdig byggnad. Denna kostnad har hittills i stor grad styrts vad som byggs och hur det byggs. Det finns programvara som beräknar investeringskostnaderna genom att uppskatta kostnader utifrån erfarenhet och standardprislister med uppgifter för t.ex. bygg-, el- och VVS-branschen. Exempel på program är Wikells sektionsdata, MAP CalcFrame och CalcNet, där det sistnämnda är ett verktyg för att göra grova investeringsanalyser (Viklund Tallgren 2011). Det finns också tabellverk t.ex. Wikells sektionsfakta där priser kan hämtas.

Energi: I energikostnader ingår kostnader för värmeförluster orsakade av transmissions- och infiltrationsförluster eftersom de är direkt kopplade till konstruktionslösningen (Petersson 2008). En ökad investeringskostnad för energibesparande åtgärder i byggskedet betalas tillbaka med sänkt energikostnad under användningsfasen. En viktig faktor är framtida energipriser, där den förväntade procentuella energiprisökningen rimligtvis bestäms av beställaren och beräknas genom att nusummefaktorn justeras med hänsyn till den bestämda energiprisökningen enligt bilaga 2.

- **Transmission:** Transmission innebär att det sker värmetransport mellan varmt inomhusklimat och kallt utomhusklimat. Storleken på värmetransporten bestäms av skillnaden mellan ute- och innetemperaturen och byggnadens isoleringsförmåga. Vid beräkning av transmissionsförluster ska även hänsyn tas till köldbryggor. (Petersson 2008), (Anerlind 2004, Elmroth 2007, Petersson 2008)

- Infiltration: Infiltration innebär värmeförluster p.g.a. läckage av kall uteluft genom klimatskärmen, i ett otätt hus kan infiltrationen även ge upphov till drag. Extra energi krävs för att kompensera för den värmeförlust som läckaget orsakat. Noggranna mätningar och tester tidigt i byggstadiet är viktigt för att kunna bedöma hur infiltrationen påverkar energiförbrukningen och för att kunna göra ändringar i detaljlösningen för konstruktionen. (Elmroth 2007, Petersson 2008)

Underhåll: Underhåll definieras som åtgärder med syfte att återställa en byggnad eller ett objekt till ursprunglig standard och att upprätthålla byggnadens eller objektets funktion. Kostnader för planerade framtida underhåll kan hittas i tabellverk som t.ex. Repab – Underhållskostnader. Kostnaderna omräknas till nutid med hjälp av en nuvärdesfaktor. Uppkommer samma underhållsåtgärd flera gånger under livslängden måste en nuvärdefaktor tas fram för varje år underhållsåtgärden sker.

Reinvestering: Reinvestering definieras som att konstruktionslösningen eller en del av den inte längre fyller sin funktion tillräcklig bra och därmed saknas anledning till fortsatt underhåll, dvs. avveckla och byta ut. I början av en LCC måste livslängden definieras, ligger reinvesteringen inom tidsramen för livslängden inkluderas åtgärderna i beräkningarna. Tabellverk för reinvesteringkostnader finns i t.ex. Sektionsfakta, Sektionsdata och Repab – Underhållskostnader. Uppkommer samma reinvesteringstyp flera gånger under livslängden måste en nuvärdefaktor tas fram för varje år reinvestering sker.

Demontering: Demontering definieras som då en investerings tekniska livslängd tar slut. Vid denna tidpunkt behövs troligtvis någon form av åtgärd för att antingen förlänga livslängden eller demontera konstruktionen. Förutom kostnaden för arbetet med demonteringen kommer den troligtvis även resultera i avfall som måste tas om hand och som även det är belastat med en kostnad. Priser för både demontering och avfall finns i olika tabellverk och databaser, t.ex. Sektionsfakta – ROT och sektionsdata.

3.3 LCC och LCA för trä- och betongvägg

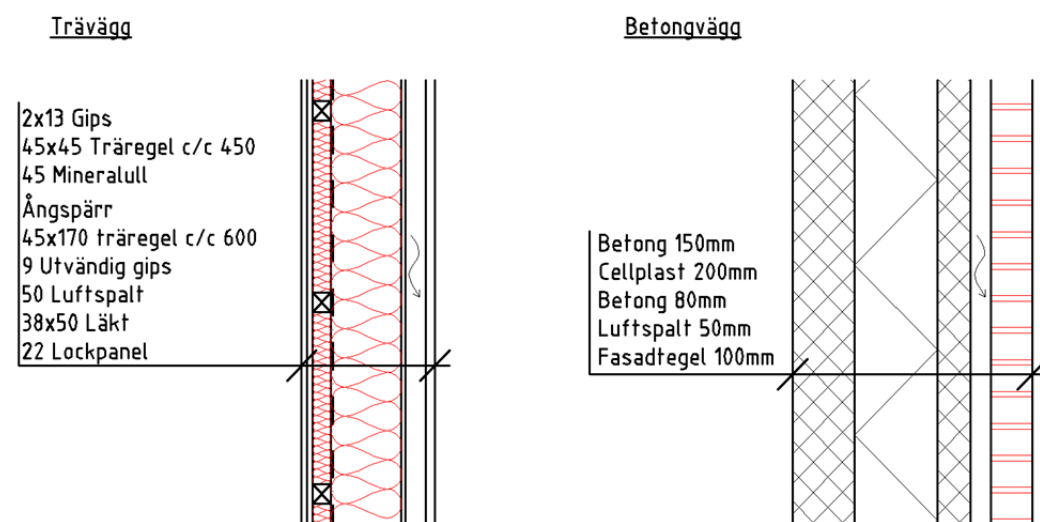
LCC-beräkningarna genomförs på två typiska väggkonstruktioner som är vanliga vid husbyggnad. För att få skillnad i LCC-resultatet väljer vi fasadmaterial som har olika beständighet och därmed behöver olika intervall för underhåll och reinvestering för att se hur mycket det påverkar resultatet. Vi vill även att investeringskostnaderna ska vara olika så att en jämförelse kan visa på om det lönar sig att lägga mer pengar på investering och mindre under livslängden. Utgångspunkten för LCA-beräkningarna är en rapport om LCA-jämförelser för en trästomme och en betongstomme (Björklund & Tillman 1997). Uppbyggnad och materialinnehåll för väggkonstruktionen är lika i LCA och LCC beräkningar vilket gör jämförelsen möjlig. LCA-viktningen utförs enligt Björklund & Tillman 1997 och Baumann & Tillman 2004.

3.3.1 Ingångsdata för LCC-beräkningen

LCC-beräkningarna utförs på två typiska väggar, en utfackningsvägg med trästomme och träfasad och en prefabricerad sandwichvägg av betong med tegelfasad, se figur 6. Utgångspunkten för väggarnas konstruktion är att de ska ha ett U-värde = 0,15. För att

LCC-beräkningen ska vara lätthanterlig och inte innehålla för många beräkningssteg bortses följande från:

- Kostnader för energiåtgång, arbete, materialåtgång samt andra kostnader vid tillverkning av materialen
- Transporter av materialet i de fall de inte ingår i färdiga indata
- Eventuella miljöavgifter för olika material i konstruktionslösningar



Figur 6: Ritning av de två olika väggtyperna

Den funktionella enheten för beräkningarna sätts till 1 m² vilken är tagen mitt på ytterväggen. Detta innebär att hänsyn inte tas till fönster, dörrar, anslutningar och andra delar än de som ingår i denna kvadratmeter. Priser hämtats från:

- Wikells sektionsfakta - NYB 10/11 (Grundinvestering)
- Wikells sektionsfakta – ROT 09/10 (Reinvestering, Demontering)
- Repab Underhållskostnader 2010 (Underhåll)

Beräkningar för transmission och infiltration utfördes med hjälp av kända formler, enligt bilaga 1. Ekonomiska beräkningar utförs med nuvärdesmetoden.

Antaganden:

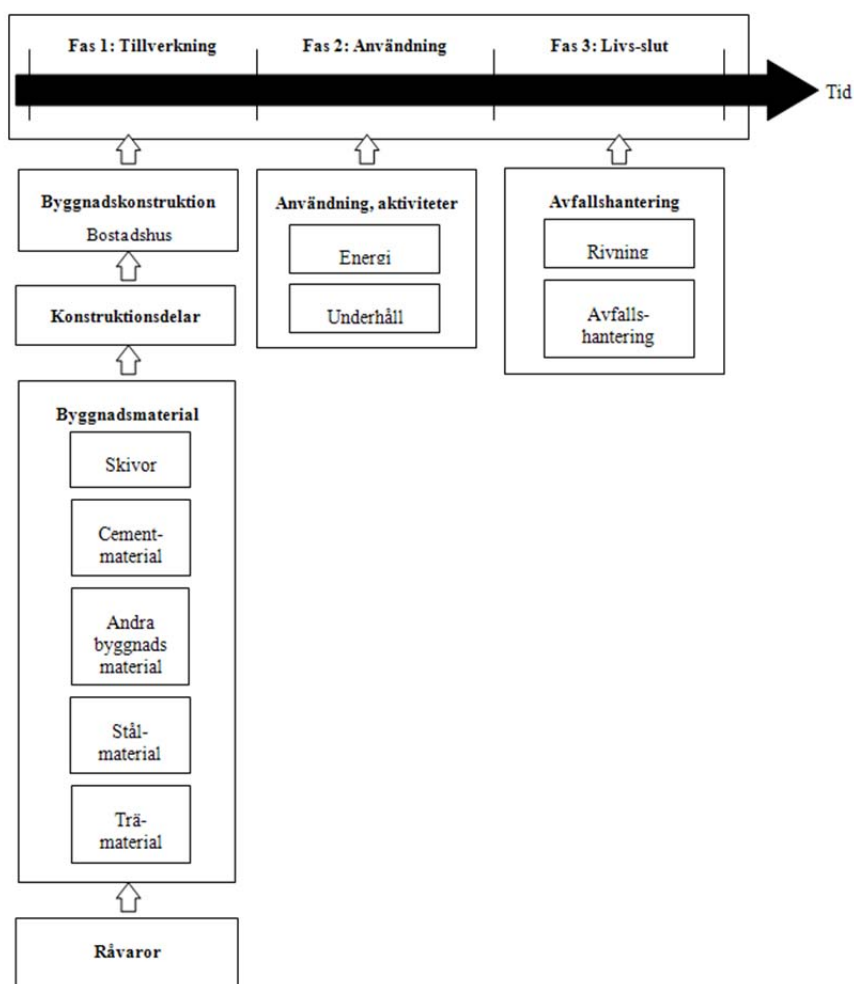
- Ekonomiska livslängden för byggnaderna väljs till 50 år
- Byggnaden planeras ligga i Göteborg.
- Areal = 1 m²
- Real kalkylränta sätts till 7 %.
- Antagen värmekälla: fjärrvärme.
- Energipriset sätts till 74,7 öre/kWh, medelvärde för 2010 i Sverige (Svensk Fjärrvärme AB).
- Energiprisökningen sätts till 4 %.
- U-värde = 0,15
- U-värdet korrigeras för köldbryggor med ett påslag av 5 % enligt bilaga 1.
- Luftläckage_{50Pa} = 0,6 l/s m²

3.3.2 Ingångsdata för LCA-beräkningen

Viktningen genomförs enligt Björklund och Tillmann 1997 för stommar i bostadsbyggnader (Björklund 1997) enligt metoderna EPS2000 och Environmental Theme, vilka finns beskrivna i kapitel 2.2.2. Två olika väggtyper studeras från råvaruutvinning till avfall för att jämföra miljöbelastningen under livscykeln, en trästomme och en prefabricerad betongstomme. Problemformuleringen i studien är:

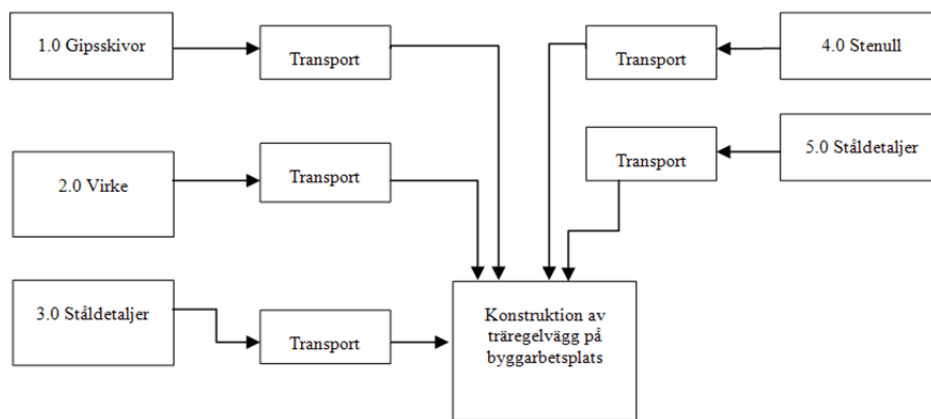
- Användning av råmaterial
- Energiförbrukning
- Emissioner till luft, vatten och mark
- Avfall

Studien är uppdelad så att varje del av livscykeln är en LCA, vilket resulterar i tre faser, tillverkning, användning, och livs-slut. Därefter har faserna delats in i delsystem, se figur 7.



Figur 7: Struktur av data för studien (Björklund 1997)

Figur 8 är ett exempel på hur ett flödesschema konstruerats för konstruktionen av en invändig vägg. På detta sätt har studien analyserat de ingående aktiviteterna och materialen för tillverkning av varje konstruktionsdel med avseende på de miljöaspekter som listats ovan.



Figur 8: Exempel på flödesschema för konstruktion av invändig vägg (Björklund 1997)

Konstruktionerna i studien (Björklund och Tillman 1997) representerar stommar som normalt används i bostadshus. Ingående material i stommarna listas nedan.

- Trä-stomme:
 - Träbjälklag
 - Bärande träregelvägg
 - Bärande invändig regelvägg
 - Invändig regelvägg
 - Murbruksfasad
- Prefabricerad betongstomme:
 - Håldäcksbjälklag, belagda med betongyta.
 - Prefabricerad bärande utvändig vägg med betongfasad
 - Invändig regelvägg, c/c 2400.

Den funktionella enheten är en genomsnittlig, horisontell kvadratmeter golvyta. Följande byggnadsdelar är inkluderade i den volym som definierats för stommarna:

- Bjälklag
- En invändig rumsavskiljande vägg och en invändig vägg som separerar korridoren och rummet.
- Två utvändiga väggar.

Nedan beskrivs miljöaspekterna som inkluderats i studien.

- **Tillverkning:** Konstruktionsmaterialens ingående resurser, energiförbrukning, emissioner och avfall till följd av tillverkningen. Vid tillverkning av material och aktiviteter längre ned i kedjan än byggarbetsplatsen har transport av anställda och utrustning för tillverkning exkluderats i beräkningarna. Därför tas inte heller likande transporter för byggarbetsplatsen med i beräkningarna för LCCn. För energianvändning i tillverkningsfasen ingår:
 - Tillverkning av material Användning av utrustning och alla transporter på byggarbetsplatsen
 - Fuktreduktion i byggd konstruktion
 - Tillfällig belysning på byggarbetsplatsen samt belysning och uppvärmning i bodar.
- **Användning:** Miljöbelastningen för användning av byggnaden inkluderar energiförbrukning, resursanvändning, emissioner och avfall för användning

som kan kopplas till stommen. För energianvändning i användningsfasen ingår:

- Drift: uppvärmning, nedkylning, varmvattenproduktion, belysning, ventilation, styrteknik
- **Livs-slut:** Miljöbelastningen för rivning och avfallshantering redovisas med hjälp av energiförbrukning, resursanvändning, emissioner och avfall. Stommaterialet antas resultera i fyllningsmassor, stålskrot och bränsle. För energianvändning livs-slut ingår:
 - Transport och användning av maskiner på rivningsplatsen.

3.4 Analysstrategi

För att utvärdera resultaten jämför vi beräkningarna så att vi kan göra en jämförelse mellan miljö- och ekonomiaspekter. För att utvärdera om den framtagna arbetsmetoden är tillämpningsbar i det dagliga arbetet testas vi den på konstruktörer på COWI som därefter får svara på frågor. Vi analyserar även LCC-beräkningsexemplet.

3.4.1 Arbetsmetodens tillämpbarhet

Resultatet från den standardiserade intervjun (kap 3.1.2) bland COWIs konstruktörer analyseras efter frågan:

- Skulle arbetsmetoden gå att använda på COWI, av COWIs byggkonstruktörer, i det dagliga arbetet?

För att utvärdera den utvecklade LCC-modellen analyseras resultatet av beräkningsexemplet. Beräkningarna är genomförda på två väggtyper och resultaten analyseras var för sig och jämföras med varandra. Analysen av väggtyperna var för sig fokuserar på att utvärdera om beräkningarna saknar något och om de behöver kompletteras i modellen. Jämförelsen mellan väggtyperna används främst för att jämföra de olika livsfaserna väggarna emellan. Frågor som besvaras med hjälp av detta är:

- Vilka livsfaser har störst inverkan på kostnaderna?
- Är de lika för båda väggarna?
- Vilken väggtyp har högst totalkostnad?
- Vad beror detta på?
- Vilken väggtyp har högst kostnad under varje livsfas var för sig?
- Vad beror detta på?
- Hur skulle resultatet kunna blivit annorlunda?

3.4.2 Likheter och skillnader mellan miljö- och ekonomiaspekter i LCC och LCA

För att göra jämförelsen mellan vilka likheter och skillnader som finns mellan ekonomi och miljö utgår vi från LCC- och LCA-beräkningarna. Resultaten av de två beräkningsmetoderna sammanställs och normaliseras för att denna jämförelse ska bli möjlig. Normaliseringen görs med anledning av att värdena i de olika metoderna inte är direkt jämförbara med varandra. De normaliserade värdena ställs upp i ett diagram

för att ge en överblick på skillnaderna mellan livsfaserna. Vi beräknar procentuellt skillnaderna mellan livsfaserna i varje metod för sig för att sedan kunna jämföra dessa värden. Detta visar då likheter och skillnader mellan metoderna. Frågor som besvaras med hjälp av denna jämförelse är:

- Vilka skillnader finns det i jämförelsen?
- Vilka likheter finns?
- Hur tar metoderna hänsyn till ekonomi och miljö?
- Är miljöbelastning = kostnadsbelastning?
- Fungerar metoderna var för sig eller måste de användas tillsammans?

4 Resultat

Resultatet är uppdelat i tre delar; arbetsmetoden, resultat av LCC-beräkningar samt sammanställning av LCC- och LCA-resultat. I den första delen redovisas konstruktörernas uppfattning om arbetsmetoden och dess användbarhet. I resultatet av LCC-beräkningarna redovisas hur LCC-modellen fungerar på konstruktionslösningar och i sammanställningen av LCC- och LCA-resultaten redovisas jämförelsen mellan miljö- och ekonomiaspekterna.

4.1 COWIs arbetsprocess för hållbara konstruktionslösningar

Responsen från konstruktörerna är att majoriteten anser att arbetsmetoden generellt är både enkel och användbar i deras arbete och att frågorna i checklistan är anpassade till arbetsuppgifterna. I vissa avseenden behöver arbetsmetoden anpassas och kompletteras för att passa in i system och rutiner.

4.1.1 Resultaten från installationsteknik

Resultatet från enkätundersökningen på avdelningen för installationsteknik som använts som underlag till arbetsmetoden visar att de installationstekniker som använder LCC-beräkningar gör det i 75-100 % av uppdragen. Beräkningarna görs ofta med färdiga formulär som BELOK eller Energimyndighetens men kundens egna krav och modeller används också. Kunddrivna krav på LCC-beräkningar varierar, men installationsteknikerna ser en ökande trend i att använda LCC och de rekommenderar kunder att använda LCC i 50-100 % av sina uppdrag.

Installationsteknikerna ser fördelar med LCC genom att det uppmuntrar långsiktigt tänkande framför kortsiktigt. De uppfattar också LCC som ett bra verktyg för att jämföra olika investeringsalternativ och motivera investeringar. De negativa sidorna av LCC anses vara att antaganden om t.ex. framtida energipriser och svårigheter att hitta bra indata till beräkningarna.

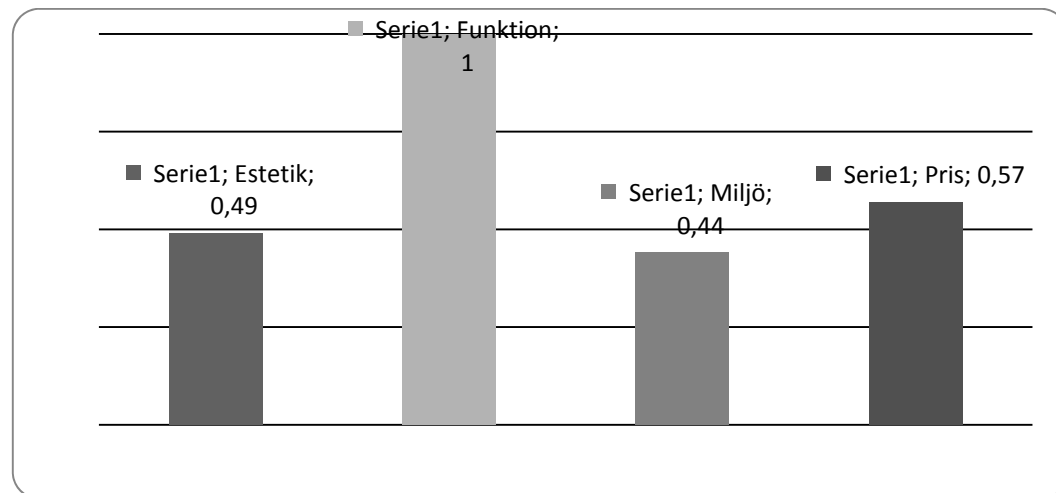
4.1.2 Resultaten från Husbyggnadsteknik

På frågan ”Använder du sambanden Nyttä – Värde – Kostnad när du projekterar?” svarade 47 % av konstruktörerna ja. En förklaring till resultatet kan vara att de inte vet vad uttrycket innebär men ändå arbetar på detta sätt. Av de tillfrågade konstruktörerna anser sig 65 % veta vad LCC innebär även om ingen av de tillfrågade har utfört någon LCC-beräkning.

I dagsläget saknas verktyg för att beräkna LCC för husbyggnadskonstruktioner på COWI. Däremot används andra verktyg som tar hänsyn till miljöpåverkan från olika material, t.ex. Basta, Sundahus och Byggvarubedömningen. Även COWIs avdelning för Miljö, risk och säkerhet, MRS, hjälper konstruktörerna.

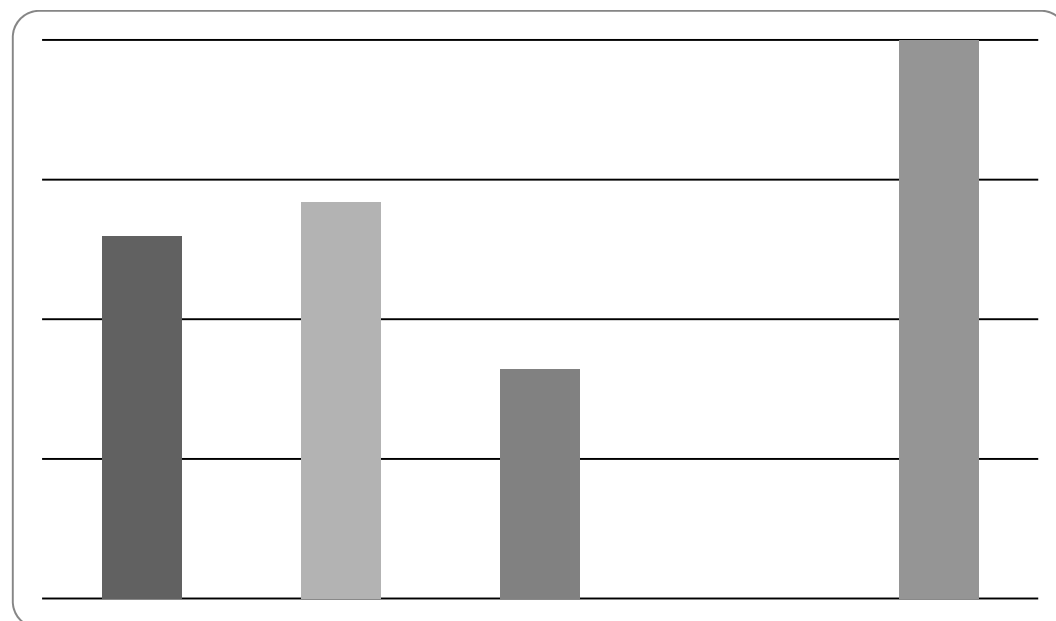
4.1.3 Konstruktörernas prioriteringar

Relationen till Nytt – Värde – Kostnad visar att konstruktionens funktion prioriteras högst, i övrigt är de individuella svaren från konstruktörerna mycket olika, figur 9.



Figur 9: Diagram över prioriteringsordning vid val av konstruktionslösning

Estetik, miljö och pris prioriteras totalt sett ganska lika trots att de individuella svaren skiljer sig mycket. Förutom att funktion prioriteras högst finns alltså inget gemensamt sätt att prioritera. En fråga handlade om att se vilka av alternativen i figur 10 konstruktörerna tänker på när de projekterar. Alternativen motsvarar de olika tänkta posterna i LCC-modellen.



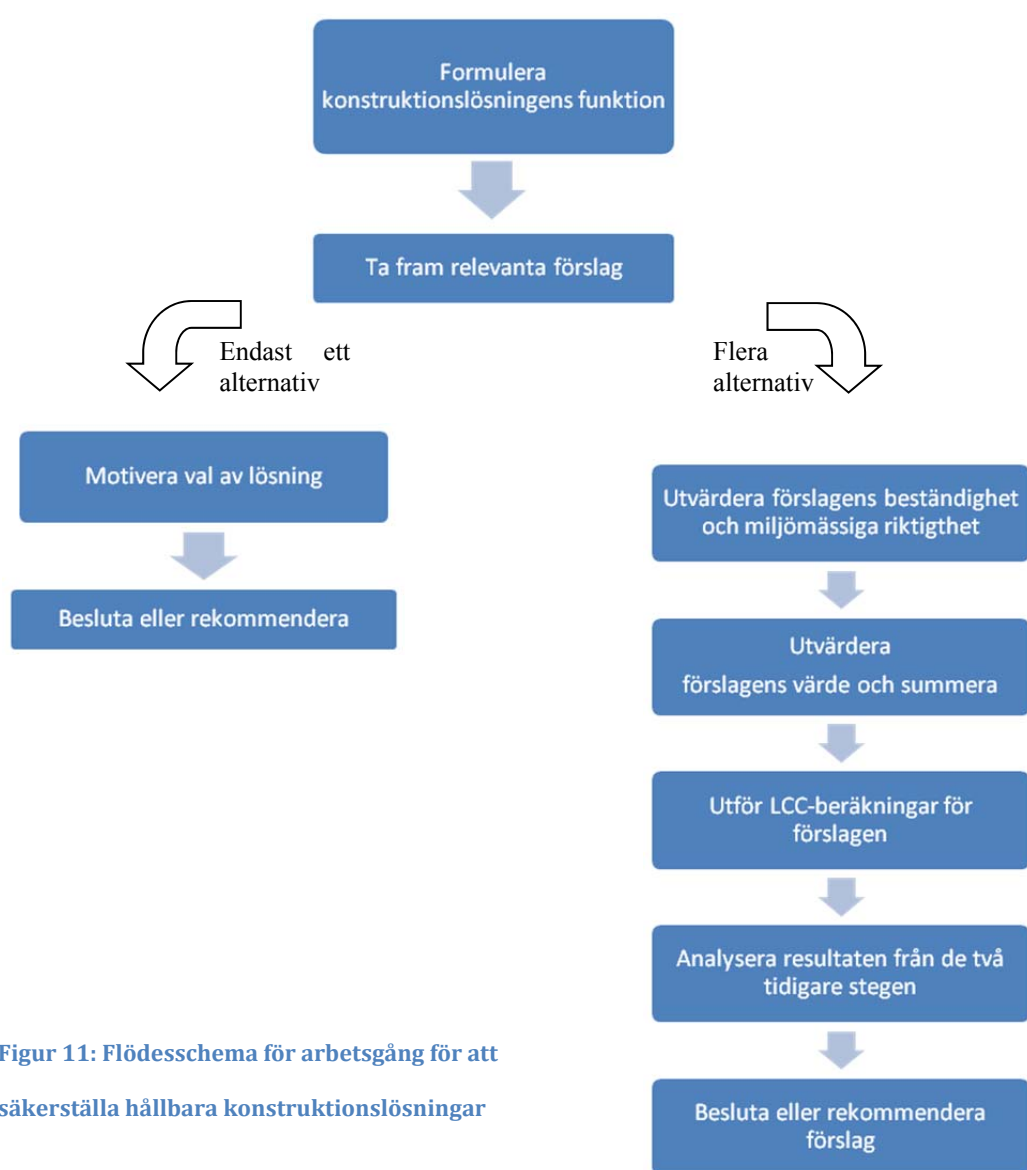
Figur 10: Diagram över vad konstruktörer värderar vid projektering

Diagrammet visar att konstruktörer på COWI har ett livscykel-tänk och tänker både på livslängd och framtida kostnader när de väljer konstruktionslösningar trots att de inte jobbar utifrån LCC idag. Det kan även ses i diagrammet att alla, 100 %, svarade att de tänker på livslängd när de projekterar. I konstruktörens arbete ingår att konstruera beständiga lösningar, dvs. att de är hållbara samt bibehåller sin stadga och funktion under livslängden. Alltså är en viktig del i projekteringen att tänka på livslängd. Vidare kan ses att ungefär 70 % även tänker på underhållskostnader när de

projekterar. 65 % tänker samtidigt på grundinvestering och ungefär 40 % på energikostnader. Däremot är det ingen som svarar att de tänker på reinvesteringskostnader, detta skulle dock kunna inkluderas i underhållskostnader. Enkäten visar att det finns en medvetenhet om hållbar utveckling i linje med COWIs relation Nyttä – Värde – Kostnad, men för att kunna säkerställa kvaliteten i arbetet skulle det underlätta att ha tydliga riktlinjer och rutiner.

4.2 Arbetsmetoden

Resultatet av undersökningen bidrog till utformningen av en arbetsmetod bestående av en checklista där delarna kan sammanfattas i ett flödesschema, figur 11. Checklistans funktion är att göra det möjligt för konstruktörer att jämföra konstruktionslösningar för att säkerställa låg miljöbelastning och rimlig kostnad.



Figur 11: Flödesschema för arbetsgång för att säkerställa hållbara konstruktionslösningar

Flödesschemat sammanfattar arbetsgången i arbetsmetoden. Utgångspunkten är konstruktionslösningens funktion, där olika konstruktionsförslag utvärderas och analyseras. Arbetsmetoden kan också användas för att motivera konstruktionsförslag

som fyller den tänkta funktionen. Efter genomgång av alla förslag kan konstruktören besluta eller rekommendera en lösning. Nedan visas checklistan i sin helhet.

Vilka krav ställer kunden på material i den tekniska lösningen? (T ex Sunda hus eller Basta) Svar _____						
1. Nyttan med den tekniska lösningen Funktionen som den tekniska lösningen ska uppfylla						
<i>Aktivitet</i>	<i>Hjälpstext</i>	<i>Svar</i>				
Identifiera frågeställningen: vilken funktion efterfrågas?	T.ex. Klimat-avskiljande yttervägg					
Ange livslängden för den tekniska lösningen. [år]						
<i>Aktivitet</i>	<i>Hjälpstext</i>	<i>Hjälpmedel</i>	<i>Förslag 1</i>	<i>Förslag 2</i>	<i>Förslag 3</i>	<i>Kommentarer</i>
Ta fram relevanta förslag som har samma funktion och lista dessa under förslag 1-3 - Alla antaganden som påverkar resultaten ska redovisas	I de fall det bara finns ett förslag som uppfyller funktionen, skriv detta under <i>förslag 1</i> och motivera					

2. Värdet med den tekniska lösningen Den tekniska lösningens för- och nackdelar						
2.1 Värdet ur konstruktörens synvinkel						
<i>Aktivitet</i>	<i>Hjälpstext</i>	<i>Hjälpmedel</i>	<i>Förslag 1</i>	<i>Förslag 2</i>	<i>Förslag 3</i>	<i>Kommentarer</i>
Motsvarar funktionen kundens förväntningar?	Ringa in svaret (gäller alla frågor)		1. Nej 2. Ja	1. Nej 2. Ja	1. Nej 2. Ja	
Behåller förslaget (den tekn. lösn.) sin beständighet under livslängden med tanke på:						
Stadga?			1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	
Bärförmåga?			1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	
Funktion?			1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	
2.2 Värdet ur förvaltarens synvinkel						
<i>Aktivitet</i>	<i>Hjälpstext</i>	<i>Hjälpmedel</i>	<i>Förslag 1</i>	<i>Förslag 2</i>	<i>Förslag 3</i>	<i>Kommentarer</i>

Kräver förslaget mycket underhåll?			1. Nej 2. Ja	1. Nej 2. Ja	1. Nej 2. Ja	
När den tekniska lösningen behöver underhåll, är det då lätt att utföra (lättillgängligt)?	I de fall underhåll är nödvändigt för att behålla beständigheten		1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	
Uppfyller förslaget den bestämda livslängden?	Se avsnitt 1		1. Nej 2. Ja	1. Nej 2. Ja	1. Nej 2. Ja	
Då komponenter i förslaget ej har samma livslängd, är de då lätta att byta ut?			1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	1. Nej 2. Ganska bra 3. Mycket bra ☐ Inte relevant	

2.3 Värdet ur miljösynpunkt

Aktivitet	Hjälptext	Hjälpmedel	Förslag 1	Förslag 2	Förslag 3	Kommentarer
Är förslaget miljömässigt riktigt med tanke på:						
Material och kemikalier?	Följs kundens krav med tanke på materialval? T ex sunda hus eller basta.		1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	
Avfall?	Medverkar förslaget till låg byggavfalls-mängd? Är avfallet lätt att sortera?		1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	
Energi?	Medverkar förslaget till låg transmission och infiltration?		1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	
Inomhusmiljö?	Med avseende på reflektioner, emittans, elektromagnetiska fält, buller, temperatur.		1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	1. Mycket dåligt 2. Dåligt 3. Varken eller 4. Bra 5. Mycket bra	
Summera poäng						

3. Kostnader, kortsiktiga och långsiktiga, för den tekniska lösningen

Ekonomisk försvarbarhet i lösningen

Aktivitet	Hjälptext	Hjälpmedel	Förslag 1	Förslag 2	Förslag 3	Kommentarer
Utför eller uppskatta LCC-beräkningar för förslagen:	Är posterna lika för förslagen tas de ej med i beräkningarna	Arbetsgång för LCC-beräkningar.				
Grundinvestering		Wikells sektionsfakta NYB	Resultat:	Resultat:	Resultat:	

Energi			Resultat:	Resultat:	Resultat:	
Underhåll		Reparations- underhålls- kostnader	Resultat:	Resultat:	Resultat:	
Reinvestering		Wikells sektionsfakta ROT	Resultat:	Resultat:	Resultat:	
Demontering		Wikells sektionsfakta ROT	Resultat:	Resultat:	Resultat:	

4. Summering						
Aktivitet	Hjälptext	Hjälpmedel	Förslag 1	Förslag 2	Förslag 3	Kommentarer
Analysera resultaten av de tidigare undersökningarna						
Besluta eller rekommendera alternativ						

4.2.1 LCC-arbetsgång

Den här arbetsgången ingår i arbetsmetoden för hållbara konstruktionslösningar och är en sammanfattning av LCC-modellen. En förutsättning är att konstruktionslösningar, som är miljömässigt riktiga, finns att räkna på och att avgränsningarna är desamma för konstruktionsförslagen. En bedömning bör göras för vad som är relevant att ta med i beräkningarna, t.ex. kan kostnader uteslutas från beräkningarna om de är lika för förslagen eller om de är så små att de inte anses påverka resultatet. Arbetsgången redovisas nedan.

1. Ange beslutskrav, t ex att det förslag vinner som uppfyller samtliga tekniska krav till lägsta totalkostnad.
2. Bestäm gräns för beräkningarna, t ex om de avser en hel byggnad eller bara 1 m² av konstruktionslösningen osv.
3. Lista förutsättningar och krav. De krav som ställs på den tekniska lösningen som påverkar LCC-resultatet, t ex U-värde och lufttäthetskrav.
4. Bestäm livslängden för förslagen. I de fall livslängden skiljer sig mellan förslagen får en reinvestering räknas med för de förslagen med kortast livslängd för att resultatet ska bli jämförbart.
5. Bestäm kalkylräntan
6. Bestäm energipris och energiprisökning
7. Beräkna LCC:

Grundinvestering

- Gör avgränsningar och bestäm vilka kostnader som ska beräknas, t ex material-, arbets-, transport-, och ställningskostnad.
- Generera data för förslagen med hjälp av t ex Wikells sektionsfakta NYB.
- Beräkna och sammanställ kostnader för förslagen.

Energi

- Gör avgränsningar, t ex vilka köldbryggor och anslutningar som ska tas hänsyn till i beräkningarna (t ex vägg-golv, vägg-vägg osv).
- Beräkna U-värde
- Beräkna antalet gradtimmar/år.
- Beräkna transmissions- och infiltrationsförluster (kWh/år).
- Beräkna och sammanställ kostnader för energiförlusterna.
- Räkna om till dagens prisläge med hjälp av nusummefaktor (årligt återkommande kostnad).

Underhåll

- Undersök vilken typ av underhåll som krävs och hur ofta det behöver genomföras för att förslaget ska behålla sin beständighet.
- Bestäm vad som ska ingå i kostnaderna, t ex material-, arbets-, transport-, och ställningskostnad.
- Generera data med hjälp av t. ex. Repab Underhållskostnader.
- Räkna om till dagens prisläge med hjälp av nuvärdefaktor eller nusummefaktor beroende på om det är en årligen återkommande kostnad eller om den uppkommer enstaka gånger.
- Beräkna och sammanställ kostnader för förslagen.

Reinvestering

- Avgör om och i så fall vilken typ av reinvestering som krävs för att förslagen ska behålla sin beständighet.
- Gör avgränsningar och bestäm vad som ska ingå i kostnaderna, t ex material-, arbets-, transport-, och ställningskostnad.
- Generera data med hjälp av t ex Wikells sektionsfakta ROT.
- Räkna om till dagens prisläge med hjälp av nuvärdefaktor eller nusummefaktor beroende på om det är en årligen återkommande kostnad eller om den uppkommer enstaka gånger.
- Beräkna och sammanställ kostnader för förslagen.

Demontering

- Avgör vad som ska ingå i demontering.
- Gör avgränsningar och bestäm vad som ska ingå i kostnaderna.
- Generera data med hjälp av t ex Wikells sektionsfakta ROT.
- Beräkna och sammanställ kostnad.
- Räkna om till dagens prisläge med hjälp av nuvärdefaktor.

Sammanställ resultat

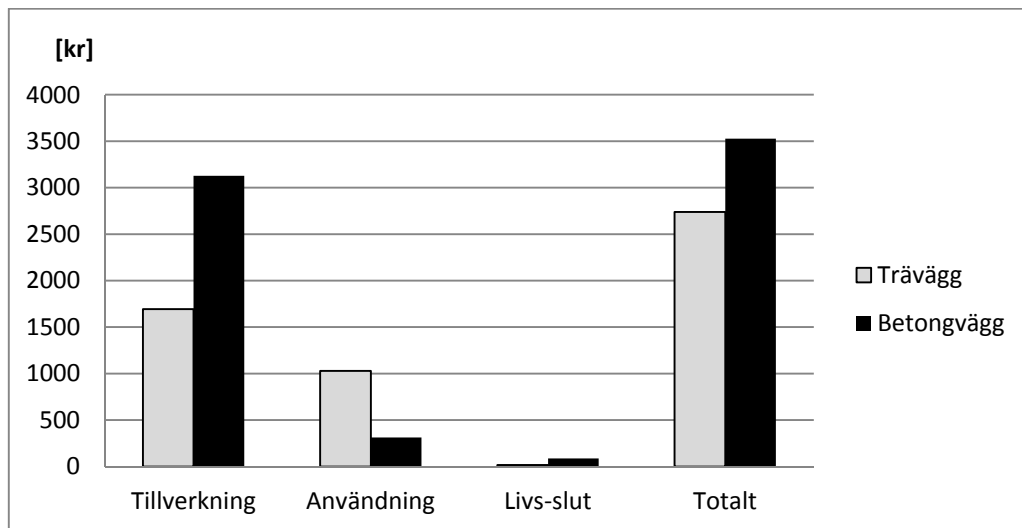
- Beräkna LCC_{total} enligt:

$$LCC_{total} = Grundinvestering + LCC_{energi} + LCC_{underhåll} + LCC_{reinvestering} + LCC_{demontering}$$

- Jämför de olika resultaten och avgör vilket av dem som bäst uppfyller det ställda kravet för beräkningen.
- Besluta eller rekommendera.

4.3 LCC-resultat för väggtyperna

Resultatet av LCC-beräkningarna visas i bilaga 3. Figur 12 visar uppdelningen av resultatet av LCC-kostnaderna i livsfaserna tillverkning, användning och livs-slut. I tillverkningen ingår investeringskostnaden, i användning ingår energi-, underhålls- och reinvesteringsskostnad och i livs-slut ingår demonteringskostnad.

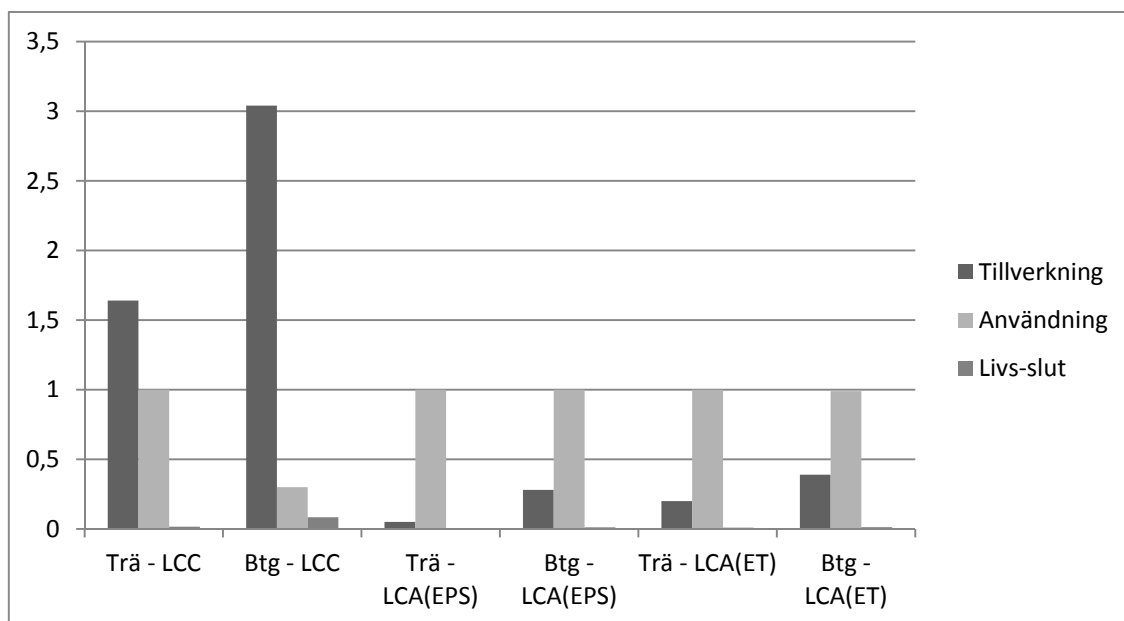


Figur 12: Diagram över LCC-kostnader för de olika väggtyperna

Resultatet visar att tillverkningskostnaden för betongväggen är nästan dubbelt så stor som för träväggen, dessa kostnader är även de största under livscykeln. Användningskostnaderna för träväggen är ca 3 gånger större än för betongväggen och kostnaderna för livs-slut är så litet att det knappt påverkar det totala resultatet. Efter sammanställning kan ses att betongväggen är belastad med högst kostnad under livscykeln.

4.4 Samanställning av LCC-beräkningarna och LCA-viktningen

I figur 13 visas sammanställningen av de normaliserade värdena för LCC- och LCA-beräkningarna grafiskt. Värdena är normaliserade efter trä – användning.



Figur 13: Grafisk sammanställning av normaliserade beräkningsresultat för LCC och LCA

Sammanställningen visar att de största skillnaderna mellan LCC- och LCA beräkningarna ligger i tillverkningsfasen, här finns de största kostnaderna under livscykeln men miljöbelastningen under denna fas är liten i jämförelse. Sammanställningen visar även att störst likheter mellan LCC och LCA ligger i användningsfasen och livs-slut. Livs-slutet har i alla beräkningar liten inverkan på det totala resultatet.

5 Analys

Arbetsmetoden utvärderas med hjälp av LCC-beräkningsexemplet samt den standardiserade intervjun som genomförts på COWI. Likheter och skillnader mellan miljö och ekonomi analyseras med hjälp av LCC- och LCA-resultaten och jämförelse av dessa. Detta utförs genom att svara på de frågor som presenteras i analysstrategin.

5.1 Arbetsmetodens användbarhet, enkelhet, kostnadseffektivitet och miljöbelastning

Anledningen till att arbetsmetoden ska vara enkel är att det oftast inte finns någon extra tid att lägga på att utvärdera kostnad och miljöbelastning i det dagliga arbetet på COWI. Utöver att arbetsmetoden måste anpassas efter COWIs rutiner måste den utgå ifrån konstruktörernas synvinkel så att de lätt kan göra de förenklingar och antaganden som krävs för att det ska gå snabbt och enkelt att använda arbetsmetoden.

Det är viktigt att visa COWI hur arbetsmetodens utgångskriterier; beständighet, enkelhet, material, avfall, energi, inomhusmiljö och ekonomisk försvarbarhet, passar in i deras hållbarhetsarbete och etablerade syn på hållbar utveckling.

Arbetsmetoden i sig kan inte påverka mer än att vara ett verktyg som påvisar hur framtiden kan påverkas av beslut som fattas tidigt i projekt. För tillämpningen av arbetsmetoden är det viktigt att COWI själva sätter upp vilka kriterier som skall ledsaga värderingen av beslutsunderlaget dvs. vilka parametrar i arbetsmetoden som är viktigast. Det kan alltså vara kriterier som COWI alltid väljer att utgå ifrån eller variera från projekt till projekt, beroende på önskemål från kunden, som kanske tycker kostnader är viktigare än miljöfrågor eller tvärt om. Så med hjälp av arbetsmetodens checklista kan konstruktörer värdera skillnader och likheter för konstruktionslösningen, men resultatet beror på vilka indata som används och de värderingar om ekonomi och miljö som är utgångspunkt för beslutsunderlaget.

5.1.1 Kostnadseffektivitet med hjälp av LCC

Resultatet av LCC-beräkningarna visar att grundinvesteringen står för de största kostnaderna under livstiden för både träväggen och betongväggen, delvis beror det på att kostnader för material och arbete är stora samt att kostnaderna sker i nutid och därför inte påverkas av pengars värdetförändring över tid.

Totalt sett blir betongväggen dyrast där totalkostnaden är 23 % högre än för träväggen. De mest bidragande orsakerna är högre kostnad för tillverkning (45 % högre än träväggen) och avfallshantering. Avfallshanteringen blir dyrare pga att fasadtegel och sandwichelement är svåra att källsortera vilket leder till en högre deponikostnad. Däremot är kostnaden för användning låg för betongväggen.

Användningskostnaderna för träväggen är mer än tre gånger högre än för betongväggen och utgör en betydande del av träväggens totala kostnad. Demonteringen av träväggen är billigare eftersom materialet är lättare att källsortera. Vägs andra aspekter än kostnadsmässiga in så kan utfallet bli något annat, vilket troligen skulle vara fallet vid val av konstruktionslösning. Att en konstruktion är underhållsfri kan t.ex. vara viktigt för en fastighetsägare, vilket då ger fördel för betongväggen. Om investeringskostnaderna hade varit mer lika för väggtyperna hade

kostnaderna för användning och kanske till och med livs-slut varit avgörande för val av konstruktion, vilket troligen framkommit i en LCC-beräkning. Den LCC-modell som användes i denna studie fungerade och skulle kunna generaliseras för att beräkna andra konstruktionslösningar.

Att genomföra en LCC och utifrån resultatet ta beslut skapar möjlighet att ta hänsyn till framtiden. Men resultatet från LCC-beräkningen beror på vilka indata som används och de värderingar om ekonomi och miljö som är utgångspunkt för beslutsunderlaget.

5.2 Likheter och skillnader mellan miljö- och ekonomiaspekter i LCC och LCA

Den största likheten mellan metoderna är att de sätter värde på livscykeln, den ena med fokus på ekonomi och den andra på miljö. Med hjälp av en LCA kan åtgärder för miljöpåverkan sättas in på rätt ställen, vilket kan spara pengar eftersom det synliggörs var under livscykeln det är mest effektivt och relevant. Med hjälp av LCC synliggörs livscykelns kostnad och var under livslängden kostnaden är störst så att förebyggande åtgärder kan sättas in, t.ex. färre materialtyper, mindre material eller mindre underhåll, vilket även bidrar till minskad miljöpåverkan. Skillnaden mellan metoderna är att de värderar olika områden, en LCA fokuserar på miljöbelastning och LCC på kostnad.

5.2.1 Pärön och Äpplen eller kompletterande information?

I resultatet ser vi att de olika livsfaserna skiljer sig mellan de olika metoderna. I beräkningarna är tillverkning för LCC den dominerande fasen med de största kostnaderna, i LCA är användning den dominerande pga. energianvändningen under lång tid. Detta beror främst på att de två olika metoderna har olika fokusområden, att det ingår olika delar i de två metodernas livscykel, att den funktionella enheten baseras på olika delar samt att de har olika sätt att sätta värde på livscykeln. Resultatet av LCA-beräkningen visar att användningsfasen skiljer sig väldigt lite mellan stommarna, detta gäller även livs-slutet. De största skillnaderna i LCA-beräkningarna är under tillverkningen vilket leder till att den har den avgörande rollen vid val av stomme. Trästommen har i båda viktningfallen mindre miljöpåverkan än betongstommen. I LCC-resultatet skiljer sig både tillverkning och användning mycket mellan väggarna. Tillverkningskostnaderna är ungefär dubbelt så stora för betongväggen, samtidigt som användningskostnaderna är en tredjedel av träväggens. Trots detta är tillverkningen så mycket större vilket är avgörande för vilken vägg som är mest kostnadseffektiv. Både i LCC- och i LCA-beräkningarna är tillverkningsfasen avgörande för val. Ytterligare en gemensam faktor är att resultatet för livs-slut är väldigt litet i jämförelse med de övriga livsfaserna. Det kan vara av stor fördel att utföra både LCC och LCA på en produkt eller tjänst för att se både kostnader och miljöpåverkan. Då både ekonomi och miljö är viktiga frågor i dagens samhälle är detta av stor vikt när beslut ska tas för produkter eller tjänster.

5.2.2 Miljöbelastning = kostnadsbelastning?

LCA påverkar inte direkt kostnader i projekt, men kan bidra till minskad materialanvändning, färre farliga produkter, bättre avfallshantering, minskad energiåtgång och minskade emissioner eftersom alla dessa faktorer påverkar miljön på olika sätt. Indirekt kan detta även påverka ekonomin i projekt eftersom t. ex. minskad energiåtgång leder till minskade användningskostnader. LCC tar hänsyn till både långsiktiga och kortsiktiga kostnader, och även indirekt en del miljöfaktorer. Det kan bidra till minskad energianvändning genom att energi är en stor kostnad. Det kan även bidra till minskad materialanvändning genom t. ex. val av bättre och beständigare material med längre livslängd som inte kräver så mycket underhåll vilket är resurskrävande. LCC kan också leda till bättre avfallshantering eftersom det är billigare att ta hand om sorterat avfall. Däremot bidrar det inte till minskade emissioner eftersom det inte är kopplat till en kostnad.

Kostnadsbelastning och miljöbelastning kan alltså vara något som flyter ihop men det innebär inte att det är lika med varandra. LCC och LCA har olika fokusområden, de är bra var för sig men det kan också vara en fördel att använda dem ihop för att få en bättre helhetsbild av framtida kostnader och miljöpåverkan. Informationen från metoderna kan gynna både ekonomi och miljö samtidigt och i större utsträckning än om de används var för sig.

5.2.3 Integrering av kostnader och miljöbelastning i materialval

Som analysen visar är det lika viktigt att tänka på både ekonomi och miljö, kortsiktigt och långsiktigt. För bästa resultat bör detta tas hänsyn till tidigt i projekteringen och genom hela byggprocessen. Arbetsmetoder och -modeller, som den vi har tagit fram, behövs på företagen för att de gemensamt ska kunna arbeta för hållbarhet.

Den arbetsmetod vi tagit fram fungerar enligt vår analys bra som hjälp vid val mellan konstruktionslösningar. Den har fokus på områdena ekonomi och miljö, vilket var syftet med metoden. Dock bör den som använder metoden sätta upp vilka kriterier valen ska ske efter. Då vi utgått från sambandet nytta – värde – kostnad när vi skapat arbetsmetoden och detta samband innefattar hållbarhetsaspekterna miljö och ekonomi genomsyrar sambandet arbetsmetoden.

För att ta hänsyn till alla hållbarhetsaspekter; ekonomi, miljö och sociala, behövs olika modeller och verktyg. LCC och LCA är två sådana som är mycket värdefulla i ekonomiskt- och miljömässigt arbete. Beräkningarna som gjorts med de olika metoderna visar att det går att illustrera framtida kostnader och miljöpåverkan för konstruktionslösningar redan i nutid vilket gör det möjligt att påverka framtiden positivt för hållbar utveckling. Men utifrån en kostnadsbedömning kan inte miljöpåverkan utvärderas och utifrån en miljöpåverkansbedömning kan inte kostnader utvärderas. Bedömningsmetoderna fungerar var för sig för sina ändamål, men påverkar även indirekt varandras kategorier. För att snabba på miljöförbättringar kan det vara bra att visa att de även är ekonomiskt hållbara. Om metoderna ska användas som ett led i hållbar utveckling behövs båda eftersom de var för sig inte är tillräckligt allsidiga.

6 Diskussion

Arbetsfördelningen har varit jämn både mellan oss och över tidsperioden. Vi lade upp arbetet så att vi läste in oss på en del och sedan direkt skrev om denna. För att även få med korrigering i ett tidigt skede läste vi varandras texter så att allt vi skrev blev konsekvent och kvaliteten hölls uppe. Allt arbete kring att ta fram våra metoder och modeller har vi gjort tillsammans, så att vi var överens från början. Även metodkapitel, resultat, analys och diskussion är skrivna tillsammans. Genom att hela tiden granska oss själva och varandra och även genom diskussioner med våra handledare har vi kommit fram till det som vi syftade till att göra.

Det har varit en del svårigheter i att hitta information om underhåll, reinvestering och demontering för bakgrundsfakta till hur vi skulle definiera delarna i LCC-modellen, vi fick därför göra egna definitioner för vissa delar. Utgångspunkt i arbetet för att ta fram arbetsmetoden har legat i COWIs syn på hållbart byggande. Det hade varit intressant att studera hållbar utveckling mer allmänt, för att skapa oss en egen bild från början. Även för att kunna generalisera metoden mer och kunna använda den för fler områden. Det hade t. ex. varit intressant att jämföra fler byggnadsdelar i beräkningarna för att se om samma slutsatser kan dras utifrån dem. Det hade också gjort resultatet mer pålitligt eftersom det då syns om det gäller i alla fall eller bara vissa.

6.1 Styrkor och svagheter med arbetsmetoden

Utvärderingen av arbetsmetoden med hjälp av COWIs konstruktörer visade oss att det finns stor potential för COWI att använda den i deras dagliga arbete, trots att den skulle behöva modifieras för att passa in i deras rutiner. Vi känner dock att arbetsmetoden skulle kunna vara mer generell även om utgångspunkten ligger i sambandet nytta – värde – kostnad, som är COWIs sätt att arbeta. Så för att skapa diskussionspunkter för vad som ytterligare kan finnas med i arbetsmetoden och göra den mer generell, har vi utgått från de som kan se värde i konstruktionslösningen och vilka värden detta kan vara:

- Investeraren – Lönsamhet
- Byggherren – Funktion, lönsamhet, godkänd (enligt lagkrav), låg materialförbrukning.
- Arkitekt – Estetik, funktion
- Konstruktör – Beständighet
- Entreprenör bygg och riv – enkelhet (Lätt att bygga/riva och sortera, t ex med planering mm.) Lönsamhet, arbetsmiljö.
- Förvaltare – Enkelhet, (lätt att underhålla), lönsamhet, flexibilitet, arbetsmiljö, låg materialförbrukning.
- Brukare – Estetik, enkelhet (lätt att använda), säkerhet, trygghet, inomhusmiljö (emissioner, ljus, buller mm).
- Miljö – Material och kemikalier, avfall, energi, inomhusmiljö, koldioxidutsläpp, emissioner.

Dessa passar in under hållbarhetsaspekterna ekonomi, miljö och sociala på följande sätt:

- Ekonomi – lönsamhet, funktion, flexibilitet, materialförbrukning, beständighet, enkelhet.

- Miljö – materialförbrukning, beständighet, inomhusmiljö, kemikalier, avfall, energi, koldioxidutsläpp, emissioner.
- Sociala – funktion, beständighet, godkänd, estetik, arbetsmiljö, säkerhet, trygghet, flexibilitet, inomhusmiljö

Det området i checklistan med störst svagheter är det sociala. För att alla tre aspekter av hållbar utveckling ska vara lika representerade kan detta området behöva arbetas mer med. Men som vi beskriver ovan finns det många fler aspekter som kan göra arbetsmetoden mer generell och ge den mer fokus på alla delar i hållbar utveckling.

6.1.1 Arbetsmetoden och hållbarhet

Det vi har lagt märke till är att de LCC-beräkningar som genomförts i byggbranschen nästan endast fokuserar på kostnader för energiförbrukning. Detta beror troligtvis på att energipriserna börjar stiga och att det i dag ligger stort fokus på energiförbrukning, samt att lagarna och kraven kring energiförbrukning börjar skärpas och utvecklas. I arbetet med hållbar utveckling är det viktigt att lägga fokus på fler aspekter som påverkar ekonomi. Då kan en LCC-modell som den vi tagit fram vara ett bra verktyg. En vidare utveckling av vår modell skulle kunna vara att försöka arbeta in den i ett BIM-verktyg. Dvs. att redan då konstruktioner projekteras och ritas läggs kostnader direkt på varje del. Vi har även märkt att efterfrågan av LCC-beräkningar i branschen ökar vilket kan vara en anledning till att försöka utveckla och bygga in LCC redan tidigt i projekteringen, i de verktyg som används idag.

6.1.2 Arbetsmetoden och användaren

Den LCC-modell som ingår i arbetsmetoden ska kunna användas för att jämföra kostnader för konstruktionslösningar. Om modellen är enkel och kan användas i det dagliga arbetet kan detta bidra till att hjälpa COWI bli mer kostnadseffektivt vid projektering. För att detta ska vara möjligt krävs att det finns databaser där indata till beräkningarna snabbt och enkelt kan hämtas och att konstruktörerna får utbildning i LCC. En viktig del i att få in den i rutinerna kan därför vara att skapa egna databaser med de vanligaste värdena så att konstruktörerna kan hämta dessa snabbt och enkelt. Detta är inte något vi har behandlat i detta arbete. En egen databas kan även ge mer pålitlig data då företaget vet var informationen är hämtad. En annan fördel kan även vara att spara värderade konstruktionslösningar så att konstruktörerna kan ta del av varandras beräkningar och kan använda och jämföra dessa i framtida värderingar.

I beräkningarna hoppades vi på att kunna visa att användningskostnaderna vägde upp den totala kostnaden. Vi funderade på hur resultatet hade sett ut om investeringskostnaderna varit mer lika för väggtyperna. Då hade nämligen användningskostnaderna gjort stor inverkan. Detta skulle då innebära att den väggen med högst användningskostnad skulle fått störst totalkostnad. Det kunde även ha visat att trots högst investeringskostnad så ger det inte självklart högst totalkostnad.

6.2 Styrkor och svagheter i beräkningarna

De största svagheterna vi funnit med beräkningarna har varit att det har varit svårt att hitta indata som är pålitlig och tillräcklig. En svaghet är också att de begränsningar vi har gjort begränsningar kan ha påverkat resultatet. Styrkorna har varit när

beräkningarna har gått att kontrollera eller kunnat bekräftas med liknande befintliga beräkningar.

6.2.1 Indata till LCC-beräkningarna

De indata vi använt i LCC-beräkningarna har varit knapphändiga i många fall. Sektionsfaktaböckerna behandlar t. ex. inte samma typer av konstruktionslösningar. Exempelvis finns inte de väggar som redovisas i Sektionsfakta – NYB med i Sektionsfakta – ROT. Det innebär att kostnader för demontering och avfallshantering inte finns för alla väggtyper som är redovisade i NYB vilket påverkar resultatet. En annan svaghet i sektionsfakta är att det inte står vad som ingår i alla priser i boken. Man får förlita sig på att alla kostnader är medräknade eftersom det inte alltid går att läsa ut vad som finns med i siffrorna. Det finns också osäkerhet i hur de samlar in sin data. För avfallshantering har de utgått från en prislista från ett enskilt företag. Detta kollade vi upp och insåg att priserna inte riktigt stämde överens. Priserna skiljer sig även över landet och mellan olika företag. Även i Repab – Underhållskostnader är det ibland svårt att utläsa vad som ingår i priserna då de inte angett alla ingående arbetsmoment och inte heller redovisat vad som ingår i underhållsåtgärderna. Vissa av dessa delar klarnade då vi hade en telefonintervju med företaget som gör boken. På grund av att vi inte fick kontakt med de som ansvarar för boken kunde inte denna intervju genomföras förrän i slutet av projektet. Konsekvenserna av detta är att vi kanske inte har helt exakta uppgifter i beräkningarna.

Vi ser ovanstående som små felmarginaler som inte påverkar resultatet i så stor utsträckning. Ofta behövs det väldigt stora fel i indata för att det ska göra skillnad på resultatet, osäkerheterna är ofta lika stora för alla alternativ som undersöks. T. ex. har vi i efterhand kontrollräknat hur resultatet hade påverkats om vi hade använt olika lufttäthet för de olika väggtyperna. Den LCC-modell vi har tagit fram är generaliserad och den som utför beräkningarna kan själv välja vad som ska tas med beroende på hur omfattande den ska göras. T. ex. är det fullt möjligt att förlänga livscykeln till att börja från råvaruutvinning eller lägga till kostnader för transporter och farligt avfall.

6.2.2 Indata till LCA-beräkningarna

LCA-rapporten vi utgick ifrån är nästan 15 år gammal. Det kan ha påverkat resultatet genom att t. ex. nyare teknik används idag. Även transporter och avfallshantering har förändrats till det bättre vilket kan ge skillnad på resultatet. Detta tror vi inte har så stor inverkan eftersom användningsfasen var så dominerande. Vi utförde vår LCA-viktning efter två metoder beskrivna i boken ”The hitch hiker’s guide to LCA”, dessa viktningar var även gjorda i den LCA-rapport vi utgick från. Det fanns ingen beskrivning på hur, var och vilka viktningsfaktorer de använt i denna rapport, därför valde vi att istället göra om viktningen. Vi använde rapportens resultat som underlag för att jämföra med våra resultat. Vi fick inte samma siffror som i rapporten men de procentuella skillnaderna mellan faserna och mellan metoderna var väldigt lika. Att de inte var samma kan beror på att de viktningsmetoder vi använt är uppdaterade och att vi kan ha missat någon del som var svårtolkad i metoderna.

I vår LCC studeras ekonomi och endast den livslängd som definierades i LCC-beräkningarna, tillverkning till rivning. Den funktionella enheten för vår LCC är baserad på en kvadratmeter väggyta. I vår LCA studeras miljö och den livslängd som

definieras i LCA-beräkningarna, råvaruutvinning till avfallshantering. Den funktionella enheten baseras på en genomsnittlig kvadratmeter golvyta, här ingår de lastbärande delarna i stommen. Beroende på ovanstående går det alltså inte helt att jämföra resultaten av metoderna eftersom det är så många skillnader i vad de undersöker och vad som ingår i beräkningarna. Det hade varit intressant att göra en jämförelse där livslängden och den funktionella enheten hade varit lika för båda metoderna, jämförelsen skulle då bli mer riktig och rättvis. Det hade också varit intressant att jämföra fler byggnadsdelar för att se hur resultatet hade varierat och om det då hade gått att dra samma slutsatser.

7 Slutsatser

Den arbetsmetod vi tagit fram fungerar enligt vår analys bra som hjälp vid val mellan konstruktionslösningar. Den har fokus på områdena ekonomi och miljö, vilket var syftet med metoden. Arbetsmetoden kan alltså vara ett bra verktyg som hjälper COWI i deras arbete med miljömässig riktighet och ekonomisk försvarbarhet.

För att ta hänsyn till alla hållbarhetsaspekter, ekonomi, miljö och det sociala, behövs olika modeller och verktyg. LCC och LCA är två sådana som är mycket värdefulla i ekonomiskt- och miljömässigt arbete. Modellerna bidrar var och en till andra positiva effekter för hållbar utveckling som kan kopplas till de övriga aspekterna. De viktigaste likheterna är att de båda värderar livscykeln och kan användas för att se var under livscykeln det kan behöva sättas in åtgärder för effektivisering och optimering. Modellerna är också lika i den mening att de vid jämförelse av två produkter visar vilken som är det bästa valet i respektive kategori. Resultatet av beräkningarna visar tydligt att ekonomiska kostnader inte är synonymt med miljöbelastning och tvärtom. Detta innebär att utifrån en kostnadsbedömning kan inte miljöpåverkan utvärderas och utifrån en miljöpåverkansbedömning kan inte kostnader utvärderas. För att få en så fullständig analys som möjligt bör verktygen användas ihop. Vårt examensarbete har lett oss till slutsatsen att konstruktionslösningar inte enbart behöver hålla för laster utan även för framtiden.

8 Referenser

Böcker och rapporter

- Abel, E., Elmroth, A. (2008) *Byggnaden som system*. Upplaga 2. Stockholm: Formas.
- Anerlind, G., Stadler, C-G. (2004) *Isolerguiden 04 en vägledning till boverkets byggregler om energihushållning och värmeisolering*. Tomelilla: L & M Malmströmer AB.
- Baumann, H., Tillman, A-M. (2004) *The Hitch Hiker's Guide to LCA*. Lund: Studentlitteratur.
- Björklund, T., Tillman, A-M. (1997) *LCA of building frame structures, Environmental impact over the life cycle of wooden and concrete frames*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Bolminger, S. (2007) *LCC-beräkningar Hamnhuset*. Göteborg: Älvstranden utveckling AB.
- Elmroth, A. (2007) *Energihushållning och värmeisolering*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- ISO 14040 (2006) *Environmental Management - Life cycle assessment - principles and framework*. International organization for standardization: Geneva Switzerland
- ISO 15686-5:2008 (2008) *Buildings and constructed assets – service-life planning – part 5: life-cycle costing*. International organization for standardization: Geneva Switzerland
- Levin, P., Lilliehorn, P., Sandesten, S. (2008) *Livscykelekonomi vid planering byggande och förvaltning*. Karlskrona: Boverket.
- Nilson, A. (2001) *Kalkylera med LCC_{energi}*. Stockholm: Industrilitteratur AB.
- Olsson, J, Skärvad, P-H. (2009) *Företagsekonomi 100*. Upplaga 14:2. Malmö: Liber AB.
- Petersson, B-Å. (2008) *Tillämpad byggnadsfysik*. Upplaga 3:2. Lund: Studentlitteratur.
- Repub (2010) *Underhållskostnader*. Mölndal: Repab AB.
- Trad, S. (2010) *Analys av prisutveckling och prisstruktur 2010*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme AB.
- Wikells (2010) *sektionsfakta – NYB*. Växjö: Wikells byggberäkningar AB.
- Wikells (2009) *sektionsfakta – ROT*. Växjö: Wikells byggberäkningar AB.

Webb-källor

- Belok (2011) Belok LCC. *Belok*. <http://belok.se/lcc.php> (2011-04-14)
- Boverket (2011) Boverkets byggregler BBR 18, *Boverket*. <http://www.boverket.se/bbr>. (2011-04-29)
- Energimyndigheten (2011) Livscykelkostnad, LCC. *Energimyndigheten*. <http://energimyndigheten.se/Foretag/Energieffektivisering-i-foretag/Stall-krav-vid-inkop/Livscykelkostnad/> (2011-04-14)

EU (2011) Hållbar utveckling. *Europa – EU:s officiella webbplats*.
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/sustainable_development/index_sv.htm. (2011-04-20)

Nilson, A. (2007) Kalkylera med LCC_{energi} kortfattad informationsskrift.
Göteborgsregionens kommunalförbund.
<http://www.gr.to/download/18.4fea3bce1110929824680001623/Bengt+Dahlgren.pdf>.
(2011-03-30)

Nilsson, M. (2010) Definition av hållbar utveckling. *Lunds universitet*.
<http://www.lu.se/o.o.i.s/9149> (2011-05-19)

Sweden Green Building Council (2011) Certifieringssystem. *Sweden Green Building Council*. <http://www.sgbc.se/certifieringssystem/>. (2011-04-27)

Trad, S. (2010) Fjärrvärmepriser. *Svensk Fjärrvärme*.
<http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarmepriser/>. (2011-05-04)

Muntliga källor

Andersson, Mikael, CS Riv (2011-05-17)

Bengtsson, Erica, Älvstranden utveckling AB (2011-02-08)

Johansson, Krystyna, Incit AB (2011-05-18)

Viklund Tallgren, Mikael, Chalmers tekniska högskola (2011-04-27)

Bilagor

Bilaga 1: Följdformler för transmissions- och infiltrationsförluster

Bilaga 2: Tabeller nuvärdesmetoden

Bilaga 3: LCC-beräkningar

Bilaga 4: Enkätundersökningar

Bilaga 1: Följdformler för transmissions- och infiltrationsförluster

$$G_t = G_D \cdot h$$

$$G_D = \sum \Delta^\circ\text{C} / \text{mån, år mm}$$

$\Delta^\circ\text{C}$ = antal grader under referenstemperaturen för gällande månad.

Exempel:

$$\left. \begin{array}{l} +17^\circ\text{C} \text{ (referenstemp. för månad)} \\ +11^\circ\text{C} \text{ (dygnsmedeltemp.)} \end{array} \right\} 6 \text{ graddagar} \cdot 24 \text{ h} = 144 \text{ gradtimmar}$$

Ett normalår i Sverige innehåller mellan 3100 och 4000 graddagar.

Värmeförbrukningstal $t \Delta T_{\text{år}} = ^\circ\text{C h/år}$ (gradtimmar/år)

Överslagsberäkningar av värmeförbrukningstal beräknas som skillnaden mellan vald inomhustemperatur och en orts årsmedeltemperatur enligt klimatdatastatistik. Detta multipliceras med antalet årstimmar, $365 \cdot 24 \text{ h/år}$.

Transmissionsförluster beräknas enligt formeln nedan.

$$Q_{trans} = \sum (U_m \cdot A) \cdot G_t$$

där Q_{trans} = transmissionsförluster, energi [kWh/år]

U_m = värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

A = ytan genom vilken värmen leds [m^2]

G_t = antalet gradtimmar på orten i fråga [$^\circ\text{C} \cdot \text{h}$]

(Petersson 2008)

Vid grov uppskattning kan U -värdet korrigeras med ett påslag på 5 % för köldbryggor

$$U_m = \frac{\sum U_{korr,i} \cdot A_i + \sum \Psi_k \cdot l_k + \sum \chi_j}{A_{om}}$$

där U_m = genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]

$U_{korr,i}$ = korrigerat U – värde för byggnadsdel (se nedan)

A_i = Area för byggnadsdelens yta mot uppvärmd inneluft [m^2]

Ψ_k = linjär värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$]

l_k = längden av linjär köldbrygga mot uppvärmd inneluft [m]

χ_j = punktformig värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/^\circ\text{C}$]

A_{om} = omslutande area mot uppvärmd inneluft

$$U_{korr,i} = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

där U = värmegenomgångskoefficient för materialskikten
 ΔU_f = korrektion för köldbryggor i form av fästanordningar etc.

ΔU_g = korrektion för arbetsutförande och springor och spalter

ΔU_r =
 korrektion för nederbörd och vindpåverkan i omvända tak och duo – tak

$$U = \frac{1}{R_T}$$

där R_T = totalt värmemotstånd [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

$$R_T = R_{si} + \sum R_n + R_{se}$$

där R_{si} = värmeövergångsmotstånd vid inneryta [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{se} = värmeövergångsmotstånd vid ytteryta [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_n = materialets värmemotstånd [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

	Värmeflödets riktning		
	Uppåt (tak)	Horisontellt (yttervägg)	Nedåt (golv)
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

där d = tjocklek på materialet [m]

λ = materialets värmeledningsförmåga [$W/m \cdot ^\circ C$]

Infiltrationsförluster beräknas enligt formel nedan.

$$Q_I = 0,04 \cdot \text{luftläckage}_{50Pa} \cdot A_{om} \cdot c_p \cdot G_t$$

där Q_I = Infiltrationsförluster [kWh/år]

0,04 = 4% luftläckage vid 50 Pa tryckdifferens

$luftläckage_{50Pa} = \text{krav på byggnaden } [m^3/hm^2]$

$A_{om} = \text{omslutande area } [m^2]$

$c\rho = \text{volymetrisk värmekapacitet } [kWh/m^3 \cdot ^\circ C]$

$G_t = \text{antalet gradtimmar på orten i fråga } [^\circ C \cdot h]$

Luftens specifika värmekapacitet, $c = 1,0/3600 \text{ kWh}/(\text{kg} \cdot ^\circ C)$

Luftens densitet, $\rho = 1,3 \text{ kg}/m^3$

(Petersson 2008)

I Boverkets byggregler, BBR, ställs inga specificerade krav på husens lufttäthet (*Boverket 2011*), det är alltså t. ex. beställaren som ställer krav i projekteringen av byggnaden. BBR har tidigare haft ett krav på 0,8 l/s och m^2 omslutningsarea vid 50 Pa tryckskillnad mellan inomhus och utomhus, detta värde kan ses som ett riktvärde för maximal övre gräns men lägre värde bör eftersträvas.

Bilaga 2: Tabeller nuvärdesmetoden

Tabell A visar nuvärdefaktorn för en enstaka betalning om n perioder (år) vid olika kalkylräntesatser. Nuvärdefaktorn från tabellen multipliceras med det belopp som ska räknas om till ett nuvärde.

$$\text{Nuvärdefaktor} = \frac{1}{(1 + r)^n}$$

där $r = \text{kalkylränta } [\%]$
 $n = \text{antal perioder (år)}$

Exempel

Nuvärdet av en enskild betalning på 800 kr som inträffar om 10 år då kalkylräntan är 20 %:

$r = 20 \%$

$n = 10 \text{ år}$

Gå till tabell A och läs av värdet för 20 % och 10 år, tabell A ger $\text{nuvärdefaktor} = 0,1615$

$\text{Nuvärdet} = 800 \cdot 0,1615 = 129,2 \text{ kr}$

År	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%
1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174	0,9091	0,9009	0,8929
2	0,9803	0,9612	0,9426	0,9246	0,9070	0,8900	0,8734	0,8573	0,8417	0,8264	0,8116	0,7972
3	0,9706	0,9423	0,9151	0,8890	0,8638	0,8396	0,8163	0,7938	0,7722	0,7513	0,7312	0,7118
4	0,9610	0,9238	0,8885	0,8548	0,8227	0,7921	0,7629	0,7350	0,7084	0,6830	0,6587	0,6355
5	0,9515	0,9057	0,8626	0,8219	0,7835	0,7473	0,7130	0,6806	0,6499	0,6209	0,5935	0,5674
6	0,9420	0,8880	0,8375	0,7903	0,7462	0,7050	0,6663	0,6302	0,5963	0,5645	0,5346	0,5066
7	0,9327	0,8706	0,8131	0,7599	0,7107	0,6651	0,6227	0,5835	0,5470	0,5132	0,4817	0,4523
8	0,9235	0,8535	0,7894	0,7307	0,6768	0,6274	0,5820	0,5403	0,5019	0,4665	0,4339	0,4039
9	0,9143	0,8368	0,7664	0,7026	0,6446	0,5919	0,5439	0,5002	0,4604	0,4241	0,3909	0,3606
10	0,9053	0,8203	0,7441	0,6756	0,6139	0,5584	0,5083	0,4632	0,4224	0,3855	0,3522	0,3220
11	0,8963	0,8043	0,7224	0,6496	0,5847	0,5268	0,4751	0,4289	0,3875	0,3505	0,3173	0,2875
12	0,8874	0,7885	0,7014	0,6246	0,5568	0,4970	0,4440	0,3971	0,3555	0,3186	0,2858	0,2567
13	0,8787	0,7730	0,6810	0,6006	0,5303	0,4688	0,4150	0,3677	0,3262	0,2897	0,2575	0,2292
14	0,8700	0,7579	0,6611	0,5775	0,5051	0,4423	0,3878	0,3405	0,2992	0,2633	0,2320	0,2046
15	0,8613	0,7430	0,6419	0,5553	0,4810	0,4173	0,3624	0,3152	0,2745	0,2394	0,2090	0,1827
16	0,8528	0,7284	0,6232	0,5339	0,4581	0,3936	0,3387	0,2919	0,2519	0,2176	0,1883	0,1631
17	0,8444	0,7142	0,6050	0,5134	0,4363	0,3714	0,3166	0,2703	0,2311	0,1978	0,1696	0,1456
18	0,8360	0,7002	0,5874	0,4936	0,4155	0,3503	0,2959	0,2502	0,2120	0,1799	0,1528	0,1300
19	0,8277	0,6864	0,5703	0,4746	0,3957	0,3305	0,2765	0,2317	0,1945	0,1635	0,1377	0,1161
20	0,8195	0,6730	0,5537	0,4564	0,3769	0,3118	0,2584	0,2145	0,1784	0,1486	0,1240	0,1037
21	0,8114	0,6598	0,5375	0,4388	0,3589	0,2942	0,2415	0,1987	0,1637	0,1351	0,1117	0,0926
22	0,8034	0,6468	0,5219	0,4220	0,3418	0,2775	0,2257	0,1839	0,1502	0,1228	0,1007	0,0826
23	0,7954	0,6342	0,5067	0,4057	0,3256	0,2618	0,2109	0,1703	0,1378	0,1117	0,0907	0,0738
24	0,7876	0,6217	0,4919	0,3901	0,3101	0,2470	0,1971	0,1577	0,1264	0,1015	0,0817	0,0659
25	0,7798	0,6095	0,4776	0,3751	0,2953	0,2330	0,1842	0,1460	0,1160	0,0923	0,0736	0,0588
26	0,7720	0,5976	0,4637	0,3607	0,2812	0,2198	0,1722	0,1352	0,1064	0,0839	0,0663	0,0525

27	0,7644	0,5859	0,4502	0,3468	0,2678	0,2074	0,1609	0,1252	0,0976	0,0763	0,0597	0,0469
28	0,7568	0,5744	0,4371	0,3335	0,2551	0,1956	0,1504	0,1159	0,0895	0,0693	0,0538	0,0419
29	0,7493	0,5631	0,4243	0,3207	0,2429	0,1846	0,1406	0,1073	0,0822	0,0630	0,0485	0,0374
30	0,7419	0,5521	0,4120	0,3083	0,2314	0,1741	0,1314	0,0994	0,0754	0,0573	0,0437	0,0334
31	0,7346	0,5412	0,4000	0,2965	0,2204	0,1643	0,1228	0,0920	0,0691	0,0521	0,0394	0,0298
32	0,7273	0,5306	0,3883	0,2851	0,2099	0,1550	0,1147	0,0852	0,0634	0,0474	0,0355	0,0266
33	0,7201	0,5202	0,3770	0,2741	0,1999	0,1462	0,1072	0,0789	0,0582	0,0431	0,0319	0,0238
34	0,7130	0,5100	0,3660	0,2636	0,1904	0,1379	0,1002	0,0730	0,0534	0,0391	0,0288	0,0212
35	0,7059	0,5000	0,3554	0,2534	0,1813	0,1301	0,0937	0,0676	0,0490	0,0356	0,0259	0,0189
36	0,6989	0,4902	0,3450	0,2437	0,1727	0,1227	0,0875	0,0626	0,0449	0,0323	0,0234	0,0169
37	0,6920	0,4806	0,3350	0,2343	0,1644	0,1158	0,0818	0,0580	0,0412	0,0294	0,0210	0,0151
38	0,6852	0,4712	0,3252	0,2253	0,1566	0,1092	0,0765	0,0537	0,0378	0,0267	0,0190	0,0135
39	0,6784	0,4619	0,3158	0,2166	0,1491	0,1031	0,0715	0,0497	0,0347	0,0243	0,0171	0,0120
40	0,6717	0,4529	0,3066	0,2083	0,1420	0,0972	0,0668	0,0460	0,0318	0,0221	0,0154	0,0107
41	0,6650	0,4440	0,2976	0,2003	0,1353	0,0917	0,0624	0,0426	0,0292	0,0201	0,0139	0,0096
42	0,6584	0,4353	0,2890	0,1926	0,1288	0,0865	0,0583	0,0395	0,0268	0,0183	0,0125	0,0086
43	0,6519	0,4268	0,2805	0,1852	0,1227	0,0816	0,0545	0,0365	0,0246	0,0166	0,0112	0,0076
44	0,6454	0,4184	0,2724	0,1780	0,1169	0,0770	0,0509	0,0338	0,0226	0,0151	0,0101	0,0068
45	0,6391	0,4102	0,2644	0,1712	0,1113	0,0727	0,0476	0,0313	0,0207	0,0137	0,0091	0,0061
46	0,6327	0,4022	0,2567	0,1646	0,1060	0,0685	0,0445	0,0290	0,0190	0,0125	0,0082	0,0054
47	0,6265	0,3943	0,2493	0,1583	0,1009	0,0647	0,0416	0,0269	0,0174	0,0113	0,0074	0,0049
48	0,6203	0,3865	0,2420	0,1522	0,0961	0,0610	0,0389	0,0249	0,0160	0,0103	0,0067	0,0043
49	0,6141	0,3790	0,2350	0,1463	0,0916	0,0575	0,0363	0,0230	0,0147	0,0094	0,0060	0,0039
50	0,6080	0,3715	0,2281	0,1407	0,0872	0,0543	0,0339	0,0213	0,0134	0,0085	0,0054	0,0035

Tabell B visar nusummefaktorn, alltså det tal som ska multipliceras med beloppet av flera återkommande lika stora betalningar.

$$\text{Nusummefaktor} = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

där $r = \text{kalkylränta } [\%]$

$n = \text{antal perioder (år)}$

Nusummefaktorn justerad efter energipris:

$$\text{Justerad nusummefaktor} = \frac{1 - [1 + (r - e_{pö})]^{-n}}{r}$$

där $e_{pö} = \text{förväntad årlig energiprisökning } [\%]$

Exempel

Nuvärdet av en årligen återkommande betalning på 3 000 kr i 10 år då kalkylräntan är 25 %:

$r=25\%$

$n=10$ år

Gå till tabell B och läs av värdet för 25 % och 10 år, tabell B ger $\text{nusummefaktor}=3,570$

Nuvärdet $= 3\,000 \cdot 3,570 = 10\,710$ kr

År	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%
1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174	0,9091	0,9009	0,8929	0,8850
2	1,9704	1,9416	1,9135	1,8861	1,8594	1,8334	1,8080	1,7833	1,7591	1,7355	1,7125	1,6901	1,6681
3	2,9410	2,8839	2,8286	2,7751	2,7232	2,6730	2,6243	2,5771	2,5313	2,4869	2,4437	2,4018	2,3612
4	3,9020	3,8077	3,7171	3,6299	3,5460	3,4651	3,3872	3,3121	3,2397	3,1699	3,1024	3,0373	2,9745
5	4,8534	4,7135	4,5797	4,4518	4,3295	4,2124	4,1002	3,9927	3,8897	3,7908	3,6959	3,6048	3,5172
6	5,7955	5,6014	5,4172	5,2421	5,0757	4,9173	4,7665	4,6229	4,4859	4,3553	4,2305	4,1114	3,9975
7	6,7282	6,4720	6,2303	6,0021	5,7864	5,5824	5,3893	5,2064	5,0330	4,8684	4,7122	4,5638	4,4226
8	7,6517	7,3255	7,0197	6,7327	6,4632	6,2098	5,9713	5,7466	5,5348	5,3349	5,1461	4,9676	4,7988
9	8,5660	8,1622	7,7861	7,4353	7,1078	6,8017	6,5152	6,2469	5,9952	5,7590	5,5370	5,3282	5,1317
10	9,4713	8,9826	8,5302	8,1109	7,7217	7,3601	7,0236	6,7101	6,4177	6,1446	5,8892	5,6502	5,4262
15	13,8651	12,8493	11,9379	11,1184	10,3797	9,7122	9,1079	8,5595	8,0607	7,6061	7,1909	6,8109	6,4624
20	18,0456	16,3514	14,8775	13,5903	12,4622	11,4699	10,5940	9,8181	9,1285	8,5136	7,9633	7,4694	7,0248
25	22,02316	19,5235	17,4131	15,6221	14,0939	12,7834	11,6536	10,6748	9,8226	9,0770	8,4217	7,8431	7,3300
30	25,80771	22,3965	19,6004	17,2920	15,3725	13,7648	12,4090	11,2578	10,2737	9,4269	8,6938	8,0552	7,4957
35	29,40858	24,9986	21,4872	18,6646	16,3742	14,4982	12,9477	11,6546	10,5668	9,6442	8,8552	8,1755	7,5856
40	32,83469	27,3555	23,1148	19,7928	17,1591	15,0463	13,3317	11,9246	10,7574	9,7791	8,9511	8,2438	7,6344
45	36,09451	29,4902	24,5187	20,7200	17,7741	15,4558	13,6055	12,1084	10,8812	9,8628	9,0079	8,2825	7,6609
50	39,19612	31,4236	25,7298	21,4822	18,2559	15,7619	13,8007	12,2335	10,9617	9,9148	9,0417	8,3045	7,6752

Bilaga 3: LCC-beräkningar

För att räkna om kostnaderna till nutid används nedanstående formler:

$$LCC_{\text{årlig kostnad}} = \text{årlig kostnad} \cdot \text{justerad nusumme faktor}$$

$$LCC_{\text{engångskostnad}} = \text{kostnad} \cdot \text{nuvärdefaktorn}$$

Grundinvestering

För att beräkna grundinvesteringskostnader har Sektionsfakta – NYB använts. Då inte en representativ hel konstruktionslösning har kunnat hittas så har å-prislista använts för att ta fram enskilda priser på konstruktionsdelarna.

- Trävägg

I tabellen nedan ses grundinvesteringskostnader för träväggen. Värdena är tagna från å-prislista och är listade utifrån och in genom väggens material.

Tabell: Grundinvestering för träväggen (Wikells, 2010)

Trävägg	Materialkostnad per m eller m ²	Arbetstid	Åtgång	å-pris kr/m ²
Målning, falu rödfärg	-	-	1 m ²	62,43
Lockpanel 22 mm	90,7	0,7	1 m ²	521,90
Läkt 38x50 mm	5,10	0,03	3 m	70,74
Gips vindsydd 9 mm	36,90	0,13	1 m ²	116,98
H-profil för gips	6,95	0,01	1 m	13,11
Mineralull 170 mm	68,25	0,09	1 m ²	123,69
Reglar 45x170 mm	20,85	0,09	3,5 m	267,02
0,20 plastfolie	5,65	0,05	1 m ²	36,45
Mineralull 45 mm	21,90	0,07	1 m ²	65,02
Läkt 45x45	5,95	0,03	4 m	97,72
T-kortling av plåt	16,80	0,05	1,2 m	57,12
Dubbel gips 13 mm	63,06	0,32	1 m ²	260,72

Grundinvestering:	1 692,90
--------------------------	-----------------

- Betongvägg

I tabellen nedan ses grundinvesteringskostnaderna för betongväggen. Värde för sandwichelementet är från sammansatta konstruktionslösningar, resterande är tagna ur å-prislista. Värdena är listade utifrån och in genom väggens material.

Tabell: Grundinvestering för betongväggen (Wikells, 2010)

Betongvägg	<i>Materialkostnad per m eller m²</i>	<i>Arbetstid</i>	<i>Åtgång</i>	<i>å-pris kr/m²</i>
Fasadtegel 100 mm	261,45	1,15	1 m ²	969,85
Bruk	97,50	0,10	1 m ²	159,10
Armering	21,50	0,01	1 m	27,66
Frakt tegel	-	-	1 m ²	63
Sandwichelement	-	-	1 m ²	1908
Grundinvestering:				3 127,61

LCCenergi

För att beräkna storlek på energiförbrukningen på grund av transmissions- och infiltrationsförluster har formler kända inom byggteknik använts.

Eftersom beräkningarna utförs på 1 m² väggyta mitt på en yttervägg tas ingen hänsyn till linjära och punktformiga köldbryggor, från t.ex. fönster, i transmissionsförlustberäkningarna. Istället görs ett procentuellt påslag för köldbryggor.

- Värmegenomgångskoefficienten för båda konstruktionerna sätts till:

$$U_m = 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

U-värde korrigerat för köldbryggor (5 %):

$$U_{m,korr} = 0,1575 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Valt luftläckage_{50Pa} = 0,6 l/s m²
- Ett normalår i Göteborg har 3037 grad-dagar (SMHI, Göteborg Energi):

$$G_t = 72\,888 \text{ st}$$

- Energiförbrukningen sätts till 74,7 öre/kWh
- Justerad nusumfaktorn = 25,7298 (enligt bilaga 2)

På grund av att U-värdet är samma för båda väggtyperna blir det ingen skillnad på transmissionsförlusterna. Därför behöver inte detta steg tas med i LCC-beräkningen.

Det kommer dock ändå tas med i dessa beräkningar på grund av att LCC ska jämföras med LCA. Det är inte heller någon skillnad på infiltrationsförlusternas storlek mellan trä- och betongväggen. Då alla komponenter i formeln har samma värde för båda konstruktionerna, under förutsättning att det ställs samma krav på luftläckage för båda, blir förlusterna lika. Det kan alltså bortses från infiltrationsförluster men i detta exempel tas infiltrationsförluster med av samma anledning som ovan.

- Trävägg

Uträknade transmissions- och infiltrationsförluster ses i tabellen nedan.

Tabell: Energiförluster för träväggen under 50 år, kalkylränta 7 %, energiprisökning 4 %

Trävägg	<i>Energianvändning, kWh/år</i>	<i>Energikostnad, kr/(m²·år)</i>
Transmissionsförluster	11,48	8,58
Infiltrationsförluster	2,27	1,70
Totalt		10,28
Kostnad omräknad med justerad nusummeffaktor		264,50kr

- Betongvägg

Uträknade transmissions- och infiltrationsförluster och kostnad ses i tabellen nedan.

Tabell: Energiförluster för betongväggen under 50 år, kalkylränta 7 %, energiprisökning 4 %

Betongvägg	<i>Energianvändning, kWh/år</i>	<i>Energikostnad, kr/(m²·år)</i>
Transmissionsförluster	11,48	8,58
Infiltrationsförluster	2,27	1,70
Totalt		10,28
Kostnad omräknad med justerad nusummeffaktor		264,50 kr

LCCunderhåll

Värden för underhållskostnader är tagna ur Repab – Underhållskostnader. Intervall för hur ofta åtgärderna utförs har hittats i Repab. Då slutsumman räknas ut tas hänsyn till antal gånger åtgärden måste genomföras under byggnadens livslängd, dvs. under 50

år. Värden måste även räknas om till nutida priser, eftersom att åtgärderna för underhåll kommer att ske i framtiden.

- Trävägg

I tabellen nedan ses kostnader för träväggens underhåll. Alla åtgärder som kan tänkas uppkomma för underhåll av en trävägg finns listade.

Tabell: Underhåll för träväggen under 50 år, kalkylränta 7 %

Trävägg	Intervall, år ¹⁾	Kostnad ¹⁾ , kr/m ²	Antal gånger på 50 år	Nuvärdefaktor ²⁾	Totalt nuvärde kr/m ²
Rengöring, trären yta ¹⁾	12	560	4	0,4440	248,64
				0,1971	110,38
				0,0875	49,00
				0,0389	21,78
Grundning, 2 strykningar ¹⁾	12	250	4	0,4440	111,00
				0,1971	49,28
				0,0875	21,88
				0,0389	9,73
Målning, 2 strykningar ¹⁾	12	177	4	0,4440	78,59
				0,1971	34,89
				0,0875	15,49
				0,0389	6,89
LCC _{underhåll}					757,55

¹⁾(Repab, 2010)

²⁾enligt bilaga 2

- Betongvägg

Tabellen nedan visar underhållskostnaderna för betongväggen. Alla åtgärder som kan tänkas uppkomma för underhåll av en betongvägg finns listade.

Tabell: Underhåll för betongväggen under 50 år, kalkylränta 7 %

Betongvägg	<i>Intervall ¹⁾, år</i>	<i>Kostnad ¹⁾, kr/m²</i>	<i>Antal gånger på 50 år</i>	<i>Nuvärdefaktor ²⁾</i>	<i>Totalt nuvärde kr/m²</i>
-------------------	------------------------------------	--	------------------------------	------------------------------------	--

Högtryckstvätt tegel ¹⁾	15	90	3	0,3624 0,1314 0,0476	32,62 11,83 4,28
LCC_{underhåll}					48,73

¹⁾(Repub, 2011)

²⁾ enligt bilaga 2

LCCreinvestering

Reinvesteringskostnader har tagits ur Sektionsfakta – ROT och Repab – Underhållskostnader. Intervall för hur ofta åtgärderna behöver utföras är uppskattade på grund av att intervallen för åtgärderna är långa och det är svårt att förutse i förhand hur ofta de behöver utföras (Johansson, Incit). Summan för kostnaderna har beräknats på samma sätt som för underhållskostnader.

- Trävägg

Tabellen nedan visar de reinvesteringar som kan tänkas uppkomma för en trävägg med träpanel.

Tabell: Reinvestering för träväggen under 50 år (Repub 2010, Wikells 2010), kalkylränta 7 %

Trävägg	<i>Intervall, år</i>	<i>Kostnad, kr</i>	<i>Antal gånger på 50 år</i>	<i>Nuvärde ¹⁾</i>	<i>Totalt nuvärde kr/m²</i>
Byta ut del av väggen	Inte under livslängd ²⁾	-	-	-	-
Byta panel på del av ytan	Intervall <50 år (45 år)	155	1	0,0476	7,38
Byta utegips	Inte under livslängd ²⁾	-	-	-	-
Byta invändig gips	Inte under livslängd ²⁾	-	-	-	-
Byta isolering	Inte under livslängd ²⁾	-	-	-	-

LCC_{reinvestering}	7,38
------------------------------------	-------------

¹⁾ enligt bilaga 2

²⁾ Kommentar: Inom livslängden 50 år kommer troligtvis inte åtgärden behöva utföras.

- Betongvägg

Tabellen nedan visar de reinvesteringar som kan tänkas uppkomma för en betongvägg med tegelfasad.

Tabell: Reinvesteringskostnader för betongväggen under 50 år (Repab 2010, Wikells 2010), kalkylränta 7 %

Betongvägg	<i>Intervall, år</i>	<i>Kostnad, kr/m²</i>	<i>Antal gånger på 50 år</i>	<i>Nuvärdefaktor¹⁾</i>	<i>Totalt nuvärde kr/m²</i>
Byta ut del av väggen	Inte under livslängd ²⁾	-	-	-	-
Byta tegelfasaden	Inte under livslängd ²⁾	-	-	-	-
LCC_{reinvestering}					0

¹⁾ enligt bilaga 2

²⁾ Kommentar: Inom livslängden 50 år kommer troligtvis inte åtgärden behöva utföras.

LCCdemontering

Värden för demonteringskostnader har tagits från sektionsfakta – ROT, på samma sätt som för grundinvesterings- och reinvesteringskostnader. Omräkning av de framtida demonteringskostnaderna till nutida kostnader görs på slutsumman, eftersom all demontering och avfallshantering sker vid samma tillfälle.

Nuvärdesfaktor_{50 år} = 0,0339

- Trävägg

I tabellen nedan ses demonteringskostnader för träväggen. Värdena är tagna från åprislista och är listade utifrån och in genom väggens material, med tillägg för tippavgifter.

Tabell: Demonteringskostnader för träväggen (Wikells, 2010), kalkylränta 7 %

Trävägg	<i>Arbetstid, h</i>	<i>Åtgång</i>	<i>Pris, kr/m²</i>
----------------	---------------------	---------------	-------------------------------

Lockpanel 22 mm	0,12	1 m ²	74,97
Läkt 38x50	0,03	3 m	18,75
Gips vindsydd 9 mm	0,08	1 m ²	49,98
Mineralull 170 mm	0,04	1 m ²	24,99
Reglar 45x170 mm	0,05	3,5 m	109,34
0,20 plastfolie	0,01	1 m ²	6,25
Mineralull 45 mm	0,02	1 m ²	12,50
Läkt 45x45 mm	0,04	4 m	99,96
Dubbel gips 13 mm	0,12	1 m ²	74,97
Tippavgift målat virke	-	0,007 ton	3,24
Tippavgift omålat virke	-	0,022 ton	0
Tippavgift gips	-	0,026 ton	16,90
Tippavgift osorterat material	-	0,004 ton	3,96
Summa:			495,81
Kostnad omräknad med nuvärdesfaktor			16,81 kr

- Betongvägg

I tabellen nedan ses demonteringskostnader för betongväggen. Värdena är tagna från å-prislista och är listade utifrån och in genom väggens material, med tillägg för tippavgifter.

Tabell: Demonteringskostnader för betongväggen (Wikells, 2010), kalkylränta 7 %

Betongvägg	<i>Arbetstid, h</i>	<i>Åtgång</i>	<i>pris, kr/m²</i>
Tegel	0,56	1 m ²	349,86
Riv + Tippavgift Sandwichelement ¹⁾	-	1 m ²	2200
Tippavgift tegel + bruk	-	0,150 ton	9,75
Summa:			2 559,61

Kostnad omräknad med nuvärdesfaktor	86,77 kr
--	-----------------

¹⁾ Enligt Mikael Andersson, CS Riv

Bilaga 4: Enkätundersökningar

Undersökning om hur LCC_{energi} används

Vi gör ett examensarbete på COWI om hållbart byggande, där vi ska undersöka hur man kan underlätta arbetet med att ta fram ekonomiskt försvarbara lösningar. Detta kommer resultera i en livscykelkostnads-modell, LCC-modell, för konstruktionslösningar. Vår modell kommer att baseras på LCC_{energi}, livscykelkostnad för energikrävande installationer. Det skulle därför vara värdefullt för oss om ni kan hjälpa oss att svara på dessa frågor så att vi kan utforma vår modell på bästa sätt så att den blir av värde för oss och COWI.

Tack på förhand!

/Frida Bengts och Martina Johansson, Mail: bengtsf@student.chalmers.se

1. Hur ofta gör du en LCC-beräkning?

- ☐ I 75-100% av uppdragen
- ☐ I 50-75% av uppdragen
- ☐ I 25-50% av uppdragen
- ☐ I <25% av uppdragen
- ☐ Aldrig

2. Ser du en ökande trend att utföra LCC i uppdragen?

- ☐ Ja
- ☐ Nej

3. Vilka hjälpmedel (program) använder du när du gör en LCC?

4. Utgör en LCC-beräkning en förhållandevis stor andel av projektarbetet?

- ☐ Ja, det tar lång tid
- ☐ Ja, det tar ganska lång tid
- ☐ Vet inte
- ☐ Nej, det tar inte så lång tid
- ☐ Nej, det går fort

5. Ange vilka fördelar du ser med att göra en LCC-beräkning:

6. Ange vilka nackdelar du ser med att göra en LCC-beräkning:

7. Hur ofta rekommenderar du att LCC används i uppdragen?

- ☐ I 75-100% av uppdragen
- ☐ I 50-75% av uppdragen
- ☐ I 25-50% av uppdragen
- ☐ I <25% av uppdragen
- ☐ Aldrig

8. Hur ofta ställer beställaren krav på att LCC utförs i uppdragen?

- ☐ I 75-100% av uppdragen
- ☐ I 50-75% av uppdragen
- ☐ I 25-50% av uppdragen
- ☐ I <25% av uppdragen
- ☐ Aldrig

9. Under vilka skeden i projektet används LCC?

- ☐ Programhandling
- ☐ Systemhandling
- ☐ Förfrågningsunderlag
- ☐ Bygghandling
- ☐ Relationshandling

10. Finns det andra metoder/modeller/rutiner som används vid val av energikrävande installationer? I så fall vilka och hur fungerar de?

Undersökning om hur val av konstruktionslösningar genomförs

Vi gör ett examensarbete på COWI om hållbart byggande, där vi ska undersöka hur man kan underlätta arbetet med att ta fram ekonomiskt försvarbara lösningar. Detta kommer resultera i en LCC-modell för konstruktionslösningar. Det skulle därför vara värdefullt för oss om ni kan hjälpa till att svara på dessa frågor så att vi kan utforma vår modell på bästa sätt så att den blir av värde för oss och COWI.

Tack på förhand!

/Frida Bengts och Martina Johansson, Mail: bengtsf@student.chalmers.se

1. Är du:
 - ☐ Projektör
 - ☐ Handläggare
 - ☐ Uppdragsledare
 - ☐ Specialist

2. Rangordna hur du prioriterar när du väljer konstruktionslösning (Skala 1-4 där 1=mest viktig och 4=minst viktig).
 - Estetik ____
 - Funktion ____
 - Miljö ____
 - Pris ____

3. Beaktar du något/ flera av följande alternativ när du väljer konstruktionslösning?
 - ☐ Grundinvesteringskostnad
 - ☐ Underhållskostnader
 - ☐ Drift-/energikostnader
 - ☐ Reinvesteringskostnader
 - ☐ Livslängd

4. Vet du vilka riktlinjer COWI har för materialval?
 - ☐ Ja
 - ☐ Nej

Om _____ ja,
vilka: _____

5. Använder du sambanden Nyttä – Värde – Kostnad när du projekterar?

- ☐ Ja
- ☐ Nej

6. Vet du vad LCC innebär?

- ☐ Ja
- ☐ Nej

Om ja,
förklara: _____

7. Har du utfört en LCC-beräkning i något projekt?

- ☐ Ja, flera gånger
- ☐ Ja, ett fåtal gånger
- ☐ Nej, aldrig

8. Vilka hjälpmedel använder du när du väljer konstruktionsmaterial idag?

- ☐ Basta
- ☐ Sunda hus
- ☐ Sektionsdata
- ☐ KemI
- ☐ Bidcon
- ☐ MAP kalkyl
- ☐ Byggvarubedömningen
- ☐ Vico estimator/office
- ☐ Andra
