



JÖNKÖPING UNIVERSITY
School of Engineering

**FÖRBÄTTRINGSÅTGÄRDER I DAGENS
LIVSCYKELANALYSARBETE**
En studie av två programvaror

Improvements of the current life cycle assessment work
A study of two softwares

Per Nilsson

Joel Norrman

EXAMENSARBETE 2017

Byggnadsteknik

Postadress:
Box 1026
551 11 Jönköping

Besöksadress:
Gjuterigatan 5

Telefon:
036-10 10 00 (vx)

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom Byggnadsteknik. Författarna svarar själva för framförda åsikter, slutsatser och resultat.

Examinator: Hamid Movaffaghi

Handledare: Kjell Nero

Omfattning: 15 hp

Datum: 2017-06-05

Abstract

Purpose: For newly constructed buildings, embodied carbon dioxide stands for an increasing share of the buildings climate impact, seen from a life cycle perspective. This due to improved building envelopes alongside better building service systems. Research shows climate impact due to embodied carbon dioxide may decrease if digital tools for analysis are used during the design phase. The aim with this report is to examine how these analyses are made and see how they can be simplified as well as more accurate.

Method: To fulfil the aim of this report a literature review is used alongside semi-structured interviews to map the use of LCA (Life Cycle Assessment) in order to gain knowledge and find opportunities for enhancement. A case study is performed on a building frame of concrete and steel to be able to compare and draw conclusions from two LCA-tools; Anavitor and Bidcon.

Findings: The result shows increasing interest for LCA in the building industry and that LCA performed in the design phase often uses generic values. The terms and scope of a LCA needs to be determined distinctly regarding comparison of different software's in order to reach a result that is comparable. There is a need to depart from generic values and replace with climate data from manufactures to reach a result reflecting reality. This would be possible already in the design phase using objects in BIM supplemented with climate data from EPD:s in compatible formats.

Implications: The buildings total climate impact during the life cycle are able to be displayed with LCA-tools. Using this as a natural part of the design phase, LCA-tools have to be compatible with the information contained in an eventual model. LCA-tools ought to include more information than just climate impact, other environmental data and economic information ought to be included to provide a better decision ground for the buyer. To increase the use of LCA in the building industry, a stronger incentive is needed. The buyer should be required to perform an environmental declaration of the building. In a further step legislation regarding a building's environmental impact similar to the rules found in the Swedish building code regarding specific energy use would be fitting. The accuracy of the programs mostly depends on the input data, namely quantities, often retrieved from a model. Requires EPD:s accessible in format supported by digital software's in order to reach that information more easily. LCA-tools ought to be used early in a project, facilitate eventual choices. At the same time, the user should be able to use product specific EPD:s in an early stage to compare different manufacturers and solutions.

Limitations: This paper is limited to the two software's Bidcon and Anavitor, and how they differ regarding calculation methods and functions. It's also limited to only take the buildings' embedded materials into account.

Keywords: "Embodied carbon dioxide", "Embodied energy", "carbon foot print", "LCA", "Life Cycle assessment", "Climate impact", "Climate data", "BIM", "Anavitor", "Bidcon"

Sammanfattning

Syfte: För nybyggda hus står den inbyggda koldioxiden för en allt större andel av byggnadens klimatpåverkan under livscykeln. Detta på grund av bättre klimatskal och driftsystem. Forskningsrapporter visar att klimatpåverkan i form av inbyggd koldioxid kan minska om digitala analysverktyg används i projekteringen. Syftet med den här rapporten är att undersöka hur analyserna går till samt hur de kan bli enklare och mer noggranna.

Metod: För att uppfylla syftet används en litteraturstudie och semistrukturerade intervjuer för att kartlägga användningen av LCA för att dra lärdomar och se förbättringsmöjligheter. En fallstudie görs på en betong- och stålstomme för att jämföra och dra slutsatser utav två LCA-verktyg; Anavitor och Bidcon.

Resultat: Resultatet visar att intresset för LCA i byggbranschen är stigande och att de analyser som utförs i projekteringsskedet oftast baseras på generiska värden. Avseende olika programvaror måste omfattningen av programvaran vara tydligt definierad för att kunna få fram ett jämförbart resultat. För att ge ett resultat som speglar det verkliga utfallet måste man frångå den generiska data som tillhandahålls, och istället mata in materialspecifika värden som kommer direkt från tillverkare. Detta kan redan vid projekteringsskedet vara möjligt om BIM-objekt förses med EPD:er i kompatibla filformat.

Konsekvenser: Byggnadens totala klimatpåverkan under livscykeln kan tydliggöras med hjälp av LCA-verktyg. För att det ska bli en naturlig del av projekteringen är det viktigt att LCA-verktyg är kompatibla med den information som finns i en eventuell modell. LCA-verktyg bör innehålla mer information än bara klimatpåverkan, även annan miljödata och eventuell ekonomisk information bör finnas för att ge ett bra beslutsunderlag för beställaren. För att öka användningen av LCA i byggbranschen krävs starkare incitament för att göra analyser till exempel att beställaren måste miljödeklarera byggnaden. I ett längre perspektiv borde krav ställas på en byggnads miljöpåverkan liknande de krav som finns i BBR angående energianvändning. Noggrannheten i programmet beror till största del på den data som användaren matar in. Det vill säga mängder, ofta hämtade från en modell. Det krävs att EPD:er görs tillgängliga i filformat som stöds av digitala programvaror för att enklare kunna nå den information som krävs. LCA-verktyg ska kunna användas tidigt i ett projekt för att eventuella val lättare ska kunna göras. Samtidigt så bör programanvändaren kunna använda produktspecifika EPD:er i ett tidigt skede för att kunna jämföra olika leverantörer och konstruktionslösningar.

Begränsningar: Detta arbete är begränsat till de två programmen Bidcon och Anavitor och hur de skiljer sig åt avseende beräkningsmetoder och funktioner. Det är också avgränsat för att endast beröra byggnaders inbyggda material.

Nyckelord: "Inbyggd koldioxid", "Inbyggd energi", "koldioxidavtryck", "LCA", "Livscykelanalys", "Klimatpåverkan", "Klimatdata", "BIM", "Anavitor", "Bidcon"

Innehållsförteckning

I	Inledning	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEMBESKRIVNING.....	1
1.3	MÅL OCH FRÅGESTÄLLNINGAR.....	2
1.4	AVGRÄNSNINGAR	2
1.5	DISPOSITION	2
2	Metod och genomförande.....	3
2.1	UNDERSÖKNINGSSTRATEGI.....	3
2.2	KOPPLING MELLAN FRÅGESTÄLLNINGAR OCH METODER FÖR DATAINSAMLING	4
2.2.1	<i>Hur utförs livscykelanalyser och hur används resultatet i byggbranschen idag?</i>	<i>4</i>
2.2.2	<i>Hur skiljer sig två mjukvaruprogram för koldioxidberäkning åt?</i>	<i>4</i>
2.2.3	<i>Hur kan noggrannheten i resultaten ökas vid användandet av programmen?</i>	<i>4</i>
2.3	VALDA METODER FÖR DATAINSAMLING	4
2.3.1	<i>Datorberäkning</i>	<i>4</i>
2.3.2	<i>Litteraturstudie</i>	<i>4</i>
2.3.3	<i>Semistrukturerad Intervju.....</i>	<i>5</i>
2.4	ARBETSGÅNG.....	5
2.5	TROVÄRDIGHET	7
3	Teoretiskt ramverk	8
3.1	KOPPLING MELLAN FRÅGESTÄLLNINGAR OCH TEORI	8
3.2	ANVÄNDNING AV ANALYSVERKTYG	8
3.3	DATA TILL PROGRAMMEN	9
3.4	LCA-LIVSCYKELANALYS	10
3.5	PROGRAMVARA FÖR KOLDIOXIDKALKYLERING	11
3.5.1	<i>Bidcon.....</i>	<i>11</i>
3.5.2	<i>Anavitor</i>	<i>11</i>
3.6	BIM OCH LCA.....	12
3.7	SAMMANFATTNING AV VALDA TEORIER	12

4	Empiri.....	13
4.1	SEMISTRUKTURERADE INTERVJUER MED PROGRAMANVÄNDARE.....	13
4.1.1	<i>Hur utförs livscykelanalyser och hur används resultatet i byggbranschen idag?</i>	<i>13</i>
4.1.2	<i>Hur kan noggrannheten i resultaten ökas vid användandet av programmet?.....</i>	<i>14</i>
4.2	SEMISTRUKTURERADE INTERVJUER MED PROGRAMUTVECKLARE.....	15
4.2.1	<i>Hur skiljer sig två mjukvaruprogram för koldioxidberäkning åt?.....</i>	<i>16</i>
4.2.2	<i>På vilket sätt skulle noggrannheten hos programmen kunna ökas?</i>	<i>18</i>
4.3	FALLSTUDIE.....	18
4.4	SAMMANFATTNING AV INSAMLAD EMPIRI	19
5	Analys och resultat	20
5.1	ANALYS.....	20
5.1.1	<i>Analys av hur LCA-verktyg används idag</i>	<i>20</i>
5.1.2	<i>Analys av programmens egenskaper</i>	<i>21</i>
5.1.3	<i>Analys av programmens noggrannhet.....</i>	<i>22</i>
5.2	HUR UTFÖRS LIVSCYKELANALYSER OCH HUR ANVÄNDS RESULTATET I BYGGBRANSCHEN IDAG? 23	
5.3	HUR SKILJER SIG TVÅ MJUKVARUPROGRAM FÖR KOLDIOXIDBERÄKNING ÅT?.....	23
5.4	HUR KAN NOGGRANNHETEN I RESULTATEN ÖKAS VID ANVÄNDANDET AV PROGRAMMEN?	23
5.5	KOPPLING TILL MÅLET	23
6	Diskussion och slutsatser	24
6.1	RESULTATDISKUSSION	24
6.2	METODDISKUSSION.....	24
6.3	BEGRÄNSNINGAR.....	24
6.4	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	25
6.5	FÖRSLAG TILL VIDARE FORSKNING	25
7	Referenser.....	26
8	Bilagor	29
	Bilaga 1	30
	Bilaga 2	35

1 Inledning

Denna studie görs i form av ett examensarbete inom byggnadsteknik vid Jönköpings Tekniska högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng.

1.1 Bakgrund

Klimatförändringar är ett av dagens stora problem. De stora utsläppen av koldioxid på grund av bland annat transport och industri bidrar till ett varmare klimat ur ett globalt perspektiv. Ett varmare klimat medför flera negativa effekter, till exempel krympande glaciärer, höjda havsnivåer och mer intensiva stormar och oväder (Solomon, Plattner, Knutti, & Friedlingstein, 2008) (Cubasch, 2013).

Det nionde kapitlet i Boverkets byggregler (BBR) innehåller riktlinjer för energianvändning under en byggnads drifttid. Att begränsa energianvändningen leder till lägre växthusgasutsläpp. Hushållning av energi leder till att klimatvänlig el från förnybara källor räcker längre och behovet av icke förnybara källor minskar. Men enligt en rapport från Sveriges byggindustrier och IVA så kan produktionen av ett flerfamiljshus stå för upp till 50 % av de totala koldioxidutsläppen under en period på 50 år (Westlund, o.a., 2014).

1.2 Problembeskrivning

Westlund m.fl. skriver att det verkar råda en utbredd uppfattning att uppförande samt de ingående materialen står för 15 % av en byggnads totala energianvändning (Westlund, o.a., 2014). Resultatet av en fallstudie i samma rapport visar dock att 50 % av den totala klimatbelastningen av ett flerfamiljshus i betong uppstår under produktionsskedet. En studie utförd i Storbritannien visar att koldioxidutsläppen under drifttid är det största bidraget till en byggnads koldioxidutsläpp men att den inbyggda koldioxiden inte är att förringa, framför allt inte när nya byggnader tenderar att bli mer energieffektiva än tidigare (Alwan & Jones, 2014). Samma studie visar att analyser med hjälp av Building Information Modelling (BIM) kan förändringar i projekteringsskedet enklare göras för att minska koldioxidutsläppen.

Li m.fl. konstaterar att det behövs ett verktyg för att bättre beräkna koldioxidutsläpp med hjälp av BIM för att utvärdera byggnaders miljöpåverkan (Li, Fu, Zhong, & Luo, 2012). Shadram m.fl. (2016) utförde en studie som syftade till att utveckla och implementera ett ramverk för att jämföra olika byggdelar och byggmaterial ur ett livscykelperspektiv i projekteringsfasen med hjälp av BIM. Slutsatsen blev att det saknas en gemensam databas för BIM-verktyg och att de uppgifter om byggdelars koldioxidinnehåll som finns i miljödeklarationer sällan är tillgängliga i format som BIM-verktyget kan hantera. D'Incongnito m.fl. (2014) skriver att svårigheten med att implementera LCA i projekt till viss del beror på avsaknaden av och bristande kvalitet på data.

Miljöpåverkan i form av koldioxidutsläpp hade kunnat minska avsevärt om exakta värden från leverantörer hade tagits med i beräkningen i början av projekteringen. Avsaknaden av lättillgängliga värden i rätt filformat medför att flera verktyg för koldioxidanalys använder beräknade medelvärden istället för värden från olika leverantörer vilket medför att det är svårt att veta vad resultatet från en LCA egentligen visar och hur noggrant resultatet är (Shadram, Johansson, Lu, Schade, & Olofsson, 2016).

1.3 Mål och frågeställningar

Målet med arbetet är att, utifrån hur LCA:er används idag, fastställa skillnader i två beräkningsprogram och ge förslag till hur noggrannheten för livscykelberäkningar kan ökas.

För att nå målet kommer följande frågeställningar att besvaras:

- Hur utförs livscykelanalyser och hur används resultatet i byggbranschen idag?
- Hur skiljer sig de två mjukvaruprogrammen för koldioxidberäkning åt?
- Hur kan noggrannheten i resultaten ökas vid användandet av programmen?

1.4 Avgränsningar

Det finns idag en uppsjö av program för klimatpåverkansberäkning. Detta examensarbete kommer bara att undersöka två av dessa, för att därifrån dra generaliserbara slutsatser som kan appliceras på metoden, snarare än mjukvaran. Studien är ingen ”råd och rön”-artikel utförd för att kora en vinnare mellan programmen, den är utförd för att kunna dra viktiga lärdomar om skillnaderna mellan programmen. I fokus ligger de inbyggda materialen i byggnaden. Klimatpåverkan som följd av byggnadens energibehov i form av uppvärmning och driftsel, så kallad specifik energianvändning, behandlas därför inte. Vidare avhandlas inte hur programmets mjukvara är konstruerad utan snarare vilka funktioner som finns, hur de är tänkta att användas och för vilka programmen är avsett. Även att en LCA innehåller mer miljöpåverkan än klimatbelastning så är det just klimatet som ligger i primärt fokus när uttrycket LCA används i den här rapporten.

1.5 Disposition

I kapitel två presenteras de valda metoderna för arbetet. Metoden följs av ett teoretiskt ramverk i kapitel tre där aktuell forskning inom området presenteras. Den insamlade empirin presenteras i kapitel fyra. Resultatet presenteras och diskuteras i kapitel fem. Slutligen diskuteras arbetets resultat och genomförande i det sjätte kapitel och slutsatser dras. Dessutom ges rekommendationer till vidare forskning och tillämpningar av den genomförda studien.

2 Metod och genomförande

Kapitlet beskriver studiens genomförandemetodik och arbetsgång. Här redovisas hur data samlades in för att besvara frågeställningarna. Kapitlet avslutas med en diskussion om hur tillvägagångssättens validitet och reliabilitet säkerställts.

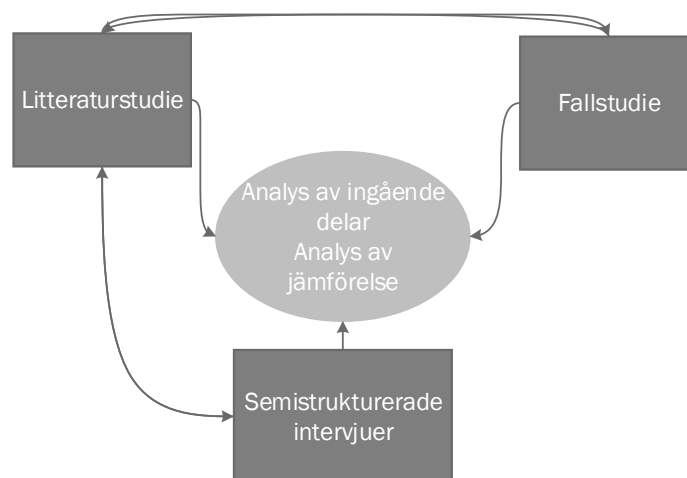
2.1 Undersökningsstrategi

För att kunna undersöka hur LCA används idag och för att kunna ge förslag för förbättrad noggrannhet använder studien kvalitativa metoder i form av intervjuer och litteraturstudie. Vid sidan av detta genomförs en fallstudie, med insamlande av kvantitativ data.

Enligt Bryman (2008) kan en kvalitativ intervju vara en fördel eftersom svar från respondenter eventuellt behöver utvecklas. Intervjuerna kan i högre grad anpassas efter respondenten vilket ger större möjligheter att erhålla den behövda informationen. En kvalitativ metod medför också att det krävs färre respondenter medan en djupare förståelse inom ämnet kan hämtas. Den kvalitativa intervjun kan genomföras mer likt ett vanligt samtal. Flera av respondenterna är spridda över Sverige och därför används telefonintervjuer i stor utsträckning. Efter telefonintervjuerna skickas en kort sammanfattning, av hur svaren uppfattats, till respondenten som får komma med synpunkter och kommentarer om hur deras svar tolkats.

Den kvantitativa delen av studien är lämplig då kvantifierbara data samlas in i form av beräkningar med hjälp av datorprogram. Genom att inhämta data från beräkningarna kan djupare analyser göras i ett senare skede. Fallstudien gjordes på stommen av ett punkthus på 1440 m² bruttoarea fördelat på fyra våningar. Huset står färdigbyggt och konstruktionen har projekterats av Tyréns AB. Ritningar över huset tillhandahålls av dem. Fallet är av intresse då betong- och stålstomme är vanligt förekommande i Sverige. Huset är uppbyggt av platsgjutna bjälklag och prefabricerade väggelement i betong. Stålpelarna är av typ KKR i olika dimensioner.

Analysen kommer att ske genom jämförande av de olika data som samlats in genom de olika metoderna. Datan analyseras även var för sig i relation till vald metod, nedan beskrivs förloppet i Figur 1.



Figur 1 Schematisk bild över analysprocessen

2.2 Koppling mellan frågeställningar och metoder för datainsamling

Nedan presenteras de metoder som används för att besvara frågeställningarna.

2.2.1 Hur utförs livscykelanalyser och hur används resultatet i byggbranschen idag?

Frågeställningen besvaras i första hand med hjälp av en litteraturstudie. Litteraturstudien kompletteras med semistrukturerade telefonintervjuer med personer som arbetar med livscykelanalyser. Den kunskap som finns inom området i forskningsrapporter och liknande ger en bild av hur dagsläget ser ut. Genom semistrukturerade intervjuer förvärvas en fördjupad förståelse inom området.

2.2.2 Hur skiljer sig två mjukvaruprogram för koldioxidberäkning åt?

Frågeställningen besvaras med hjälp av en fallstudie innehållande datorutförda beräkningar, i Bidcon respektive Anavitor, utifrån en modell som skapas i Autodesk Revit 2016 på ett punkthus på ca 1440 m² BTA. Underlag för det redan producerade huset fås från ingenjörbyrån Tyréns AB i form av ritningar i PDF- och .dwg-format. Dokument med resultat från beräkningarna analyseras och jämförs med insamlad litteratur.

2.2.3 Hur kan noggrannheten i resultaten ökas vid användandet av programmen?

Frågeställningen besvaras genom litteraturstudie, intervjuer och fallstudien. Valet av flera metoder ger studien ett större djup och fler nyanser. Intervjuer kan stärka eller falsifiera befintlig litteratur och resultatet av beräkningarna kan jämföras med litteratur för att undersöka huruvida resultatet är rimligt. På det här sättet garderas studien mot effekten av diverse felkällor.

2.3 Valda metoder för datainsamling

I detta kapitel presenteras de olika datainsamlingsmetoderna som använts för att genomföra studien.

2.3.1 Datorberäkning

En fördel med en fallstudie är att en bild av hur något fungerar målas upp istället för att beskriva alla möjliga fall (Ejvegård, 2009). I fallet kan triangulering utföras om flera metoder används i fallet (Eliasson, 2013). De resultat som erhålls i fallstudien genom datorberäkningar analyseras och jämförs med annan litteratur och dokument som kan styrka eller falsifiera uppgifterna. Eftersom studien främst berör användandet av programmen, enligt kapitel 1.4, anses det räcka med att undersöka ett fall. Att endast undersöka ett fall kan vara riskabelt för studiens validitet. I studien anses dock ett fall ge den nödvändiga empirin, då metodtriangulering kan ske med semistrukturerade intervjuer och litteraturstudien. Den kvantitativa data som insamlas med hjälp av fallstudien är viktig för att dra slutsatser, värt att notera är att i den här studien är själva användningen också viktig.

2.3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien är nödvändig för att undersöka var forskningsfronten ligger idag och för att hitta luckor i den befintliga kunskapen, så kallade ”gaps”. Ytterligare anledning

att utföra studien är för att placera annan insamlad data i ett sammanhang vilket möjliggör jämförelse av datas relevans (Winchester & Salji, 2016). Information söks på flera databaser med olika nyckelord och varianter av dessa nyckelord. Litteratursökningen börjar brett men smalnar sedan av. Så långt det är möjligt sparas lästa artiklar för att kunna analyseras ytterligare.

2.3.3 Semistrukturerad Intervju

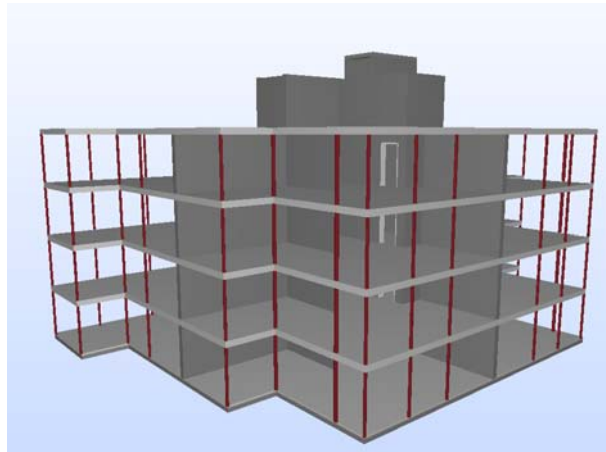
Intervjuer har olika grad av standardisering och strukturering. Till skillnad från en helt strukturerad intervju ger en semistrukturerad intervju större möjligheter för respondenten att svara friare (Patel & Davidsson, 2011). För att standardisera intervjun byggs ett frågeformulär upp. Frågeformuläret utesluter inte följdfrågor men tjänar som grund för intervjun (Heck, 2006). Frågorna kan vara mer eller mindre öppna och svaren kan därför bli både precisa och korta eller mer svävande och med längre svar. Vid kortare svar kan följdfrågor för att gräva djupare vara att rekommendera. Vid längre svar kan det vara bra att kort summera vad respondenten sagt för att säkerställa att intervjuaren förstått respondenten korrekt (Ayres, 2008). Frågorna bör dock vara korta eftersom möjligheter till fördjupande följdfrågor finns. Semistrukturerade intervjuer kan, enligt en handbok bäst att utföra med två intervjuare, där en intervjuar och den andra sköter anteckningar, inspelning och liknande (Wilson, 2014).

2.4 Arbetsgång

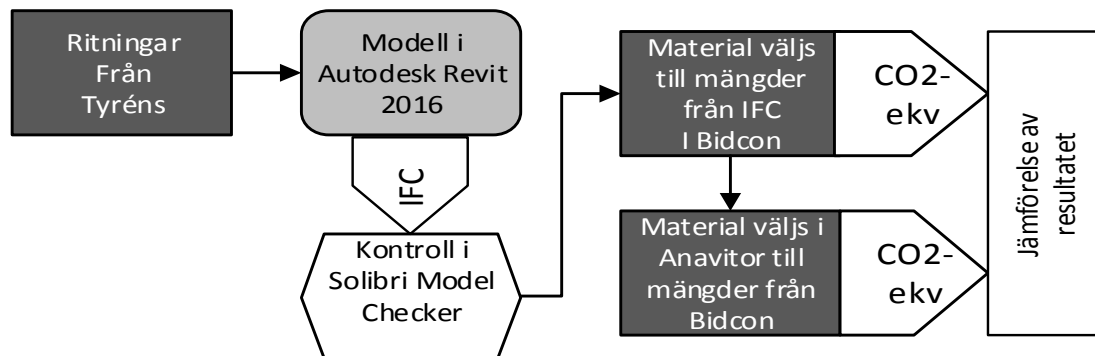
En litteraturstudie genomfördes för att säkerställa var forskningsfronten ligger idag samt för att undersöka hur olika analyser och analysverktyg används idag. Litteratur inhämtades främst via artiklar i olika journaler och konferensbidrag. Litteraturen hämtades via databaser, främst ”Scopus”, ”Emerald” och ”Science direct”. Viss litteratur som rörde klimatförändringar hittades via ”Google Scholar”. I sökningarna användes främst följande nyckelord: ”analysis”, ”BIM”, ”carbon dioxide” ”embodied Carbon” och ”LCA”. Litteratur har även hittats genom källförteckningar i andra forskningsrapporter och i samma journaler som andra lästa artiklar. De valda rapporterna är främst från åren 2013–2017 och är objektivt sett aktuella. Även äldre rapporter finns med från tidigare år än 2013, innehållet i rapporterna har dock jämförts med rådande forskning och har bedömts som aktuell i jämförelse med senare publicerad litteratur. Litteratursökningen har sedan fortsatt kontinuerligt under arbetets gång.

De semistrukturerade intervjuerna genomfördes med hjälp av ett frågeformulär som byggdes upp utifrån de teorier som berörs i kapitel tre. För att säkerställa relevanta svar så intervjuades personer som dagligen arbetar med analyser då de bedömdes veta hur analyser och program används idag. Respondenterna presenteras närmare i avsnitt 4.1 och 4.2. Intervjuerna användes som komplement till litteraturstudien för att få en fördjupad och nyanserad bild. Intervjuerna tolkades och sammanfattades, sammanfattningen skickades via e-post till respondenten för att försäkra att tolkningen av intervjun stämde med vad respondenterna tyckte. Alla intervjuer med undantag av den med respondent U1 genomfördes via telefon. Respondent U1 intervjuades i vederbörandes företagslokaler.

En fallstudie genomfördes på stommen av ett nybyggt punkthus på ca 1440 m² BTA beläget på Hörsjögatan 14, Smålandsstenar. Stommen bestod främst av prefabricerade element i betong. Huset är uppbyggt runt hisschaktet som bildar en kärna i huset. Förutom kärnan av prefabricerade betongväggar används också stålpelare i fasaden för att hålla upp bjälklaget. Stommen modellerades i Autodesk Revit 2016 och exporterades till en IFC-fil, se figur 2. En Schematisk bild över fallstudiens genomförande finns redovisad i Figur 3.



Figur 2 Skärmmurklipp från programmet Solibri Model Checker. Bilden visar den modellerade stommen som undersöks i fallstudien.



Figur 3 Schematisk bild över fallstudiens arbetsgång

Underlaget för modellen var ritningar i PDF-format och DWG-format som tillhandahölls av Tyréns AB. Ritningsunderlaget kan inte biläggas på grund av sekretesskäl, men är för studien ointressant, då endast mängderna eftersöks för att genomföra beräkningarna. IFC-filen kollisionskontrollerades efter det att byggdelarna modellerats i Solibri model checker. Detta för att säkerställa att inga modelleringsfel förekom. IFC-filen importerades till Bidcon via dess BIM-verktyg, därigenom erhöles de modellerade mängderna. IFC-filen importerades även till Anavitor som identifierade delarna i modellen. Mängderna för modellen hämtades från Bidcon och matades in manuellt i Anavitor varefter resultatet erhöles. De ingående materialerna summerades på tre olika poster. Betong, armering och stålpelare. Armeringen som användes vid analyserna var av kvaliteten B500B, stålpelarna var av profiltyp KKR 100x100x6 och 150x150x8. I kapitel 3.4 beskrivs en LCAs olika skeden. För att ge jämförbara resultat begränsades Anavitors beräkningar till att endast ta hänsyn till samma skeden som bidcon. Den ifrån Bidcon erhållna materialmängden redovisas i tabell 1. Denna kontrollerades mot mängderna i Autodesk Revit, för att säkerställa att inga av de modellerade mängderna föll bort vid importen. Den fullständiga sammanställningen från Anavitor och Bidcon finns i Bilaga 1 respektive Bilaga 2.

Tabell 1 sammanställning av ingående material

Ingående material	Mängd
Betong C25/30	665 m ³
Armering	34740 kg
Pelare, stål	4665 kg

2.5 Trovärdighet

Programvarornas resultat kunde jämföras tack vare att samma indata användes vid beräkningarna. Att samma parametrar kunde användas i de olika programmen ger studien validitet.

Innan intervjuerna med personer i branschen genomfördes byggdes ett frågeformulär upp utifrån frågeställningarna, samt de rapporter och studier som lästs i litteraturstudien. För att säkerställa att relevant information erhöles användes Daphne M. Keats metodik för intervjuer i organisationsmiljöer (Keats, 2000). Litteraturstudien behandlar litteratur från flera olika länder. Vissa länder har inte tillgång till programmen i fallstudien. Kunskapen från de aktuella artiklarna är dock av en mer generell karaktär och inte specifika för Bidcon och Anavitor. Lärdomarna från litteraturstudien ger en insikt av vad det finns för potential och generella problem med analyser av klimatdata. Valet av litteratur komprometterar därför inte validiteten utan ger viktiga lärdomar och information som är värdefull för att ge kunskap inom det undersökta området.

Bryman (2008) skriver att telefonintervjuer kan medföra svagheter genom att intervjuaren inte kan reagera på ansiktsuttryck eller andra synliga tecken på osäkerhet rörande frågan. Han framhåller dock att det finns fördelar med telefonintervjuer i form av att respondenten inte påverkas av intervjuarens kön, klass, ålder, etnisk bakgrund och intervjuarens närvaro.

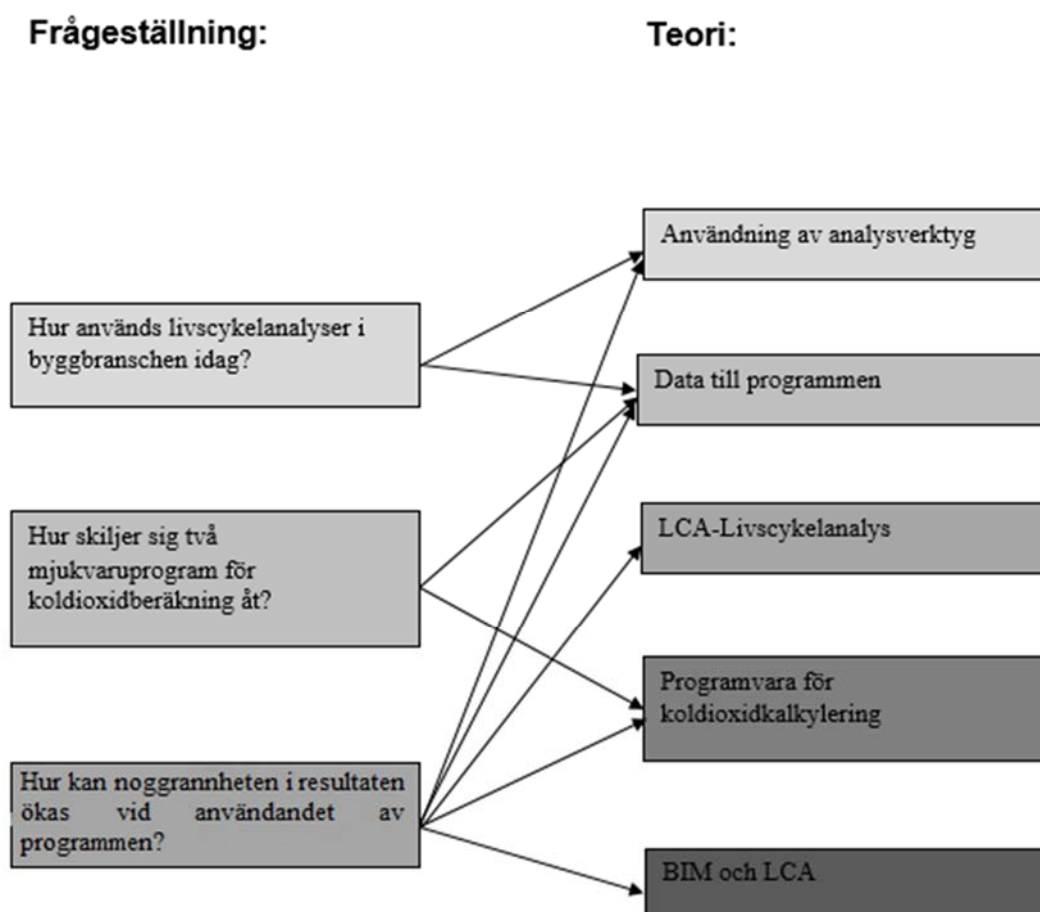
Användandet av två mjukvaror som behandlar data på olika sätt kan medföra en risk för fel. Då Anavitor är modellbaserat, medan Bidcon snarare är kalkylobjektbaserad, är det lätt att indata kan ha vissa differenser. För att eliminera denna felkälla modelleras först byggnaden upp efter handlingarna från Tyréns. Därifrån förs sedan mängderna in i programmen. Sedan kontrolleras geometri och materialdata för samtliga byggdelar. Detta för att säkerställa att indata är densamma vilket bidrar till rapportens validitet.

3 Teoretiskt ramverk

I följande stycken redogörs var forskningsfronten befinner sig i dagsläget. De innehåller även de teoretiska kopplingarna till lösningarna på studiens frågeställningar. När koldioxid nämns syftar det på så kallad GWP (Global Warming Potential, sv. Global uppvärmningspotential) mätt i koldioxidekvivalenter. Olika växthusgaser har olika stor potential för att höja den globala genomsnittstemperaturen. Koldioxidekvivalenter används för att väga in flera olika gaser i resultatet vid sidan om just koldioxid. (Naturvårdsverket, 2017)

3.1 Koppling mellan frågeställningar och teori

För att kunna besvara frågeställningarna och för att bygga upp kunskap i arbetet behövs ett teoretiskt ramverk som omsluter arbetet. I ramverket ingår flera teorier med anknytning till de olika frågeställningarna. Vissa av de studerade ämnena anknyter till flera frågeställningar. För att tydliggöra detta har en schematisk bild över frågeställningarna och valda teorier gjorts (se Figur 4)



Figur 4: Schematisk bild över kopplingar mellan frågeställningar och teori

3.2 Användning av analysverktyg

I en jämförelse av enkätsvar från arkitekter i Tyskland och Sverige kommer Schade m.fl. (2013) fram till att energianalyser i Sverige i första hand görs för att uppfylla kundens behov och i andra hand för att uppfylla de krav som den aktuella myndigheten

ställer. Den främsta anledningen till att en energianalys inte utfördes är för att kunden inte efterfrågar någon analys. Istället för analysen används standardiserade lösningar och tumregler framför energianalyser. Schade m.fl. drar slutsatsen att om inte kunden efterfrågar alternativa lösningar baserade på energianalyser så finns det inget intresse hos företagen att erbjuda alternativa lösningar. I en annan enkätstudie utförd av Dahl Schlanbusch m.fl. (2016) framkommer det att många tycker det är svårt att hitta och samla in data, samt att det är dyrt och tidskrävande. Tre av respondenterna som intervjuades sa att det var låg efterfrågan på just LCA. Intresse finns dock av att göra analyser av miljöpåverkan med hjälp av BIM, med avstamp i ett livscykelerspektiv (Soust-Verdaguer, Llatas, & García-Martínez, 2017). Samma författare anser det rekommenderat att utföra en LCA så tidigt som möjligt för att ge slutanvändaren möjlighet att välja materialleverantörer och utformning baserat på miljöpåverkan.

Analyser utförs ofta i samband med detaljprojekteringen, vilken inträffar sent i projekteringen medan viktiga beslut ofta fattas i början av projekteringen. Ändringar till följd av analyserna blir då mycket dyrare och svårare att utföra än om analyserna hade utförts tidigare i projekteringen (Schade, Wallström, Olofsson, & Lagerqvist, 2013) (Schluter & Thesseling, 2009).

De svenska byggreglerna, vilka återfinns i BBR, innehåller krav på energianvändningen under en byggnads drifttid. Reglerna tar hänsyn till geografisk placering i landet och uppvärmningssystem men tar inte hänsyn till byggnadens övriga miljöpåverkan i samband med materialval, transport, byggnation och rivning (Westlund, o.a., 2014). Som nämnts ovan skriver Schade m.fl. (2013) att en av de främsta anledningarna till att energianalyser utförs är krav från myndigheter. Det finns ingen anledning att tro att det skulle förhålla sig annorlunda med livscykelanalyser än energianalyser. Det står emellertid klart att för att få en rättvisande bild av en byggnads klimatpåverkan bör även den inbyggda koldioxiden tas med i beräkningen jämte energianvändningen under drift (Westlund, o.a., 2014) (Saade, o.a., 2014).

3.3 Data till programmen

Olika byggmaterial bidrar till olika mängd koldioxidutsläpp (Ruuska, 2013). Betongen är till exempel känd för stora koldioxidutsläpp på grund av cementtillverkningen. Tillverkningen kan dock effektiviseras till exempel genom att använda flygaska och andra substitut för att minska koldioxidutsläpp vid cementtillverkning (Ammenberg, o.a., 2015) (Kuittinen, 2016). På grund av variationer i koldioxidutsläpp även inom samma materialgrupp är det viktigt att data finns för den specifika produkten för att korrekta analyser, att basera beslut på, ska kunna utföras (Schmidt, 2009).

Att bara ta hänsyn till vilket material som används är inte tillräckligt eftersom koldioxidutsläppen ökar för varje steg i en produkts process såsom råvaruutvinning, produktion, transport och så vidare (Schmidt, 2009). Även organiska byggmaterial såsom trä kan orsaka stor miljöpåverkan. På grund av att det kan vara komplext att beräkna koldioxidutsläppen från alla steg i produktionskedjan används ofta generella värden i beräkningar. Därför kan värden för olika byggmaterial skilja mellan olika länder och även inom landets egna gränser (Saade, o.a., 2014). Då generella värden används så beräknas inte koldioxidutsläppen för den önskade produkten. Beräkningen gäller istället en uppiktad, om än liknande produkt (Schmidt, 2009). En annan svårighet är att göra uppskattningar av vissa steg i livscykelanalysen. Till exempel

mängden koldioxid under konstruktion och rivning (Soust-Verdaguer, Llatas, & García-Martínez, 2017).

Även om det finns standarder för LCA (SS-EN ISO 14040:2006) så finns det ingen standarddatabas där koldioxidvärden för olika byggdelar och byggmaterial går att hämta. Miljövarudeklarationer som innehåller koldioxidvärden för byggmaterial och byggdelar finns ofta tillgängliga men ofta är miljövarudeklarationerna i PDF-format vilket försvårar att koppla data till en BIM-modell eller en databas för koldioxidvärden. Bristen på relevant data för en specifik leverantör gör det svårt att få tillförlitliga LCA (Shadram, Johansson, Lu, Schade, & Olofsson, 2016) (D'Incognito, Costantino, & Giovanni, 2014). Verktyg för att analysera miljöpåverkan med hjälp av BIM har stor potential men för att sådana verktyg ska få större genomslagskraft så krävs att processen utvecklas och standardiseras (Oduyemi, Okoroh, & Fajana, 2017) (Saade, o.a., 2014).

3.4 LCA-Livscykelanalys

En LCA (**LivsCykelAnalys**, engelska: **LifeCycleAssessment**) definieras enligt standarden SS-EN ISO 14040:2006. Enligt standarden så beror genomförandet på vad det är som ska studeras. Stegen i analysen behandlas mer detaljerat i följande standarder: ISO 14041 – ISO 14049. Utförandet sker i fyra faser:

- Definition av mål och omfattning
- Inventeringsanalys
- Miljöpåverkansbedömning
- Tolkning

Även om utförandet av en LCA är standardiserat enligt ovan finns det ändå utrymmen för variationer inom LCA på grund av det första steget: ”definition av mål och omfattning”. Skillnader uppträder i fråga om vad som undersöks. Det är möjligt att analysera flera parametrar av en produkts miljöpåverkan, till exempel växthusgaser, påverkan av vatten, hälsorisk för människor med mera. Men det går också att ”bara” undersöka en parameter, till exempel utsläpp av växthusgaser.

Skillnad i resultat av koldioxidberäkningar kan också bero på analysens omfattning. I byggsammanhang avgränsas LCA ibland från vaggan till byggplats, medan det ibland talas om hela livscykeln, d.v.s. från vaggan till graven (Saade, o.a., 2014) (Moncaster & Symons, 2013). I en fallstudie av Peñaloza m.fl. (2016) ändrades olika parametrar såsom byggnadens livslängd, avfallshantering samt perspektivet på hur koldioxid tas upp av skogen under växtperioden. Vilket hade följden att resultatet av utförda LCA:er skiljde sig. Författarna skriver att det är viktigt att vara försiktig med antaganden om materialens hantering i slutet av livscykeln eftersom det ligger så pass långt fram i tiden.

Standarden SS-EN 15804:2012 anger hur en miljövarudeklaration, även kallad EPD (eng. Environmental Product Declarations) ska utföras. Tanken är att en EPD ska beskriva produkten verifierbart, precist och ej missledande för att göra det möjligt att göra val utifrån deklarationerna. SS-EN 15978:2011 är en annan europeisk standard som innehåller regler för beräkning av miljöprestanda, både för nya och befintliga byggnader.

Ovan nämnda standarder kategoriserar även in byggnader i olika skeden som beskriver hur omfattande en analys är (se Figur 5). Ur ett perspektiv från vaggan till byggplats

rör sig LCA: n inom A1-A3 medan ur perspektivet från vaggan till graven rör sig till och med C1-C4 och ibland också D.

Byggprocessen (byggandet)																D
A 1-3 Produktskede			A 4-5 Byggskede		B 1-7 Driftskede							C 1-4 Slutskede				Övrig miljöinfo
A1-Råmaterial	A2-Transport	A3-Tillverkning	A4-Transport	A5-Byggproduktion	B1-Användning	B2-Underhåll	B3-Reparation	B4-Utbyte	B5-Renovering	B6-Energianvändning	B7-Vattenanvändning	C1-Rivning	C2-Transport	C3-Avfallshandling	C4-Sluthandling	Potential för återanvändning och material- och energiåtervinning
Inbyggd											Inbyggd					
Uppströms											Nedströms					

Figur 5: Uppställning över hur mycket som täcks in i en LCA, och hur de olika stegen benämns. (Källa: SS-EN 15978:2011)

3.5 Programvara för koldioxidkalkylering

3.5.1 Bidcon

Bidcon är ett av de program som beräknar koldioxidutsläpp. Programmet är främst ett kalkyleringsprogram men visar även mängden koldioxidutsläpp en byggnadsdel bidrar med. Kostnad och miljöpåverkan jämförs parallellt. Programmet kan arbeta utifrån en IFC-fil eller så kan manuell inmatning av mängder användas (Elecosoft Consultec AB, 2016). Vissa miljödata kommer från Tyréns AB:s LCA-grupp. Miljödata rörande de stora materialslagen som trä, betong och stål hämtas från databasen Ecoinvent. Dessutom hämtas indata från litteratur, forskningsstudier, andra databaser samt Elecosofts egna utvecklingsarbete (Elecosoft Consultec AB, 2016). I samband med en pressrelease angående klimatmodulen för Bidcon beskriver Tyréns AB en LCA som "[...] en byggnads samlade miljöpåverkan, från råmaterialutvinning och vidare till produktion, transport, användning och slutbehandling." (Tyréns AB, 2016).

3.5.2 Anavitor

Anavitor är ett program för miljöutvärdering där bland annat mängden koldioxid mäts. Programmet utgår antingen från en 3D-modell som konverteras till IFC-format eller från kalkylsystem och mängdförteckningar. Användandet av kalkylunderlag och mängdförteckningar har nackdelen jämfört med 3D-modell som underlag då kalkyl och mängdning sker sent i projekteringen medan en 3D modell kan användas tidigare för att utvärdera olika val (Anavitor AB, 2017).

Miljödata som används för att beräkna den totala miljöbelastningen för inbyggnad, underhåll, drift och rivning, tillhandahålls av IVL, det svenska miljöinstitutet (Anavitor AB, 2017).

3.6 BIM och LCA

Azhar m.fl. (2011) skriver, angående BIM-baserade programvaror för att utvärdera hållbarhet hos en byggnad: ”*Det här kan spara anseelig tid och resurser*” (Översatt). Illhan och Yaman (2015) skriver att BIM är ett utomordentligt verktyg för att kunna projektera hållbara byggnader. I deras studie utformas ett ramverk för att utifrån en BIM-modell kunna analysera byggnadens miljöpåverkan och att kunna bedöma byggnaden utifrån miljöcertifieringssystemet BREEAM. Flera andra studier har gjorts för att hitta ett användbart ramverk för att koppla samman BIM med en byggnads miljöpåverkan. (Shadram, Johansson, Lu, Schade, & Olofsson, 2016) (Bank, McCarthy, Thompson, & Menassa, 2010) I Dahl Schlanbusch m.fl. (2016) undersökning uppger respondenterna att det är svårt att få ut kvantiteter ur BIM-modellen vilka behövs för att kunna utföra en analys. Liksom tidigare studier konstaterar författarna att det råder en allmän uppfattning om att det är brist på miljödata. Shadram m.fl. (2016) upprättade ett ramverk för att koppla BIM med analys av olika materials miljöpåverkan. I deras modell går det att jämföra olika leverantörer för att se vilken leverantör som ger minst mängd inbyggd koldioxid. Författarna skriver att det leder till att beslut baserade på fördomar, om olika material, kan undvikas tack vare att fakta avseende hela livscykeln klargörs.

3.7 Sammanfattning av valda teorier

Användningen av analysverktyg är begränsad idag, det vanligaste är att konstruktören går efter standarder och tumregler (Schade, Wallström, Olofsson, & Lagerqvist, 2013). Anledningar till att LCA inte utförs är att det sällan finns krav från vare sig kunder eller myndigheter, det saknas alltså incitament för att utföra en fullständig LCA (Westlund, o.a., 2014) (Schade, Wallström, Olofsson, & Lagerqvist, 2013). Vidare anser många att det är svårt att samla in den data som krävs för en LCA eller att data som finns är otillräcklig (D’Incognito, Costantino, & Giovanni, 2014) (Shadram, Johansson, Lu, Schade, & Olofsson, 2016). Analyser bör utföras så tidigt som möjligt i projekteringen för att möjliggöra beslut baserade på analysen (Schade, Wallström, Olofsson, & Lagerqvist, 2013) (Schluter & Thesseling, 2009). En del forskning har genomförts för att undersöka om det går att koppla LCA verktyg till BIM (Bank, McCarthy, Thompson, & Menassa, 2010) (Oduyemi, Okoroh, & Fajana, 2017) (Saade, o.a., 2014). Det hade möjliggjort ett enklare förfarande och möjliggjort att förändringar och dess effekter kan kartläggas enklare och tidigare i projekteringen (Azhar, Carlton, Olsen, & Ahmad, 2011) (Illhan & Yaman, 2015). Två exempel på LCA-verktyg som beaktar koldioxid är Anavitor och Bidcon. Båda verktygen går att använda genom att en BIM-modell konverteras till IFC-format. De båda programmen har olika indata i programmet och de har olika fördelar. Bidcon är tänkt som ett kalkylprogram för en senare användning i projekteringen. Bidcon kan ställa kostnader och klimatpåverkan mot varandra vilket ger ett starkt beslutsunderlag. Även Anavitor kan använda kalkyler som underlag men det går också använda en IFC-modell (Anavitor AB, 2017) (Tyréns AB, 2016) (Elecosoft Consultec AB, 2016).

4 Empiri

I följande kapitel redovisas den insamlade empirin som samlats in enligt kapitel 2. Kapitlet är indelat i mindre avsnitt för de använda metoderna.

4.1 Semistrukturerade intervjuer med programanvändare

Intervjuerna genomfördes utifrån en intervjuguide grundad i studiens frågeställningar. Frågorna är uppdelade i två delkapitel för att visa vilken frågeställning de är tänkta att besvara. Tabell 2 redovisar de respondenter som dagligen arbetar med livscykelberäkningar. Respondenterna är konfidentiella och har därför betecknats med ett nummer. Då Bidcons klimatmodul är relativt ny har inga användare av Bidcon intervjuats.

Tabell 2: Tabellen innehåller information om de respondenter som arbetar med LCA avseende befattning, vilket företag de är anställda vid och hur mycket erfarenhet de har inom området.

Nr:	Befattning:	Företag	Använder program	Erfarenhet av LCA/byggbranschen (År)	spelades in
A1	Projektledare inom WSP Miljömanagement	WSP Sverige AB	SimaPro, Excel	9/5	Ja
A2	Arbetar med miljöberäkningar	Informationsbyggarna AB	Anavitor	10/7	Ja

4.1.1 Hur utförs livscykelanalyser och hur används resultatet i byggbranschen idag?

Med vilken frekvens efterfrågas livscykelanalyser?

Ingen av respondenterna kunde delge någon procentsats men de ansåg att trenden var ökande. Fler och fler i branschen gör Livscykelanalyser.

Vad är främsta anledningen till att man gör en LCA?

Enligt respondent A1 så beror den ökande trenden med livscykelanalyser på beställarkrav i till exempel hållbarhetsprogram kopplat till stadsutveckling eller genom krav på miljöcertifieringssystem. Även respondent A2 upplever att efterfrågan på LCA främst beror på beställaren, framför allt att kunden, beställaren eller entreprenören, har en miljöpolicy.

Hur tidigt i projektet utförs en LCA?

Enligt respondent A1 kan livscykelanalyser utföras i flera olika skeden. I tidiga skeden används erfarenhetsbaserade värden. Osäkerheten i de tidiga analyserna är större än analyser i ett senare skede eftersom alla beslut angående byggnaden inte är fattade

vilket medför att resultatet måste tolkas med stor försiktighet. Efter att byggnaden är färdigbyggd kan en miljövarudeklaration göras på byggnaden som bygger på en livscykelanalys. Respondent A2 delger att de främst utför livscykelanalyser i sena skeden eller när byggnaden står färdig som en redovisning av vad som byggts. Båda respondenterna säger att kundens krav och behov styr. Enligt respondent A1 så är oftast kunderna, i ett tidigt skede, mer intresserade av att få tips om vilka förändringar de bör göra för att skapa så stor positiv effekt som möjligt för deras byggnad. Det kräver emellertid oftast inte någon djupare analys utan lösningar kan erhållas genom erfarenhet på området.

Gör ni analysen flera gånger?

Respondent A2 anger att kunderna oftast efterfrågar en analys och då de flesta analyser görs efter byggnadens färdigställande finns det inget behov att göra analyser löpande över tid. Respondent A1 menar att det beror på vad kunden efterfrågar men oftast görs bara en analys.

Har ni en egen mall för de tillverkare/leverantörer ni använder er mest av?

Respondent A2 säger att de byggt upp egna bibliotek och samlat de värden som behövs för deras återkommande kunder baserat på miljövarudeklarationer för att kunna rationalisera arbetet och göra det effektivt. Respondent A1 menar att man börjar få bättre koll i branschen på olika material och byggnadsdelar genom tredjepartsverifierade miljövarudeklarationer som laddas upp i olika databaser, till exempel environdec.com. Fler och fler leverantörer får krav på sig att deklarerar sin miljöprestanda. Så genom de databassystem som finns anser respondent A1 att de börjar få ”benkoll” på vad olika material med de största tillverkarna har för miljöprestanda. A1 upplever det relativt enkelt att nå den data som behövs via olika databaser men inser att filformatet på data kan orsaka bekymmer vid direktimport. En större öppenhet kring data ämnade för LCA skulle kunna ge metoden med direktimport, från exempelvis en modell, ett större genomslag. En svårighet med att uppnå större öppenhet är dock att de aktörer som tillhandahåller generiska data måste ha finansiering för sin verksamhet och måste därför avgiftsbelägga sina data.

Använder ni mer än ett program för att kontrollera resultatets noggrannhet?

Respondent A2 använder sig enbart av Anavitor och tycker att det är tillräckligt. Respondent A1 använder sig av SimaPro och ibland av Microsoft Excel. Men en jämförelse mellan olika program görs inte regelmässigt.

4.1.2 Hur kan noggrannheten i resultaten ökas vid användandet av programmet?

Hur pass noggrant upplever du programmet/-en?

Respondent A1 säger att noggrannheten av analysen styrs av vad kunden efterfrågar, vid en livscykelanalys efter byggnadens uppförande anses analysen vara noggrant. Även respondent A2 upplever att det använda programmet är noggrant.

Hur mängdas material i byggnaden?

Båda respondenterna säger att mängderna som används i LCA-beräkningar av byggnader främst kommer från s.k. mängdförteckningar. Vissa LCA-programvaror kan hantera direktimport (och matchning med miljödata) av dessa mängduppgifter, men många gånger efterfrågas inte denna typ av funktion av kunder. A2 säger att IFC-filer endast används i tidiga skeden.

Kontrolleras indata, till exempel genom BIM-samordning eller egenkontroll?

Enligt svar på ovanstående fråga så erhålls värdena från andra. Respondent A2 menar att man helt enkelt får lita på att indata som används är korrekt.

Anser du IFC-filer vara tillförlitliga?

Respondent A1 delger att vid användning av direktimport kan det krävas viss handpåläggning, vilket skulle kunna upplevas som ett problem. Ett sätt att uppnå större kompletthet med direktimportsfunktioner är att få utförare av kalkylering att i större utsträckning använda de benämningar som finns inom klassifikationssystemen. Det innebär enklare matchning mellan mängd och miljödata. Att skillnaderna inte är större mellan de mängdförteckningar som tas fram beror på klassifikationssystem, såsom BSAB, så att informationen kan identifieras delas upp och sorteras på ett likartat sätt för bygg- och fastighetsverksamhet, oberoende av i vilken tillämpning informationen finns eller vilken aktör som hanterar den.

Respondent A2 använder endast IFC-filer i ett tidigt skede, då analyserna, enligt tidigare frågor, ändå inte är så noggranna.

Hur skulle indata kunna bli mer exakt?

Båda respondenterna säger att kvalitén på data som stoppas in i programmet styr kvalitén som kommer ut. Respondent A1 tillägger att indata står på två ben, det ena är den data som hämtas från miljövarudeklarationer och det andra är data som rör mängder. Idag kan råda olikheter mellan hur olika aktörer räknar. För att öka noggrannheten så måste jämförbarheten mellan olika databaser öka. Detta kan ske genom att alla räknar på samma sätt rörande miljövarudeklarationerna.

4.2 Semistrukturerade intervjuer med programutvecklare

Intervjufrågorna till programutvecklarna redovisas här på liknande sätt, men dessa frågor är riktade till utvecklarna angående respektive mjukvara, snarare än av generell karaktär.

Tabell 3 redovisar de respondenter som deltagit i intervjuerna och deras bakgrund.

Tabell 3 Tabellen innehåller information om de programutvecklande respondenterna avseende befattning, vilket företag de är anställda vid och hur mycket erfarenhet de har inom området.

Nr	Befattning	Företag	Utvecklar program	Erfarenhet av LCA/branschen (År)	spelades in
U1	Civ. ingenjör väg och vattenbyggnads-teknik	Informationsbyggarna AB	Anavitor	17/37	Ja
U2	Marknadschef / Affärsutvecklare civ.ing. samhällsbyggnad och teknik	Tyréns AB	Bidcon	27/7 (jobbar även med andra projekt)	Ja
U3	Produktägare nya Bidcon systemvetare	Elecosoft AB	Bidcon	5/4* *Endast LCA-erfarenhet från Bidcon-projektet.	Ja

4.2.1 Hur skiljer sig två mjukvaruprogram för koldioxidberäkning åt? Varifrån kommer de miljöbelastningsvärden som används i ert program?

Respondent U1 menar att Anavitors generiska miljödata främst kommer från IVL, och är bearbetad på så vis att de generiska värdena är något högre än de mer exakta som tas från EPD:er i ett senare skede.

Bidcons värden kommer enligt U2 och U3 i kommer från Ecoinvents databas, men även ifrån Tyréns AB:s LCA-grupp. Data från litteratur och forskning används också. Alla värden går att ersätta med data tagna från specifika tillverkares EPD:er.

Vilka aspekter vägs in i ert program? Tillverkning, energianvändning, transporter, etc.

Respondent U1 menar att Anavitor kan ta hänsyn till alla aspekter, men att detta kräver stora krav på tillförlitliga indata från programanvändarna.

Bidcons klimatmodul tar enligt U2 enbart hänsyn till det ingående materialets miljöpåverkan, d.v.s. steg A1-A3 i livscykelanalysen, i dagsläget, men utveckling fortgår menar U3, som säger att steg A4 är planerat att inkluderas sommaren 2017.

Tar programmet hänsyn till fler miljöaspekter än enbart koldioxidutsläpp?

Respondent U1 menar att det är väldigt viktigt att inte suboptimera beräkningarna för enbart koldioxid, därför räknar Anavitor även med andra miljöbelastningar.

Bidcon räknar i dagsläget endast miljöbelastning i form av koldioxidekvivalenter, enligt U2.

Hur är det tänkt at BIM-modeller ska kunna användas i programmet? Vilka fördelar finns det?

Möjlighet att importera en BIM-modell finns i båda programmen. Respondent U1 och U2 menar att BIM är bra i tidiga skeden, men otillräckligt i de senare. Verkliga mängder framgår ej, såsom skruv, beslag etc. Denna data måste tas från efterkalkyler för att resultatet ska spegla verkligheten. Forskning pågår, men implementeringen av BIM vid LCA-beräkningar är ännu ej tillräcklig.

När i projekteringen är det rekommenderat att analyser görs?

Samtliga respondenter respondenterna anser att analyserna bör utföras innan stora materialval, exempelvis stomval. U1 ser helst även att det används vid anbudsskedet, men att det i sådana fall skulle krävas ett ramverk för hur beräkningen görs, och hur anbudet utvärderas med hänsyn till klimatpåverkan.

U3 påpekar att Bidcons klimatverktyg till största del används efter det att projekteringen är klar, men att analyser i tidigare skeden skulle vara väl värda att utföra.

I en rapport rekommenderas att det koldioxidbidraget regleras på liknande sätt som energin regleras för byggnader idag, är dagens program tillräckliga för att kunna mäta så exakt att lagen skulle bli lika för alla?

Ingen av respondenterna anser att det i dagsläget är möjligt. Det finns allt för många variabler att ta hänsyn till. Respondenterna menar att det skulle krävas mer standardiserade metoder för beräkningar. Respondent U1 poängterar även att en suboptimering till endast koldioxid ej är att rekommendera.

Har ni jämfört ert programs resultat mot andra liknande program? Hur förhåller sig ert program gentemot andra?

U1 säger att någon direkt jämförelse inte har gjorts. Däremot använder Anavitoranvändare ofta mängdförteckningar från Bidcon som komplement till Anavitor, då respondenten menar att mängderna är mer lättöverskådliga där.

U2 och U3 menar att någon jämförelse av resultaten inte gjorts.

Är det möjligt för enskilda användare eller företag att göra en anpassad mall med de materialvärden som mest frekvent används i deras projekt?

Båda programmen har enligt samtliga respondenter denna funktion. Men det finns även standarddatabaser att använda.

4.2.2 På vilket sätt skulle noggrannheten hos programmen kunna ökas? Hur ofta uppdateras värdena i programmet?

De generiska data som Anavitor tillhandahåller menar U1 håller sig långt inom de standardiserade felmarginalerna $\pm 10\%$. Vid senare skede menar respondenten att data ska tas ifrån efterkalkyler. EPD:er från de faktiska materialleverantörerna, samt verkliga transportavstånd skall användas. Således hålls miljödata alltid uppdaterad.

Bidcons klimatmoduls generiska värden uppdateras enligt respondent U2 samtidigt som de ekonomiska värdena, d.v.s. två gånger om året.

Vilka är de främsta felkällorna vid beräkningarna?

U1 menar att anledningen till felaktigheter i analysen hänger på otillräcklig indata från användaren. Ju sämre den är, desto mindre speglar analysresultatet verkligheten. Anavitor har ett system för att på ett överskådligt sätt se indatas kvalitet, och tar hänsyn till dess brister vid beräkningar.

U2 menar att den största felkällan i Bidcons klimatmodul är att fel emissionsdata används. Det är viktigt att använda korrekt data från EPD:er från materialtillverkare.

U3 anser att felaktiga resultat i Bidcon beror på att data som matas in från användaren är felaktig. Exempel som att generiska värden för svensk betong används när internationellt fraktad betong i själva verket är det som används till byggnaden.

4.3 Fallstudie

Den insamlade empirin från fallstudien på flerbostadshuset i stål och betong finns nedan redovisad. En sammanställning av fallstudiens resultat redovisas i Tabell 5. Det fullständiga resultatet från Anavitor och Bidcon finns i Bilaga 1 respektive Bilaga 2.

Tabell 5. Sammanställning av fallstudien

Program	Anavitor	Bidcon
<i>Beräkningsresultat av fallstudie</i>	209 000 kg CO ₂ -ekv	199 000 kg CO ₂ -ekv
<i>Antal steg i LCA (se fig. 5)</i>	A1-A3	A1-A3
<i>Generisk miljödata tillhandahållen av</i>	IVL	Tyréns m.fl.
<i>Går att lägga till data själv</i>	Ja	Ja
<i>Kompatibel med IFC-fil</i>	Ja, men enbart antal byggdelar kan importeras. Area och volymmängder följer ej med vid import.	Ja, alla de mängder som modellerats följde med vid importen.

4.4 Sammanfattning av insamlad empiri

Den utifrån intervjuer insamlade empirin tyder på att LCA-beräkningar är något som ses allt oftare i branschen. Trots detta tycks en viss oklarhet råda över hur verktygen för beräkning skall användas. Noggrannheten hos programmets beräkningsmetoder bedöms av respondenterna som tillfredsställande, det som skiljer resultaten mellan de olika programmen bedöms snarare ha att göra med vilken indata som matas in, och hur detta görs. Det blir också en resultatskillnad då olika program tar hänsyn till olika många aspekter av miljöbelastningar, det vill säga räknar olika många steg i livscykeln. Samtliga respondenter, i enlighet med litteraturen presenterad tidigare, anser att ett tydligt ramverk behövs för att kunna utvärdera de beräknade resultaten.

Användandet av BIM-modeller upplevs i dagsläget som otillräcklig för att kunna göra en fullständig analys. Detta på grund av att inte all data som önskas följer med vid direktimport. Modellerna saknar även oftast väsentlig information berörande miljöbelastningar.

I dagsläget görs de fullständiga analyserna efter slutkalkylers mängder, d.v.s. efter att byggnaden är färdig. Det är önskvärt att kunna göra analyserna tidigare, för att ha möjlighet att söka alternativlösningar.

Trots att identiska indata matades in i de olika programmen, skiljde det ca 10 000 kg CO₂, vilket är 5 % av totala resultatet i Bidcon. Detta medför svårigheter att medelst lagkrav reglera mängden koldioxidutsläpp. I fallstudien styrktes även respondenternas påståenden att direktimport av en IFC-modell i dagsläget är otillräcklig och att mycket data måste matas in manuellt.

5 Analys och resultat

Kapitlet innehåller studiens resultat i form av analys av den insamlade empirin och hur den förhåller sig till den lästa litteraturen i kapitel 3.

5.1 Analys

Analysen delas upp i tre olika delar som behandlar olika delar av arbetet och jämför den insamlade empirin med varandra och undersökt litteratur.

- Analys av hur LCA-verktyg används idag
- Analys av programmens egenskaper
- Analys av programmens noggrannhet

5.1.1 Analys av hur LCA-verktyg används idag

I likhet med resultatet som Schade m.fl. (2013) når, visar de utförda intervjuerna att kundens efterfrågan är viktig för att en LCA ska utföras och hur noggrant den utförs. Respondent A1 beskriver vad som just nu driver utvecklingen:

”Efterfrågan på livscykelanalyser inom byggbranschen ökar och drivs framförallt av beställarkrav i t.ex. hållbarhetsprogram kopplat till stadsutveckling eller genom krav på miljöcertifieringssystem.”

Det är av betydelse att inse att det är beställaren eller kunden som driver kraven på utförande av LCA samtidigt som det inte är överraskande med tanke på att det inte finns några myndighetskrav som reglerar användningen av LCA.

Det är intressant att båda respondenterna säger att noggranna analyser sällan utförs i ett tidigt skede vilket annars rekommenderas av Soust-Verdaguer m.fl. (2017) Även Schade m.fl. (2013) och Schluter och Thesseling (2009) ser fördelar med att utföra en analys i ett tidigt skede av projekteringen. I enlighet med den lästa litteraturen anser programutvecklarna att analyserna ska göras i ett tidigt skede, innan eller i samband med materialval. Samtidigt utför programanvändarna inte analyser i ett så tidigt skede.

Analyserna görs ofta bara en gång, antingen i början eller i slutet av projekteringen beroende på kundens önskemål. Det är inte överraskande med tanke på att Dahl Schlanbusch m.fl (2016) visar att många tycker att det är resurskrävande att utföra noggranna analyser och att det saknas incitament att genomföra analyser (Westlund, o.a., 2014) (Schade, Wallström, Olofsson, & Lagerqvist, 2013). I ett tidigt stadi används endast generiska data i enlighet med aktuell standard. För en deklARATION av byggnaden används exakta värden så långt det är möjligt; för att undvika att göra en deklARATION av en annan, om än liknande byggnad (Schmidt, 2009). Det hade varit av avgörande betydelse att kunna göra en noggrann analys i ett tidigt skede i enlighet med det ramverk som Shadram m.fl. (2016) utvecklade för att inte bara kunna göra välgrundade beslut avseende materialval utan också avseende specifika produkter.

Resultatet av LCA:n jämförs inte mot beräkningar i andra program. Samtidigt som det är förståeligt att analysen endast genomförs en gång på grund av de resurser som krävs, är det anmärkningsvärt att analysen genomförs så pass onyanserat och inte jämförs med resultat från andra program eftersom vissa steg i framtiden är så pass osäkra. Till exempel vad som händer i slutet av en byggnads livscykel, det vill säga hur rivningen går till och hur byggmaterial tas omhand efter rivningen (Soust-Verdaguer, Llatas, &

García-Martínez, 2017). Å andra sidan bör programanvändaren kunna förlita sig på att programutvecklarna hela tiden jämför, uppdaterar och förbättrar sitt program för att hålla sig à jour med utvecklingen.

Enligt rapporter i teoriavsnittet upplevs vissa svårigheter att nå data i form av miljövarudeklarationer som är kompatibla med BIM (Dahl Schlanbusch, o.a., 2016) (Westlund, o.a., 2014). Respondenterna håller delvis med om detta, det är svårt att nå miljövarudeklarationer vars filformat är kompatibelt med BIM. Men respondent A2 säger också att för återkommande kunder som eventuellt använder samma byggsystem, bygger de upp ett bibliotek med miljövarudeklarationer efter olika tillverkare vilket underlättar processen. Respondent A2 säger:

”Det bygger ju på det, att deras kalkyl är ju redan kopplat mot vårt register; då går det mycket snabbare”

Angående tillgängligheten av EPD:er så menar respondent A1 att det finns en uppsjö av EPD:er kopplade till specifika byggprodukter. Men A1 menar också att en större öppenhet kring data ämnade för LCA skulle kunna ge metoden ett större genomslag. En svårighet med att uppnå större öppenhet är att de aktörer som tillhandahåller generiska data måste finansiera sin verksamhet och måste därför avgiftsbelägga sin data. Respondent A1 säger att statligt stöd skulle kunna vara en garanti till öppna datakällor.

För återkommande kunder är det troligen lönsamt att bygga upp en databank för just det företaget. Genom att bygga upp långsiktiga relationer med beställare eller entreprenörer blir det enklare att genomföra LCA:er. Samtidigt så ses vikten av att enkelt kunna nå EPD:er för att kunna jämföra olika produkter.

5.1.2 Analys av programmens egenskaper

Det är föga förvånande att resultaten kan skilja mellan programmen beaktat att programmen kan omfatta olika stor del av livscykeln. Bidcon behandlar endast steg A1-A3 medan Anavitor kan ta hänsyn till A1-C4. I den utförda fallstudien är Anavitor inställt att endast beröra A1-A3. Avvikelsen beror där således främst på differenser i materialens miljödata. Detta för att göra resultaten rakt jämförbara.

Det är intressant att programmen är olika eftersom det försvårar en jämförande analys. Det framstår därför som viktigt att programmen är tydliga med vilka skeden i LCA:n som behandlas enligt figur 5 och att LCA:n tydligt struktureras och definieras. Bidcons huvudsakliga användningsområde är kostnads kalkylering. När resultatet av miljöpåverkan i form av koldioxid ekvivalenter presenteras jämte kostnaderna ges användaren möjligheten att ställa kostnad och miljöpåverkan mot varandra. Detta är en intressant kvalitet då mycket av syftet med LCA är att kunna göra val för att åstadkomma miljömässigt goda byggnader. Det går även att se enskilda byggobjekts klimatpåverkan och ställa dem mot kostnad. På det här sättet ökar beslutsunderlaget kraftigt och eventuella prisskillnader åskådliggörs.

Även om Anavitor inte innehar samma kostnadsfunktion så finns det andra fördelar med Anavitor som kan vara värt att ta med sig till förfarandet. Utvecklare U1 menar att det kan vara farligt att stirra sig blind på koldioxidutsläpp, det finns fler aspekter att väga in såsom övergödning och försurning till exempel, att bara titta på koldioxidutsläpp behöver inte vara det som är det bästa för miljön.

”När vi pratar EPD:er och sånt så pratar vi egentligen om sju eller åtta olika kategoriseringsfaktorer...klimatet är en suboptimering som är farlig att göra egentligen.”

Anavitor har funktioner för att undersöka även annan miljöpåverkan vid sidan om klimatpåverkan genom koldioxidekvivalenter.

I både Bidcon och Anavitor så har de kompletterande data, Bidcon avseende ekonomiska data och Anavitor avseende annan miljöpåverkan. Det är intressant att information av ett slag sällan är tillräckligt. Mer information leder till bättre beslutsunderlag. Samtidigt så utförs flera analyser under samma tid vilket leder till minskade kostnader per analys.

Båda programmen är kompatibla med BIM, men i princip så är det bara mängderna som hämtas ur modellen i dagsläget. Mer information borde kunna hämtas ur modellen. Det går utan problem att lägga till information om material i modellen. Att lägga till information avseende materialens klimatpåverkan framstår inte som en omöjlighet. På så vis har modellen utrustats med allt som behövs för att göra en fullständig LCA i steg A1-A3. Eftersom modeller innehåller mer och mer information borde färdiga komponenter i modelleringsprogrammets bibliotek även kunna innehålla information från EPD:er. På så vis skulle mängdningsfunktioner i modelleringsprogrammet även kunna nyttjas för att sammanställa byggnadens klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter. Således skulle ett projekts miljöpåverkan kontinuerligt uppdateras under projekteringens gång.

5.1.3 Analys av programmets noggrannhet

Noggrannheten påverkas av åtminstone två olika punkter, den indata som kommer från EPD:er och den indata som kommer från programanvändaren. Då innehållet i en EPD är standardiserat och certifierat av en tredje part minskar även risken för fel i själva EPD:n. Problem uppstår dock när generiska värden används eftersom det är ett uppskattat medelvärde. Som Saade m.fl. (2014) visar så kan det skilja mycket mellan olika tillverkare och leverantörer. Ett medelvärde kan i värsta fall visa ett så kraftigt underskattat värde jämfört med den blivande verkligheten att det enligt Schmidt (2009) snarare ger en bild av en annan byggnad än det önskade objektet. Som fallstudien visar så går det att använda eventuell modell för att få mängder från byggnaden.

Som även Azhar m.fl. (2011) kommer fram till inses vikten av att LCA-analyser kan inkluderas i ett modelleringsverktyg. Att olika BIM-objekt kan förses med klimat- och miljödata hade inneburit en snabbare och enklare process där exakta värden från produktspecifika EPD:er kopplade till varje objekt hade gett ett noggrant och tillförlitligt resultat vilket skulle möjliggöra beslutsunderlag för de mest elementära materialvalen i byggnaden.

Eftersom utvecklingen hela tiden går framåt för de tillverkare som producerar olika material eller element så är det viktigt att de värden som används i en LCA uppdateras regelbundet för att ge mest tillförlitlig data. Som respondent A1 uppger så finns det databaser som tillhandahåller EPD:er, det är därför viktigt att ett nära samarbete mellan programutvecklare och sådana databaser etableras för att kunna förse programmet med noggranna och tillförlitliga resultat.

5.2 Hur utförs livscykelanalyser och hur används resultatet i byggbranschen idag?

Användningen av LCA i byggbranschen är begränsad om än ökande. Oftast utförs LCA i sena skeden i projekteringen. Under projektering används generiska värden. I vissa projekt används exakta värden efter byggnadens uppförande till grund för en miljövarudeklaration av byggnaden.

5.3 Hur skiljer sig två mjukvaruprogram för koldioxidberäkning åt?

Det finns markanta skillnader i vilka aspekter beräkningsprogrammen behandlar. Den mest resultatavgörande skillnaden är att beräkningen i Bidcon och Anavitor omfattar olika långa skeden i livscykeln. Detta ger ett svårjämförligt resultat om inte beräkningens omfattning tas hänsyn till. Detta betonar vikten av att tydligt definiera hur mycket en LCA ska innehålla, exempelvis i förfrågningsunderlag från beställare.

5.4 Hur kan noggrannheten i resultaten ökas vid användandet av programmen?

Beräkningsmässigt håller sig programmen inom de standardiserade felmarginalskraven. Vad som i huvudsak styr noggrannheten är den data som matas in av användaren. För att ge ett resultat som speglar det verkliga utfallet måste man frånga den generiska data som tillhandahålls, och istället mata in materialspecifika värden som kommer direkt från tillverkare. Detta kan redan vid projekteringsskedet vara möjligt om BIM-objekt förses med EPD:er i kompatibla filformat.

För att ge ett jämförbart resultat att använda i exempelvis anbudsgivning krävs att beställaren hänvisar till ett ramverk som beskriver hur beräkningarna skall utföras och med vilken detaljeringsgrad, till exempel genom att hänvisa till gällande standarder.

5.5 Koppling till målet

De tre frågeställningarna kopplade till målet, som hjälper till att beskriva hur LCA:er används idag, vilka utmaningar som finns och vad som kan bli bättre. Genom att utveckla LCA-verktyg till mer lättanvända och noggrannare verktyg kan en positiv spiral bildas där LCA:er blir en naturlig del av projekteringen.

6 Diskussion och slutsatser

I det följande kapitlet diskuteras resultatets trovärdighet, de valda metoderna och de avgränsningar som satts upp för studien. Kapitlet innehåller även de slutsatser som studien har nått. Kapitlet avslutas med områden inom ämnet som hade varit värdefulla att undersöka djupare.

6.1 Resultatdiskussion

Trots att antalet respondenter inte var så stort så kan informationen ändå sägas vara tillförlitlig. Respondenterna var ense i många frågor och deras svar överensstämde väl med undersökt litteratur. Det är sant att det begränsade antalet respondenter skulle kunna kompromettera studiens reliabilitet, samtidigt minskas den möjligheten på grund av triangulering med flera olika metoder. Studiens validitet har säkerställts genom att en semistrukturerad intervju har använts. Detta då en mindre standardiserad intervju hade blivit för oprecis och en mer standardiserad metod hade orsakat för lite utrymme för följdfrågor och förtydliganden. Det uppnådda resultatet ska därför anses som trovärdigt och i viss mån generaliserbart inom området.

6.2 Metoddiskussion

Litteraturstudien gav en god bakgrund till ämnet och hur LCA används idag. Vidare gav litteraturstudien värdefull information om hur och när en LCA bäst ska utföras. Att kunna jämföra litteraturstudien med svaren från intervjuerna var av avgörande betydelse för att säkerställa att läst information stämde med svenska förhållanden och att kunna analysera vissa skillnader mot hur LCA utförs idag.

Intervjuerna kunde ha utförts än mer strukturerat för att säkerställa mängden information. Vissa respondenter gav mer information än andra. Mer strukturerade intervjuer hade också underlättat för att göra fler intervjuer vilket hade kunnat vara intressant för att stärka studiens trovärdighet ytterligare.

Den gjorda fallstudien gav viktiga erfarenheter om hur det är att använda verktygen och för att tydligt se fördelar med de olika programmen och skillnad i resultat, samtidigt hade det varit intressant att göra en mer omfattande studie med fler fall och eventuellt fler verktyg.

De använda metoderna var av stort värde och det hade varit svårt att göra studien utan både en teoretisk och en mer praktisk del. Studiens metoder har gett ett fullgott resultat för att nå det uppställda målet och för att kunna dra generella slutsatser utifrån studien.

6.3 Begränsningar

Att avgränsa sig till enbart två program öppnar upp för möjligheten att ställa dess egenskaper rakt mot varandra. Med våra metoder klargörs inte bara de rent funktionsmässiga skillnaderna, utan också hur felaktig hantering av data ger utslag i det slutliga resultatet. Vare sig man använder ett enkelt Excelark eller ett avancerat livscykelberäkningsprogram såsom Anavitor grundar sig differenser i resultatet mestadels på vilka parametrar som tas hänsyn till.

Att avgränsa studien till att endast beröra stommaterialen ger ett mer lättöverskådligt, om än något nedbantat resultat. Generellt kan sägas att ju fler aspekter som bakas in i en livscykelberäkning, desto större risk för felkällor. Den här avgränsningen har

bidragit till att jämförelseresultatet blir metodmässigt greppbart, men likväl applicerbart på en mer rigorös livscykelanalys.

6.4 Slutsatser och rekommendationer

Problemet med att den inbyggda koldioxiden står för en allt större del av den totala klimatpåverkan under byggnadens livscykel kan tydliggöras med hjälp av LCA-verktyg.

För att LCA ska bli mer attraktivt i branschen och en naturlig del av projekteringen är det viktigt att LCA-verktyg är kompatibla med den information som finns i eventuell modell. Detta blir än viktigare desto längre fram BIM-utvecklingen kommer.

LCA-verktyg bör innehålla mer information än bara klimatpåverkan. För att undvika risken att optimera en byggnad för enbart klimatpåverkan, och istället riskera att förstöra miljön på annat sätt, bör även andra miljöaspekter vägas in i ett LCA-verktyg. Även annan information såsom ekonomiska aspekter kan kopplas in för att ge ett bra beslutsunderlag för beställaren.

För att öka användningen av LCA i byggbranschen krävs starkare incitament för att göra analyser. Eftersom omfattningen och detaljeringen av LCA:er i stor omfattning drivs av beställarkrav bör eventuella krav ställas på beställaren. Beställaren bör därför miljödeklarerat byggnaden. I ett längre perspektiv borde krav ställas på en byggnads miljöpåverkan liknande de krav som finns i BBR angående energianvändning.

Noggrannheten i resultaten beror till största del på den data som användaren matar in i programmet. Det vill säga mängder, ofta hämtade från en modell, och klimatpåverkansdata, ofta från EPD:er.

LCA-program kan utvecklas genom att bli mer kompatibla med digitala modeller. Det krävs att EPD:er görs tillgängliga i filformat som stöds av digitala programvaror för att enklare kunna nå den information som krävs.

LCA-verktyg ska kunna användas tidigt i ett projekt för att eventuella val ska kunna göras lättare. Samtidigt bör programanvändaren kunna använda produktspecifika EPD:er i ett tidigt skede för att kunna jämföra olika leverantörer och konstruktionslösningar.

6.5 Förslag till vidare forskning

Detta arbete ligger som grund till vidare forskning inom kopplingen mellan BIM och klimatberäkningar. Det kan även användas som utgångspunkt för att ta fram ett ramverk för klimatpåverkansberäkningar.

Det hade även varit värdefullt med en klarare uppställning över fler LCA-verktyg som används idag och att närmare undersöka vilken information en beställare önskar i anslutning till en utförd LCA. Samt undersöka hur en beställare eller projektör kan arbeta med LCA genom hela projekteringen.

I anknytning till beställarens roll i utvecklingen av LCA-användningen hade det varit av värde att undersöka hur en reglering av byggnadens klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv hade kunnat se ut.

7 Referenser

- Ammenberg, J., Baas, L., Eklund, M., Feiz, R., Helgstrand, A., & Marshall, R. (2015). Improving the CO₂ performance of cement part III: The relevance of industrial symbiosis and how to measure its impact. *Journal of Cleaner Production*, 145-155.
- Anavitor AB. (2017). *Koncept Beräkningsunderlag*. Hämtat från anavitor.se: <http://www.anavitor.se/Konceptet/Ber%C3%A4kningsunderlag.aspx> den 23 februari 2017
- Anavitor AB. (2017). *Konceptet: Beräkning*. Hämtat från anavitor.se: <http://www.anavitor.se/Konceptet/Ber%C3%A4kning.aspx> den 23 februari 2017
- Ayres, L. (2008). "Semi-Structured Interview. i L. M. Given (Red.), *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods* (s. 811). Thousand Oaks, Kalifornien, USA: SAGE Publications Inc.
- Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction*, 217-224.
- Bank, L. C., McCarthy, M., Thompson, B. P., & Menassa, C. C. (2010). Integrating BIM with system dynamics as a decision-making framework for sustainable building design and operation. *First International Conference on Sustainable Urbanization*. Hong Kong: ICSU.
- Bryman, A. (2008). *Samhällsvetenskapliga metoder*. Malmö: Liber.
- Burström, P. G. (2007). Betong. i P. G. Burström, *Byggnadsmaterial Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* (ss. 204-271). Lund: Studentlitteratur AB.
- Cubasch, U. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*.
- D'Incognito, M., Costantino, N., & Giovanni, M. C. (2014). Actors and barriers to the adoption of LCC and LCA techniques in the built environment. *Built Environment Project and Asset Management*, 5 iss: 2, 202-216.
- Dahl Schlanbusch, R., Mamo Fufa, S., Häkkinen, T., Vares, S., Birgisdottir, H., & Ylmén, P. (2016). Experiences with LCA in the Nordic building industry-challenges, needs and solutions. *Energy Procedia*, 82-93.
- Ejvegård, R. (2009). *Vetenskaplig metod*. Lund: Studentlitteratur AB.

- Elecosoft Consultec AB. (2016). *programvaror: bidcon*. Hämtat från [elecosoft.se: http://www.elecosoft.se/programvaror/bidcon#request](http://www.elecosoft.se/programvaror/bidcon#request) den 23 februari 2017
- Eliasson, A. (2013). *Kvantitativ metod från början*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Heck, R. H. (2006). Conceptualizing and Conducting Meaningful Research Studies in Education. i C. F. Conrad, & R. C. Serlin, *The SAGE Engaging Ideas and Enriching Inquiry* (ss. 373-392). Thousand Oaks, Kalifornien, USA: Sage Publication Inc.
- Illhan, B., & Yaman, H. (2015). Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Automation in Construction*, 70, 25-37.
- Keats, D. M. (2000). *interviewing a practical guide for students and professionals*. Buckingham: Open University Press.
- Kuittinen, M. (2016). Does the use of recycled concrete lower the carbon footprint in humanitarian construction? *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 472-488.
- Li, B., Fu, F. F., Zhong, H., & Luo, H. B. (2012). Research on the computational model for carbon emissions in building construction stage based on BIM. *Structural Survey*, 30, 411-425.
- Moncaster, A. M., & Symons, K. E. (2013). A method and tool for 'cradle to grave' embodied energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards. *Energy and Buildings*, 66, 514-523.
- Naturvårdsverket. (2017). *Koldioxidekvivalenter*. Hämtat från Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/#> den 31 05 2017
- Oduyemi, O., Okoroh, M. I., & Fajana, O. S. (2017). The application and barriers of BIM in sustainable building design. *Journal of Facilities Management*, 15.
- Patel, R., & Davidsson, B. (2011). *Forskningsmetodikens grunder Att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Peñaloza, D., Erlandsson, M., & Falk, A. (2016). Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings. *Construction and Building Materials*, 125, 219-226.
- Ruuska, A. (2013). *Carbon footprint for building products ECO2 data for materials and products with the focus on wooden building products*. Esbo (Finland): VTT.
- Saade, M. R., da Silva, M. G., Gomes, V., Franco, H. G., Schwaback, D., & Lavor, B. (2014). Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. *Smart and Sustainable Built Environment*, 3, 54-71.

- Schade, J., Wallström, P., Olofsson, T., & Lagerqvist, O. (2013). A comparative study of the design and construction process of energy efficient buildings in Germany and Sweden. *Energy Policy*, 58, 28-37.
- Schluter, A., & Thesseling, F. (2009). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction*, 18, 153-163.
- Schmidt, M. (2009). Carbon accounting and carbon footprint-more than just diced results? *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 1, 19-30.
- Schreiber, J. B. (2012). Meta-Analysis. i J. B. Schreiber, *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods* (s. 507). Thousand Oaks: SAGE Publications Inc.
- Shadram, F., Johansson, T. D., Lu, W., Schade, J., & Olofsson, T. (2016). An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. *Energy and Buildings*, 592-604.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (den 16 December 2008). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Science*, 106 no.6, 1704-1709.
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., & García-Martínez, A. (2017). Critical Review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110-120.
- Tyréns AB. (den 12 september 2016). *aktuell: nyheter*. Hämtat från tyrens.se: <http://www.tyrens.se/sv/aktuell/nyheter/tyr%C3%A9ns-utvecklar-klimatmodul-for-bidcon/> den 23 februari 2017
- Westlund, P., Brogren, M., Byman, K., Hylander, B., Kellner, J., Linden, C., . . . Winberg, F. (2014). *Klimatpåverkan från byggprocessen*. Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).
- Wilson, C. (2014). *Interview Techniques for UX Practicioners A User-Centered Design Method*. Waltham, Massachusetts, USA: Elsevier Inc.
- Winchester, C. L., & Salji, M. (2016). Writing a literature review. *Journal of Clinical Urology*, 9(5), 308-312.

8 Bilagor

Bilaga 1 Resultat från Anavitor

Bilaga 2 resultat från Bidcon

Branschgemensam kvalitetsrapport enligt IVL:s Anavitor-koncept



Projektbeskrivning	
Projektkod	Anavitor
Projektbenämning	Anavitor
Ort	Jönköping
Beställare	

Nyckeltal									
Beskrivning (fritext)	Byggnadsverk			Area					
	BSAB 96	Boverket		Ospecificerat	Bruttoarea (BTA)	Bruksarea (BRA)	Lokalarea (LOA)	Boarea (BOA)	A-temp
		Kod	Typ						

Reproducerbarhet	
Resursdatabas	Anavitor JTH
Miljödatabas	ANAVITOR Miljödatabas 2013
LCA-metodik	EN15804 samt i tillämpliga delar: Product category rules for building products. Miljöstyrningsrådet, PCR 2013:02.
Systematiska avsteg	Endast klimatpåverkan redovisas
Metodik driftsenergi, beräkning	E-norm har använts och interna rutiner "Referens till rapport"
Mätta värden	Värden har normalårskorrigerats och justerats för normalt brukande enligt SVEBY
Specifika eller generella data	Generella
Antagen livslängd på driftskede	50 år

Bilaga 1

Representativitet	
Indata materialsammansättning	
Indata drift och underhåll	Data följer de värden som ges i rapporten
Andel av kvalitet etc ges i förhållande till följande miljöpåverkanskategorier	Miljöpåverkanskategorier kg

Inventeringens omfattning enligt ISO 21930 och EN 15804					
Livscykelkedje	Analysens omfattning	Datakvalitet	Klimat, kg CO ₂ -ekv	EPD specific, kg CO ₂ -ekv	EPD generic, kg CO ₂ -ekv
<i>Produktskedet, summa A1-3)</i>					
A1) Råvaror	<input checked="" type="checkbox"/>		208 968		
A2) Transport	<input checked="" type="checkbox"/>				
A3) Tillverkning	<input checked="" type="checkbox"/>				
<i>Byggnadsskedet, summa A4-5)</i>					
A4) Transport	<input checked="" type="checkbox"/>				
A5) Bygg-, installationsprocessen	<input checked="" type="checkbox"/>		23 377		
<i>Användningsskedet, summa B1-7)</i>					
B1) Användning	<input type="checkbox"/>				
B2) Underhåll	<input type="checkbox"/>				
B3) Reperation	<input type="checkbox"/>				
B4) Utbyte	<input type="checkbox"/>				
B5) Ombyggnad	<input type="checkbox"/>				
B6) Driftsenergi	<input type="checkbox"/>				
B7) Driftens vattenanvändning	<input type="checkbox"/>				
<i>Slutskede, summa C1-4)</i>					
C1) Demontering, rivning	<input checked="" type="checkbox"/>		11 512		
C2) Transport	<input type="checkbox"/>				
C3) Restprodukthantering	<input type="checkbox"/>				
C4) Avfallshantering	<input type="checkbox"/>				

Bilaga 1

Miljödatakvalitet på ingående LCA-data enligt ISO 14044				
Tidsskede	A1-3	A4-5	B	C
Representativitet	●	●		
Precision	●	●		
Fullständighet	●	●		
Konsistent allokeringmetod	●	●		
Geografisk täckning	●	●		
Tidsrelaterad täckning	●	●		
Teknisk täckning	●	●		
Reproducerbarhet				

Miljöprestanda uppdelat efter byggdelar, bostäder och lokaler						
Byggnadsverkets inventering	Miljöindikatorer			Andel, % av totalen (Skede A)		
	Klimat, kg CO ₂ -ekv	EPD Specific, kg CO ₂ -ekv	EPD Generic, kg CO ₂ -ekv	Klimat-andel	Kostnads-andel	Viktandel
BY02 Trävaror, byggskivor, byggplåt	9 969	0	0	4,1 %		1,3 %
BY03 Betong, -varor, bruk och armering	222 376	0	0	91,2 %		98,7 %
Summa A1-5) Byggskedet	232 345					

Mest betydande materialresurser, byggskedet A						
	Miljöpåverkanskategorier			Andel, % av totalen		
Betydande materialresurser (max 1 A4 st eller >= 1%)	kg CO2 e			Klimatandel	Kostnadsandel	Viktandel
Fabriksbetong, bygg (IVL500)	186 003			80,1 %		95,6 %
Armering rakstål (IVL500)	35 923			15,5 %		3,1 %
Konstruktionsstål, obelagd (IVL500)	7 148			3,1 %		0,3 %
Formplywoodskivor (IVL500)	2 820			1,2 %		1,0 %
Armeringsnät (IVL500)	449			0,2 %		0,0 %

Bilaga 2

BD	Benämning	Mängd	Enhet	Antal	CO2-ekv/ enhet	CO2-ekv [...tot]
31	Väggar					57074,40
	Rutnätsarmering ø10	1619,0	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	25386
	Betong C25/30	192,6	m ³		164,5 kg CO2-ekv/m ³	31688
32	Pelare					10074,24
	KKR 100x100x6,3 (17,5 kg)	2,5	m	80	2,16 kg CO2-ekv/kg	7560
	KKR 150x100x8 (29,1 kg)	2,5	m	16	2,16 kg CO2-ekv/kg	2514,24
34	Kantbalk					14188,14676
	Armering	2399,971	kg		2,38 kg CO2-ekv/kg	5711,931456
	Betong C28/35	36,363	m ³		233,10 kg CO2-ekv/m ³	8476,2153
34	Platta (100 mm)					14170,8816
	Rutnätsarmering ø10	345,045	m ²		17,76 kg CO2-ekv/m ²	6127,9992
	Betong C28/35	34,504	m ³		163,8 kg CO2-ekv/m ³	8042,8824
34	Bjälklag 1 (270 mm)					25749,899
	Rutnätsarmering ø10	681,34	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	10683,4112
	Betong C25/30	91,981	m ³		163,8 kg CO2-ekv/m ³	15066,4878
34	Bjälklag 2 (270 mm)					25749,899
	Rutnätsarmering ø10	681,34	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	10683,4112
	Betong C25/30	91,981	m ³		163,8 kg CO2-ekv/m ³	15066,4878
34	Bjälklag 3 (270 mm)					25749,899
	Rutnätsarmering ø10	681,34	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	10683,4112
	Betong C25/30	91,981	m ³		163,8 kg CO2-ekv/m ³	15066,4878
34	Vindsbjälklag (270 mm)					25749,899
	Rutnätsarmering ø10	681,34	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	10683,4112
	Betong C25/30	91,981	m ³		163,8 kg CO2-ekv/m ³	15066,4878
34	Bjälklag vid hissschakt (150 mm)					437,68172
	Rutnätsarmering ø10	13,654	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	214,09472
	Betong C25/30	1,365	m ³		163,80 kg CO2-ekv/m ³	223,587
34	Bjälklag vid hissschakt (150 mm)					278,0183
	Rutnätsarmering ø10	8,38	m ²		15,68 kg CO2-ekv/m ²	131,3984
	Betong C28/35	0,629	m ³		233,10 kg CO2-ekv/m ³	146,6199
	SUMMA:					199223