



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 18023

Examensarbete 30 hp
Maj 2018

Användning av byggnadsinformationsmodellering (BIM) för effektivare klimat- och livscykelanalyser av byggnadskonstruktioner

Ivana Rodriguez Ewerlöf

REFERAT

Användning av byggnadsinformationsmodellering (BIM) för effektivare klimat- och livscykelanalyser av byggnadskonstruktioner

Ivana Rodriguez Ewerlöf

Byggprocesser och produktionen av byggmaterial orsakar stora delar av världens och Sveriges växthusgasutsläpp. För att uppnå en hållbar utveckling är det av stor vikt att minska klimatpåverkan från byggnadskonstruktioner. Genom att göra klimat- och livscykelanalyser av byggnader i tidiga designskeden ökar möjligheten att påverka design, material- och produktval för att minska klimatpåverkan.

I denna studie undersöktes hur byggnadsinformationsmodeller (BIM) och BIM-metodik kan användas för ökade möjligheter att effektivt utföra klimat- och livscykelanalyser av ingående byggnadsmaterial iterativt under projekteringsprocessen. Två 3D-modeller importerades till två verktyg för klimat- och livscykelanalyser, Bidcon och One Click LCA. Mängdavtagningen från objekten i modellen till båda LCA-verktygen fungerade automatiskt medan kopplingen mellan objekten och databaser med miljöpåverkansdata för byggobjekt och material innebar mycket handpåläggningsarbete. Processerna förutsätter att modellerna innehåller någon information om de ingående materialen i modellens objekt, vilket därför bör kravställas under projekteringen. För att kopplingen mellan materialbeskrivningar och databaser i LCA-programmen ska ske mer automatiskt bör materialen eller objekten benämnas standardiserat, till exempel med BSAB-koder, ett klassifikationssystem från Svensk Byggtjänst. Benämningarna bör sedan kunna kopplas automatiskt till poster i databaser för effektivare klimat- och livscykelanalyser.

Även intervjuer utfördes, i syfte att undersöka hur metodiken för integrering av BIM och LCA kan tillämpas i byggprojekt. Möjligheten att tillämpa detta i konsultföretag beror på beställarens krav samt i vilka skeden och discipliner konsulterna arbetar. Integreringsprocesser av BIM- och LCA-verktyg borde kombineras med interdisciplinära möten för bättre resultat. Detta tillsammans med ökad efterfrågan på klimat- och livscykelanalyser, exempelvis för att uppnå miljöcertifieringar, kan öka motivationen att använda metodiken. På så sätt kan byggnadsinformationsmodellering användas för effektivare klimat- och livscykelanalyser vilket bidrar till minskad klimatpåverkan från byggnadskonstruktioner.

Nyckelord: BIM, byggnadsinformationsmodell, CAD, LCA, livscykelanalys, klimatpåverkan, klimatanalys, koldioxidutsläpp, byggnader, byggnadsmaterial, informationshantering

*Institutionen för teknikvetenskaper, Industriell teknik, Uppsala universitet
Box 534, SE-751 21 Uppsala, Sverige*

ABSTRACT

The use of building information modeling (BIM) to achieve efficient life cycle assessments of buildings

Ivana Rodriguez Ewerlöf

Construction processes and the production of building material cause a large part of the emissions of greenhouse gases around the world. To achieve a sustainable development it is of great importance to reduce emissions from construction projects. Doing climate analyses and life cycle assessments of building materials during early design phases could enable more sustainable design and material choices. This thesis focuses on Swedish conditions.

During this study it was investigated how Building Information Modeling/Management (BIM) can be used to improve possibilities of doing efficient life cycle assessments (LCA) of buildings and included materials, during the whole design phase. Two 3D building models were transferred to two software tools, Bidcon and One Click LCA, for climate analysis and life cycle assessment of the building components. Quantity take-off from the model objects to the tools worked automatically while the connection between the material descriptions and databases inside the tools had to be done manually. The process requires information about the materials in the model to work. To make the connections more automatic, material descriptions need to be more standardized and connect to entries in the databases.

Moreover interviews were held to investigate how the methods of integrating BIM with LCA can be used in construction projects. For consulting firms this depends on the demands from the client and which stages of the project the consultants work in. LCA-methods based on BIM should be combined with interdisciplinary meetings for better results. This together with an expanding demand for LCA could increase the motivation to use these methods, which enables reduction of climate impact from buildings.

Keywords: BIM, building information model, CAD, LCA, life cycle assessment, climate impact, climate analysis, carbon dioxide emission, buildings, constructions, building material, information management

*Department of Engineering Sciences, Industrial Engineering & Management,
Uppsala University
Box 534, SE-751 21 Uppsala, Sweden*

FÖRORD

Detta examensarbete avslutar studierna på Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och har genomförts under 20 veckor på konsultföretaget Tyréns.Handledare från företaget var Amanda Harlén på avdelningen Hållbart Byggnad och Utveckling samt Elin Kågas Ramström på avdelningen BIM Strategi & Samordning i Stockholm. Ämnesgranskare från Uppsala universitet var Åse Linné vid Institutionen för teknikvetenskaper och examinator var Monica Mårtensson vid Institutionen för geovetenskaper.

Stort tack till Elin, Amanda och Åse för ert engagemang och värdefull input. Tack även till alla andra som på något sätt bidragit till detta arbete, ingen nämnd ingen glömd.

Ivana Rodriguez Ewerlöf
Stockholm, maj 2018

Copyright © Ivana Rodriguez Ewerlöf och
Institutionen för teknikvetenskaper, Industriell teknik, Uppsala Universitet
UPTEC W 18023, ISSN 1401-5765
Publicerad digitalt vid Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala 2018

BEGREPPSFÖRKLARINGAR

LCA Life Cycle Assessment, livscykelanalys. Beräkning och bedömning av miljöpåverkan från resursflöden under processer, aktiviteter eller tillverkning av produkter. Olika miljöpåverkanskategorier kan bedömas, bland annat klimatpåverkan i form av koldioxidutsläpp.

Klimatanalys I denna studie används begreppet klimatanalys för beräkning av koldioxidutsläpp från ingående material i en byggnad. Analysen bygger på utförda LCA:er för respektive material och kan ligga till grund för att utföra en LCA av hela byggnaden.

ISO International Organization for Standardization, internationella standardiseringsorganisationen. Publicerar internationella standarder för olika produkter, processer och tjänster.

EPD Environmental Product Declaration, miljödeklaration typ III. Utförs enligt ISO 14025 och redovisar miljödata från en livscykelanalys av en produkt enligt särskilda produktkategoriregler (PCR). Datan måste vara oberoende verifierad.

PCR Product Category Rules, produktkategoriregler. Utformas enligt ISO 14025 för olika produktgrupper och bestämmer hur datan i EPD:er ska beräknas och redovisas.

CAD Computer Aided Design. CAD-program kan bland annat användas för 3D-design av konstruktioner.

BIM Building Information Modeling/Management, byggnadsinformationsmodellering. Objektbaserade byggnadsmodeller där interdisciplinär information genereras och förvaltas under konstruktionens livscykel.

IFC Industry Foundation Class. Ett öppet filformat från organisationen buildingSMART, enligt ISO 16739. Filformatet möjliggör delandet av information i konstruktionsmodeller oberoende av vilken programvara som används.

BSAB Ett system utformat av Svensk Byggtjänst för att hantera och sortera information inom bygg- och fastighetsverksamhet. Systemet byggs upp av tabeller med olika beteckningar och förklaringar.

CoClass Nyaste versionen av BSAB-systemet. Mer anpassad för digital modellering och informationshantering, alltså BIM-metodik.

BIP Building Information Properties. System för beteckningar och egenskaper hos objekt i byggnadsmodeller, skapat av föreningen BIM Alliance. Utgörs av tabeller med produktbeteckningar baserade bland annat på BSAB. Systemet möjliggör även mer standardiserad informationsstruktur i IFC-filer.

BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Miljöcertifieringssystem av byggnader, framtaget i Storbritannien.

LEED Leadership in Energy and Environmental Design. Miljöcertifieringssystem av byggnader, framtaget i USA.

Miljöbyggnad Miljöcertifieringssystem av byggnader, framtaget i Sverige.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Byggnader orsakar en stor del av Sveriges klimatpåverkan i form av koldioxidutsläpp och under en byggnads livscykel står produktionen av material för en stor del av denna. Det är viktigt att minska klimatpåverkan för att uppnå en hållbar samhällsutveckling. För att kartlägga klimatpåverkan från byggnadsmaterial behövs information om vilka material och hur stora volymer av dem som används i byggnaden, samt data med beräknad klimatpåverkan från respektive material. Klimatanalysen kan även utökas till fler delar av byggnadens livscykel, såsom transporter av material, processer vid uppförandet av byggnaden, drift och underhåll samt rivningsprocesser. Andra typer av miljöpåverkan kan också analyseras, till exempel övergödning och försurning av vatten, påverkan på ozonlagret och så vidare. Dessa analyser kallas livscykelanalyser (LCA).

I detta examensarbete undersöktes om byggnadsinformationsmodellering (BIM) kan användas för att effektivare utföra klimat- och livscykelanalyser, främst av ingående material i byggnader. BIM kan kortfattat delvis beskrivas som en metod för att med hjälp av byggnadsmodeller generera och hantera information som är relevant för olika intressenter under en konstruktions livscykel. Om information om material och motsvarande mängder finns tillgänglig i byggnadsmodeller kan förhoppningsvis effektivare analyser av klimatpåverkan göras och ge ett underlag för val av material och produkter som orsakar mindre klimatpåverkan. Detta bör göras i tidiga designskeden för ökad möjlighet att påverka byggnadens utformning.

I dagsläget finns problem med användningen av BIM för effektivare klimat- och livscykelanalyser. Tidigare forskningspublikationer nämner problem som otillräcklig information i modellerna, problem med informationsöverföring till andra program samt komplexa LCA-verktyg. Därför undersöktes i denna studie först hur information om material och mängder kan anges i byggnadsmodeller och sedan överförs till program där klimat- och livscykelanalyser görs. Två tredimensionella byggnadsmodeller användes, den ena byggdes upp för hand där material angavs och den andra var en verklig modell från ett byggprojekt i Linköping, Ebbepark. Den senare modellen innehöll generella materialbeskrivningar för de olika objekten. Informationen överfördes sedan till programmen Bidcon och One Click LCA. Bidcon är ett kalkylprogram som beräknar kostnader och koldioxidutsläpp för byggdelarna i en konstruktion och i One Click LCA kan livscykelanalyser göras för byggnader, bland annat baserat på byggmaterialens koldioxidutsläpp. Från modellerna kunde information om mängder överföras automatiskt från de modellerade byggdelarna till LCA-verktygen och även materialbeskrivningarna kunde importeras. Tidskrävande moment var när materialbeskrivningarna skulle kopplas till material- eller produktdata från databaserna i Bidcon och One Click LCA för att sedan sammanställas för byggnaden. Dessa processer förutsätter att det finns någon information om material i modellerna, ju mer detaljerad desto mer exakta analyser kan genomföras. För att effektivisera arbetet ytterligare bör materialinformation kunna anges på ett systematiskt och standardiserat vis i modellerna för att sedan kopplas automatiskt till motsvarande poster i databaser med materialens klimatpåverkan. Till exempel kan det göras med BSAB-koder från Svensk Byggtjänst, som beskriver olika byggdelar och material. Detta skulle dock innebära mindre detaljerade materialbeskrivningar och det blir därför en avvägning mellan effektivitet och noggrannhet.

Att tillämpa dessa processer mellan BIM och LCA i tidiga skeden i byggprojekt kan sedan bidra till mer hållbar design, material- och produktval. Intervjuer hölls med personer på konsultföretaget Tyréns för att undersöka förutsättningar att utföra LCA:er baserat på BIM. I projekt där Tyréns arbetar med BIM-samordning kan krav ställas på vilken information som ska anges i modellerna för att underlätta för livscykelanalyser. Dock beror det

på beställarens önskemål och syftet med BIM-samordningen. Denna studie visar att LCA:er kan utföras effektivt baserat på BIM-modeller även om det finns förbättringspotentialer. Att erbjuda dessa metoder kan öka möjligheten att tillämpa dem i projekt eftersom det blir enklare att utföra klimat- och livscykelanalyser som sedan till exempel kan användas för att lättare uppnå miljöcertifieringar av byggnader. Genom att använda de digitala verktygen parallellt med samordningsmöten från tidiga skeden mellan BIM-samordnare, de som projekterar byggnaden och miljökonstuler kan modellerna analyseras och förbättras med hänsyn till design, material- eller produktval, för att minska klimatpåverkan.

INNEHÅLL

Referat	i
Abstract	ii
Förord	iii
Begreppsförklaringar	iv
Populärvetenskaplig sammanfattning	v
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problemformulering	2
1.3 Syfte	2
1.4 Avgränsningar	3
2 Teori	4
2.1 Hållbar utveckling	4
2.2 Hållbart byggande	4
2.2.1 Hållbart byggande i Sverige	5
2.3 Översikt av byggprojekt	5
2.3.1 Byggprocessen	5
2.3.2 Branschstandarder	7
2.4 LCA	8
2.4.1 Introduktion till LCA	8
2.4.2 ISO-standarder för LCA	8
2.4.3 LCA av byggnader och byggprodukter	9
2.4.4 Klimat- och livscykelanalyser vid miljöcertifiering av byggnader	10
2.4.5 Exempel på databaser och program för att utföra LCA	10
2.5 BIM	11
2.5.1 Introduktion till BIM	11
2.5.2 Standarder och informationsöverföring	12
2.5.3 BIM för hållbart byggande	13
2.6 Litteraturöversikt, integrering av BIM och LCA	13
2.6.1 Hur integreringen kan bidra till ökad hållbarhet	13
2.6.2 När och hur bör integrering ske?	14
2.6.3 Hinder och möjligheter med integrering av LCA och BIM	15
2.6.4 Praktiska exempel på integrering mellan programvaror	15
3 Metod	16
3.1 Överblick	16
3.2 Litteraturstudie	17
3.3 Test av processer för integrering av BIM och LCA	17
3.3.1 Programvaror som används i processerna	18
3.3.2 Uppbyggnad av testmodellen och process 1-3	20
3.3.3 Bakgrund till K.B04 och uppbyggnad av process 4-5	24
3.4 Intervjuer och deltagande observationer	26
3.5 Etiska principer	28

4	Resultat	29
4.1	Testmodell	29
4.1.1	Process 1	29
4.1.2	Process 2	32
4.1.3	Process 3	37
4.1.4	Sammanfattning och jämförelse av process 1-3	40
4.2	Studieobjekt K.B04, Ebbepark	41
4.2.1	Process 4	41
4.2.2	Process 5	44
4.2.3	Sammanfattning och jämförelse av process 4-5	47
4.3	Intervjuer	48
4.3.1	Kravställning och standardiserad materialangivelse i 3D-modeller	48
4.3.2	Val av material baserat på kravställning och klimatpåverkan	48
4.3.3	Samordning mellan BIM, projekteringsdiscipliner och miljökonsulter	49
5	Diskussion	50
5.1	Integreringsprocesser mellan BIM- och LCA-verktyg	50
5.1.1	Jämförelse av Bidcon och One Click LCA	50
5.1.2	Informationsangivelse i modellerna	51
5.1.3	Förslag på analysprocess och möjlig programuppbyggnad	52
5.1.4	Sammanfattning av integreringsprocesser	53
5.2	Tillämpning av integreringsprocesser i byggprojekt	53
5.2.1	Kravställning och samarbete mellan BIM- och LCA-discipliner	53
5.2.2	Minskad klimat- och miljöpåverkan från konstruktioner	54
6	Slutsatser	55
	Referenser	56
	BILAGA A: Figurer	61
	BILAGA B: Intervjuer	68

1 INTRODUKTION

Följande avsnitt behandlar bakgrund och problemformulering till studien samt syfte, frågeställningar och avgränsningar.

1.1 BAKGRUND

Klimatförändringarna är en av vår tids största utmaningar och det är nödvändigt att begränsa växthusgasutsläpp som orsakar klimatförändringar för att uppnå en hållbar utveckling. Mänskligt genererade växthusgasutsläpp har ökat explosionsartat sedan år 1970, där koldioxidutsläpp från förbränning av fossila bränslen och industriprocesser står för den största delen av ökningen (IPCC 2014). FN:s ramkonvention för klimatförändringar har satt upp mål för att växthusgashalten i atmosfären ska stabiliseras på en nivå som inte äventyrar möjligheten till hållbar utveckling. Sverige har i sin tur bland annat satt upp målet att Sverige, senast år 2045, inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären (Naturvårdsverket 2017).

Enligt en rapport från Sveriges Byggindustrier och Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA (2014) står byggprocesser i Sverige för växthusgasutsläpp på omkring 10 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Olika växthusgaser beräknas till olika koldioxidekvivalenter beroende på hur stor klimatpåverkan de orsakar i förhållande till koldioxid. I begreppet 'byggprocesser' inkluderas i detta fall flerbostadshus, småhus, lokaler, väg och järnväg samt övriga anläggningar. Totalt innebar detta ungefär 17% av de totala växthusgasutsläppen i Sverige år 2012. Klimatpåverkan i form av växthusgasutsläpp sker under en konstruktions hela livscykel, från råvaruutvinning till produktion, drift, rivning och avfallshantering. Produktionen av byggmaterial innebär en signifikant del av denna klimatpåverkan (Boverket 2015). I en studie utförd av bland annat Svenska Miljöinstitutet (IVL) undersöktes klimatpåverkan från ett nybyggt (byggår 2008-2010) och energieffektivt flerfamiljshus. Hela livscykeln för byggnaden analyserades för ett scenario av en livslängd på 50 år. Produktionen av byggnaden visade sig ge upphov till störst andel utsläpp av koldioxidekvivalenter, under vilken 84% av utsläppen orsakades av materialproduktionen, där betong tillsammans med andra material i stommen utgjorde den största delen. Därför blir det mycket viktigt att kunna påverka denna del av byggprocessen, till exempel genom att jämföra och välja olika material och byggprodukter, för att minska klimatpåverkan från konstruktioner (Liljenström m. fl. 2015).

För att undersöka klimat- och miljöpåverkan från produkter, processer eller aktiviteter kan livscykelanalyser (LCA) genomföras. I en LCA beräknas material- och energiåtgång samt utsläpp till luft, mark och vatten för att undersöka miljöpåverkan från dessa (Consoli m. fl. 1993). En av flera utsläppskategorier är klimatpåverkan, som beräknas med enheten koldioxidekvivalenter (Erlandsson 2000). LCA:er kan ge bra underlag för just jämförelser och val av ingående byggmaterial, processer och dylikt utifrån bland annat klimatpåverkansperspektivet (Erlandsson m. fl. 2013).

Byggsektorn anses ofta vara en konservativ bransch med svårigheter att implementera nya arbetssätt och metoder (Josephson m. fl. 2003), vilket kan försvåra arbetet med minskad klimatpåverkan från byggprojekt. Trots detta har IT-utvecklingen inom branschen haft stort genomslag de senaste årtiondena med begrepp som "Computer-Aided Design" (CAD) och "Building Information Modeling" (BIM). CAD-verktyg används för projektering av konstruktioner, bland annat för att skapa ritningar över våningsplan och sektioner, beskrivningar av byggobjekt samt mängdförteckningar. CAD-modeller kan till exempel vara 2- eller 3-dimensionella och används idag i stor utsträckning i AEC-sektorn (arkitekt-, ingenjör- och

konstruktionssektorn). BIM har de senaste 10-15 åren fått stor spridning i denna sektor, där CAD är en del av metodiken. Viktigt med BIM, till skillnad från CAD, är hanteringen och delandet av central information mellan olika aktörer under hela byggprocessen och byggnadens livscykel (Jongeling 2008; Penttilä 2006).

I tidiga skeden av byggprocessen är möjligheten att påverka projektet störst. Därför bör analyser av klimatpåverkan ske tidigt i designfasen för ökad möjlighet att minska byggnadens klimatpåverkan. Integrering av BIM och LCA kan vara en effektiv metod för att lyckas med det eftersom BIM tillhandahåller integrerad design och effektivare informationshantering medan LCA är en bra metod för att utreda miljöprestanda (Antón och Díaz 2014). Många tidigare publikationer behandlar just integrering av BIM och LCA samt de möjligheter och hinder som finns (se rubrik 2.6). Hinder som nämns är dels problem med informationsöverföring mellan BIM- och LCA-verktyg, komplexiteten i LCA-verktyg samt otillräcklig information om material i BIM-modellerna (Fischer m. fl. 2004; Loh m. fl. 2007; Najjar m. fl. 2017; Dupuis m. fl. 2017).

1.2 PROBLEMFÖRMULERING

På grund av de utmaningar som följer av klimatförändringar, samt faktum att byggprocesser står för en stor del av de totala växthusgasutsläppen, blir det viktigt att uppnå minskad klimatpåverkan från byggnadskonstruktioner. Produktionen av byggnadsmaterial utgör en stor del av byggnaders växthusgasutsläpp och om information om de ingående byggnadskomponenterna finns tillgänglig tidigt i byggprojektet kan det förhoppningsvis ge en bättre grund för klimatanalyser, förutsatt att integreringen mellan BIM- och LCA-verktyg fungerar bra. Detta skulle kunna resultera i mer informerade val av produkter och material, utifrån bland annat ett klimatpåverkansperspektiv. Då mycket information genereras i byggnadsinformationsmodeller redan under projekteringsstadiet av ett byggprojekt bör detta kunna användas för klimat- och livscykelanalyser av konstruktionens byggmaterial eller produkter. Studien bidrar med nya perspektiv till forskningen kring ämnet genom att jämföra två LCA-verktyg som inte undersökts tidigare, undersöka hur relevant information kan anges mer standardiserat, beröra hur processerna kan bli mer effektiva samt hur de kan tillämpas i byggprojekt.

1.3 SYFTE

Studiens syfte är att undersöka hur BIM kan användas för att skapa ökade möjligheter att effektivt utföra klimat- och livscykelanalyser av byggnadskomponenter tidigt i byggprocessen. Detta för att i sin tur påverka och minska klimatpåverkan från byggnadskonstruktioner. Fem processer (metoder) testas med fokus på informationsöverföring mellan projekteringsverktyg och program för klimat- och livscykelanalyser. Även möjligheter och förutsättningar för att tillämpa dessa metoder i byggprojekt undersöks genom kvalitativa intervjuer. För att uppnå syftet har följande tre frågeställningar formulerats som besvaras under studiens gång.

Frågeställningar:

1. Hur fungerar informationsflöden mellan olika programvaror för BIM och klimat- eller livscykelanalyser och vad krävs för att processerna ska bli mer effektiva och automatiska? Vilken information är relevant och hur bör den anges?
2. Vilka möjligheter finns att tillämpa denna metodik med integreringsprocesser i byggprojekt under tidiga skeden?
3. På vilket sätt kan effektiv integrering av BIM och LCA tillämpat i byggprojekt bidra till hållbarare byggnadskonstruktioner ur ett klimat- och miljöpåverkansperspektiv?

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Endast byggnader kommer studeras, inte anläggningar och infrastrukturprojekt. Studien begränsas även till klimatpåverkan i form av koldioxidutsläpp från byggmaterialproduktionen för de ingående elementen i byggnadskonstruktioner. Främst ligger fokus på nyproduktion samt stommen i byggnader, som projekteras av byggnadskonstruktörer. Arkitektdesign och ytterligare byggnadskomponenter (stomkomplettering) diskuteras. Huvudfokus är beräkningar av totala koldioxidutsläpp för ingående komponenter och material i en byggnad, baserade på redan genomförda livscykelanalyser för dessa. Dessa klimatanalyser kan användas separat eller ligga till grund för vidare livscykelanalyser för hela konstruktionens livscykel. På grund av detta används båda begreppen klimat- och livscykelanalys i studien. Studien är anpassad till svenska förutsättningar.

2 TEORI

Detta avsnitt presenterar teoretisk bakgrund till studien. Här förklaras begrepp som hållbar utveckling, hållbart byggande, byggprocessen, LCA och BIM. Även en litteraturöversikt av forskningspublikationer och rapporter som berör denna studie presenteras.

2.1 HÅLLBAR UTVECKLING

Genom historien har miljön och klimatet på jorden genomgått stora förändringar men har de senaste 10.000 åren befunnit sig i en relativt stabil period. Sedan den industriella revolutionen har dock mänsklig aktivitet blivit en drivande faktor för miljöförändringar vilket kan orsaka ett skifte från det stabila tillståndet och innebära katastrofala konsekvenser för stora delar av världen. Detta skriver Rockström m. fl. (2009) i artikeln *A safe operating space for humanity*. Författarna föreslår nio planetära gränsvärden som inte bör överskridas för att stabiliteten i miljön ska bibehållas. Ett exempel på dessa gränser är klimatförändringar som enligt rapporten redan överskridits. Klimatförändringarna orsakas av ökad växthuseffekt på grund av högre halter av koldioxid i atmosfären orsakat av mänskliga aktiviteter. Det är därför mycket viktigt att påverka dessa aktiviteter och processer för att kunna säkerställa mänskligt välbefinnande (Rockström m. fl. 2009; IPCC 2014; Baker 2016).

Under 1960- och 70-talet började medvetenheten öka angående att den tillväxtfokuserade modellen för ekonomisk utveckling, som främjats under efterkrigstiden, inte tog hänsyn till begränsade resurser, miljöproblem och hälsoproblem kopplade till den industriella revolutionen. Begreppet hållbar utveckling introducerades 1980 men började användas mer frekvent i samband med Brundtlandkommissionen 1984-87, initierat av FN och som resulterade i rapporten *Our Common Future* (WCED: World Commission on Environment and Development 1987). Hållbar utveckling definierades då som "Utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov". Rapporten poängterar även tre dimensioner av hållbar utveckling; social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet. Länken mellan dessa "grundpelare" är mycket viktig eftersom miljöproblem är relaterade till varandra vilket hänger samman med ekonomisk utveckling som i sin tur påverkar sociala och politiska faktorer (Baker 2016). Minskad klimatpåverkan är därför en viktig del i arbetet för en hållbar utveckling.

2.2 HÅLLBART BYGGANDE

Växthusgasutsläpp genereras från olika aspekter av bebyggelsemiljön, i form av transportsystem, infrastruktur, byggnadskonstruktioner, landanvändning och så vidare. Byggnader ger upphov till utsläpp genom hela livscykeln, till exempel genom energiförbrukning under produktion av byggmaterial, transporter, upprättandet av byggnaden, driftsprocesser, renovering och rivning (Younger m. fl. 2008). År 2010 stod byggprocesser (hus- och anläggningsprojekt) för 32% av världens totala energiförbrukning och 19% av energirelaterade växthusgasutsläpp (Lucon m. fl. 2014). De senaste 20-30 åren har trycket ökat på byggsektorn (speciellt i Europa) för att bli mer miljömässigt hållbar, dels utifrån klimatpåverkan men även resursanvändning och andra miljörelaterade aspekter (Yudelsson 2009).

Trenden för hållbart byggande är idag stark och marknaden för "gröna byggnader" ökar fort. En viktig aktör är "World Green Building Council" (WorldGBC), en paraplyorganisation bestående av nationella organisationer i nästan 100 länder (Comstock 2013). WorldGBC definierar en grön byggnad som en byggnad vars design, konstruktion eller verksamhet minskar eller eliminerar negativ påverkan på klimat och miljö (WorldGBC 2018). Redan 1989 lanserade Storbritannien ett verktyg för att kunna definiera och certifiera gröna byggnader.

Detta system kallas BREEM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Omkring 200.000 byggnader har idag certifierats enligt BREEAM. Ett likande miljöcertifieringssystem av byggnader, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), togs fram år 2000 av US Green Building Council, USA:s del av WorldGBC. Liknande system har utvecklats i många andra länder (Kibert 2016).

2.2.1 Hållbart byggande i Sverige

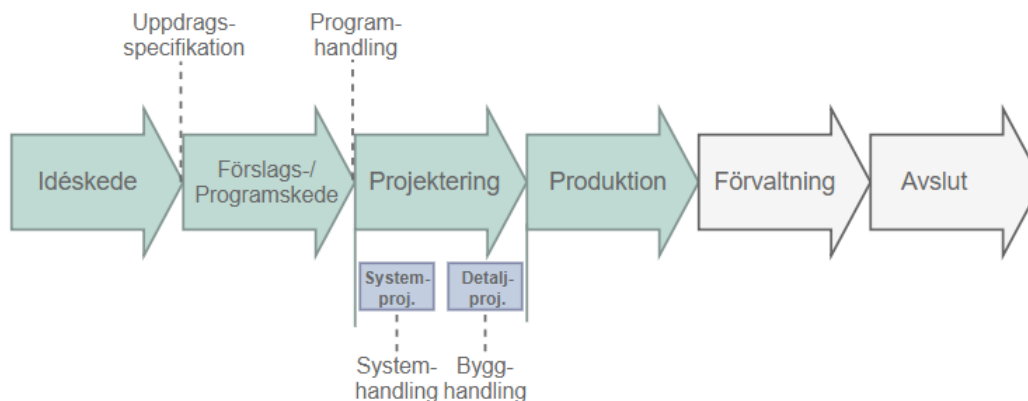
Eftersom byggprocesser stod för cirka 17% av de totala växthusgasutsläppen i Sverige år 2012 är det därför viktigt att uppmärksamma byggprocesser i klimatarbetet (Sveriges Byggindustrier och IVA 2014). Det finns ett flertal svenska initiativ för hållbart byggande. ”Sweden Green Building Council” (SGBC) är Sveriges nationella organisation inom WorldGBC, ett branschinitiativ grundat av bland annat IVL, Vasakronan och Stockholm Stad (IVL 2009). SGBC arbetar med flera certifieringssystem av byggnader; Miljöbyggnad, GreenBuilding (energieffektivisering), BREEAM SE (anpassat för den svenska marknaden) och LEED. Miljöbyggnad är det mest använda certifieringssystemet för svenska byggnader och är anpassat för svenska förhållanden (Sweden Green Building Council 2018). Även Svanenmärkning kan användas för certifiering av byggnader (Svensk Byggtjänst 2016b). Certifieringssystemen bedömer olika indikatorer hos byggnaderna, till exempel energi-, vatten- och materialåtgång, avfall, transporter, landanvändning, kemikalier och inomhusklimat. En av fördelarna med certifieringarna är möjligheten att minska växthusgasutsläpp från byggprojekt (Aulin och Elland 2013).

Boverket är den nationella myndigheten för bland annat byggande och samhällsplanering (Regeringskansliet 2014) och arbetar med hållbart byggande och förvaltning ur ekologiska, ekonomiska och sociala aspekter (Boverket 2017). Boverket har på uppdrag av regeringen genomfört ett projekt om *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv* som visar på vikten med att staten tar ledning, för att öka klimatarbetet inom byggsektorn. Livscykelanalyser är bra verktyg för att driva detta arbete, förutsatt att det finns tillgängliga och lättanvända LCA-verktyg samt tillgång till öppen och korrekt data om byggprodukter respektive bygg- och driftprocessers klimatpåverkan (Boverket 2015). Regeringen har efter det även gett Boverket uppdraget att föreslå metoder och regler för att redovisa klimatpåverkan från byggnader utifrån ett livscykelperspektiv, vilket resulterat i rapporten *Klimatdeklaration av byggnader* (Boverket 2018). Boverket föreslår att det ska införas krav på detta, eftersom det i dagsläget inte finns krav på varken redovisning eller reglering av klimatpåverkan från byggnader. Klimatdeklarationen kan i ett första steg öka medvetenhet och kunskap för att sedan ligga till grund för att minska klimatpåverkan från byggnader (Boverket 2018).

2.3 ÖVERSIKT AV BYGGPROJEKT

2.3.1 Byggprocessen

Projekt inom byggbranschen är komplexa och ska i slutändan leda till en färdig byggnad (Ottosson 2015). Processer eller projektflöden för att lyckas med dessa projekt kan beskrivas på olika sätt. I figur 1 ses en illustration av byggprocessen och viktiga handlingar som tas fram under projektet, baserat på förklaringar av Nordstrand (2008) och Ottosson (2015). Även om målet med ett byggprojekt är en färdig byggnad kan förvaltningsskedet och slutligen rivningen av byggnaden också ses som delar i processen (Nordstrand 2008).



Figur 1: Flöden under byggprocessen och framtagandet av handlingar, egen tolkning

Under projektets initiering i **idéskedet** klarläggs projektledarens ansvar samt projektets mål och produktkrav. Tider, kostnader och risker uppskattas och underlag för att fortsätta med projektet tas fram. Detta resulterar i en uppdragsspecifikation. Med uppdragsspecifikationen som underlag genomförs sedan nästa steg, **programskedet**. Här specificeras uppdraget ytterligare och en programhandling tas fram. Denna handling kan innefatta nya tids-, kostnads- och riskanalyser samt framtagning av specifikationer och arkitektoniska ritningar. Syftet är att säkerställa funktions- och teknikkrav, hur och när olika delar ska genomföras och vem som ansvarar för vad (Ottosson 2015).

Under **projekteringskedet** (designskedet) produceras handlingar så som ritningar och tekniska specifikationer som successivt ska godkännas. Kontroller utförs så att handlingarna blir färdiga i tid samt att produktionskostnader och tidsplan beräknas bli som planerat. Projektet kvalitets- och miljösäkras enligt standarder från *International Organization for Standardization* (ISO) och riskanalyser genomförs. Detta resulterar till att börja med i systemhandlingar där de funktionella kraven överförs till tekniska specifikationer samt estetisk utformning och här blir samordning mellan olika projekteringsgrupper viktigt (Ottosson 2015). Vid CAD-modellering skapas basritningarna oftast av arkitekter för att sedan fungera som underlag för de övriga projektörerna. Ritningar och modeller brukar delas in i följande grupper; arkitekt- (A), markbyggnads- (M), konstruktions- (K), VVS- (V), och elritningar (E) (Nordstrand 2008).

Vidare sker detalj- eller bygghandlingsprojektering där stegvis projektering och samgranskning utförs för att skapa entydiga tekniska och administrativa dokument, som underlag för anbud och kontrakt. Sammanfogade 2D/3D-modeller tas fram med färgkoder, representerande olika projekteringsdiscipliner, för att underlätta bland annat kollisionsskontroll och samgranskning (Ottosson 2015), vilket är en del av BIM-metodiken (Nordstrand 2008). Detta resulterar sedan i en bygghandling, dokumentet som används som underlag för produktion. Ibland kan handlingen behöva revideras under produktionsfasen, om beställaren ändrar önskemål eller om samordningen varit dålig och vissa uppgifter saknas (Ottosson 2015).

Projektet går sedan vidare till **produktion**, efter att projektplaner upprättats av uppdragsledare (hos konsulterna) samt arbetschef (hos entreprenörerna). Underentreprenörer och material beställs ofta av entreprenören (Ottosson 2015). Produktionen består av ett antal delmoment, som vid nybyggnation ofta innebär följande processer; markarbeten, grundläggning, stombyggnad, stomkomplettering, inredning samt installationsarbeten. Under stombyggnaden konstrueras den bärande stommen, till exempel av betong, stål eller trä. Stomkomplet-

teringen innebär yttre arbeten som montering av yttertak, dörrar och fönster och beklädnad av fasad samt inre arbeten som till exempel byggandet av innerväggar och undertak, målning och montering av lister (Nordstrand 2008).

Den färdiga byggnaden, samt kunskaper om projektet och ritningar överlämnas sedan ofta till en avdelning eller företag för drift och underhåll med utbildning och instruktioner (Ottosson 2015). På så sätt kan byggnaden **förvaltas** och användas av brukarna. Förvaltningsskedet är det längsta stadiet under byggnadens livscykel och ger även viktiga erfarenheter inför planerandet och uppförandet av nya byggnader. För att slutligen få riva en byggnad krävs rivningslov och en rivningsanmälan innehållandes bland annat projektbeskrivning, inventeringsprotokoll av hälso- och miljöfarlig material, rivningsplan och hantering av material, vilket lämnas in till byggnadsnämnden (Nordstrand 2008).

2.3.2 Branschstandarder

För att de olika handlingarna som tas fram under byggprocessen ska vara användbara för alla medverkande och för att informationen ska kunna användas för flera ändamål har *Swedish Standard Institute* (SIS) utformat 8 handböcker under namnet *Bygghandlingar 90* (Nordstrand 2008). Handböckerna anger hur bygghandlingarna bör utformas enligt rekommendationer från den svenska byggsektorn (SIS 2018). Bland annat beskriver handböckerna standarder för ritteknik, måttsättning och även redovisning med CAD (Nordstrand 2008).

Med de programvaror och tekniker som finns idag finns större möjligheter att hantera flödet av information under byggprocessen. Detta innebär dock att informationen bör struktureras för att kunna delges alla på ett standardiserat vis (Nordstrand 2008). Aktiebolaget Svensk Byggtjänst ägs av omkring 30 organisationer från byggbranschen vilka representerar hela byggprocessen. Bolagets främsta uppgift är att erbjuda tjänster som bidrar till högre effektivitet under byggprocessen (Svensk Byggtjänst 2018b). Till exempel har Svensk Byggtjänst, tillsammans med svenska och utländska intressenter, utvecklat ett klassifikationssystem för byggbranschen, BSAB-systemet, som funnits sedan 70-talet. Syftet med systemet är att hantera och sortera information inom all bygg- och fastighetsverksamhet, oberoende av vilken aktör som hanterar informationen. Versionen som gäller i nuläget är BSAB 96 som är uppbyggd av olika tabeller med rubriker och tillhörande koder. BSAB-systemet utgör informationsstrukturen i *Allmän Material- och Arbetsbeskrivning* (AMA) (Svensk Byggtjänst 2018a). AMA underlättar kommunikation inom branschen genom att vara ett referensverk vid upprättandet av tekniska beskrivningar och dokument under byggprocessen (Trafikverket 2017).

Under olika steg i byggprocessen skiljer sig behoven av information åt. Datorstött och modellbaserad projektering hanterar byggobjekt med bland annat geometriska egenskaper, grafisk representation, funktion och material. Detta innebär nya krav på systematik och klassifikation vilket BSAB ger stöd för i och med klassifikation av delar av byggnaden under tidiga projekteringskedena. Under **förslags-/programskedet** sker en översiktlig redovisning av byggnaden och dess funktion för brukaren. När **systemhandlingen** sedan tas fram redovisas en mer detaljerad bild av byggnadens tekniska funktioner. Slutligen i **bygghandlingen** bestäms byggnadstekniska lösningar i detalj, med fokus på egenskaper som är av betydelse vid produktionen. För att hantera behoven av information under de olika projekteringskedena finns olika tabeller i BSAB 96-systemet. Till exempel finns tabeller över byggnadsverk, utrymmen, byggdelar och byggdelstyper samt produktionsresultat. En byggdel definieras som en huvudfunktion i byggnaden som kan innehålla fler delar, till exempel en innervägg bestående av regelverk och väggskivor, utan materiell egenskap eller produktionsmetod. Begreppet byggdelstyp innebär en specialisering av en byggdel med recept av ingående komponenter, till exempel en vägg med olika materiallager. I produktionsresultat

karaktäriseras en fysisk del av byggnaden genom material och produktionsmetod (Ekholm 2001). CoClass är ett nytt klassificeringssystem som är mer anpassat till digital modellering och som succesivt ska ersätta BSAB 96. Mer information om detta finns under rubrik 2.5 *BIM*.

2.4 LCA

2.4.1 Introduktion till LCA

Syftet med en livscykelanalys (LCA) är att redovisa och bedöma miljöpåverkan samt få en uppfattning om resursflöden för en produkt, process eller aktivitet. Ofta undersöks flöden från ”vagga till grav”, alltså från utvinning av råvara för en produkt till att produkten inte längre används vilket kan resultera i avfall, avgaser eller föroreningar. I en LCA kan systemavgränsningar göras utifrån aspekter som geografi, tid eller resursflöden. Det är också viktigt att definiera en så kallad funktionell enhet (SLU 2018), vilken anges som kvantifierad prestanda från ett produktsystem och används som referensenhet (Swedish Standard Institute 2006). Till exempel kan funktionell enhet för jämförelse av isoleringsmaterial vara 1 m² isolering med U-värdet (isoleringsförmåga) 1 W/m²K. Tjockleken kan alltså behöva varieras för att olika isoleringsmaterial ska uppnå samma U-värde (Harlén 2018).

För att göra en bedömning av miljöpåverkan delas olika emissioner under resursflöden in i miljöpåverkanskategorier. Exempel på dessa är försurning, övergödning, biologisk mångfald, ozonnedbrytning och klimatpåverkan. Klimatpåverkan anges som global uppvärmningspotential (GWP) över 100 år, med enheten CO₂(koldioxid)-ekvivalenter. Olika växthusgaser multipliceras med bestämda faktorer beroende på deras GWP i relation till koldioxid, för att motsvara CO₂-ekvivalenter (Erlandsson 2000).

2.4.2 ISO-standarder för LCA

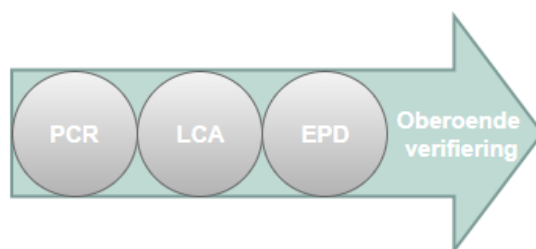
Internationella Standardiseringsorganisationen (ISO) har utarbetat standarder för hur en LCA ska genomföras. *ISO 14040* och *ISO 14044* är två av flera standarder som behandlar LCA-metodik och som även gäller i Sverige. Enligt *ISO 14040* ska en LCA genomföras enligt följande fyra faser:

1. Definition av mål och omfattning
2. Inventeringsanalys
3. Miljöpåverkansbedömning
4. Tolkning

Målsättningen och omfattningen kan variera mycket mellan olika LCA:er. En del av målsättningen är att definiera systemgränserna. Under inventeringen samlas data för olika flöden inom systemet som analyseras. Sedan undersöks produktens samlade miljöpåverkan, genom olika miljöpåverkanskategorier. I sista steget sammanfattas resultaten som kan lägga en grund för rekommendationer och beslutsfattande (Swedish Standard Institute 2006).

ISO 14025 är en standard som behandlar principer och procedurer för så kallade miljödeklarationer typ III av olika produkter och tjänster, för att möjliggöra likvärdiga jämförelser. En miljödeklaration av typ III anger kvantifierad miljödata för bestämda parametrar utifrån så kallade produktkategoriregler (PCR), som tas fram för olika kategorier av produkter. Standarden beskriver även hur dessa PCR:er ska utformas. Miljödeklarationer för en produkt benämns ofta som EPD (Environmental Product Declaration). Det är frivilligt att utarbeta EPD:er. Processen för att ta fram en EPD kan illustreras enligt figur 2. För att säkerställa

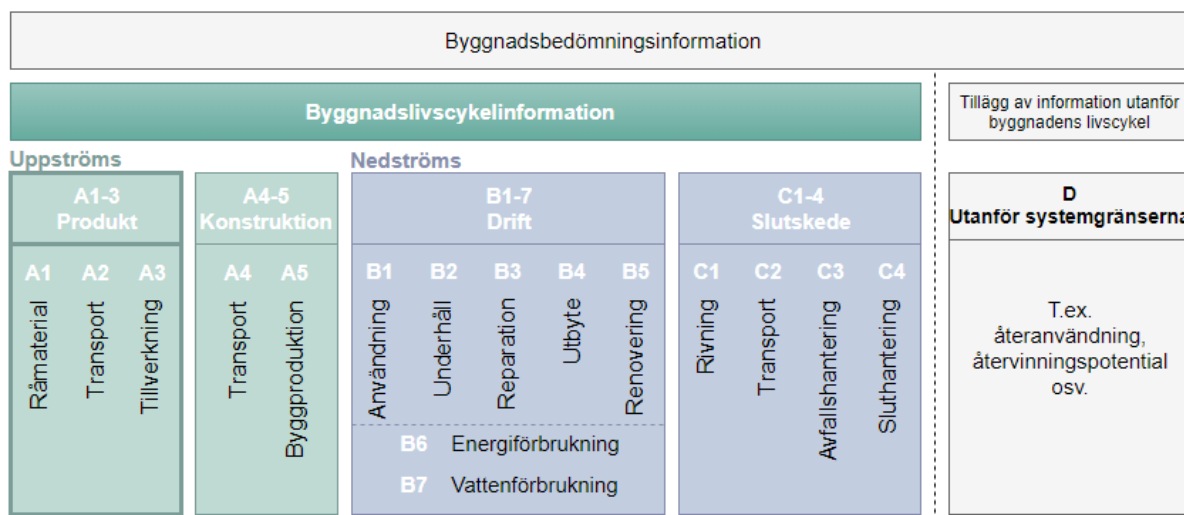
att den innefattar verifierbar information baserad på ISO 14040-serien måste dels PCR, LCA samt EPD ha verifierats av en oberoende part. Verifiering av en PCR görs av en ”tredjeparts-panel” och ska bland annat visa att PCR har utvecklats enligt ISO 14040-serien. Data från livscykelanalysen ska verifieras av en oberoende part och visa att den överensstämmer med PCR och ISO 14040-serien samt rimlighet, kvalitet och riktighet hos informationen. Slutligen krävs även en oberoende verifiering av miljödeklarationen för att bekräfta att EPD:n speglar informationen i dokumenten den baserats på samt att informationen är giltig och vetenskapligt tillförlitlig (Swedish Standard Institute 2010).



Figur 2: Processen för hur en EPD tas fram baserat på ISO-standarder, egen tolkning

2.4.3 LCA av byggnader och byggprodukter

”The International EPD System” har utvecklat produktkategoriregler för hur en LCA och EPD ska utformas för byggnader. Dessa PCR:er är baserade bland annat på Europastandarden *EN 15804 - ”Sustainability of construction works - Core rules for the product category of construction products”* (The International EPD System 2014). EN 15804 beskriver grunden för PCR:er och EPD:er för produkter, tjänster och processer för en byggnadskonstruktion. Olika typer av EPD:er kan alltså tas fram för delar av byggnadens livscykel (Swedish Standard Institute 2013). I figur 3 ses byggnadens livscykel uppdelad i olika skeden, från EN 15804.



Figur 3: Information om byggnadslivscykeln. Grund för utformning av olika PCR och EPD. Efter EN 15804 (Swedish Standard Institute 2013)

Den PCR som beskriver hur en EPD utformas för en hel byggnad behandlar processen ”vagga till grav”, vilket inkluderar steg A1-A3, A4-A5, B1-B7 samt C1-C4 i figur 3 (The International EPD System 2014). EPD:er kan också tas fram, baserade på andra PCR, för byggprodukter. Obligatoriskt för dessa EPD:er är steg A1-A3, ”vagga till grind”, men får

även innehålla fler steg (Swedish Standard Institute 2013).

2.4.4 Klimat- och livscykelanalyser vid miljöcertifiering av byggnader

Vid miljöcertifiering kan en del i arbetet innebära klimat- eller livscykelanalyser av byggnaden eller ingående material och produkter. Här beskrivs några exempel på hur dessa analyser kan utföras för Miljöbyggnad, BREEAM och LEED.

Vid certifiering med Miljöbyggnad bedöms 16 obligatoriska indikatorer som vägs samman till brons-, silver- eller guldnivå av certifieringen. En indikator är ”Stommen och grundens klimatpåverkan” vilket för nyproduktion innebär att redovisa klimatpåverkan från stommen och grundkonstruktionen i CO₂-ekvivalenter. Det kan redovisas med generisk data eller EPD:er (för högre nivåer). Koldioxidutsläpp från transporter kan också redovisas och för högsta nivån krävs att åtgärder vidtas och redovisas för att minska klimatpåverkan med 10% (Sweden Green Building Council 2017b).

För BREEAM-certifiering finns några indikatorer med syftet att uppmuntra minskad miljöpåverkan från byggmaterialen under byggnadens livscykel. En del i detta innebär beräkning av livscykelpåverkan från materialen bland annat i form av koldioxidutsläpp. För ytterligare poäng ska minst fem produkter som byggts in i byggnaden ha verifierade EPD:er (Sweden Green Building Council 2017a).

Även certifiering med LEED består av en liknande kategori, för minskad miljöpåverkan från byggmaterialen under byggnadens livscykel. Ett exempel för att få poäng från denna kategori i certifieringsarbetet är att utföra en heltäckande livscykelanalys för byggnaden, vid nyproduktion. Livscykelanalysen måste visa på 10% lägre påverkan jämfört en referensdesign, som skapats i tidigt designskede, för minst tre miljöpåverkanskategorier varav en måste vara klimatpåverkan (U.S. Green Building Council 2014).

2.4.5 Exempel på databaser och program för att utföra LCA

Ecoinvent är en databas med data från inventeringsanalyser (steg 2 i en LCA) av processer och produkter, bland annat byggmaterial. Antingen kan data från enskilda processer användas och kombineras för att göra livscykelanalyser men det finns även data från produktionen av olika byggmaterial (steg A1-A3). Datan är generisk, alltså inte specifik för vissa produkter, men kan ligga till grund för att skapa produktspecifika EPD:er (Ecoinvent 2018). The International EPD System tillhandahåller en databas med EPD:er för olika typer av produkter från olika länder. Bland dessa finns EPD:er för byggprodukter (The International EPD System 2018).

Det finns en mängd olika program och verktyg för att beräkna och sammanställa livscykelanalyser, till exempel SimaPro, GaBi, Athena EcoCalculator, openLCA och One Click LCA. De olika programvarorna kan i sin tur innehålla data från databaser så som Ecoinvent eller liknande (Building Ecology 2018). Ett annat exempel är Bidcon, vilket egentligen är ett kostnadskalkylprogram för bygg- och installationsbranschen, men som även har en klimatmodul för att beräkna klimatpåverkan från byggkomponenterna med data från bland annat Ecoinvent (Elecosoft 2018).

2.5 BIM

2.5.1 Introduktion till BIM

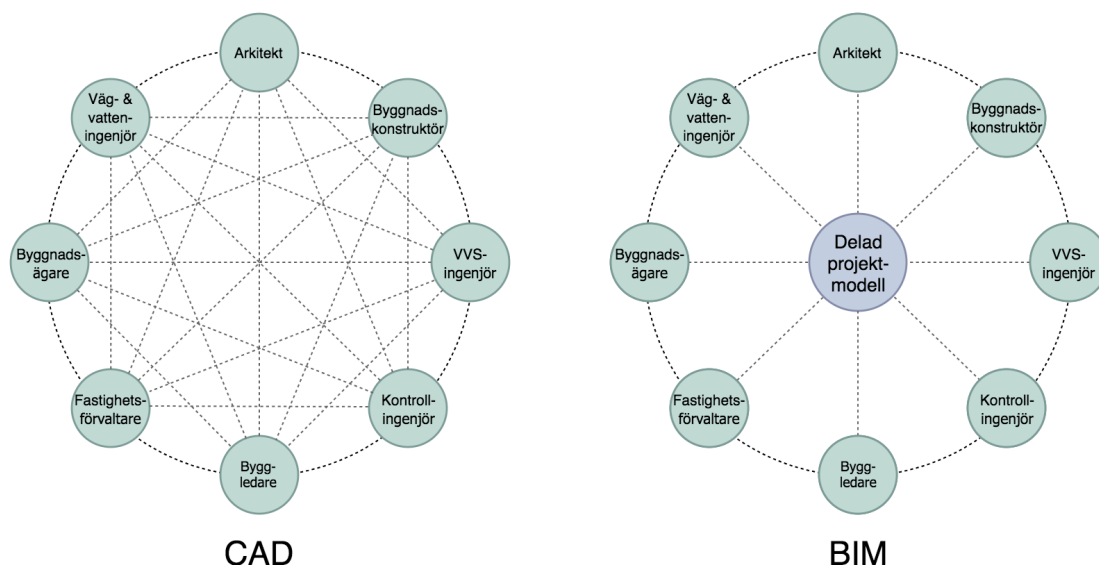
BIM kan och har definierats på många olika sätt, till exempel som en metod för att för att digitalt hantera essentiell byggnadsdesign och data under en byggnads livscykel (Penttilä 2006). ”The National Building Information Model Standard Project Committee” definierar BIM som modeller med interdisciplinära kunskapsresurser och information om en byggnad, vilket skapar en grund för beslutsfattande under hela livscykeln (National Institute of Building Science 2015). Jongeling (2008, s. 2) definierar BIM enligt följande:

”All information som genereras och förvaltas under en byggnads livscykel strukturerad och representerad med hjälp av (3D) objekt där objekt kan vara byggdelar, men även mer abstrakta objekt såsom utrymmen. BIM-modellering är själva processen att generera och förvalta denna information. BIM-verktyg är de IT-verktygen som används för att skapa och hantera informationen. BIM är alltså ingen teknik, men ett samlingsbegrepp på hur informationen skapas, lagras, används på ett systematiskt och kvalitetssäkrat sätt.”

Enligt BIM Alliance (2017) finns fyra kriterier som ska uppfyllas för användning av begreppet BIM:

1. Informationshantering sker med en eller flera objektorienterade modeller.
2. Egenskaper är kopplade till objekten i modellerna.
3. Objekten i modellerna har relationer till varandra
4. Olika informationsvyer kan skapas ur en och samma modell.”

I BIM kan all nödvändig data integreras i en fil eller modell vilket kan förse alla personer i projektet med relevant information på ett interaktivt sätt (Goldman och Zarzycki 2014) , se figur 4.



Figur 4: Skillnad i informationsutbyte om endast CAD-program används jämfört med BIM-metodik (efter BIMplattform 2017)

Det finns många fördelar med att använda BIM, till exempel kan det innebära tidseffektiva processer, lägre kostnader och högre kvalitet i processer och produkter (BIM Alliance 2018). BIM-metodiken har möjlighet att verkligen förändra nuvarande praxis genom att påverka

majoriteten av processerna i konstruktionsprojekt (Owen m. fl. 2010).

BIM kan också delas in i olika nivåer beroende på vilken information som ingår i modellen, exempelvis med olika dimensioner som 2D, 3D, 4D (där tidsplanering inkluderas), 5D (tillägg av kostnader under byggnadens livscykel) och 6D. Ibland används även högre dimensioner (Bouška 2016). Den 6e dimensionen kan ibland innebära en hållbarhetsaspekt ur miljömässiga och sociala aspekter, genom att till exempel jämföra olika designalternativ och utvärdera byggnadens miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv (Yung och Wang 2014).

Under 90-talet introducerades objektorienterad CAD, vilket för byggnader innebär att modellen bygger på objekt (så som dörrar, fönster och väggar) som kan inneha ytterligare information än bara den geometriska eller grafiska aspekten, till exempel produktspecifikationer (Rezgui m. fl. 2011), material och fysiska egenskaper eller funktioner. De ingående objekten kan kategoriseras i olika identiteter och familjer. Hur objekten anknyter till varandra anges också i modellen (Sampaio och Berdeja 2017). Informationen om objekten struktureras under olika parametrar som exempelvis höjd, längd, area, volym och material (Jongeling 2008).

Det finns många mjukvaror tillgängliga för BIM och CAD inom AEC-sektorn. Exempel på dessa är Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, Autodesk AutoCAD, Graphisoft ArchiCAD, Bentley, Tekla och Solibri men listan kan göras mycket längre. Programmen har olika fokusområden beroende på i vilket syfte den ska användas, till exempel för arkitektur, konstruktion, hållbarhet eller kollisionsskontroller (Omar m. fl. 2014).

2.5.2 Standarder och informationsöverföring

Ambitionen med BIM är att med hjälp av digitala verktyg skapa kontroll över de komplexa processer som ingår i samhällsbyggnadsprojekt. Dock visar empiriska undersökningar att det finns stora hinder och utmaningar med denna digitala integration (Çıdık m. fl. 2017). Exempel på hinder i BIM-processen är bristfälliga arbetsmetoder men också tekniska brister med olika filformat och i överföring av information (Jongeling 2008). I många situationer är det viktigt att kunna utbyta och överföra data mellan olika CAD-system eller mellan ett CAD-program och programvaror med andra syften, till exempel om olika roller inom samma projekt använder sig av separata CAD-program eller om viss information ska extraheras och användas i ett annat sammanhang (Pratt m. fl. 2005). Under en konstruktionsprocess finns också många faser där olika mjukvaror och funktioner är mer passande (Sarigecili m. fl. 2009).

För att undvika problem med filformat och informationsutbyten har bland annat ISO-standard 10303 "Standard for the Exchange of Product model data" (STEP) utvecklats. STEP kan appliceras på många områden så som arkitektur, elektronik, skeppsbyggnad och mycket mer (Pratt m. fl. 2005). Denna standard implementeras när mjukvarorna utvecklas (Sarigecili m. fl. 2009).

Många initiativ för utveckling av standarder har uppkommit från organisationer och grupper, just för att underlätta informationsutbyten inom CAD, BIM och andra angränsande områden. En viktig del i utvecklingen är organisationen buildingSMART, en del av "National Institute of Building Science" (NIBS). BuildingSMART består av många företag och organisationer inom byggsektorn och har bland annat utvecklat ett öppet och neutralt filformat, "Industry Foundation Classes" eller IFC, som möjliggör överföring av information och modeller mellan olika mjukvaror (Smith och Tardif 2008). Syftet är att data ska kunna utbytas mellan alla inblandade under en byggnads livscykel, oavsett vilken mjukvara de använder. IFC-formatet utgör internationell standard, enligt ISO 16739 (buildingSMART 2018).

Som nämnt finns även BSAB-systemet som används för standardiserad benämning av bland annat byggdelar. Enligt en artikel från det sektorgemensamma utvecklingsprogrammet *Open-BIM* (Nilsson 2013) kan BSAB-systemet möjliggöra det fria flöde av information, tillgängligt för alla aktörer under hela byggprocessen, som är kärnan i BIM. Utvecklingsprojektet *Fokus I - BIM med BSAB*, som drivs av Svensk Byggtjänst, har visat att genom en informationsstruktur baserat på BSAB-systemet kan BIM användas enligt sin definition, med fokus på information (Nilsson 2013).

På grund av bristerna i BSAB 96-systemet har ett nytt klassifikationssystem *CoClass* tagits fram, som successivt ska ersätta det gamla systemet. CoClass är anpassat till digital modellering och ska öka möjligheten att utnyttja BIM:s fulla potential. Till exempel fysiskt utseende, byggdelar och dess relationer till varandra, materialinnehåll, miljöbelastning, energiförbrukning och underhållsbehov är information som beskrivs i en välstrukturerad byggnadsmodell. Genom att objekt, egenskaper och aktiviteter under byggnader eller anläggningars livscyklar beskrivs i CoClass kan bättre kommunikation mellan aktörerna uppnås genom hela projektet, under planering, projektering, produktion och vidare i projektet. I CoClass kommer egenskaper och egenskapsvärden kopplas till objektklasser vilket gör det möjligt att i tidiga skeden ställa krav och följa dessa krav under projekteringen (Svensk Byggtjänst 2016a).

Building Information Properties (BIP) är ytterligare ett system för egenskaper och beteckningar av objekt i byggnader. Syftet med BIP är att de egenskaper eller parametrar som ges olika objekt i en CAD-modell ska kunna benämnas på ett standardiserat sätt vid IFC-exporter (BIM Alliance 2017b). På hemsidan *bipkoder.se* hittas tabeller över produktbeteckningar inom olika discipliner, bland annat bygg, el och ventilation. Beteckningarna innehåller en typbeteckning (TypeID) samt motsvarande BSAB-kod. Ett exempel på en BIP-kod är *Balk - betong* (TypeID) *27.E/11* (BSAB). Bipkoder.se erbjuder också användarstöd för IFC-export från olika CAD-program. Till exempel i Revit anges objektens TypeID-beteckning under parametern *Type Mark* och objektens BSAB-kod anges under parametern *Keynote* (bipkoder.se 2018).

2.5.3 BIM för hållbart byggande

BIM-metodiken samt arbetet med minskad klimat- och miljöpåverkan från byggindustrin har blivit två allt mer vanligt förekommande trender de senaste åren. Detta har bland annat lett till att begreppet ”green BIM” blivit populärt (Wong och Zhou 2015, Araszkiwicz 2016). Wong och Zhou (2015) har summerat några definitioner av green BIM som ”en modellbaserad process för genererandet och hanteringen av byggnadsdata under ett projekts livscykel för att förbättra energieffektivitet samt underlätta uppnåendet av satta hållbarhetsmål”. Att uppnå mer miljömässigt hållbara byggnader kan göras genom att påverka olika steg i byggprocessen. I BIM-modellen kan till exempel simulering utföras av energiåtgång, som sedan kan påverkas genom förändrad design. BIM-modellen kan innehålla information om design, konstruktionsmaterial, placering och mer, vilket sedan kan exporteras till verktyg med andra ändamål som energieffektivisering eller analys av koldioxidutsläpp (Motawa och Carter 2013). Att uppnå mer hållbara byggnader kräver bra kommunikation och informationsutbyte (Araszkiwicz 2016).

2.6 LITTERATURÖVERSIKT, INTEGRERING AV BIM OCH LCA

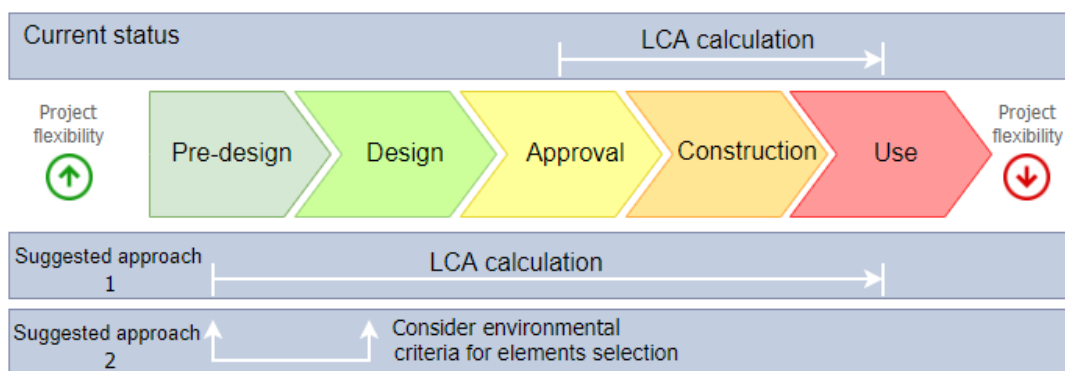
2.6.1 Hur integreringen kan bidra till ökad hållbarhet

Integrering av BIM- och LCA-metodik i byggprojekt ses ofta som en bra lösning för att uppnå ökad hållbarhet och minskad klimatpåverkan från byggindustrin (Jrade och Abdulla

2012; Jrade och Jalaei 2013; Antón och Díaz 2014; Kylili m. fl. 2015). Detta eftersom arbetsättet BIM kan bidra med information till olika intressenter under hela projektets livscykel, vilket ger möjligheter att göra LCA:er och påverka designalternativ vid tidiga stadier (Najjar m. fl. 2017). Ahmadian m. fl. (2017) undersökte hur beslut och val av leverantörer och konstruktionsmaterial kan göras, baserat på kompromisser mellan ekonomiska, miljömässiga och sociala aspekter. De föreslog användningen av anpassade BIM-modeller, innehållandes information som behövs för att kunna analysera påverkan från materialen under konstruktionens livscykel, tillsammans med relevanta databaser. På så sätt kan det mest hållbara materialet som finns tillgängligt för en byggnadskomponent väljas vilket är av stor vikt för att uppnå hållbara konstruktioner. Kostnader, tidsåtgång, kvalitet samt social och ekologisk hållbarhet är olika kriterier som kan påverka beslut av material- och produktleverantörer.

2.6.2 När och hur bör integrering ske?

Antón och Díaz (2014) har undersökt olika möjligheter att tidigt i designfasen integrera BIM och LCA för att påverka design och materialval och uppnå minskad klimatpåverkan från byggnaden. I figur 5 ses att LCA ofta görs senare i projektprocessen medan Antón och Díaz föreslår två metoder ("suggested approach" i figur 5) för LCA-beräkningar i tidigare skeden, där det finns större möjlighet att påverka beslut. Den första föreslagna metoden innebär att information, relevant för LCA-beräkningar, kan extraheras direkt från BIM-modellen (som skapas i ett tidigt skede) till LCA-programvaran under hela projektets livscykel, genom till exempel det öppna IFC-formatet. Den andra metoden innebär att ta fram en automatiserad länk mellan olika BIM-programvaror och miljödatabaser med information om objekten baserade på LCA:er, så att miljödata för valda material eller produkter kan ses direkt när 3D-modellen utformas. På så sätt kan projektören redan i fördesign- och designfasen ta beslut om material och objekt baserade på miljöpåverkan (bland andra kriterier) (Antón och Díaz 2014).



Figur 5: LCA-beräkningar under byggprocessen, nuvarande och föreslagna tillvägagångssätt (efter Antón och Díaz 2014)

Slutsatserna som Antón och Díaz drog var att den första metoden, där LCA görs genom att extrahera information från BIM till LCA-verktyg, var den bästa. De menar att den information som krävs för att göra en LCA på en byggnad redan finns i BIM-modellen och kan extraheras och användas i LCA-verktyg och att metoden resulterar i mer korrekta LCA:er. Det skulle inte heller innebära lika mycket extraarbete för projektörerna. Dock måste metoden utvecklas ytterligare, bland annat eftersom informationen om material ofta är bristfällig i modellerna (Antón och Díaz 2014).

2.6.3 Hinder och möjligheter med integrering av LCA och BIM

Flera publikationer adresserar problemen och svårigheterna med att praktiskt och automatiskt integrera BIM-modeller med LCA-verktyg. Means och Guggemos (2015) menar att användning av LCA-verktyg och LCA-databaser generellt innebär en aktivitet helt skild från projekteringen av huset, där ny data måste införas manuellt. Enligt Loh m. fl. (2007) är LCA- eller miljöpåverkansanalysverktyg ofta svårtillgängliga och komplexa vilket leder till mycket extraarbete och tidskrävande moment, speciellt när byggnadsdesignen kontinuerligt uppdateras. Oduyemi m. fl. (2017) utförde en litteraturstudie för att undersöka hinder med användningen av BIM för hållbar byggnadsdesign. Slutsatserna var att det största teknologiska hindret med integreringen var brist på interoperabilitet mellan programvaror samt hinder på grund av kostnader för utbildningar och mjukvaror. Fischer m. fl. (2004) menar att två lösningar för ökad möjlighet till integrering av BIM- och LCA-verktyg är förbättrat utbyte av data mellan olika program eller att utveckla inbyggda funktioner i BIM-modellen för att kunna utföra LCA:er, likt förslagen från Antón och Díaz (2014). Antón och Díaz menar dock att bristfällig information om ingående objekt i byggnadsmodellerna är ett generellt hinder.

2.6.4 Praktiska exempel på integrering mellan programvaror

Jrade och Abdulla (2012) utvecklade en prototyp för informationsöverföring mellan BIM- och LCA-verktyg (Autodesk Revit och "Athena EcoCalculator"), via export med IFC-formatet. Athena EcoCalculator är ett verktyg för LCA:er av byggnader, vilket kortfattat är ett Excel-dokument med vanliga konstruktionsobjekt, så som betongväggar med olika uppbyggnad och ingående material. För varje objekt finns även generiska värden på objektens miljöpåverkan för olika kategorier (baserat på data från Canada och USA). Författarna skapade först en enkel modell i Revit, en vägg och en dörr som de taggade med koder, under objektparametrar i Revit, vilka motsvarande koder för byggdelar i Athena EcoCalculator. De exporterade sedan Revitmodellen till IFC-format och vidare till Excel, där de utvecklade ett macro (tilläggsfunktion) för att hitta den relevanta taggen med information om objektet, samt motsvarande area eller volym. De förde sedan manuellt in denna information i LCA-verktyget och fick då ut en sammanställd LCA för byggnadsmodellen. Denna integreringsprototyp kräver dock att information som motsvarar objekt i Athena EcoCalculator anges i BIM-modellen och innebär manuell inmatning både i BIM- och LCA-verktyget vilket kan vara tidskrävande. Slutsatser var att verktygen skulle kunna utvecklas till att bli mer användarvänliga (Jrade och Abdulla 2012).

En annan metod för integrering av BIM och LCA föreslogs av Russel-Smith och Lepech (2012). Genom att använda befintliga metoder för kostnads- och tidsberäkning var målet att även införa miljömässiga parametrar för beräkningar under konstruktionsfasen. Detta inkluderade miljöpåverkan alltifrån materialutvinning, tillverkning av byggprodukter och transporter till aktiviteter på byggarbetsplatsen. De använde programvarorna Autodesk Revit, Autodesk Quantity Takeoff och SimaPro som är ett LCA-verktyg. En komplett BIM-modell för en specifik konstruktion (fotbollsarena) användes för att skapa en materiallista som importerades till SimaPro. Materialen kopplades sedan samman med uppskattade aktiviteter och transporter på byggarbetsplatsen och motsvarande miljöpåverkansvärden hämtades från livscykeldata-basen Ecoinvent (för materialen, transporter och tillhörande aktiviteter). Detta sammanställdes i SimaPro och jämfördes senare med de faktiska utsläppen från produktionen där skillnaderna mellan resultaten blev väldigt små. Studien visar alltså på möjligheter med att integrera BIM och LCA för att förutspå klimatpåverkan, men fokuserar inte på hur integreringen mellan programvarorna fungerade, vilket istället föreslås som framtida studier.

3 METOD

I detta avsnitt beskrivs en kort bakgrund till var studien utfördes, nyttan med den samt vilka metoder som användes för att besvara syfte och frågeställningar. Metoderna består av en litteraturstudie, test av processer och programvaror för integrering av BIM och LCA samt intervjuer och deltagande observationer. Metoderna förklaras sedan mer detaljerat.

3.1 ÖVERBLICK

Examensarbetet utfördes under 20 veckor på Tyréns, ett konsultföretag inom samhällsbyggnad, på avdelningarna "BIM Strategi & Samordning" samt "Hållbart Byggnad och Utveckling" i Stockholm.

Kortfattat arbetar *BIM Strategi & Samordning* med *Building Information Modeling* och *Management* vilket delvis kan beskrivas som en form av digital projektledning. BIM-samordning innebär bland annat sammanställning av flertalet 3D-modeller där BIM-samordnaren kontrollerar modellen och informationsstrukturen. Informationen i 3D-modellerna kan till exempel nyttjas till utförandet av kalkyler, simuleringar eller livscykelanalyser. Beroende på projekts syfte och vad modellen ska användas till krävs informationsnivån i modellerna där BIM-samordnaren ser till att kraven uppfylls (Ramström 2018).

På avdelningen *Hållbart Byggnad och Utveckling* arbetar man bland annat med miljöcertifieringar av byggnader samt olika typer av livscykelanalyser av konstruktioner. LCA:er och EPD:er kan bland annat utföras för en hel byggnad, från utvinning av råvaror till produktion, drift och förvaltning. Vid certifiering av byggnader med LEED, BREEAM och Miljöbyggnad, kan LCA:er utföras av byggnaderna för ökade möjligheter att uppnå certifieringarna. Om Boverkets förslag om klimatdeklarationer av byggnader blir verklighet kan behovet av klimatanalyser av ingående byggmaterial och -produkter öka. Essentiellt för att göra dessa analyser av specifika byggnader är tillgång till information om byggmaterial eller produkter samt motsvarande mängder (Harlén 2018).

I dagsläget på Tyréns behöver ofta mycket extraarbete utföras för att göra livscykelanalyser. Mycket tid går ofta åt till att kontakta de olika projektörerna för att få information om vilka material eller produkter som är tänkta för de olika komponenterna i byggnaden samt att kontakta olika leverantörer för att få produktspecifik information. BIM-metodik skulle kunna vara ett bra alternativ för bättre informationshantering och flöden mellan projekterade 3D-modeller och LCA-beräkningar. Detta förutsatt att information om byggmaterial anges i modellerna, eftersom de redan innehåller information om mängder och geometri. Materialinformationen borde även anges så att program för LCA:er kan tolka den (Harlén 2018). Som nämnt finns det möjligheter men också problem och hinder med integrering av BIM och LCA. Ett exempel är att material kan benämnas på olika sätt i 3D-modellerna och ha olika enheter som inte stämmer överens med hur programmen läser informationen. Detta innebär ofta mycket extra handpåläggningsarbete. Denna problematik låg till grund för formuleringen av syftet och frågeställningarna samt utformning av metod i denna studie. Valet av metod är en del av forskningsprocessen för att hitta passande verktyg i relation till studiens ämne, syfte och frågeställningar (Buchanan och Bryman 2007). För att uppnå studiens syfte och frågeställningar har följande metoder använts:

- **Litteraturstudie** - För utformande av studiens bakgrund, syfte, teori och metod
- **Test av processer för integrering av BIM och LCA med valda programvaror** - För att besvara frågeställning 1: *"Hur fungerar informationsflöden mellan olika programvaror för BIM och klimat- eller livscykelanalyser och vad krävs för att processerna ska bli mer effektiva och automatiska? Vilken information är relevant och hur bör den anges?"*
- **Intervjuer och deltagande observationer** - För utformande av studiens syfte, metod samt för att besvara frågeställning 2 och 3: *"Vilka möjligheter finns att tillämpa denna metodik med integreringsprocesser i byggprojekt under tidiga skeden?"* och *"På vilket sätt kan effektiv integrering av BIM och LCA tillämpat i byggprojekt bidra till hållbarare byggnadskonstruktioner ur ett klimat- och miljöpåverkansperspektiv?"*

När metoderna beskrivs nedan hänvisas ibland till olika respondenter. Detta är personer som intervjuats i studien och mer information om dem finns under rubrik 3.4 *Intervjuer och deltagande observationer* på sida 26.

3.2 LITTERATURSTUDIE

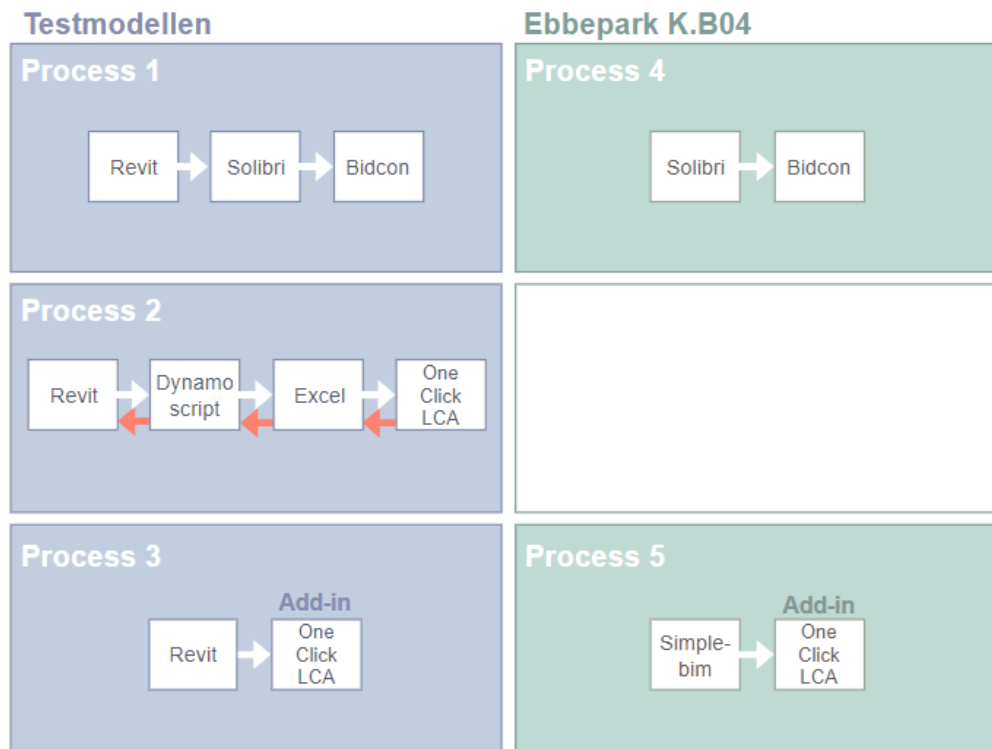
Först genomfördes insamling av sekundärdata i form av en litteraturstudie. Enligt Kitchenham (2004) utförs litteraturstudier för att identifiera, utvärdera och tolka tillgänglig forskning och litteratur som är relevant för studien, hitta behov av nya forskningsfrågor samt för att motivera studien med hjälp av teoretiskt ramverk och bakgrund.

Litteraturstudien i detta projekt genomfördes för att få bättre insikt i metoder, begrepp, processer, lagar, standarder, programvaror samt en överblick av publikationer som berörde denna studies syfte. Genom litteraturstudien utformades den teoretiska bakgrunden. Teorier om hållbar utveckling och hållbart byggande utreddes då de utgör grunden till studien. Sedan undersöktes processer och standarder för livscykelanalyser, både generellt och mer specifikt för byggnader och byggprodukter, för att få en djupare förståelse för syftet med och tillvägagångssättet vid utförandet av en LCA. Byggprocessen visade sig också vara en viktig grund för att utföra studien. För att kunna påverka beslut eller arbetsmetoder tidigt i byggprocessen är det viktigt att ha en förståelse för vilka delprocesser som ingår, vilka beslut som tas vid olika tidpunkter, vilka lagar och regler som gäller samt vilka system som finns för att beskriva byggnadskomponenter. Definitioner och användningsområden för byggnadsinformationsmodellering täcktes också för att få en uppfattning av hur metodiken kan användas för olika ändamål, speciellt för hållbart byggande. Slutligen gjordes en litteraturoversikt av forskningspublikationer med syften och frågeställningar som liknade denna studie för att utreda behovet av nya forskningsfrågor och problematiken med integrering av BIM och LCA. Genomgående i litteraturstudien lästes böcker, information från myndigheter och organisationer samt forskningspublikationer av olika slag.

3.3 TEST AV PROCESSER FÖR INTEGRERING AV BIM OCH LCA

En viktig del av metoden i denna studie är fem utvalda processer där information om mängder och material överfördes från två olika byggnadsmodeller till de två LCA-verktygen Bidcon och One Click LCA. Processernas uppbyggnad och programvarorna valdes utifrån vissa intervjuer, deltagande observationer samt egna iakttagelser. Den första byggnadsmodellen som användes kallas hädanefter för *testmodellen* och ritades på fri hand i CAD-programmet Revit. För testmodellen utfördes tre processer. Den andra modellen som användes var en befintlig modell från ett byggprojekt i Linköping, kallat Ebbepark. Modellen ritades av byggnadskonstruktörer (K) och det valda husets benämning är B04. Hädanefter kallas denna byggnadsmodell därför för K.B04, vilken fanns tillgänglig i IFC-format. För K.B04 testades två processer.

I figur 6 ses en överblick av processerna för överföring och bearbetning av information mellan olika programvaror som testades för de två modellerna. I följande stycken förklaras programvarorna som användes i processerna, hur testmodellen byggdes upp och varför K.B04 valdes samt hur upplägget av de olika processerna utformades. Hur processerna sedan fungerade samt för- och nackdelar med dem redovisas under rubrik 4 *Resultat*.



Figur 6: De fem processer som testats för kompatibilitet mellan programvaror för BIM och LCA. Två husmodeller användes; "testmodellen" och "K.B04".

3.3.1 Programvaror som används i processerna

Testmodellen valdes att ritas i Revit eftersom det är ett vanligt verktyg för CAD-modellering av byggnader. Solibri och Simplebim valdes för att granska IFC-modellen K.B04 och eftersom One Click LCA har ett add-in till Simplebim. Bidcon och One Click LCA valdes baserat på intervjuer och deltagande observationer eftersom One Click LCA redan används ibland och eftersom ett projekt från Tyréns rekommenderat Bidcon för klimatanalyser. För att lättare följa stegen i processerna beskrivs programvarorna och vissa relevanta funktioner nedan.

Autodesk Revit

Företaget Autodesk har utvecklat ett antal programvaror för 3D-modellering med olika funktioner och huvudsyften. Revit är ett av dessa program, vilket Autodesk beskriver som en mjukvara för BIM som kan användas av arkitekter, konstruktörer, VVS-projektörer med flera. I Revit kan den modellbaserade processen användas för att planera, designa, projektera och hantera byggnader och infrastruktur (Autodesk 2018b). Revitmodellen kan visas på olika sätt, till exempel med 2D- och 3D-vy eller planritningar men utgår från samma virtuella byggnadsmodell.

Modellelement kallas de objekt som representerar 3D-geometrin i modellen, till exempel väggar, fönster, dörrar, tak, byggnadstekniska väggar och bjälkar eller rör och ledningar. Alla element utgör också instanser av olika familjer. En familj innehåller den geometriska

definitionen av ett element samt dess parametrar. Det finns två typer av egenskapsuppsättningar, ”typegenskaper” samt ”instansegenskaper”. I en familj har alla element samma uppsättning av typegenskaper och egenskaperna har i sin tur samma värden för en specifik familjetyp. Exempelvis för familjen *Basic Wall* finns parametern *bredd* med värdet för bredden kan variera för olika familjetyper inom familjen *Basic Wall*. Instansegenskaperna i sin tur är också styrda av familjen men värdena kan variera beroende på det specifika elementets placering. För ett element inom familjen *Basic Wall* är ett exempel på instansegenskaper på vilken höjd eller våningsplan väggen börjar eller slutar, vilket varierar för olika väggelement även inom samma familj och familjetyp (Autodesk 2018a).

Dynamo

Dynamo är ett tillägsprogram till Revit där visuell programmering samt textprogrammering i programmeringsspråket Python kan användas för många olika syften, till exempel för att generera geometriska objekt eller för att hantera data från modeller i Revit. Dynamo ska på så vis bidra till nya perspektiv av BIM. Den visuella programmeringen byggs upp med noder som utför olika operationer och sedan kopplas samman med varandra där flöden av in- och utdata skapas. I Dynamo finns ett bibliotek med fördefinierade noder men det är även möjligt att ladda ner paket med fler noder eller göra egna. Data kan hämtas från till exempel familjer, familjetyper och instanser från olika Revitmodeller för att sedan bearbetas enligt scriptet som skapas i Dynamo. Data kan sedan exempelvis exporteras till Excel eller importeras från Excel och tillbaka till Revitmodellen. Ett script som skapas i Dynamo kan sedan återanvändas för olika Revitmodeller (Dynamo 2017).

Solibri

Solibri är ett företag som erbjuder verktyg för bland annat BIM-validering, -analyser och samordningskontroll. En av deras produkter kallas Solibri Model Viewer, vilken har används i denna studie och refereras till som Solibri. Programvaran kan användas för att granska och kommentera 3D-modeller av IFC-format där även information om de olika objekten och dess egenskaper från IFC-modellen kan undersökas (Solibri 2018).

Simplebim

Simplebim är en programvara som likt Solibri kan användas för att granska IFC-modeller och angiven information. Data i IFC-modellen kan också redigeras i Simplebim, utan tillgång till ursprungsmodellen. Till IFC-modellen kan också extern data adderas, till exempel resultat från en energisimulering. Programvaran kan möjliggöra effektiv och tillförlitlig kommunikation inom projekt som använder sig av BIM-metodik (Simplebim 2018).

Elecosoft Bidcon

Elecosoft är ett företag som utvecklar programvaror för byggindustrin, bland annat inom projektplanering, dimensionering och kalkylering. Bidcon är ett av dessa program, vilket används för kostnadskalkyler och som även har en klimatmodul. Bidcon finns för olika branscher som exempelvis bygg, anläggning eller el och har då anpassade databaser med så kallade kalkylposter. För bygg innehåller databasen bland annat byggdelar och produktionsresultat som kopplats till generella ”systempriser”, samt generiska data över byggdelarnas koldioxidutsläpp (klimatmodulen). IFC-modeller kan importeras där mängder och annan information om de respektive byggkomponenterna kan samlas i kalkylen och sedan ersättas med byggdelar från databasen. På så vis kan kostnad och klimatpåverkan från byggkomponenterna beräknas för hela byggnaden. Egna kalkylposter kan också skapas med annan data för kostnad och klimatpåverkan (Elecosoft 2018).

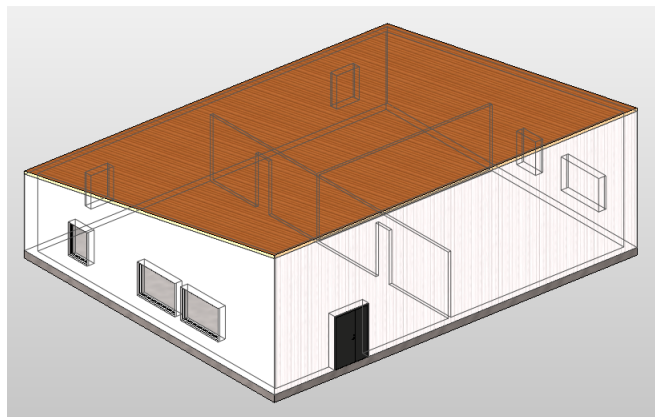
One Click LCA

One Click LCA är en programvara med verktyg för bland annat miljöcertifieringar eller livscykelanalyser av byggnader. Genom att använda data och information om en byggnads komponenter, material, transporter och liknande kan en livscykelanalys utföras i One Click LCA där utsläpp sammanställs i olika miljöpåverkanskategorier under alla byggnadens faser, från vagg till grav. Den existerande datan som används i beräkningarna kan importeras i olika filformat, till exempel från Excel, Revit och IFC. Mängder och materialangivelser för de olika byggkomponenterna kan sedan kopplas mot One Click LCA:s databas som byggts upp av bland annat The International EPD System, data från olika länder samt andra källor med generiska data för olika byggmaterial. För att importera data från modeller i Revit eller IFC-filer har One Click LCA utvecklat olika add-in (tilläggsprogram) för bland annat Revit och Simplebim (ej för Solibri) (One Click LCA 2018).

3.3.2 Uppbyggnad av testmodellen och process 1-3

Exakt hur processerna skulle utformas var inte bestämt från början. Process 1 för testmodellen var den första som genomfördes och baserades på ett tidigare projekt som genomförts på Tyréns. Respondent A är miljöspecialist på Tyréns och var med i detta projekt, vars syfte var att utreda och utveckla verktyg för att i tidiga skeden kunna optimera arkitektur för att minska energibehov samt klimatpåverkan från en byggnad. I projektet användes en husmodell och två LCA-verktyg testades, Bidcon (vars klimatmodul är utvecklad av Tyréns) och One Click LCA. Resultatet blev dels att genom att minska fönsterstorleken kunde både energibehovet under drift (vilket undersöktes i ett annat program) och klimatpåverkan från byggkomponenterna minskas. Det andra resultatet var att Tyréns borde satsa på att använda Bidcon och inte One Click LCA för analyser av klimatpåverkan från byggdelarna. I One Click LCA importerades IFC-filen av husmodellen och det var få byggdelar som kunde identifieras vilket innebar mycket extra handpåläggning. I Bidcon fanns också problem eftersom datastrukturen i IFC-modellen inte var kompatibel med Bidcon och material och mängder var svårutlästa. De föreslog därför att BIP-koder borde användas för att strukturera datan och för att ange information om byggnadskomponenterna på ett standardiserat vis (Respondent A 2018). Detta projekt ledde till utformandet av testmodellen i Revit där BIP-koder angavs för objekten och process 1 där modellen först granskades i Solibri för att sedan importeras till Bidcon där en klimatanalys genomfördes.

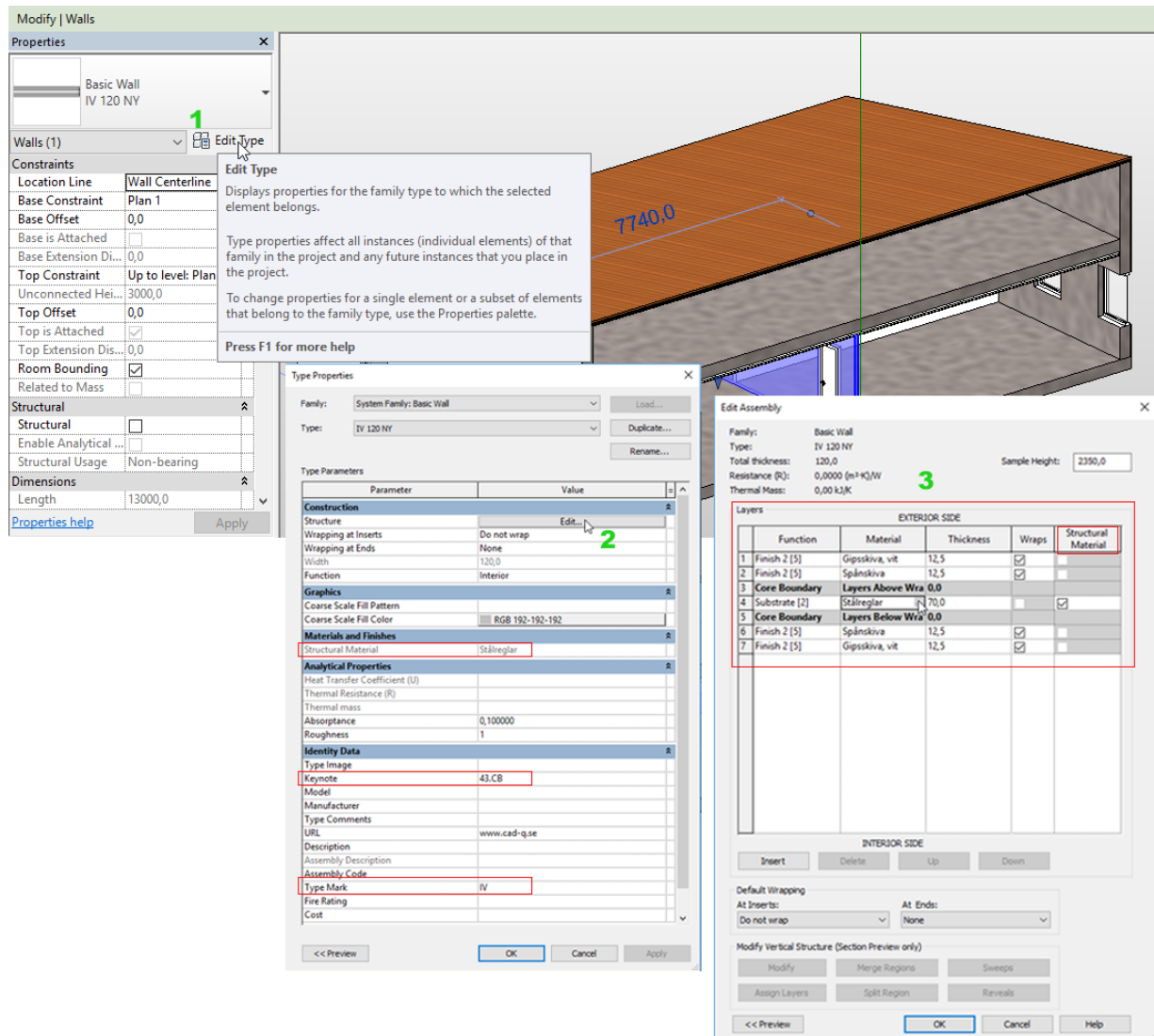
Testmodellen gjordes på fri hand, främst för att få djupare förståelse för hur information kunde anges i Revit och sedan exporteras till andra program. Modellen motsvarade alltså inte ett riktigt projekt. Huset ritades med fyra ytterväggar, två innerväggar, sju fönster av två olika storlekar, tre dörrar av två olika format, två bjälklag, ett innertak samt ett yttertak. I figur 7 visas det modellerade huset.



Figur 7: Testmodellen

Inga byggnadstekniska beräkningar utfördes för testmodellen, utan fokus låg på elementen och egenskaperna. Elementen i modellen ritades med följande familjer från Revit; *Basic Wall*, *Single Window*, *Floor*, *Compound Ceiling*, *Single Door*, *Double Door* och *Basic Roof*. Nya familjetyper skapades där typegenskapernas värden sedan modifierades genom att först ange BIP-koder. Under parametern "Type Mark" angavs då koden för TypeID och under "Keynote" angavs BSAB.

För några få objekt fanns motsvarande BIP-koder med information om material, till exempel "Dörr av trä", men inte mer detaljerad materialinformation eller recept för ingående delar i ett objekt (en vägg brukar till exempel bestå av fler lager och en dörr kan bestå av olika komponenter). Därför drogs slutsatsen att BIP-koder antagligen inte ger tillräcklig information för att göra noggranna livscykelanalyser. Istället undersöktes möjligheten att ange mer information om materialet i familjetyperna utöver BIP-koder. Hur material kan anges ser olika ut beroende på familjen. Av de familjer som använts i modellen är det möjligt att för *Basic Wall*, *Floor*, *Compound Ceiling* och *Basic Roof* och typer inom de familjerna specificera materiallager under parametern *Structure*. För *Single Window* kan material specificeras under parametrarna *Material Interior*, *Material Glass* och *Material Exterior* och för *Double/Single Door* under parametrarna *Material Threshold*, *Material Panel*, *Material Frame*, *Material Exterior*, *Material Glass* och *Material Hardware*. Nya familjer kan också skapas eller importeras och då kan material eventuellt anges på annat sätt. Att ange mer specifika recept för de olika objekten kan leda till bättre och mer exakta klimatanalyser. I figur 8 ses ett exempel på hur typegenskaper för typen innervägg under familjen *Basic Wall* redigerades genom att ange BIP-kod och materiallager. Siffrorna 1, 2 och 3 visar ordningen på processen. Först väljs "Edit Type" där man bland annat kan skriva in BIP-koder, under siffra 2 kan man ändra materialstrukturen vilket leder till siffra 3 där materiallagrena valdes för innerväggen.



Figur 8: Exempel på angivning av BIP-koder och material i familjetypen innervägg i Revit. Siffrorna 1-3 beskriver ordningen i processen för att redigera och välja material.

I tabell 1 ses vilka BIP-koder och materialegenskaper som valdes och angavs för respektive familjetyp samt några specifika egenskaper för de olika instanserna eller objekten. Materialen och byggdelarna valdes inte med hänsyn till funktion eller byggnadsteknisk hållfasthet utan endast för att undersöka informationsflödet i processerna och hur programvarorna fungerade.

Tabell 1: Testmodellen. Familjer och familjetyper, typegenskaper i form av material som angavs, några specifika egenskaper för de olika instanserna samt valda BIP-koder för respektive objekt.

Revit				Motsvarande BIP-koder som använts		
Familj + Typ	Antal objekt	Typegenskaper som angetts	Instansegenskaper	Underkategori	TypeID	BSABe
<u>Basic Wall</u> Yttervägg bärande	4	Width = 320 mm Structure = Betong, 300 mm Träpanel, 20 mm	• Area = 47.31 m ² • Area = 45.95 m ² • Area = 50.68 m ² • Area = 81.86 m ²	Yttervägg bärande	YVB	27.C
<u>Basic Wall</u> Innervägg icke bärande	2	Width = 120 mm Structure = Stålreglar, 70 mm Spånskiva, 12.5 mm x 2 Gipsskiva, 12.5 mm x 2	• Area = 29.97 m ² • Area = 20.12 m ²	Innervägg icke bärande	IV	43.CB
<u>Floor</u> Bjälklag	2	Width = 300 mm Structure = Betong, 300 mm	• Area = 216.05 m ² • Area = 197.55 m ²	Bjälklag	BJL	27.F
<u>Compound Ceiling</u> Innertak	1	Width = 52 mm Structure = Gipsskiva, 36 mm Mineralullsplatta, 16 mm	• Area = 197.55 m ²	Innertak	IT	43.E
<u>Basic Roof</u> Yttertak	1	Width = 121 mm Structure = Takpannor, 50 mm Trä, bärläkt, 22 mm Trä, ströläkt, 22 mm Underlagspapp, 5 mm Trä, råspont, 22 mm	• Area = 219.38 m ²	Takstol, yttertaks- och ytterbjälklagsstommar	YTS	27.G
<u>Double Door</u> Ytterdörr, dubbel	1	Materials and Finishes: Material Panel = Stål, rostfritt Material Exterior = Stål, rostfritt	Höjd = 2110 mm Bredd = 1510 mm	Ytterdörr av stål	YDS	42.D
<u>Single Door</u> Innertak	2	Materials and Finishes: Material Panel = Trä, vitt Material Exterior = Trä, vitt Material Hardware = Aluminium	Höjd = 2110 mm Bredd = 710 mm	Dörr av trä	DT	43.CC
<u>Single Window</u> Fast fönster	7	Materials and Finishes: Material Interior = Trä, vitt Material Glass = Glas, Klart Material Exterior = Trä, vitt	Instanstyp 1 (4st) Höjd = 1310 mm Bredd = 1010 mm Instanstyp 2 (3st) Höjd = 1310 mm Bredd=2010mm	Fönster generiskt	F	42.D

När process 1 genomförts (se resultatet under rubrik 4) stod det klart att det fanns fördelar med att använda Bidcon men trots användandet av BIP-koder innebar metoden mycket handpåläggning. Detta ledde i sin tur till att metoden utökades för att undersöka om andra processer eventuellt kunde vara effektivare i syftet att integrera BIM och LCA.

Projektet, beskrivet ovan efter intervjun med Respondent A, kom fram till att BIP-koder är användbart för att strukturera data för vidare LCA-beräkningar. Även om BIP-koder eventuellt inte är tillräckligt för att göra livscykelanalyser kan de underlätta för andra discipliner och krävs ibland i BIM-manualer. Parallellt med utförandet av process 1 undersöktes ett projekt som genomförts av respondent B och C på avdelningen BIM Strategi & Samordning för effektivare angivelser av BIP-koder till byggelementen i Revitmodeller. Syftet var att un-

derlätta arbetet när det i BIM-manualen finns krav på att använda BIP-koder. De utvecklade ett script i Dynamo som extraherade listor över ingående objekt i modellen till ett Excelark där de sedan skrev in motsvarande BIP-koder som därefter kunde importeras tillbaka till objekten i CAD-modellen, under valda parametrar (Respondent B, Respondent C 2018). Att använda Dynamo för hantering av information sågs då som en möjlighet för att bättre kunna effektivisera informationshanteringen för andra ändamål än BIP-kodsangivelse, i detta fall i processer för integreringen av BIM och LCA. Bidcon tar i dagsläget bara emot importer av IFC-modeller medan One Click LCA kan läsa Excelfiler. Därför utformades process 2, där Dynamo användes för att strukturera information om material och mängder till Excelformat vilket sedan importerades till One Click LCA. På så sätt behövde inte denna information anges förhand. En vidare möjlighet är sedan att använda data från livscykelanalysen och importera den tillbaka till objekten i Revitmodellen.

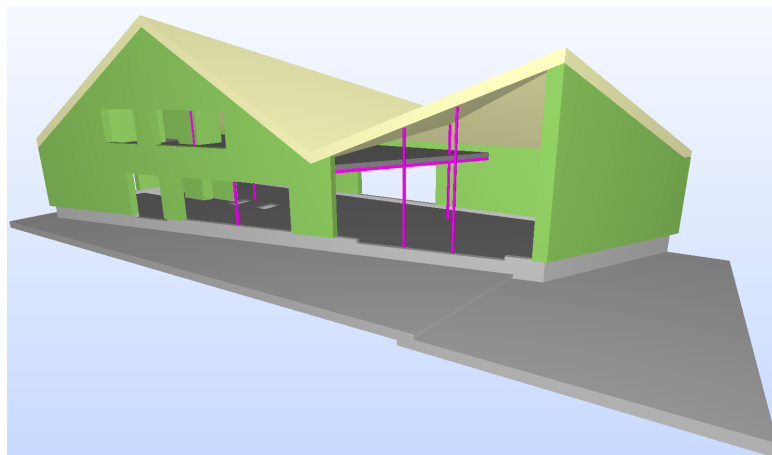
Först när process 2 genomförts upptäcktes att One Click LCA även har utformat en add-in till Revit. Denna kan installeras och sedan kan information från modeller i Revit direkt extraheras till One Click LCA. Därför undersöktes denna metod i process 3, för att jämföras med process 2.

3.3.3 Bakgrund till K.B04 och uppbyggnad av process 4-5

De tre första processerna utfördes med testmodellen. Detta gav större förståelse för hur information om byggkomponenter kan anges i Revit, samt hur denna information kan hanteras i de olika processerna som testades. För att även undersöka hur processerna kan implementeras i byggprojekt valdes att undersöka den befintliga modellen K.B04 från projektet Ebbepark. Genom att testa liknande processer som genomförts för testmodellen var målet att undersöka om informationen som angivits i K.B04 var tillräcklig eller bristfällig för integreringsprocesser av BIM och LCA. Process 4 utfördes för att motsvara process 1 där Bidcon användes för klimatanalys. Modellen K.B04 fanns tillgänglig i IFC-format och tanken var inte att modifiera informationen i modellen och därför användes inte Revit i dessa processer. Det är möjligt att öppna IFC-filer i Revit men Solibri är ett av fler program som är anpassade för granskning av just IFC-filer. Process 2, där Revit och Dynamo användes utfördes därför inte för K.B04. Däremot kunde process 5 utföras för att motsvara process 3, eftersom One Click LCA även har ett add-in till Simplebim, som likt Solibri är ett verktyg för att granska IFC-modeller. Ett annat syfte med att välja K.B04 från det befintliga projektet Ebbepark var att få större insikt i hur BIM-metodik kan tillämpas i praktiken och hur projekteringsprocessen kan se ut.

Ebbepark är en planerad stadsdel i Linköpings kommun i ett område som tidigare varit ett äldre industriområde (Linköping Kommun 2017). Planerna för projektet initierades 2011 och är indelat i fyra etapper (Sankt Kors och Stångåstaden 2018b). I dagsläget (februari 2018) har detaljplaner för alla fyra etapper antagits av kommunfullmäktige och byggnation påbörjades av etappen där hus B.04 är placerat under hösten 2017 (Sankt Kors och Stångåstaden 2018a).

Under projekteringen av Ebbepark har området delats in i delområden som projekteras i olika modeller. I figur A.1 i Bilaga A ses placeringen av hus B.04. Modellen som användes var ritad av byggnadskonstruktörer (K) och innehöll objekt så som pelare, balkar och betongväggar och bjälklag. I denna modell (K.B04) fanns redan materialangivelser, främst bestod objekten av betong eller stål. Modellen utgjorde ett förfrågningsunderlag till entreprenörer, alltså ett underlag till bygghandling, ett sent skede i projekteringsprocessen. Konstruktörsmodellen valdes främst på grund av att arkitektmodellerna över samma hus hade ytterst få materialangivelser, vilket hade gjort det nästintill omöjligt att utföra en LCA. I figur 9 ses modellen K.B04 visad i Solibri, som utgör ett underlag till bygghandlingen.



Figur 9: Konstruktörsmodellen över hus B.04, vilken utgör underlag till bygghandlingen.

I projektet Ebbepark används BIM-metodik i form av objektbaserad, modellorienterad och samordnad 3D-projektering. Projektet har även en tydlig hållbarhetsvision vilket gör det lämpligt som studieobjekt i detta arbete. Tyréns är delaktiga i projekteringen där respondent D är BIM-samordnare. Rollen innebär bland annat framtagandet av en så kallad IT(informationsteknologi)-handledning samt se till att denna följs. IT-handledningen syftar till att ge detaljerade beskrivningar av arbetsrutiner och informationsstruktur för CAD-relaterad information. Resterande information under denna rubrik är tagen från denna IT-handledning från Tyréns (2017).

Ett antal konsultföretag ansvarar för olika discipliner vid projekteringen av Ebbepark. Detta innebär också att olika CAD-program används. IT-handledningen beskriver också närmare vilka versioner av de olika programvarorna som ska användas, vilket filformat som används vid överföring av modeller mellan olika discipliner samt hur alla filer, exempelvis modeller för systemhandlingar, ritningar för bygghandlingar och modeller för bygghandling, ska namnges (enligt Svensk Standard). Disciplinerna ansvarar för olika objekt i modellfilen, vilka kan ses i tabell 2.

Tabell 2: De objekt som respektive disciplin ansvarar för i modellerna

A Arkitekt	K Byggnadskonstruktör	IA Inrednings- arkitekt	E Elprojektör	L Landskapsarkitekt
<ul style="list-style-type: none"> • Innerväggar • Kök • Våtrum • Trappor • Fönster • Dörrar • Entrépartier • Glaspardier • Undertak • Övergolvs • Räckan • Takluckor • Takbryggor • Utfackningsväggar • Uppstolpat golv / Installationsgolv 	<ul style="list-style-type: none"> • Balkar (Håldäck) • RD-plattor • Betongväggar • Pelare • Tak • Terrasser • Hål i bärande väggar för: - dörrar - fönster - kanalisering - etc. • Platsgjutna trappor • Pålar 	<ul style="list-style-type: none"> • Fast inredning • Lös Inredning • Underlag för väggplacering till A 	<ul style="list-style-type: none"> • Centraler • Elstegar • Kanaliseringer • Armaturer • Håltagningsunderlag 	<ul style="list-style-type: none"> • Finplanering mark • Fundament och tomrör för utomhus- armaturer • Schakt för VA • Trappor utomhus (utom huvudtrappan som ritas av A + K) • Räckan utomhus
Q Sprinkler- entreprenör	V Ventilationsprojektör	W VS-projektör	SÖP Styr- & övervaknings- projektör, process	SÖF Styr- & övervaknings- projektör, fastighet
<ul style="list-style-type: none"> • Sprinkler • Håltagnings- underlag 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilation • Håltagnings- underlag 	<ul style="list-style-type: none"> • Rör • Håltagnings- underlag 	<ul style="list-style-type: none"> • Utrymme som krävs i form av boxar eller liknande 	<ul style="list-style-type: none"> • Utrymme som krävs i form av boxar eller liknande

Modellerna som skapas ska kunna användas till visualisering för olika intressenter, kollisionkontroller samt även beräkningar av mängder för exempelvis kalkyler och inköp. Modellerna ska vara så nära en produktionsmodell som möjligt och kan även ligga till grund för andra analyser än de som utförs av respektive disciplin. Ytterligare krav är att "rätt" verktyg ska användas när byggdelar projekteras i applikationen, exempelvis ska väggar modelleras med väggverkyget. Det är viktigt att det framgår i benämningen av objektet vad det ska föreställa.

Arkitektens modell ska ligga till grund för de övriga projektörernas modeller samt för olika analyser och simuleringar. Därför är det av stor vikt att denna modell är tekniskt korrekt i projektets alla skeden. Under projekteringsfaserna ska objekten i modellen successivt förses med mer information, speciellt under detaljprojektering är det viktigt med tydligare information om objekten. Alla objekt och byggdelar ska i detta projekt betecknas enligt BIP-koder. (Tyréns 2017)

3.4 INTERVJUER OCH DELTAGANDE OBSERVATIONER

Inom samhällsvetenskap nämns ofta kvalitativa kontra kvantitativa forskningsmetoder för insamling av primärdata. Kvantitativa metoder associeras ofta med enkätundersökningar och experimentella studier, medan kvalitativa metoder kan vara så kallade deltagande observationer eller mer djupgående intervjuer (Bryman 1988).

I denna studie användes kvalitativa metoder i form av intervjuer och deltagande observationer, främst på företaget Tyréns men även med externa personer. Detta för att få en djupare förståelse för problem och möjligheter kopplade till studien, formulera syfte och metod samt för att uppnå syftet och besvara frågeställningarna. En deltagande observation innebär att forskaren deltar i dagliga aktiviteter, interaktioner och händelser i en grupp av personer (Musante och DeWalt 2011) samt fördjupar sig i dessa sammanhang. Så kan en grundlig bild skapas av gruppen, organisationen eller liknande (Bryman 1988). Enligt Blalock (1970) är deltagande observationer mycket användbara för initiala insikter som sedan kan leda till

noggrannare formuleringar av problem och hypoteser. Under projektets gång utfördes deltagande observationer genom att delta på olika möten, lyssna på diskussioner och observera arbetssätt på Tyréns, parallellt med ett antal mer djupgående intervjuer. På så sätt kunde studien formas och utvecklas genom att få tydligare uppfattning om organisationen och uppdrag samt mer specifikt om möjligheter och behov av bättre integrering mellan BIM och LCA. Problematik med nuvarande praxis och behov av studien kunde på så sätt förstås bättre vilket även ledde till utarbetandet av metoden.

Ofta kombineras just deltagande observationer och kvalitativa intervjuer (Bryman 1988). Det finns tre grundläggande typer av intervjumetoder av både kvantitativ och kvalitativ karaktär vilka är strukturerade, semistrukturerade samt ostrukturerade intervjuer. Strukturerade intervjuer är ofta en kvantitativ metod, till exempel frågeformulär, som inte ger någon djupare relation till de enskilda deltagarna. Semistrukturerade intervjuer innehåller ofta ett antal förformulerade frågor för att täcka de områden som är av intresse för studien men lämnar också utrymme för flexibilitet och följdfrågor under intervjun (Gill m. fl. 2008). I en ostrukturerad intervju har personen som intervjuas utrymme och frihet till att styra samtalet vilket ger en bild av vad som är viktigt för just denne (Bryman 1988). Denna typ av intervju styrs alltså inte av förutfattade teorier eller idéer utan kan initieras med en öppen fråga för att sedan utvecklas baserat på det svaret (Gill m. fl. 2008). Det kan innebära att intervjuaren behöver komplettera intervjun i efterhand, men kan ge ny relevant information som inte hade uppdragats i mer strukturerade sammanhang (Bryman 1988).

De intervjuer som genomförts i denna studie har främst varit ostrukturerade. Intervjuerna gav olika typer av underlag till studien. Som nämnt användes vissa intervjuer för utarbetandet av studiens utformning och metod medan andra intervjuer istället användes för att besvara studiens frågeställningar. I tabell 3 ses alla intervjuer och deltagande observationer som genomfördes. Vissa av intervjuerna har sammanfattats i löpande text under denna metoddel för att underbygga valda metoder. Dessa intervjuer var ostrukturerade och därför finns inga fördefinierade frågor att redovisa. Tre intervjuer sammanfattas i resultatet och av dessa var två stycken semistrukturerade (respondent D och respondent F). Dessa semistrukturerade intervjuer i form av frågor och svar redovisas i sin helhet i Bilaga B. Den ostrukturerade intervjun med respondent D och E som sammanfattas i resultatet var mer ett öppet samtal och därför finns inga fördefinierade frågor att redovisa. Deltagande observationerna redovisas inte i rapporten utan har snarare legat till grund för projektets utformning och för en djupare förståelse för delar av studien.

Tabell 3: Genomförda intervjuer och deltagande observationer

Person	Roll	Datum	Ämne	Typ
Respondent A	Miljöspecialist, Tyréns	2018.01.22	Programmet Bidcon och dess klimatmodul	Ostrukturerad intervju
		2018.02.14	Genomgång av genomfört projekt på Tyréns i Bidcon	Ostrukturerad intervju
Respondent B och C	BIM-samordnare, Tyréns	2018.01.26	Dynamo och automatiserad angivelse av BIP-koder	Deltagande observation
Respondent B		2018.01.31	BIP-koder och kravställning	Ostrukturerad intervju
Respondent B och C		2018.03.16	Demonstration av Dynamo	Ostrukturerad intervju
Respondent D	BIM-samordnare, Tyréns	2018.03.15	BIM, kravställning och integrering av BIM och LCA	Semistrukturerad intervju
Respondent D och E	BIM-samordnare, Tyréns	2018.04.11	Om BSAB-koder och standardangivelse av material	Ostrukturerad intervju
Respondent F	Byggnadskonstruktör, Tyréns	2018.03.20	Hur integrering av BIM och LCA kan påverka projekteringsprocessen	Semistrukturerad intervju
Respondent G	Byggnadskonstruktör, Tyréns	2018.01.29	Konstruktionsprocesser i Revit	Deltagande observation
LCA-nätverk	Olika personer från Tyréns	2018.02.05	Månadsmöte	Deltagande observation
Respondent H och I	Utveckling och Försäljning/Support, Elecosoft	2018.02.07	Demonstration och introduktion till Bidcon	Deltagande observation
Respondent J	Utveckling, Elecosoft	2018.02.20	Funktioner i Bidcon	Ostrukturerad intervju

3.5 ETISKA PRINCIPER

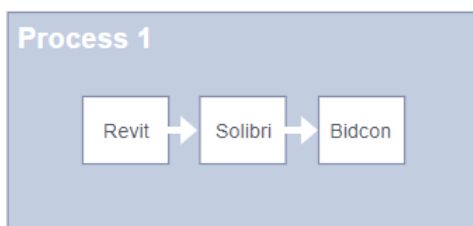
För humanistisk och samhällsvetenskaplig forskning har forskningsetiska principer antagits, med utgångspunkt i individskydds kravet. Detta innebär bland annat att inför en vetenskaplig undersökning ska ansvarig forskare göra en avvägning mellan möjligt värde av forskningen och eventuella risker och negativa konsekvenser för berörda deltagare eller uppgiftslämnare. Principerna delas upp fyra huvudkrav, informationskravet, samtyckeskravet, konfidentialitetskravet och nyttjandekravet. Samtycke måste inhämtas från deltagarna som ska informeras om projektet, deras uppgift i projektet och de har alltid rätt att avbryta medverkan (Vetenskapsrådet 2002). I denna studie har de intervjuade informerats om syftet med projektet och deras deltagande innan intervjun, antingen via mail eller i person. När intervju svaren sedan sammanfattats i rapporten har respondenterna fått läsa delen av rapporten där deras svar använts och lämna kommentarer på texten med möjligheten att välja om de önskar att svaren helt tas bort från rapporten. Slutligen har respondenterna även varit anonyma i sitt deltagande, med undantag för handledarna som gett sitt samtycke till att delta med namn. Deltagande observationerna har inte sammanfattats i studien utan har endast använts för större förståelse för relevanta ämnen. Dessa personer har således inte givits möjlighet att kommentera rapporten och är därför också anonyma.

4 RESULTAT

I följande avsnitt redovisas hur processerna utfördes samt sammanfattande problem, möjligheter, hinder, för- och nackdelar. Först redovisas process 1-3 (testmodellen) sedan process 4-5 (modell K.B04). Efter detta redovisas intervjuresultat angående hur och när BIM och LCA kan integreras i byggprojekt med hjälp av processerna för att minska klimatpåverkan från byggnader.

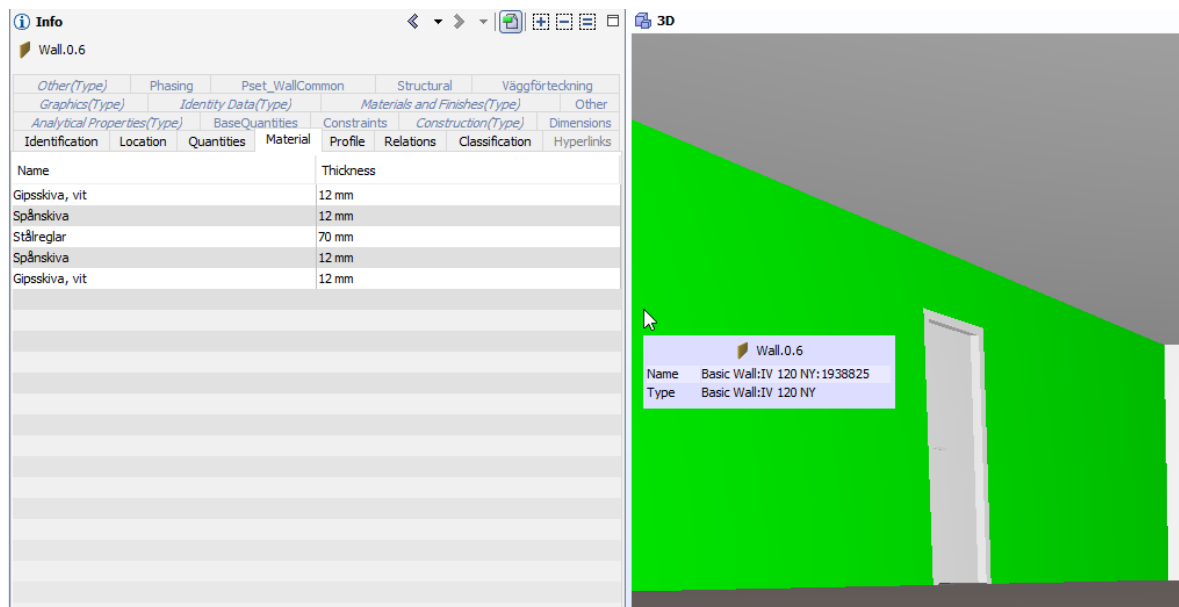
4.1 TESTMODELL

4.1.1 Process 1



Figur 10: Process 1

I process 1 (figur 10) exporterades först testmodellen från Revit till ett IFC-format. I figur A.2 i Bilaga A ses hur inställningarna modifierades. Modellen i IFC-format öppnades sedan i Solibri för att granska informationen som angivits i Revit. I Solibri kan objekt markeras och då finns information strukturerad under olika flikar. Informationen relevant för senare LCA-analyser (mängd, material och eventuellt BIP-koder) hittades under olika flikar. För alla ingående objekt kunde Type Mark och Keynote (alltså BIP-koderna) hittas under fliken *Identity Data(Type)*, tillsammans med namnet på familjetypen. I figur 11 ses ett exempel på information om material i innerväggarna under fliken *Material*.



Figur 11: Exempel på information om materialet i en innervägg från testmodellen, visat i Solibri

För de olika familjerna fanns relevant information under varierande flikar i Solibri, till exempel fanns de ingående materialen beskrivna under fliken *Material*. Den enda informationen

som saknades var yttertaketets material. När informationen granskats i Solibri importerades IFC-filen till Bidcon där en ny kalkyl skapades. När en IFC-fil importeras ses till Bidcon syns 3D-modellen och information om objekten på liknande sätt som i Solibri. Ett problem som uppstod var att viss information hade fallit bort, till exempel materialffiken med information om materiallager och tjocklek. Kvar fanns endast viss materialinformation, exempelvis strukturellt material i innerväggarna vilket var stålreglar. Trots detta fortskred processen med de förutsättningar som fanns. Informationen om objekten från den importerade modellen behövde då föras över till en ny kalkyllista i Bidcon, vilket gjordes med så kallade mängdavgagningsmallar. I figur A.3 i Bilaga A ses egenskapsflikar för innerväggarna samt var mängdavgagningsmallen redigerades i Bidcon. Mallen styr hur de olika objekten namnges, vilka egenskaper som medföljer samt hur mängderna överförs till kalkylen. Detta kan anpassas enligt önskemål och kan ge en bättre överblick över objekten i modellen. En mall kan återanvändas i andra projekt, förutsatt att informationen i modellerna är strukturerad på samma sätt.

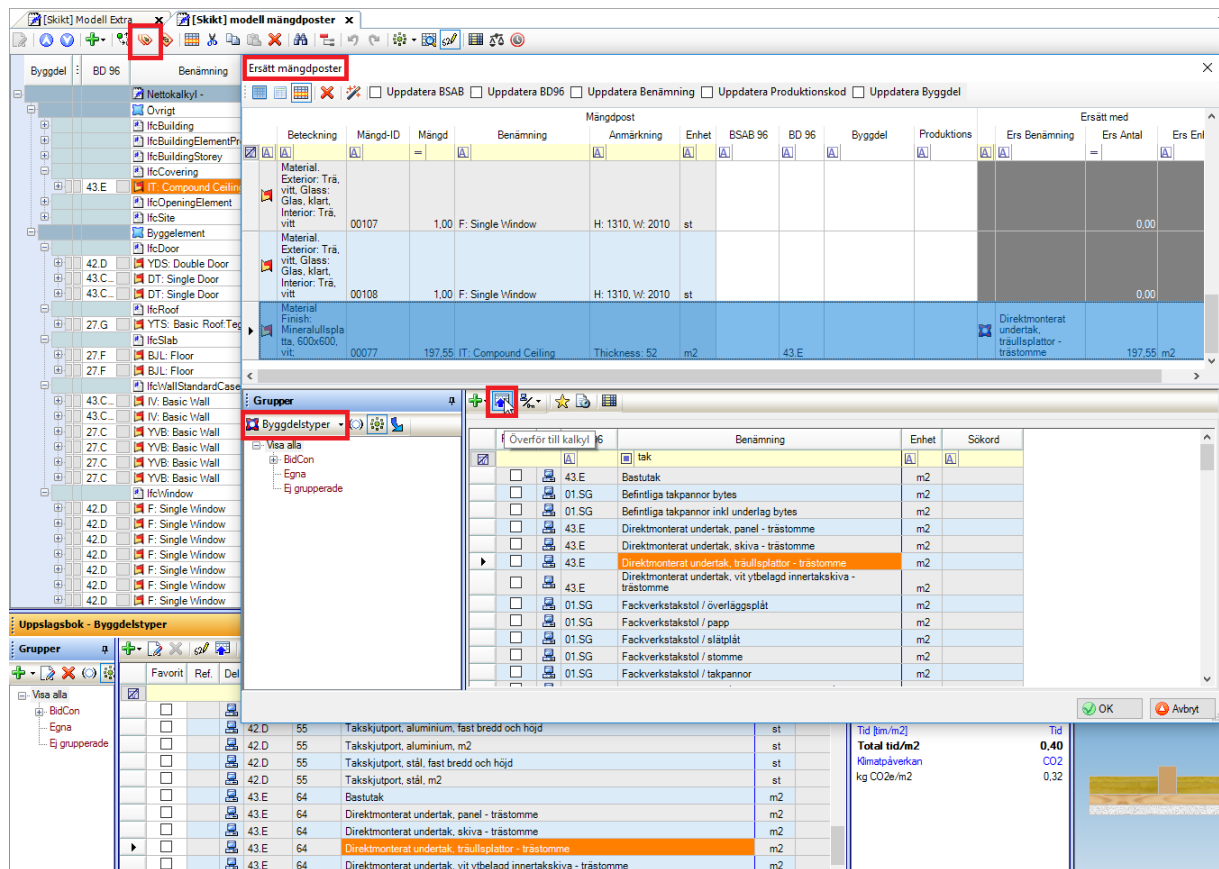
Mängdavgagningsmallen som skapades kan ses i Bilaga A, figur A.4. Resultatet blev en lista över "mängdposter" i kalkylen i Bidcon. Posterna namngavs med Type Mark (TypeID från BIP-koden) samt namnet på Revitfamiljen. Keynote (BSAB från BIP-koden) angavs under rubriken BD 96. Se figur 12 för den skapade kalkylen. Fönster och dörrar fördes över med mängdenheten "styck" och även information om höjd och bredd togs med till kalkylen. För tak, bjälklag och väggar angavs mängden i area med enheten m^2 . På grund av att viss materialinformation fallit bort kunde endast den tillgängliga informationen föras över, vilket också kan ses i figur 12.

Byggsdel	B	BD 96	Benämning	Mängd	S:a Mängd	Enh	Aktiv	Anmärkning	Beteckning	kg CO2 [./enh]	kg CO2 [.-tot]
			Nettokalkyl -				<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			Ovrigt				<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcBuilding	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcBuildingElementProxy	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcBuildingStorey	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcCovering	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
		43.E	IT: Compound Ceiling	197,55	197,55	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 52	Material Finish: Mineralullsplatta, 600x600, vit;	0,0000	0,0000
			IfcOpeningElement	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcSite	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			Byggelement				<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcDoor	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
		42.D	YDS: Double Door	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 2110, W: 1510	Material. Exterior: Stål, rostfritt. Panel: Stål, rostfritt. Hardware:	0,0000	0,0000
		43.CC	DT: Single Door	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 2110, W: 710	Material. Exterior: Trä, vitt. Panel: Trä, vitt. Hardware:...	0,0000	0,0000
		43.CC	DT: Single Door	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 2110, W: 710	Material. Exterior: Trä, vitt. Panel: Trä, vitt. Hardware:...	0,0000	0,0000
			IfcRoof	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
		27.G	YTS: Basic Roof.Tegeltak.	219,38	219,38	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 121		0,0000	0,0000
			IfcSlab	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
		27.F	BJL: Floor	216,05	216,05	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 300	Structural Material: Betong	0,0000	0,0000
		27.F	BJL: Floor	197,55	197,55	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 300	Structural Material: Betong	0,0000	0,0000
			IfcWallStandardCase	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
		43.CB	IV: Basic Wall	29,97	29,97	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 120	Structural Material: Stålreglar	0,0000	0,0000
		43.CB	IV: Basic Wall	20,12	20,12	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 120	Structural Material: Stålreglar	0,0000	0,0000
		27.C	YVB: Basic Wall	81,86	81,86	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 320	Structural Material: Betong	0,0000	0,0000
		27.C	YVB: Basic Wall	47,31	47,31	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 320	Structural Material: Betong	0,0000	0,0000
		27.C	YVB: Basic Wall	45,95	45,95	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 320	Structural Material: Betong	0,0000	0,0000
		27.C	YVB: Basic Wall	50,68	50,68	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Thickness: 320	Structural Material: Betong	0,0000	0,0000
			IfcWindow	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 1010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 1010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 1010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 1010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 2010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 2010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000
		42.D	F: Single Window	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>	H: 1310, W: 2010	Material. Exterior: Trä, vitt. Glass: Glas, klart. Interior: Trä, vitt	0,0000	0,0000

Figur 12: Kalkyllistan i Bidcon med mängdposter motsvarande objekten i testmodellen samt de angivna BIP-koder och viss kompletterande information om mängder och material

Mängdposterna som skapats i kalkylen (figur 12) innehöll först endast information från den ursprungliga IFC-modellen. För att beräkna klimatpåverkan från byggnaden behövde mängdposterna manuellt bytas ut mot motsvarande byggsdelar i Bidcons databas som innehåller information om bland annat koldioxidutsläpp och kostnader. Listan över mängdpos-

terna gav information som underlättade att välja liknande byggdelar. Först söktes i Bidcons databas där de olika byggdelarna innehåller olika komponenter och recept. När en så lik byggdel som möjligt hittades ersattes mängdposten med byggdelen, enligt exemplet i figur 13.



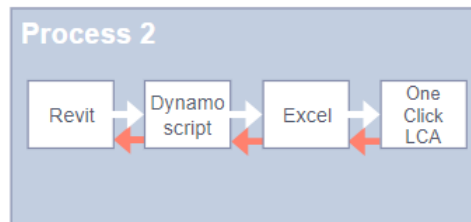
Figur 13: Exempel på hur mängdposten för innertaket i testmodellen ersattes med en kalkylpost från Bidcons byggdelsdatabas

För innertaket hittades ingen byggdel med samma tjocklek eller mineralullsplattor så istället valdes "Direktmonterat undertak, träullsplattor - trästomme" med tjockleken 123 mm. En ytterdörr av stål hittades som dock inte var lika bred som dörren i byggnaden. Därför fördes denna över med mängden 1,5 så storleken blev så lik som i modellen som möjligt. Liknande processer genomfördes för respektive byggdel. Ibland kunde dimensioner på byggdelen förändras till att likna dem i modellen och de fönster som i modellen var dubbelt så breda ersattes med två fönster från Bidcons databas. Eftersom Bidcon använder sig av BSAB 96-systemet kunde vissa objekt hittas på det sättet (genom BIP-koden), men det finns många byggdelstyper med olika recept som kan ha samma BIP-kod. Vissa mängdposter byttes också ut mot byggdelar med andra BSAB-koder eftersom alla inte fanns representerade i Bidcon. Resultatet av konverteringen av mängdposterna till byggdelar från Bidcon, samt uppskattat koldioxidutsläpp för byggnaden ses i figur 14. De totala koldioxidutsläppen för testmodellen från process 1 beräknades till omkring 65 600 kg CO₂-ekvivalenter.

Bygghet	B	BD 96	Benämning	Mängd	S:a Mängd	Enh	Aktiv	Anm	Bet	kg CO2 [./enh]	kg CO2e [.-tot]
			Nettokalkyl -	0,00			<input checked="" type="checkbox"/>				65 597,5703
			Övrigt				<input checked="" type="checkbox"/>				62,9102
			IfcBuilding	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcBuildingElementProxy	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcBuildingStorey	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcCovering	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				62,9102
64		43.E	Direkmonterat undertak, träullsplattor...	197,55	197,55	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			0,3184	62,9102
			IfcOpeningElement	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			IfcSite	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				0,0000
			Byggelement				<input checked="" type="checkbox"/>				65 534,6601
			IfcDoor	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				622,3769
55		42.D	Ytterdörr av stål	1,50	1,50	st	<input checked="" type="checkbox"/>			332,0000	498,0000
65		43.CC	Innerdörr (klassad)	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			62,1885	62,1885
65		43.CC	Innerdörr (klassad)	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			62,1885	62,1885
			IfcRoof	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				3 024,5373
43		27.G	Taktäckning / takpannor	219,38	219,38	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			13,7865	3 024,5373
			IfcSlab	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				40 083,7127
34		27.F	Mellanbjälklag, plattbärlag / stomme	216,05	216,05	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			96,9131	20 938,1086
34		27.F	Mellanbjälklag, plattbärlag / stomme	197,55	197,55	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			96,9131	19 145,6041
			IfcWallStandardCase	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				20 647,3611
63		43.CB	XR 70/70 (450) 2E-2E MR (Väggtyp...	29,97	29,97	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			12,1587	364,4183
63		43.CB	XR 70/70 (450) 2E-2E MR (Väggtyp...	20,12	20,12	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			12,1587	244,6818
31		27.C	Yttervägg betongstomme - enkel	81,86	81,86	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			88,7450	7 264,4701
31		27.C	Yttervägg betongstomme - enkel	47,31	47,31	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			88,7450	4 198,5528
31		27.C	Yttervägg betongstomme - enkel	45,95	45,95	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			88,7450	4 077,9148
31		27.C	Yttervägg betongstomme - enkel	50,68	50,68	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			88,7450	4 497,3233
			IfcWindow	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				1 156,6720
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	115,6672
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	115,6672
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	115,6672
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	1,00	1,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	115,6672
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	2,00	2,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	231,3344
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	2,00	2,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	231,3344
55		42.D	Fast fönster av trä i murad fasad	2,00	2,00	st	<input checked="" type="checkbox"/>			115,6672	231,3344

Figur 14: Resultatet av kalkylen över testmodellen, där mängdposterna bytts ut mot liknande kalkylposter från Bidcons bygghetsdatabas. Beräknat totalt koldioxidutsläpp från byggheterna uppgick till cirka 65.600 kg CO₂-ekvivalenter

4.1.2 Process 2



Figur 15: Process 2

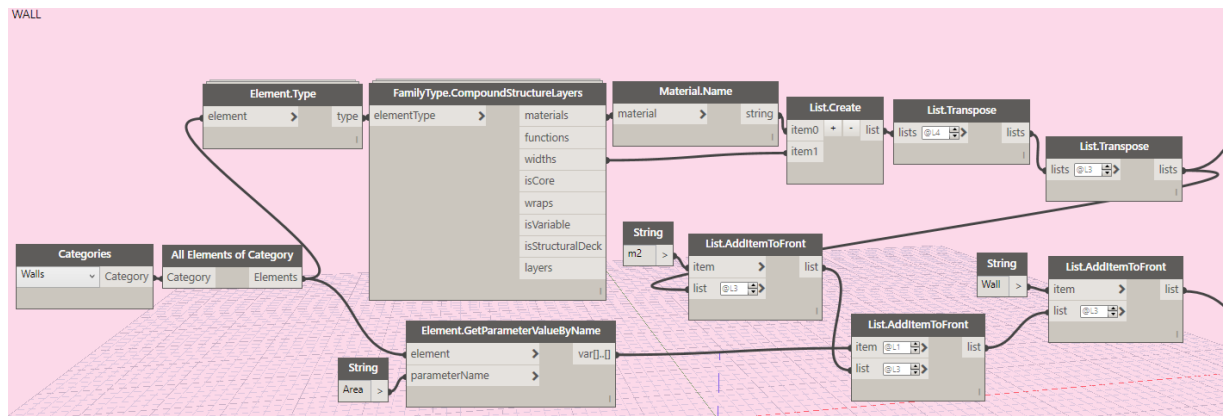
En annan möjlig process för extrahering av data och vidare klimatanalyser utfördes för testmodellen (figur 15). I programmet One Click LCA kan Excelfiler med information om material och mängder importeras för att göra LCA:er av byggnader. Från Revit kan Excelfiler exporteras från så kallade "Schedules", listor som kan genereras med bland annat material och motsvarande mängder. Problemet är att Excelfilerna som då exporteras inte har den struktur som krävs för en import till One Click LCA. Detta löstes genom att använda Dynamo där information hämtades och strukturerades för att passa mallen till One Click LCA. Mallen för Excelimport till One Click LCA har ett antal kolumner som fylls med information om bland annat material och mängder. I figur 16 ses ett utdrag ur en exempelmall i Excel från One Click LCA.

	A	B	C	D	E	F	G
1	CLASS	IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	THICKNESS_MM	TRANSPORT_KM	COMMENT
2	EXTERNAL WALL	Ready-mix concrete C25/30	6,72	M3			80 For retaining walls
3	EXTERNAL WALL	Reinforcement steel	12000	KG			For retaining walls
4	EXTERNAL WALL	Glass wool, 80 kg / m3	48	M3			150 Wall type #1
5	SLAB	Ready-mix concrete C25/30	10	M3			80 Foundations
6	DOOR	Internal door, wood	20	M2			
7	WINDOW	Wood-alu triple glazed window	10	M2			

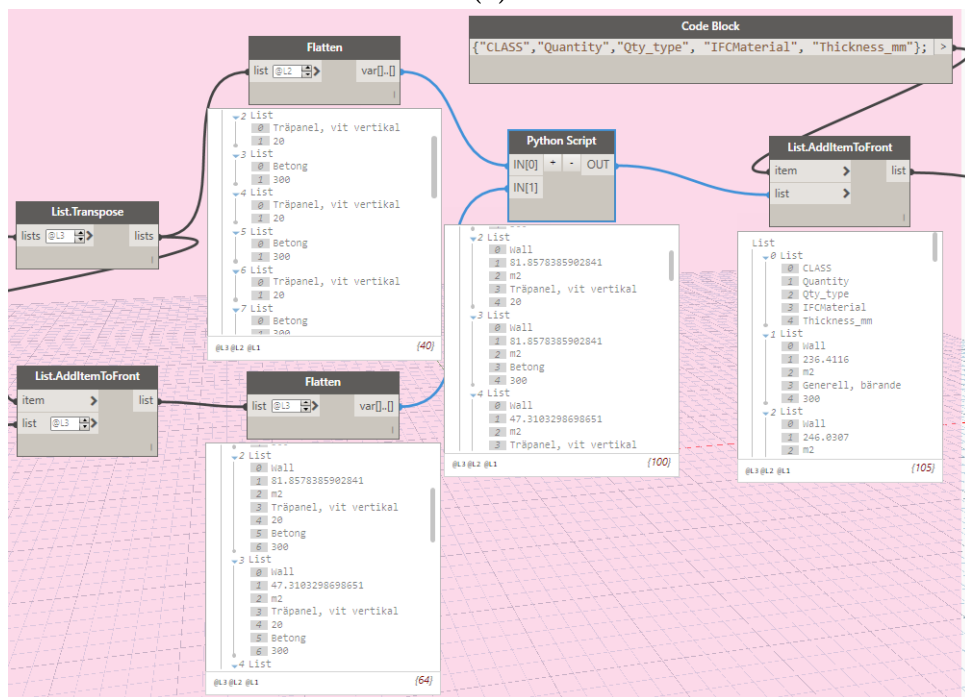
Figur 16: Exempelmall som visar hur informationen kan struktureras i Excel för import till One Click LCA

Informationen från testmodellen behövde alltså struktureras enligt mallen. Transportsträckor angavs inte eftersom en avgränsning i projektet var att endast undersöka klimatpåverkan från produktionen av byggmaterialen (steg A1-A3 i byggnadens livscykel). För att strukturera informationen från Revitmodellen enligt kolumnerna i Excelmallen användes Dynamo. Processen i Dynamo beskrivs nedan.

Först hämtades information från kategorin väggar. Areor, material samt materialets tjocklek för alla element i kategorin hämtades från Revitmodellen. Väggarna hade olika antal materiallager med olika tjocklek, till exempel hade ytterväggarna ett lager av 30 mm tjock betong och ett lager 20 mm tjock träpanel. Innerväggarna hade istället fem lager. Informationen behövde struktureras så att ett väggelements area angavs för alla ingående materiallager, för att få samma format som Excelmallen. Två listor skapades då med olika funktioner för listor i Dynamo, den första med alla material från alla väggelement och motsvarande tjocklek, oberoende av vilket element materialen tillhörde. Den andra listan innehöll information om respektive elements area och ingående material och tjocklekar. Klassnamnet "Wall" samt enheten "m2" lades även på objekten i denna lista. Listorna kombinerades sedan genom ett script i programmeringsspråket Python, för att få rätt struktur. Därefter exporteras den slutgiltiga listan till Excel. I figur 17a visas den första delen av Dynamascriptet som gjordes för väggkategorin. I figur 17b ses strukturen på de två resulterande listorna som angavs som input till Pythonscriptet samt den slutgiltiga listan. Pythonscriptet redovisas i Bilaga A, figur A.5.



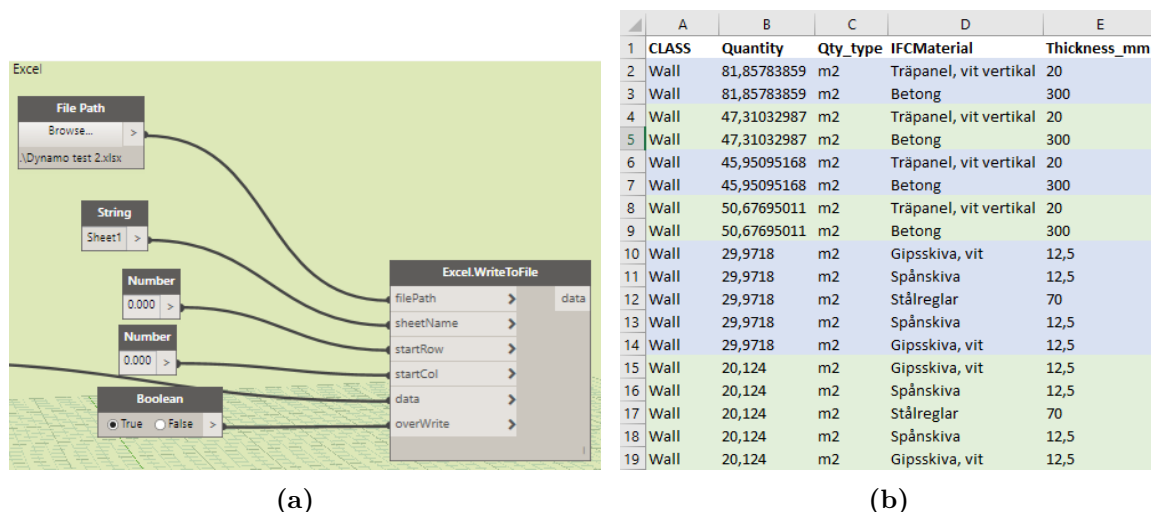
(a)



(b)

Figur 17: (a) Första delen av Dynamoscriptet där information om väggar (material med motsvarande lagertjocklek samt väggarnas area) hämtas från Revit och struktureras i två listor. (b) Andra delen av Dynamoscriptet som visar strukturen på de två skapade listorna samt den resulterande listan efter att Pythonscriptet applicerats.

När den slutgiltiga listan skapats i Dynamo exporterades den till Excel enligt figur 18a. Resultatet för listan med väggelementen i Excel ses i figur 18b. Färgerna lades på i efterhand för att tydliggöra vilka material som tillhörde samma element, alltså med samma area.



Figur 18: (a) Export av den slutgiltiga listan från Dynamo till Excel. (b) Den resulterande Excel-listan

Strukturen i Dynamo för att skapa listan över väggkategorin användes även för kategorierna golv, innertak och yttertak. Detta eftersom alla ingående materiallager i dessa element hade samma area som själva elementet. För kategorierna fönster och dörrar var däremot de ingående materialen inte uppbyggda av lager på samma sätt. Därför strukturerades dessa listor med de ingående materialens volym istället för area och tjocklek men strukturen i Dynamo var snarlik. Listorna över alla kategorier från modellen kombinerades sedan till samma Excelark. För överblick av hela Dynamoscriptet se Bilaga A, figur A.6. Detta Dynamoscript kan återanvändas för fler modeller, men behöver utökas om fler objekt kategorier än de som använts i testmodellen ska överföras. I figur A.7 i Bilaga A ses Excellistan för de resterande kategorierna.

När Excelfilen slutligen var strukturerad enligt kolumnerna från One Click LCA-mallen kunde filen importeras till One Click LCA. En stor del av materialen kunde inte identifieras direkt i One Click LCA. Liknande material som i byggelementen från modellen valdes från One Click LCAs databas. Fördelen med One Click LCA är att de val som gjorts för ett givet materialnamn från den importerade modellen, exempelvis "betong" eller "spånskiva", sparas. Nästa gång en modell importeras med samma materialbeteckningar som använts tidigare kommer valt material från databasen kopplas direkt. Detta val kan ändras igen. I figur 19 ses vilka material från One Click LCAs databas (Resource name) som valdes för materialen från modellen. Under "Identified data" i figur 19 kopplades materialen direkt mot poster i databasen, antingen för att dessa val sparats från tidigare överföringar, för att One Click LCA automatiskt hittat motsvarande material från databasen eller för att andra användare tidigare kopplat posten mot samma materialbeteckning. "Unidentified data" kopplades inte mot databasen utan posterna fick väljas förhand. Vissa material i dörrarna hade inte definierats i Revit och fick därför exempelvis namnet "default threshold". Dessa poster raderades från listan i One Click LCA, främst på grund av försumbara mängder och ospecificerade material.

▼ ✓ Identified data: 11 / 43.54 % of volume							
Material	Class	Comment	Quantity	Share	Resource name	Mapping	Decide later
trä, vitt	WINDOW	Trä, vitt, 7 rows	0.25 m ³	31.46 %	Glued laminated timber, 430 kg/m ³ , Moist...	Change ?	Delete
trä, vitt	DOOR	Trä, vitt, 2 rows	0.1 m ³	12.05 %	Glued laminated timber, 430 kg/m ³ , Moist...	Change ?	Delete
aluminium	DOOR	Aluminium, 2 rows	0 m ³	0.03 %	Aluminium, profile	Change ?	Delete
betong	SLAB	Betong, 2 rows	414 m ² / 300 mm		Ready-mix concrete for exterior w...	Change ?	Delete
stålröglar	EXTERNA...	Stålröglar, 2 rows	50 m ² / 70 mm		Steel profiles and accessories, fo...	Change ?	Delete
spånskiva	EXTERNA...	Spånskiva, 4 rows	100 m ² / 12.5 mm		Laminated plywood, waterproof, 1...	Change ?	Delete
gipsskiva, vit	EXTERNA...	Gipsskiva, vit, 4 rows	100 m ² / 12.5 mm		Gypsum plasterboard, 12.5x900'	Change ?	Delete
betong	EXTERNA...	Betong, 4 rows	226 m ² / 300 mm		Perforated light weight aggregate	Change ?	Delete
träpanel, vit vertik...	EXTERNA...	Träpanel, vit vertikal, 4 rows	226 m ² / 20 mm		Wooden façade external facing, conifer, ...	Change ?	Delete
trä, råspont	ROOF		219 m ² / 22 mm		Load bearing timber, 430 kg/m ³ , l...	Change ?	Delete
mineralullsplatta, 600x60...	SLAB		198 m ² / 16 mm		Insulation, glass wool/mineral wo...	Change ?	Delete

▼ ✎ Unidentified data: 10 / 56.46 % of volume							
You only need to map items once. We remember your choices.							
Delete all < 1 %							
Imported data				Map data to			
Material	Class	Comment	Quantity	Share	Target resource	Decide later	
glas, klart	WINDOW	Glas, klart, 7 rows	0.17 m ³	21.75 %	Insulating glass - 2 panes - OKO...	?	Delete
stål, rostfritt	DOOR		0.17 m ³	21.29 %	Steel, galvanized, profiles and as...	?	Delete
default door	DOOR	Default Door, 3 rows	0.1 m ³	13.07 %	Choose the mapping	?	Delete
default threshold	DOOR	Default Threshold, 3 rows	0 m ³	0.34 %	Choose the mapping	?	Delete
default hardware	DOOR		0 m ³	0.01 %	Choose the mapping	?	Delete
underlagspapp	ROOF		219 m ² / 5 mm		Asphalt-based waterproof coating	?	Delete
trä, strölä...	ROOF		219 m ² / 22 mm		Load bearing timber, 430 kg/m ³ , l...	?	Delete
trä, bärlä...	ROOF		219 m ² / 22 mm		Load bearing timber, 430 kg/m ³ , l...	?	Delete
takpannor, röd	ROOF		219 m ² / 50 mm		Clay roof tiles - OKOBAUDAT	?	Delete
gipsskiva	SLAB		198 m ² / 36 mm		Gypsum plasterboard, 12.5x900'	?	Delete

Figur 19: Materiallista från testmodellen importerad till One Click LCA via process 2 med motsvarande mängder och valda resurser från One Click LCAs databas

Resultaten från One Click LCAs beräkning av testmodellens koldioxidutsläpp ses i figur 20. Rödmarkerat är koldioxidutsläppen från materialproduktionen (A1-A3) som är fokus i denna studie. Positivt med One Click LCA är att det är lätt att även lägga till data för resterande steg i byggnadens livscykel och på så vis få en heltäckande LCA för byggnaden.

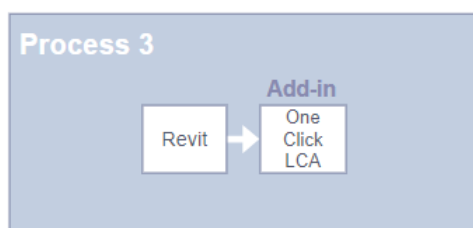
Life-cycle assessment results

Sector		Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ	
A1-A3	Construction Materials	1,32E5	2,83E2	6,2E1	1,23E-3	2,81E1	1,58E6	Details
A4	Transportation to site							Hide empty
A5	Construction/installation process							Hide empty
B1-B5	Maintenance and material replacement							Hide empty
B6	Energy use							Hide empty
B7	Water use							Hide empty
C1-C4	Deconstruction	1,99E3	9,95E0	3,12E0	3,2E-6	1,28E0	2,73E4	Details
D	External impacts (not included in totals)	-3,4E3	-5,7E0	-1,42E0	-7,79E-4	-3,81E-1	-9,35E4	Details
Total		1,34E5	2,93E2	6,51E1	1,23E-3	2,94E1	1,59E6	
		Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	

Figur 20: Den resulterande livscykelanalysen från process 2. Klimatpåverkan från testmodellens byggmaterial (steg A1-A3 i livscykeln) beräknades till 132 000 kg CO₂-ekvivalenter.

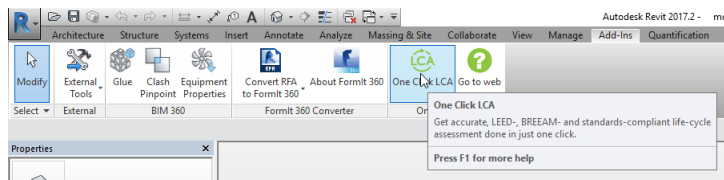
I figur 15 på sida 32 där utformningen av process 2 illustrerades visades även ett flöde med röda pilar, från One Click LCA tillbaka till Dynamo och sedan till Revit. Detta flöde är möjligt att utföra genom att ladda ned resultatet från One Click LCA till ett Excelark och sedan via Dynamo importera de beräknade koldioxidvärden för elementen tillbaka till Revitmodellen. På så sätt skulle information om objektens klimatpåverkan kunna finnas tillgänglig direkt i Revitmodellen. Flödet valdes dock att inte undersökas, dels eftersom klimatpåverkan redan finns beräknad i One Click LCA och nyttan med att se koldioxidvärden direkt i Revitmodellen inte ansågs tillräckligt stor. Processen från One Click LCA tillbaka till Revit skulle också ta tid att bygga upp. Att automatiskt i Revitmodellen se koldioxidvärden för de enskilda objekten eller för den totala modellen är ett annat alternativ för integrering av BIM och LCA, som Antón och Díaz (2014) tog upp som den andra föreslagna metoden, men utlämnas i denna studie.

4.1.3 Process 3



Figur 21: Process 3

Efter att process 2 genomförts upptäcktes att One Click LCA även har utvecklat en add-in (tilläggsprogram) till Revit. Därför testades denna i process 3 (figur 21) för att sedan kunna jämföras med process 2. I figur 22 visas One Click LCA:s add-in till Revit som överför mängder och material från modellen till One Click LCA.



Figur 22: Utseendet hos One Click LCAs add-in i Revit (efter installation)

Eftersom samma byggnadsmodell (testmodellen) redan hade överförts till One Click LCA under process 2 hade de valda resurserna från One Click LCA sparats för respektive material. Skillnaden var att i denna process överfördes alla mängder med enheten m^3 . Detta skulle kunna innebära en skillnad i hur One Click LCA behandlar datan. Till exempel ingick stålreglar som ett lager i innerväggarna. Även om de utgör samma area som väggen är deras volym inte samma som bredden multiplicerat med arean. I figur 23 ses materialen och motsvarande valda resurser från One Click LCAs databas. De ospecificerade materialen så som "default door" med flera togs bort från kalkylen på grund av försumbara mängder, samma anledning som i process 2.

▼ ✓ Identified data: 19 / 99.7 % of volume							
Material	Class	Comment	Quantity	Share	Resource name	Mapping	Decide later
betong	SLAB	Betong, 2 rows	124 M3	32.19 %	Ready-mix concrete for exterior w	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
betong	EXTERNAL...	Betong, 4 rows	67 M3	17.5 %	Perforated light weight aggregate	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
takpannor, röd	ROOF	Tegeltak BIP Takpannor, röd	11 M3	2.85 %	Clay roof tiles	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
gipsskiva	SLAB	600 x 600 mm BIP Gipsskiv	7.11 M3	1.85 %	Gypsum plasterboard, 12.5x900/1200 mm, 8...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
trä, råspont	ROOF	Tegeltak BIP Trä, råspont	4.83 M3	1.25 %	Load bearing timber, 430 kg/m3, f	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
trä, bärlä...	ROOF	Tegeltak BIP Trä, bärläkt	4.83 M3	1.25 %	Load bearing timber, 430 kg/m3, Moistr. ...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
trä, strölä...	ROOF	Tegeltak BIP Trä, ströläkt	4.83 M3	1.25 %	Load bearing timber, 430 kg/m3, Moistr. ...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
träpanel, vit vertikal...	EXTERNAL...	Träpanel, vit vertikal, 4 rows	4.5 M3	1.17 %	Wooden façade external facing, conifer, ...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
stålreglar	EXTERNAL...	Stålreglar, 2 rows	3.51 M3	0.91 %	Steel profiles and accessories, for	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
mineralullsplatta, 600x60...	SLAB	600 x 600 mm BIP Mineralul	3.16 M3	0.82 %	Insulation, glass wool/mineral woc	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
spånskiva	EXTERNAL...	Spånskiva, 2 rows	1.25 M3	0.32 %	Laminated plywood, waterproof, 10.2 mm	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
gipsskiva, vit	EXTERNAL...	Gipsskiva, vit, 2 rows	1.25 M3	0.32 %	Gypsum plasterboard, 12.5x900/1200 mm, 8...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
underlagspapp	ROOF	Tegeltak BIP Underlagspapp	1.1 M3	0.28 %	Asphalt-based waterproof coating, Single...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
trä, vitt	WINDOW	Trä, vitt, 7 rows	0.25 M3	0.06 %	Glued laminated timber, 430 kg/m3, Moist...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
glas, klart	WINDOW	Glas, klart, 7 rows	0.17 M3	0.04 %	Insulating glass - 2 panes	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
stål, rostfritt	DOOR	YPD15 2 BIP Stål, rostfritt	0.17 M3	0.04 %	Steel, galvanized, profiles and assembly...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
trä, vitt	DOOR	Trä, vitt, 2 rows	0.1 M3	0.02 %	Glued laminated timber, 430 kg/m3, Moist...	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete
aluminium	DOOR	Aluminium, 2 rows	0 M3	0 %	Aluminium, profile	Change ?	<input type="checkbox"/> Delete

▼ ✎ Unidentified data: 5 / 0.3 % of volume You only need to map items once. We remember your choices. Delete all < 1 %							
Imported data				Map data to			
Material	Class	Comment	Quantity	Share	Target resource	Decide later	
default door	DOOR	Default Door, 7 rows	0.97 M3	0.25 %	Choose the mapping	?	<input type="checkbox"/> Delete
default window	WINDOW	Default Window, 3 rows	0.11 M3	0.03 %	Choose the mapping	?	<input type="checkbox"/> Delete
default glass	WINDOW	Default Glass, 3 rows	0.04 M3	0.01 %	Choose the mapping	?	<input type="checkbox"/> Delete
default threshold	DOOR	Default Threshold, 7 rows	0.01 M3	0 %	Choose the mapping	?	<input type="checkbox"/> Delete
default hardware	DOOR	Default Hardware, 5 rows	0 M3	0 %	Choose the mapping	?	<input type="checkbox"/> Delete

Figur 23: Materiallista från testmodellen importerad till One Click LCA via process 3 med motsvarande mängder och valda resurser från One Click LCAs databas

Den resulterande livscykelanalysen från process 3 blev identisk med resultatet från process 2, 132 000 kg CO₂-ekvivalenter. Alltså spelade det ingen roll vilka enheter datan angavs i, så länge den totala volymen var densamma. Volymen för stålreglarna beräknades alltså som lagrets tjocklek multiplicerat med totala arean i både process 2 och 3 vilket ger ett missvisande värde om totala mängden stål i dessa väggar eftersom reglarna sätts upp med mellanrum. Därför gjordes samma kalkyl men utan stålreglar och den totala klimatpåverkan för testmodellen beräknades då istället till 48 000 kg CO₂-ekvivalenter (för både process 2 och 3) vilket är mindre än 50% av den första beräkningen då stålreglarna inkluderades.

4.1.4 Sammanfattning och jämförelse av process 1-3

Under process 1 granskades IFC-filen av testmodellen i Solibri och importerades sedan till Bidcon. Problem med processen var till exempel att information om de angivna materialen föll bort i Bidcon. Det var heller inte alltid helt lätt att välja liknande byggdelar från Bidcons databas, eftersom byggdelarna i testmodellen var uppbyggda av relativt detaljerade recept som inte alltid motsvarade någon post i databasen. Arbetet med att byta ut mängdposterna mot kalkylposterna innebar handpåläggningsarbete men gav i slutändan en kalkyl med liknande poster som originalmodellen. I Bidcon kan även resurser väljas, alltså specifika material och inte recept, vilket kan ge en mer exakt kalkyl, förutsatt att recepten specificerats i modellen. Endast byggdelstyper undersöktes vilket kan ha gett en felaktig bild över hur Bidcon fungerar.

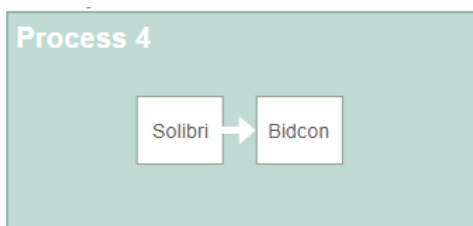
Process 2 där Dynamo användes kan i efterhand ses som aningen onödig eftersom resultatet blev detsamma som när One Click LCAs add-in till Revit användes i process 3. Process 2 gav dock en bättre överblick över datan som fördes över till One Click LCA och i process 3 användes alltså exakt samma data. Skillnaden mellan användningen av Bidcons byggdelsdatabas och One Click LCA är att i One Click LCA skapas en lista över alla resurser, alltså enskilda material och inte byggdelar med recept. Detta innebär att det i modellen måste vara ännu tydligare vilka enskilda resurser som bygger upp byggdelarna. Så var fallet med testmodellen och det gick därför bra att göra beräkningar för hela huset. En positiv aspekt med One Click LCA var att alla kopplingar mellan materialbeskrivning och resurser från databasen kan sparas. Ett stort problem var dock hur volymen över stålreglarna i innerväggarna tolkades i mängdavgivningen vilket gav ett för högt klimatpåverkansvärde. När stålreglarna helt togs bort ur kalkylen blev beräknad klimatpåverkan aningen lägre än beräkningen med Bidcon i process 1. I Bidcon uppstod inte detta problem eftersom existerande byggdelar från databasen användes. I tabell 4 ses beräknad klimatpåverkan för process 1-3. Om stålreglarnas volym hade beräknats mer exakt och använts i kalkylen i One Click LCA hade resultatet antagligen blivit väldigt lika för de tre processerna.

Tabell 4: Beräknad koldioxidpåverkan för testmodellen från process 1-3

Testmodellen	Totala beräknade koldioxidutsläpp [kg CO _{2e}]
Process 1	65 600
Process 2	132 000 (48 000 utan stålreglar)
Process 3	132 000 (48 000 utan stålreglar)

4.2 STUDIEOBJEKT K.B04, EBBEPARK

4.2.1 Process 4



Figur 24: Process 4

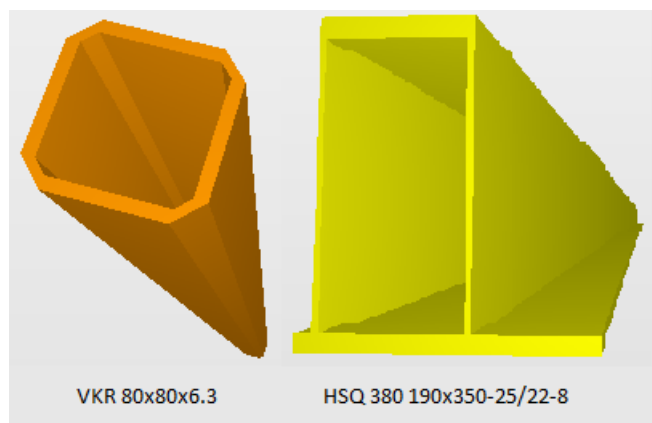
Likt stegen i process 1 testades Bidcon för en analys av koldioxidutsläpp från byggmaterialen i modellen K.B04 i Ebbepark (figur 24). Eftersom modellen fanns tillgänglig i IFC-format och inte i Revitformat undersöktes modellen först i Solibri. Byggnadsmodellen innehöll ett antal väggobjekt av olika tjocklekar och areor, bjälklag, pelare, bjälkar, ett tak och öppningar. För de flesta objekt fanns material angivet vilket angavs under materialfliken. BIP-koder hittades inte angivet, vilket var förvånande med tanke på kravställningen från BIM-samordningen. Objektens "Name" och "Type" (alltså familjen och typen från Revit) gav beskrivningar av objekten, ibland även material, till exempel "Basic Wall: 150 BTG PREFAB". I tabell 5 ses relevanta egenskaper som kunde utläsas för de olika familjetyperna i modellen för huset B04 i Solibri. Även värdena på egenskaperna anges i modellen, där mängderna som anges är de totala mängderna av alla objekt med samma familjetyp.

Tabell 5: K.B04. Familjer och familjetyper samt relevanta flikar och egenskaper i Solibri

EBBEPARK K.B04		Mängder och material för modellen, utläst från Solibri	
Familj + Typ (från Revit)	Quantities (total för alla objekt av familjetyper)	Material	
<u>Basic Wall</u>			
100 BTG	Area = 1.32 m ² , Thickness = 100 mm	Concrete - BTG, 100mm	
130 BTG	Area = 0.34 m ² , Thickness = 130 mm	Concrete - BTG, 130mm	
150 BTG	Area = 12.76 m ² , Thickness = 150 mm	Concrete - BTG, 150mm	
150 BTG PREFAB	Area = 33.99 m ² , Thickness = 150 mm	Concrete - BTG PREFAB, 150mm	
150-250-70 BTG PREFAB SANDWICH Spegelvänd	Area = 346.36 m ² , Thickness = 470 mm	Concrete - BTG PREFAB, 150mm Isolering - Utan skraff, 250mm Concrete - BTG PREFAB, 70mm	
200 BTG	Area = 3.56 m ² , Thickness = 200 mm	Concrete - BTG, 200mm	
200 BTG PREFAB	Area = 30.14 m ² , Thickness = 200 mm	Concrete - BTG PREFAB, 200mm	
260 BTG Befintligt	Area = 68.58 m ² , Thickness = 260 mm	--	
<u>Pelare - Stål - VKR</u>			
VKR 120x120x6.3	Length = 27.45 m, Volume = 0.072 m ³ Profile Height=120 mm, Profile Width=120 mm	Metal - STÅL	
VKR 150x100x5.0	Length = 14.93 m, Volume = 0.034 m ³ Profile Height=100 mm, Profile Width=150 mm	Metal - STÅL	
VKR 80x80x6.3	Length = 1.90 m, Volume = 0.003 m ³ Profile Height=80 mm, Profile Width=80 mm	Metal - STÅL	
<u>Balk - Stål - HSQ</u>			
HSQ 380 190x350-25/22-8	Length = 10.87 m, Volume = 0.194 m ³ Profile Height=400 mm, Profile Width=360 mm	Metal - STÅL	
VKR 300x200x16.0	Length = 118.16 m, Volume = 1.7 m ³ Profile Height=300 mm, Profile Width=200 mm	Metal - STÅL	
<u>Floor</u>			
120 BTG	Area = 274.45 m ² , Thickness = 120 mm	Concrete - BTG, 120mm	
270 PREFAB BTG	Area = 214.94 m ² , Thickness = 270 mm	Concrete - BTG PREFAB, 270mm	
360mm	Area = 0.16 m ² , Thickness = 360 mm	Concrete - BTG, 360mm	
400 BTG Befintligt	Area = 561.63 m ² , Thickness = 400 mm	Concrete - BTG BEF, 0mm	
460mm	Area = 0.48 m ² , Thickness = 460 mm	Concrete - BTG, 460mm	
500mm	Area = 0.03 m ² , Thickness = 500 mm	Concrete - BTG, 500mm	
700mm	Area = 0.01 m ² , Thickness = 700 mm	Concrete - BTG, 700mm	
<u>Basic Roof</u>			
Roof 1	Area = 390.26 m ² , Thickness = 488 mm	Isolering - Utan skraff	

Familjerna pelare och balk användes inte i testmodellen men fanns däremot i K.B04. Dessa objekt kan ha olika profiler, vilket VKR och HSQ står för. I figur 25 ses exempel på hur profilen ser ut för två av familjetyperna (från familjerna pelare respektive balk) i modellen. För att göra klimatanalyser av dessa objekt kan det vara viktigt att veta hur profilen ser ut,

om de till exempel är ihåliga eller hur tjockt stålet är.



Figur 25: Två profiler för pelare och balk från modellen K.B04

När modellen granskats i Solibri överfördes den sedan till Bidcon på samma sätt som testmodellen i process 1. För enstaka objekt fanns en flik i Bidcon som angav objektets material. En mängdavtagningsmall skapades som förde över alla objekt med information om namnen på familj och familjetyp samt eventuell information om material om det fanns tillgängligt. Balkar och pelare angavs i enheten meter och väggar, golv och tak angavs i kvadratmeter. Information om balkarnas och pelarnas profildimensioner kunde endast fås från familjetypens namn, liksom tjockleken på väggar och golv. Takets tjocklek fanns inte angiven i modellen i Bidcon.

Sedan kopplades mängdposterna till kalkylposter från Bidcons databas. Detta arbete var relativt komplicerat. Nedan följer en beskrivning för hur respektive familjetyp ersattes med poster från Bidcons byggheldatabas.

I Bidcons byggheldatabas finns några typer av stålbalkar och stålpelare med olika profiler. Problemet var att de poster som fanns endast hade koldioxidvärden för "brandinklädnad" av balkarna eller pelarna och inte stålet. De hade också andra dimensioner än objekten i modellen. Slutligen valdes posten "Stålbalk VKR inkl brandinklädnad" för alla pelare och balkar från modellen. Posten hade enheten meter och kunde därför mätas enligt längden på objekten i modellen. Dock hade stålbalken från Bidcon dimensionerna 120x120 mm och med brandinklädnaden 150x150 mm vilket inte stämde överens med alla objekt i modellen. CO₂-värden angavs endast för brandinklädnaden.

För taket, som hade ytterst lite information, valdes Bidcon-posten "Snedtakskomplettering med lösull, inredd vind". Denna post innehöll en gipsskiva, träfiberskiva, glespanel, plastfolie, luftningsläkt samt "isolering lösull sprutad i snedtak". Tjockleken på detta tak från Bidcon var 330 mm, alltså inte 488 mm som i modellen. Även här kan resultatet bli mycket missvisande eftersom taket i modellen inte innehöll mycket information och på grund av olika tjocklekar.

För alla betongväggar från modellen användes Bidcon-posterna "Yttervägg gjuten stomme, dubbel" och "Yttervägg betongstomme - enkel" vilka båda är av betong och bredden kunde anpassas till dimensionerna från modellen. Dessa objekt kunde alltså anges relativt representativt i kalkylen. För väggarna i modellen med olika lager av betong och isolering angavs inte typen av isolering. Den dubbla ytterväggen i Bidcon hade dock ett lager av mineralullsisolering vilket ansågs motsvara dessa väggar. Alla golv ersattes med Bidcon-posten

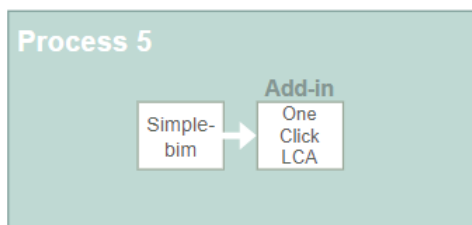
”Mellanbjälklag med kvarsittande samverkande form” som bestod av betong och armeringsnät. Tjockleken på posterna reglerades för att motsvara de i modellen.

I Bidcon grupperas inte objekten efter vilken familjetyp de tillhör utan varje enskilt objekt blir en mängdpost. Detta innebar att varje objekt behövde ersättas med en kalkylpost från Bidcon vilket tog mycket tid eftersom modellen av huset B04 bestod av många mindre objekt. I figur 26 ses den resulterande kalkylen av koldioxidutsläpp från byggdelarna vilket uppgick till 160 000 kg CO₂-ekvivalenter. Observera att ett antal väggobjekt inte visas i figuren men är med i den totala kalkylen.

Byggdel	BSA	BD 96	Benämning	Mängd	S:a Mängd	Enh	Aktiv	Anmärkning	Be	kg CO ₂ e [.enh]	kg CO ₂ e [.-tot]
			Nettokalkyl -				<input checked="" type="checkbox"/>				160 028,0419
			Byggelement				<input checked="" type="checkbox"/>				160 028,0419
			IfcBeam	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				2 902,5707
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	10,61	10,61	m	<input checked="" type="checkbox"/>	HSQ 380...		23,5088	249,5270
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	8,31	8,31	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	195,4435
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	7,41	7,41	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	174,2024
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	14,90	14,90	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	350,2916
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	10,21	10,21	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	240,0443
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	4,05	4,05	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	95,3184
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	7,01	7,01	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	164,7503
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	4,18	4,18	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	98,3679
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	11,01	11,01	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	258,7459
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	8,80	8,80	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	206,8487
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	9,32	9,32	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	219,1930
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	7,38	7,38	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	173,5048
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	2,98	2,98	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	70,0597
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	3,94	3,94	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	92,7169
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	2,99	2,99	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	70,2360
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	10,35	10,35	m	<input checked="" type="checkbox"/>	VKR...		23,5088	243,3204
			IfcColumn	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				1 040,8518
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	5,74	5,74	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	134,9405
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	8,17	8,17	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	192,0237
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	6,77	6,77	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	159,1191
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	6,77	6,77	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	159,2056
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	5,74	5,74	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	134,8921
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	6,69	6,69	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	157,2323
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	2,50	2,50	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	58,7720
3			Stålbalk VKR inkl brandinklädnad	1,90	1,90	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Metal - STÅL		23,5088	44,6667
			IfcRoof	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				2 442,8328
4			Snedtakskomplettering med lösull, inredd vind	390,26	390,26	m2	<input checked="" type="checkbox"/>	Isolering - Utan...		6,2595	2 442,8328
			IfcSlab	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				89 761,1054
			IfcWall	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				17 170,1564
3			Yttervägg gjuten stomme, dubbel	104,79	104,79	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			77,6346	8 134,9487
3			Yttervägg gjuten stomme, dubbel	65,71	65,71	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			77,6346	5 101,6154
3			Yttervägg betongstomme - enkel	28,20	28,20	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			77,6515	2 189,6038
3			Yttervägg betongstomme - enkel	22,46	22,46	m2	<input checked="" type="checkbox"/>			77,6515	1 743,9884
			IfcWallStandardCase	1,00		st	<input checked="" type="checkbox"/>				46 710,5248

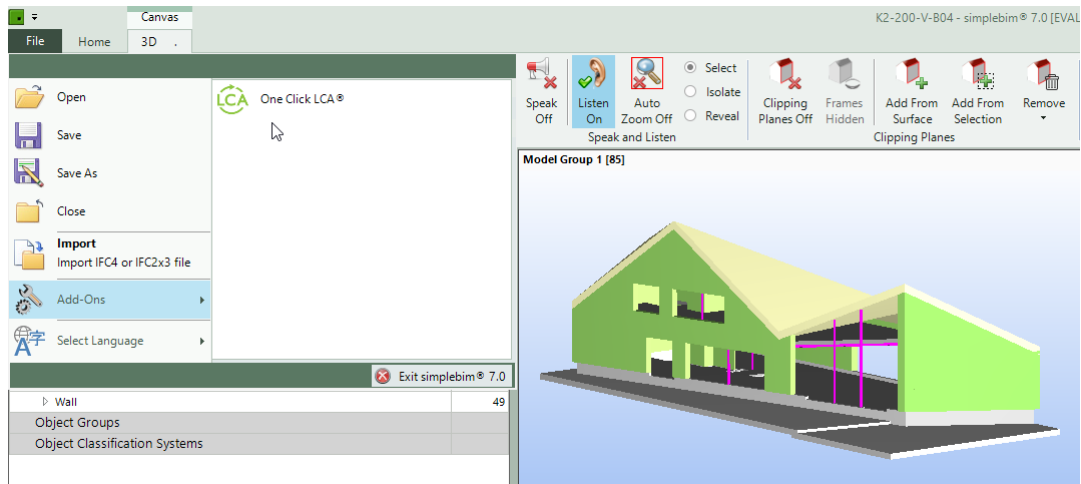
Figur 26: Den resulterande kalkylen i Bidcon från process 4 samt beräknade koldioxidutsläpp markerat i orange

4.2.2 Process 5



Figur 27: Process 5

One Click LCA har även ett add-in till programmet Simplebim som likt Solibri kan användas för att granska IFC-filer. Eftersom K.B04 ej fanns tillgänglig i Revitformat utan i IFC testades denna add-in i process 5 (figur 27). I figur 28 ses K.B04 i Simplebim samt var One Click LCA:s add-in hittades efter installation.



Figur 28: K.B04 i Simplebim samt One Click LCAs add-in

När K.B04 importerats till One Click LCA via Simplebim kunde ingen data identifieras eftersom de beskrivningar som angivits för materialen inte sparats från några tidigare beräkningar i One Click LCA. Taket från modellen kunde inte kvantifieras i överföringen och togs därför bort från kalkylen. Ytterligare ett stort problem som upptäcktes var att mängdavgivningen från Simplebim till One Click LCA blev fel för väggtyp *150-250-70 BTG PREFAB SANDWICH Spegelvänd* samt *260 BTG Befintligt*. I tabell 5 på sida 42 ses total mängd för de olika familjetyperna beräknad i Solibri. För "sandwich-väggen" var totalarean då 346 m² medan den i One Click LCA angavs som 175 m² och för *260 BTG Befintligt* var arean 69 m² men i One Click LCA angavs 46 m². Vad detta beror på är inte fastställt, eventuellt kan det bero på att Solibri och Simplebim beräknar mängderna olika eller att One Click LCAs add-in till Simplebim har brister. I figur 29 ses materialen som fördes över till One Click LCA samt en översikt av de olika resurserna som valdes för att så bra som möjligt motsvara modellens element.

✓ Identified data: 0
✗ Unidentified data: 26 / 100 % of volume
You only need to map items once. We remember your choices.
Delete all < 1 %
Delete all < 0.1 %

Imported data					Map data to	
Material	Class	Comment	Quantity	Share	Target resource	Decide later
concrete - btg bef	SLAB	400 BTG Befintligt	223 M3 / 562 M2 / 400 mm	52.8 %	Ready-mix concrete for hollow-cc	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg prefab	SLAB	270 PREFAB BTG	58 M3 / 215 M2 / 270 mm	13.76 %	Concrete prefabricated elements	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
isolering - utan skraff	INTERNAL...	150-250-70 BTG PREFAB	42 M3 / 175 M2 / 250 mm	10.06 %	Glass wool insulation, 42 mm, 0.0	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	SLAB	120 BTG	33 M3 / 274 M2 / 120 mm	7.81 %	Ready-mix concrete for hollow-cc	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg prefab	INTERNAL...	150-250-70 BTG PREFAB	25 M3 / 175 M2 / 150 mm	6.04 %	Concrete prefabricated elements	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg bef	INTERNAL...	260 BTG Befintligt	12 M3 / 46 M2 / 260 mm	2.84 %	Ready-mix concrete for indoor flo	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg prefab	INTERNAL...	150-250-70 BTG PREFAB	12 M3 / 175 M2 / 70 mm	2.82 %	Concrete prefabricated elements	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg prefab	INTERNAL...	200 BTG PREFAB	6.03 M3 / 30 M2 / 200 mm	1.43 %	Concrete prefabricated elements	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg prefab	INTERNAL...	150 BTG PREFAB	5.1 M3 / 34 M2 / 150 mm	1.21 %	Concrete prefabricated elements	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	INTERNAL...	150 BTG	1.91 M3 / 13 M2 / 150 mm	0.45 %	Ready-mix concrete for indoor flo	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	BEAM		1.6 M3 / 200 mm	0.38 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	INTERNAL...	200 BTG	0.71 M3 / 4 M2 / 200 mm	0.17 %	Ready-mix concrete for indoor flo	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	SLAB	Foundation Slab:	0.22 M3 / 1 M2 / 460 mm	0.05 %	Ready-mix concrete for hollow-cc	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	BEAM		0.19 M3 / 360 mm	0.05 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	INTERNAL...	100 BTG	0.13 M3 / 1 M2 / 100 mm	0.03 %	Ready-mix concrete for indoor flo	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	COLUMN	Pelare - Stål - VKR:VKR 120	0.08 M3 / 120 mm	0.02 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	SLAB	Foundation Slab:	0.06 M3 / 0 M2 / 360 mm	0.01 %	Ready-mix concrete for hollow-cc	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	BEAM		0.06 M3 / 280 mm	0.01 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	BEAM		0.05 M3 / 323 mm	0.01 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	BEAM		0.05 M3 / 295 mm	0.01 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	INTERNAL...	130 BTG	0.04 M3 / 0 M2 / 130 mm	0.01 %	Ready-mix concrete for indoor flo	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	COLUMN	Pelare - Stål - VKR:VKR 150	0.02 M3 / 121 mm	0 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	COLUMN	Pelare - Stål - VKR:VKR 150	0.02 M3 / 122 mm	0 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	SLAB	Foundation Slab:	0.02 M3 / 0 M2 / 500 mm	0 %	Ready-mix concrete for hollow-cc	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
concrete - btg	SLAB	Foundation Slab:	0.01 M3 / 0 M2 / 700 mm	0 %	Ready-mix concrete for hollow-cc	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete
metal - stål	COLUMN	Pelare - Stål - VKR:VKR 80	0 M3 / 89 mm	0 %	Structural steel beam, m.Y = 210	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Delete

✗ Unquantified data: 1
Quantities could not be determined
Delete all

Material	Class	Resource name	Quantity	Share	Comment	Decide later
isolering - utan skraff	ROOF	Choose the mapping	1		Roof 1	<input type="checkbox"/> Delete

Figur 29: Materiallista från K.B04 importerad till One Click LCA via process 5 med motsvarande mängder och valda resurser från One Click LCAs databas

I figur 30 ses den resulterande livscykelanalysen från process 5. De totala koldioxidutsläppen beräknades till 149 000 kg CO₂-ekvivalenter.

Life-cycle assessment results

Sector	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ	
A1-A3 Construction Materials	1,49E5	3,53E2	5,81E1	4,49E-3	5,64E1	1,26E6	Details
A4 Transportation to site							Hide empty
A5 Construction/installation process							Hide empty
B1-B5 Maintenance and material replacement							Hide empty
B6 Energy use							Hide empty
B7 Water use							Hide empty
C1-C4 Deconstruction	2,56E3	1,81E1	4,5E0	3,97E-8	2,57E0	5,31E4	Details
D External impacts (not included in totals)	-1,02E4	-2,72E1	-6E0	-1,71E-4	-2,75E0	-6,35E4	Details
Total	1,51E5	3,71E2	6,26E1	4,49E-3	5,9E1	1,31E6	
	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	

Figur 30: Den resulterande livscykelanalysen från process 5. Klimatpåverkan från K.B04s byggmaterial (steg A1-A3 i livscykeln) beräknades till 149 000 kg CO₂-ekvivalenter.

4.2.3 Sammanfattning och jämförelse av process 4-5

Konstruktionsmodellen K.B04 bestod av färre antal familjer än testmodellen och även färre material. Endast en familjetyp, vägg *150-250-70 BTG PREFAB SANDWICH Spegelvänd*, var uppbyggd av olika materiallager. Materialen betong, stål och isolering var de enda materialen i denna modell. Under process 4 där modellen importerades till Bidcon kunde väggar och bjälklag lätt bytas ut mot poster i Bidcons byggdelsdatabas som bestod av endast betong, dock ersattes även sandwich-väggen med samma betongvägg från databasen. Dessa byggdelar kunde också anpassas efter tjocklekar från K.B04. Ett problem uppstod när pelare och balkar skulle bytas ut mot poster i byggdelsdatabasen. Posternas profiler överensstämde inte alltid med dem från modellen och endast koldioxidvärden för brandinklädnad angavs. Detta hade kunnat undvikas genom att välja balkar och pelare från Bidcons resursdatabas som angavs i enheten kg stål, men endast byggdelsdatabasen användes i studien. Detta innebär att beroende på objekt kan det finnas fördelar med att välja antingen enskilda materialresurser eller byggdelar med recept. Modellen K.B04 bestod av många separata objekt vilket innebar mycket arbete när ett objekt i taget ersattes med kalkylposter från byggdelsdatabasen.

I process 5 användes One Click LCAs add-in till Simplebim. Volymen för alla objekt inom samma familjetyp summerades vilket underlättade arbetet med att välja motsvarande materialresurser. För balkar och pelare uppstod alltså inte problemet med profiler eftersom de angavs i m³ stål. Problem som istället uppstod var att arean för två väggtyper beräknades felaktigt i överföringen, av okänd anledning, samt att taket inte kunde kvantifieras. Detta innebar för låga volymer i beräkningen i One Click LCA. Eftersom enskilda material från modellen måste bytas ut mot resurser från One Click LCA:s databas, då de inte använder byggdelar med recept på samma sätt som Bidcon, kan detta innebära extraarbete. Slutligen gav de två processerna liknande resultat av beräknat koldioxidutsläpp, se tabell 6. Att process 5 gav mindre skulle kunna bero på felet i mängdavgivningen (för två väggtyper och taket) i One Click LCA. Valet av balkar och pelare i Bidcon i process 4 kan också ha påverkat resultatet.

Tabell 6: Beräknad koldioxidpåverkan för K.B04 från process 4-5

K.B04	Totala beräknade koldioxidutsläpp [kg CO ₂ e]
Process 4	160 000
Process 5	149 000

4.3 INTERVJUER

4.3.1 Kravställning och standardiserad materialangivelse i 3D-modeller

Ett av de vanligaste uppdragen Tyréns utför inom BIM är modellsamordning av modeller från olika discipliner (arkitekter, konstruktörer med flera). I samband med ett BIM-projektet upprättas en BIM-manual i samförstånd med beställarens kravställning om modellernas information- och detaljnivå. Dessvärre krävställer beställaren sällan att modellerna ska innehålla specifik materialinformation, vilket försvårar för miljökonsulten om beställaren senare vill genomföra en livscykelanalys (Respondent D 2018).

Om en beställare önskar att en LCA utförs eller att vissa klimatkrav uppnås för konstruktionen måste information om projekterade byggkomponenter och material fås från projektörerna på något sätt. Tyréns kan då exempelvis säga att dessa krav skulle innebära att analyserna ska vara modellbaserade för att minska informationssökningsarbetet från miljökonsultens sida. Om detta önskemål från beställaren kommer in sent i projekteringsprocessen skulle detta då innebära en så kallad ÄTA, ändrings- och tilläggsarbeten, och fler timmar skulle då behöva faktureras och BIM-manualen förändras. Det bästa är om detta krav från beställaren är ställt så tidigt som möjligt i byggprocessen så BIM-samordnare kan ställa rätt krav i BIM-manualen för att underlätta LCA-beräkningar (Respondent D 2018).

Eftersom möjligheten med integrering av BIM och LCA beror mycket på vilka krav som ställts, vilka uppdrag Tyréns har och i vilket skede Tyréns kommer in i projektet ställdes frågan om inte materialangivelser under projekteringen kan göras mer som en rutin, eftersom det skulle göra det lättare att göra LCA:er vid olika tidpunkter. Respondent D menar att detta är en komplicerad process. Hen skulle gärna se att man bestämmer minimikrav för vad de interna projektörerna ska ange i modellerna. Detta kan dock innebära eventuellt extrarbete vilket måste bekostas när nya uppdrag upphandlas, men det skulle kunna underlätta för andra discipliner vid exempelvis kostnads- eller klimatkalkyler (Respondent D 2018).

När byggnadskonstruktörer modellerar stommen i exempelvis Revit brukar befintliga bibliotek användas där familjetyper av exempelvis stålbalkar, stålpelare, betongelement eller konstruktionsobjekt av andra material kan väljas. Hur detaljerad materialinformation som finns angiven för de olika familjetyperna kan variera men åtminstone anges till exempel om det är en stål- eller träbalk (Respondent F 2018). När det handlar om recept menar respondent E att byggdelen sällan i dagsläget modelleras i lager eller delkomponenter utan istället kan denna information anges med text på olika sätt för objekten. Därför kan det vara ännu viktigare att använda sig av standardbeteckningar på elementen som anger information om material och eventuella recept. BIP-koderna var i många fall inte tillräckligt beskrivande för att göra bra LCA:er, men tabellen över BIP-koder täckte dock inte alla byggdelen från BSAB 96-tabellen. En möjlighet skulle därför kunna vara att använda så detaljerade BSAB-koder som möjligt för respektive byggdelen eftersom det i BSAB-tabellen finns fler beteckningar än vad som används i tabellen från *bipkoder.se*. Exempel på BSAB-koder som innehåller relativt beskrivande information är *27.B/11: Stominnerväggar - platsgjuten betong* och *27.B/36: Stominnerväggar - element av skivor och stålregelverk*. Detta skulle eventuellt kunna ge bra underlag för klimat- och livscykelanalyser. Fördelen med detta är att informationen kan anges enligt en standard vilket minskar risken för missförstånd (Respondent E 2018).

4.3.2 Val av material baserat på kravställning och klimatpåverkan

Om en LCA av en byggnad eller byggmaterial resulterar i en rekommendation att använda ett annat material än det som använts i projekteringen kan det ibland innebära att designen måste förändras för att samma funktion ska uppnås. Det vore därför bra att öka medveten-

heten angående materialens klimatpåverkan hos projektörer redan innan de projekterar de första modellerna. Annars kan risken finnas att material mest väljs baserat på hur det vanligen väljs (Respondent D 2018). Byggnadskonstruktören, respondent F, förklarade att vid projektering av om- eller nybyggnad styrs ofta kraven från beställaren eller möjligen arkitekten. Kraven kan ibland gälla vilka material som ska utgöra stommen eller om vissa delar av byggnaden ska vara prefabricerade eller platsgjutna. Hen menar att om inget speciellt krav eller önskemål finns angående material i stommen projekterar konstruktörerna ofta i betong och stål som kan ses som standard i byggnadskonstruktioner (för villor brukar stommen vara i trä). Eftersom dessa material ofta är de vanligaste i stommen brukar det också gå snabbare för konstruktörerna att dimensionera och räkna på hållfastheten med dessa material. Konstruktörerna brukar inte föreslå andra stommaterial om det inte finns krav eller förslag från beställaren eller arkitekten. Det bästa är om kraven ställs så tidigt som möjligt i byggprocessen för att slippa "ÅTA" (Respondent F 2018). I systemhandlingsskedet kan materialval fortfarande vara relativt obestämt, till exempel om man ska använda limträ- eller stålbalkar. När systemhandlingen tas fram ska detta dock vara bestämt. Vilken leverantör och specifik produkt som används väljs ofta senare (Respondent D 2018).

Ett annat problem som kan orsaka högre klimatpåverkan från byggnaden är överdimensionering av objekt i stommen. Ofta börjar konstruktörerna med beräkningar och dimensionering innan de gör en modell i CAD. Standard är då att utgå från betong och stål där komponenterna sedan dimensioneras och placeras bland annat utifrån de laster de ska klara. Ofta överdimensioneras komponenterna för att ha marginal i beräkningarna. Överdimensioneringen kan dock innebära stor skillnad i materialåtgång och därmed klimatpåverkan, men det finns sällan krav på konstruktörerna att dimensionera utifrån detta perspektiv. Om stommen inte främst ska utgöras av stål och betong är det alltså bäst att detta bestäms innan konstruktörerna beräknar hur komponenterna i stommen ska designas eftersom andra material har andra egenskaper. I tidiga skeden modelleras inte alltid exakta dimensioner av objekten utan uppskattningar kan göras, vilket dock kan innebära stora skillnader när byggnadens klimatpåverkan beräknas (Respondent F 2018).

4.3.3 Samordning mellan BIM, projekteringsdiscipliner och miljökonserter

Respondent D tror att för att göra LCA:er och optimera konstruktionen ur bland annat ett klimatperspektiv skulle ett samordningsmöte hållas i tidigt skede mellan BIM-samordnare, disciplinerna och miljösamordnaren som sedan följs upp under projektets framdrift. För att samordna materialval ur miljö- och klimataspekten skulle en bättre integrering av BIM- och LCA-verktyg underlätta och förbättra arbetet. De skulle då tidigare i processen kunna komma överens om vilken information som behövs för att lyckas bättre med effektiv integrering mellan de olika disciplinerna och livscykelanalyser (Respondent D 2018). Frågan ställdes därför till byggnadskonstruktören om kontinuerliga samordningsmöten med miljökonserter skulle kunna bidra till mer hållbara konstruktioner. Återigen beror detta på vilka krav som ställts från beställarens sida. Finns önskemål om miljöcertifiering eller liknande är detta en bra idé. Ett exempel var ett projekt som skulle certifieras enligt LEED där en miljökonsult redan i programhandlingsskedet förklarade vad som kunde göras för att uppnå LEED och hur konstruktörerna skulle kunna arbeta för detta. Det vore alltså bra att från ett tidigt skede ha diskussioner mellan beställare, miljökonsult och projektörer hur material och produkter i stommen kan väljas för att minska klimatpåverkan från byggnaden. Då materialet i stommen, alltså byggnadens "system" ska vara bestämt i systemhandlingen bör materialval övervägas senast i systemhandlingsskedet (Respondent F 2018).

5 DISKUSSION

Här diskuteras resultaten från studien kopplat till teori, metod och tidigare publikationer. I första underrubriken diskuteras den första frågeställningen angående programvaror, modeller och information. Den andra underrubriken tar upp hur metoderna kan tillämpas i projekt och hur det bidrar till minskad klimatpåverkan.

5.1 INTEGRERINGSPROCESSER MELLAN BIM- OCH LCA-VERKTYG

Under en byggnads livscykel står materialproduktionen för en stor del av klimatpåverkan. För att minska denna bör analyser och åtgärder ske tidigt i byggprocessen, detta gäller även om miljöcertifieringar ska uppnås. I denna studie har därför integrationsprocesser mellan BIM/CAD- och LCA-verktyg undersökts vilket kan öka möjligheten att påverka byggnadsdesign och materialval i tidiga skeden i processen.

5.1.1 Jämförelse av Bidcon och One Click LCA

De fem processerna som testades visade på olika möjligheter att använda CAD/BIM-modeller kopplade till verktyg för klimat- eller livscykelanalyser. Alla processer innebar dock handpåläggningsarbete för att koppla informationen i modellerna till databaser för materialresurser och byggdelar vilket var mer eller mindre komplicerat. Det uppstod också olika problem med de olika processerna, så som några fel i mängdavgivningen.

Bidcon och One Click LCA skiljer sig mycket åt med avseende på funktioner och syfte. Bidcon är i grunden ett kalkylverktyg vilket är positivt eftersom en kalkyl som byggs upp i Bidcon ger information om både kostnad och klimatpåverkan från de ingående byggdelarna. Bidcon har också olika databaser för resurser, byggdelar och produktionsresultat, vilket är en fördel att kunna välja mellan beroende på modellens uppbyggnad eller informationsstruktur och syftet med studien. I denna studie användes endast Bidcons byggdelsdatabas. Detta innebar vissa svårigheter och avvägningar, speciellt när modellens objekt var detaljerat uppbyggda och motsvarande byggdelsrecept inte fanns representerade i databasen. One Click LCA är istället ämnad för livscykelanalyser och kan därför användas för beräkningar av flertalet miljöpåverkanskategorier under hela byggnadens livscykel. En annan skillnad är att i One Click LCA valdes materialresurser från databasen för varje enskilt material från byggnadsmodellen. Det är även möjligt att välja produktdata för hela objekt, till exempel treglasfönster med träram, vilket dock inte gjordes eftersom alla enskilda material överfördes som separata poster till One Click LCA i alla processer där programmet användes.

Förutom ett antal problem fungerade mängdavgivning från byggnadsmodellerna till Bidcon och One Click LCA smidigt och relativt automatiskt. I Bidcon behövde mängdenheter specificeras i mängdavgivningsmallar och när Dynamo användes behövde mängdenheter specificeras i scriptet. Dessa inställningar kan dock sparas och återanvändas vilket innebär att mängdavgivningen kan ske automatiskt vid överföring av BIM/CAD-modeller till Bidcon och One Click LCA. Det som istället kräver handpåläggningsarbete är kopplingen mellan byggdelar eller material från modeller till poster i databaser. Detta stämmer överens med många av de publikationer som undersöktes i litteraturöversikten. Loh m. fl. (2007) menade till exempel att verktyg för LCA ofta är komplexa och att mycket extraarbete och tidskrävande moment krävs. Andra studier visade att LCA-verktyg ofta används vid sidan av projekteringen istället för att koppla modeller direkt till verktygen (Means och Guggemos 2015) och att det finns brister med interoperabilitet mellan programmen (Oduyemi m. fl. 2017). Denna studie visar dock att det finns många möjliga processer där modeller i Revit- eller IFC-format kan importeras till LCA-verktyg som är anpassade för att läsa modellerna. Däremot är kopplingen mellan objekten och material- och byggdelsdatabaser fortfarande ett

tidskrävande moment. Även de två publikationer som testade informationsöverföring mellan BIM- och LCA-verktyg, Jrade och Abdulla (2012) och Russel-Smith och Lepech (2012) visade på liknande situationer som denna studie. Den förstnämnda använde Revit och Athena EcoCalculator där mängder fördes över manuellt och koder för de olika byggdelarna skrevs in i Revit för att motsvara koder i LCA-vertyget. Russel-Smith och Lepech (2012) använde Revit, Autodesk Quantity Takeoff och SimaPro vilket också innebar handpåläggningsarbete när materialen kopplades ihop med data från Ecoinvent.

Både Bidcon och One Click LCA kan alltså användas för att beräkna totala koldioxidutsläpp för de ingående byggdelarna i en byggnad baserat på BIM-modeller, förutsatt att information om material är angiven av projektörerna. En skillnad är att Bidcons databas endast består av generiska koldioxidvärden medan One Click LCA främst har produktspecifik data från EPD:er. Beroende på i vilket skede modellerna utformas kan möjligheterna att ange detaljerad information om objekten skilja sig åt, till exempel i tidiga versioner av modellerna är det kanske inte fastställt vilka material eller recept som ska användas och specifika produkter och leverantörer är inte bestämt vilket gör generiska data mer passande. I senare skeden när produkter väljs vore det positivt om modellen kunde uppdateras med produktspecifik information så att rätt EPD:er kan användas i analysen, förutsatt att de finns tillgängliga. Denna process är också bra för att öka möjligheten att uppnå miljöcertifieringar. Det är även bra att kunna utöka analysen till fler miljöpåverkanskategorier och hela byggnadens livscykel.

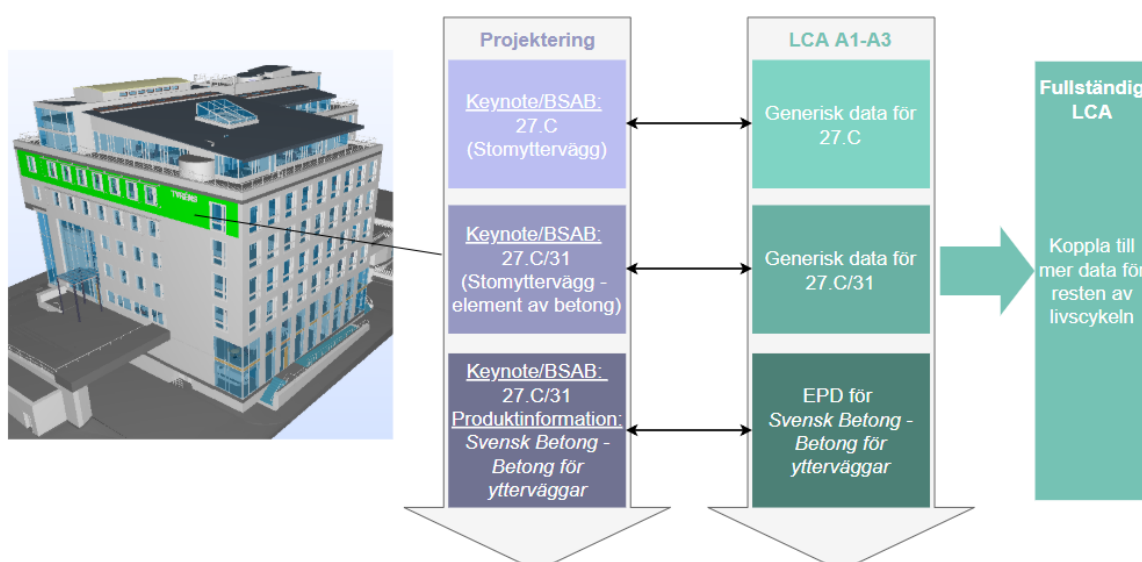
5.1.2 Informationsangivelse i modellerna

Under uppbyggnad av testmodellen angavs material på olika sätt i syfte att sedan testa hur informationen kunde användas för klimat- och livscykelanalyser vilket underlättade analyserna. I verkliga projekt ser kraven och metodiken annorlunda ut, därför undersöktes även K.B04. Bland andra menade Antón och Díaz (2014) att ett problem ofta är att informationen i modellerna är för bristfällig för att integrera modellerna med LCA-verktyg. Detta stämde i högsta grad för de undersökta arkitektmodellerna från Ebbepark eftersom de sällan innehöll materialbeskrivningar för de olika objekten. I konstruktörsmodellen K.B04 fanns däremot materialbeskrivningar för de flesta objekten. Både i testmodellen och K.B04 var materialbeskrivningarna relativt ospecifika, till exempel "betong", "träpanel" och "stål". I många fall finns livscykeldata för mer specifika materialtyper, till exempel kan betong ha olika hållfasthetsklasser, olika typer och proportioner av cement samt olika egenskaper. Det är svårt att säga hur detaljerad materialinformationen i modellen bör vara, då det också beror på hur detaljerade beslut som tagits vid olika projekteringsskeden, samt hur materialen ska anges, exempelvis med standardiserade koder eller noggranna beskrivningar. Detaljnivån beror också på syftet med klimat- eller livscykelanalysen.

För att få en mer automatisk koppling mellan objekten från modellen och poster i databaserna skulle det dock krävas någon typ av standardbeskrivning av objekten och ingående material som sedan alltid kan kopplas mot samma förvalda poster. Ett exempel på detta, vilket respondent E föreslog, är att använda just BSAB-koder. I Bidcon visade det sig dock inte spela någon roll hur information om byggobjekten angavs eftersom poster från databasen ändå behövde väljas för hand. I One Click LCA kan kopplingen mellan materialbeskrivning och poster i databasen sparas för framtida modeller och beräkningar, vilket dock bygger på att objekt i modellen med fler ingående material har beskrivningar för respektive material. Detta kan inte göras med BSAB-koder eftersom koderna motsvarar byggdelar med övergripande recept. I One Click LCA läses också bara informationen under materialparametern hos objekten.

5.1.3 Förslag på analysprocess och möjlig programupbyggnad

Om BSAB-koder skulle användas som standardinformation i objekten skulle det vara möjligt att koppla de olika koderna till generiska klimat- och miljödata och bygga upp en databas på det sättet. Eftersom det inte heller är vanligt att modellera med olika lager och recept utan endast hela objekt, enligt respondent E, är detta en bra lösning på vilken information som kan användas i modellerna för att göra vidare klimat- och livscykelanalyser. Dock kan beräkningarna bli mindre exakta än om alla enskilda material hade specificerats i modellen. Till exempel kan BSAB-koder stå för "Stomyttväggar - element av skivor och stålregelverk", vilket innebär att datan skulle behöva vara väldigt generell och inte lika exakt som om väggobjektet i modellen exempelvis bestod av lager av stålreglar och gipsskivor. I tidiga skeden är dock recepten sällan bestämda så detaljerat. Under projekterings gång och eventuellt också under produktion skulle då informationen i modellen kunna uppdateras stegvis med mer detaljer, liksom klimat- och livscykelanalyserna. Kravställning rörande informationsnivå kan då anpassas till olika projekteringskedan. I figur 31 ses ett förslag på hur ett LCA-verktyg skulle kunna utformas för att uppdateras under projekterings gång, med en stomyttvägg i betong som exempelobjekt.



Figur 31: Förslag på informationsangivelse i en modell och koppling till LCA-databaser, under olika projekteringskedan. Stomyttvägg av betong är ett exempel på ett objekt i byggnaden. Eventuellt skulle ett program kunna byggas upp enligt principen för att underlätta integrering av BIM och LCA.

Om ett LCA-verktyg skulle byggas upp och följa processen i bilden ovan borde programmet kunna importera IFC-filer, göra mängdavgivning för alla objekt och sedan läsa BSAB-koderna och automatisk koppla dem till generiska data för motsvarande koder från en uppbyggd databas. I ett senare skede kan datan bytas ut mot mer specifika produkter. Analyser av produktval kan också göras i tidigare skeden för att föreslå olika produkter med hänsyn till bland annat klimatpåverkan. I figur 31 ges ett exempel på mer specifik produktinformation för väggen med BSAB-kod 27.C/31. Svensk Betong tillverkar bland annat "Betong för ytterväggar" för platsgjutning, och produkten har en EPD. Om produkten väljs till projektet skulle denna information förslagsvis skrivas in under någon parameter för objektet i modellen och sedan kopplas till motsvarande EPD, vars data skulle finnas i databasen. Detta skulle kunna innebära handpåläggning om inte namnbeskrivningen stämmer överens. Det uppstår också svårigheter om objekten består av olika material. Var och hur denna information skulle anges i modellen är svårt att säga, speciellt om objekten sällan modelleras i lager och delkomponenter och om de automatiskt ska kopplas till databasen. Handpåläggning kan vara

svårt att undvika, speciellt om man vill göra detaljerade klimat- och livscykelanalyser. En möjlighet är att skriva information om alla ingående material under samma parameter och sedan för hand välja olika poster ur databasen, men då kan mängdavgivning för de olika delkomponenterna bli svår att utföra. Man skulle även kunna projektera objekten som recept med information om respektive delkomponent. Hur integreringsprocessen bör utformas blir då en avvägning mellan hur detaljerad projekteringen och klimat- och livscykelanalyserna bör vara samt hur effektivt, automatiskt och standardiserat arbetet ska vara.

Eftersom tanken är att BSAB 96 successivt ska ersättas med CoClass kan detta vara en annan möjlighet för angivelse av relevant information för klimat- och livscykelanalyser. I denna studie har dock inte CoClass studerats detaljerat eftersom BSAB 96 fortfarande används och lämnas därför som förslag för fortsatt arbete.

Detta förslag (figur 31) fokuserar på klimat- och miljödata under steg A1-A3, alltså produktionen av byggmaterial och -produkter. Det bör även vara möjligt att lägga till data för exempelvis transporter, utsläpp under drift samt andra delar av byggnadens livscykel, likt One Click LCA. Det vore även bra med möjlighet att beräkna kostnad för produktionen av byggnaden, likt Bidcon, eftersom två analyser då kan fås från samma process och avvägning kan göras mellan kostnad och klimatpåverkan.

5.1.4 Sammanfattning av integreringsprocesser

Sammanfattningsvis finns svårigheter men också möjligheter med att integrera BIM-modeller och LCA-verktyg. Bidcon och One Click LCA möjliggör relativt smidiga analyser, förutsatt att någon information om materialen och komponenterna är angiven. Det finns utvecklingspotential för hur programmen och processen skulle kunna fungera ännu mer effektivt och automatiskt, ett exempel är förslaget ovan. Byggnader är komplexa och gör detta arbete omständligt, men inte omöjligt vilket denna studie visat.

5.2 TILLÄMPNING AV INTEGRERINGSPROCESSER I BYGGPROJEKT

5.2.1 Kravställning och samarbete mellan BIM- och LCA-discipliner

Förutsättningar för att implementera integreringen mellan BIM och LCA i byggprojekt diskuterades med respondent D, E och F. På ett konsultföretag beror det ofta på kravställning från beställarens sida samt vilka skeden och discipliner som konsulterna arbetar i. Om Tyréns ansvarar för BIM-samordning i ett projekt finns möjlighet att kravställa information i modellerna under projekteringen för att möjliggöra integrering av BIM-modeller och LCA-verktyg om beställaren till exempel vill uppnå miljöcertifiering. Om Tyréns istället ansvarar för exempelvis miljöcertifiering eller utförandet av en LCA i ett projekt vore det bra att kunna använda BIM-modeller för detta, även om Tyréns inte ansvarar för BIM-samordning i samma projekt. Det vore i dessa fall bra om berörda parter kan samarbeta för en bra integrering av BIM och LCA eftersom det kan effektivisera arbetet. Denna studie har visat fem möjliga processer som underlättar integreringen och till att börja med räcker det med att någon information om material och recept anges i modellerna eftersom Bidcon och One Click LCA ändå innebär handpåläggning. Det kan dock vara mer konkret att kravställa exempelvis BSAB-koder eftersom det redan är ett utvecklat system för beteckning av byggdelar. Om Bidcon eller One Click LCA används skulle miljökonsulten dock behöva leta upp BSAB-kodernas beteckningar och sedan för hand välja liknande poster ur databaserna.

För att tillämpa integrering av BIM och LCA i tidiga skeden är det bra att planera samordningsmöten mellan BIM-samordnare, projekteringsdiscipliner och miljökonsulter. Grundläggande materialstruktur i byggnaden kan då diskuteras för att till exempel undvika att betong

och stål används på rutin vid modellering av stommen. Hur information om material och recept ska anges i modellerna för bättre analyser kan också diskuteras. Sedan kan klimat- och livscykelanalyserna utföras, enligt någon av de testade processerna från denna studie eller liknande och uppdateras under projekterings gång, likt den första föreslagna metoden från Antón och Díaz (2014) eller metoden i figur 31. Resultaten kan sedan användas för fortsatt arbete med design, dimensionering och materialval för att uppnå minskad klimatpåverkan från konstruktioner. Studieobjektet Ebbepark visade att konstruktörsmodellen K.B04 innehöll så pass mycket information om material så att en någorlunda bra klimatanalys kunde genomföras för stommen. Om analyser skulle göras för fler komponenter än stommen, från exempelvis arkitektmodellen, hade information om material behövts i modellen för att undvika manuell inhämtning av denna information från arkitekterna. Ytterligare objekt kan vara av intresse för klimat- och livscykelanalyser, till exempel inredning, el och VVS. Då är det viktigt att även diskutera hur information om dessa objekt bör anges och hur analyser av dessa objekt i modellen ska göras.

5.2.2 Minskad klimat- och miljöpåverkan från konstruktioner

När integreringsprocesser mellan BIM och LCA blir mer effektiva kan det leda till ökade möjligheter att tillämpa detta i byggprojekt, eftersom det inte behöver innebära mycket extraarbete. Det kan bli lättare att uppnå miljöcertifieringar eller klimatdeklarationer av byggnader vilket kan vara av stort intresse för beställare. Om klimat- och livscykelanalyser då görs i tidigare skeden samt iterativt under projekteringen kan det ge en grund till mer hållbara val av material och ingående produkter vilket kan resultera i fler byggnader med lägre klimat- och miljöpåverkan. Eftersom Sveriges regering satt upp målet att senast år 2045 ha noll nettoutsläpp av växthusgaser kan kraven på minskad klimatpåverkan från byggnader öka vilket också ökar behovet av utförandet av klimat- och livscykelanalyser.

6 SLUTSATSER

Här besvaras frågeställningarna i korta drag och knyts sedan samman med studiens syfte och bakgrund

Frågeställning 1 löd: Hur fungerar informationsflöden mellan olika programvaror för BIM och klimat- eller livscykelanalyser och vad krävs för att processerna ska bli mer effektiva och automatiska? Vilken information är relevant och hur bör den anges?

- BIM/CAD-modeller kan användas för att utföra effektivare klimat- och livscykelanalyser, förutsatt att information om material är angivet hos objekten i modellen
- Det finns olika programvaror, bland andra Bidcon och One Click LCA, som använder information om mängder och material från modellerna för att sedan göra klimat- eller livscykelanalyser
- För att effektivisera processen ytterligare bör information om material eller recept hos objekten anges standardiserat, exempelvis med BSAB-koder, som sedan kopplas automatiskt mot databaser med information om klimat- och miljöpåverkan

Frågeställning 2 och 3 löd: Vilka möjligheter finns att tillämpa denna metodik med integreringsprocesser i byggprojekt under tidiga skeden? På vilket sätt kan effektiv integrering av BIM och LCA tillämpat i byggprojekt bidra till hållbarare byggnadskonstruktioner ur ett klimat- och miljöpåverkansperspektiv?

- Möjligheten att tillämpa metodiken i ett konsultföretag beror på beställarens krav samt i vilka skeden och discipliner konsulterna arbetar
- Effektiva metoder för utförandet av klimat- och livscykelanalyser baserat på BIM kan öka möjligheten och motivationen att tillämpa metodiken i byggprojekt
- Samordningsmöten mellan BIM-samordnare, projekteringsdiscipliner samt miljökonsult ger bättre förutsättningar för att metodiken ska fungera
- Vid BIM-samordning kan krav ställas som bidrar till ökad möjlighet att göra effektiva klimat- och livscykelanalyser baserade på BIM-modeller under tidiga skeden
- Efterfrågan och krav på klimat- och livscykelanalyser samt efterföljande åtgärder för att bygga mer hållbart kan komma att öka. Integrering av BIM och LCA kan underlätta arbetet
- Om klimat- och livscykelanalyser utförs i större utsträckning kan det bidra till minskad klimat- och miljöpåverkan från fler byggnader

Det finns goda chanser att utveckla integreringen mellan BIM och livscykelanalyser samt att tillämpa detta i byggprojekt för minskad klimat- och miljöpåverkan. Förändringar i byggbranschen kan gå långsamt som nämnt i bakgrunden men digitaliseringen och möjligheterna med BIM kan förhoppningsvis driva detta framåt. Det krävs fler studier på området för att utveckla och anpassa informationen i modellerna för bredare syften samt studier på hur detta praktiskt kan tillämpas. Även pilotprojekt kan initieras och utvärderas för att leda arbetet framåt. Förhoppningsvis kan byggprojekt i framtiden orsaka betydligt mindre klimatpåverkan, en av många pusselbitar för en hållbar samhällsutveckling.

REFERENSER

- Ahmadian, A. F. F., T. H. Rashidi, A. Akbarnezhad och S. T. Waller (2017). "BIM-enabled sustainability assessment of material supply decisions". I: *Engineering, Construction and Architectural Management* 24.4, s. 668–695.
- Antón, L. Á. och J. Díaz (2014). "Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment". I: *Procedia Engineering*. Selected papers from Creative Construction Conference 2014 85.Supplement C, s. 26–32. ISSN: 1877-7058.
- Araszkiwicz, K. (2016). "Green BIM Concept- Scandinavian Inspirations". I: *Archives of Civil Engineering* Vol LXII.1.
- Aulin, R. och F. Elland (2013). "Incentives to Catalyse Green Building Certifications for Building Construction". I: Trondheim, s. 13–23.
- Autodesk (2018a). *Revit Fundamentals*. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-GetStarted/files/GUID-03565843-BB48-4707-B54C-39D6E8E51880-htm.html> (hämtad 2018-02-28).
- (2018b). *Revit. Overview*. URL: <https://www.autodesk.eu/products/revit-family/overview> (hämtad 2018-02-28).
- Baker, S. (2016). *Sustainable Development*. 2. utg. New York: Routledge, Taylor och Francis.
- BIM Alliance (2017a). *BIM Alliance om BIM*. URL: <http://www.bimalliance.se/vad-aer-bim/bim-alliance-om-bim/> (hämtad 2018-01-22).
- (2017b). *BIP – standardbeteckningar*. URL: <http://www.bimalliance.se/utveckling-av-bim/projekt-inom-bim-alliance/bip-standardbeteckningar/> (hämtad 2018-03-05).
- (2018). *Vad är BIM?* URL: <http://www.bimalliance.se/vad-aer-bim/> (hämtad 2018-01-22).
- BIMplattform (2017). *Our Vision of BIM*. URL: <http://bimplattform.pl/en/our-vision-of-bim/> (hämtad 2018-01-19).
- bipkoder.se (2018). *bipkoder.se*. URL: <http://www.bipkoder.se> (hämtad 2018-03-05).
- Blalock, H. M. (1970). *An Introduction to Social Research*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bouška, R. (2016). "Evaluation of maturity of BIM tools across different software platforms." I: *Procedia Engineering* 164 (2016), s. 481–486.
- Boverket (2015). *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelerspektiv. Forsknings- och kunskapsläget*. Tekn. rapport 2015:35. Karlskrona.
- (2017). *Hållbart byggande och förvaltning*. URL: <http://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/> (hämtad 2018-02-13).
- (2018). *Klimatdeklaration av byggnader*. Tekn. rapport 2018:1.
- Bryman, A. (1988). *Quantity and Quality in Social Research*. New York: Taylor och Francis.
- Buchanan, D. A. och A. Bryman (2007). "Contextualizing Methods Choice in Organizational Research". I: *Organizational Research Methods* 10.3, s. 483–501. ISSN: 1094-4281.
- Building Ecology (2018). *Life Cycle Assessment Software, Tools and Databases*. URL: <http://www.buildingecology.com/sustainability/life-cycle-assessment/life-cycle-assessment-software/> (hämtad 2018-04-13).
- buildingSMART (2018). *IFC Introduction*. URL: <https://www.buildingsmart.org/about/what-is-openbim/ifc-introduction/> (hämtad 2018-01-23).
- Çıdık, M. S., D. Boyd och N. Thurairajah (2017). "Ordering in disguise: digital integration in built-environment practices". I: *Building Research & Information* 45.6, s. 665–680.
- Comstock, M. (2013). "Driving Global Climate Negotiations with Green Building Initiatives". I: *Environmental Design + Construction* 16.12, s. 21.
- Consoli, F., D. Allen, I. Boustead, J. Fava, W. Franklin, B. Quay, R. Parrish, R. Perriman, D. Postlewhaite, J. Seguin och B. Vigon (1993). "Guidelines for life-cycle assessment: A 'code of practice'." I: Sesimbra, Portugal.

- Dupuis, M., A. April, P. Lesage och D. Forgues (2017). "Method to enable LCA analysis through each level of development of a BIM model". I: vol. 196. Primosten, Croatia: Procedia Engineering, s. 857–863.
- Dynamo (2017). *Dynamo Primer*. URL: <http://dynamoprimer.com/en/index.html> (hämtad 2018-04-13).
- Ecoinvent (2018). *About ecoinvent*. URL: <https://www.ecoinvent.org/about/about.html> (hämtad 2018-04-12).
- Ekholm, A. (2001). *BSAB och klassifikation för produktmodellering och design. Slutrapport förstudie 2001-04-10 AB Svensk Byggtjänst*. Tekn. rapport.
- Elecosoft (2018). *Bidcon*. URL: <https://www.elecosoft.se/programvaror/bidcon> (hämtad 2018-04-13).
- Erlandsson, M. (2000). *Viktning av olika miljöpåverkanskategorier baserat på en vision om det framtida hållbara folkhemmet - de svenska miljö kvalitetsmålen*. Tekn. rapport B 1385. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Erlandsson, M., L.-G. Lindfors och K. Jelse (2013). *Robust LCA: Metodval för robust miljöjämförelse med livscykelanalys (LCA) - introduktion för nyfikna*. Tekn. rapport B 2121. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Fischer, M., T. Hartmann, E. Rank, F. Neuberg, M. Schreyer, K. Liston och J. Kunz (2004). "Combining different project modeling approaches for effective support of multi-disciplinary engineering tasks." I: Langkawi, Malaysia, s. 167–182.
- Gill, P., K. Stewart, E. Treasure och B. Chadwick (2008). "Methods of data collection in qualitative research: interviews and focus groups". I: *British Dental Journal* 204.6, s. 291–295.
- Goldman, G. och A. Zarzycki (2014). "Chapter 1: Smart Buildings/Smart(er) Designers: BIM and the Creative Design Process". I: *Building Information Modeling. BIM in current and future practice*. New Jersey: Wiley, s. 3–5.
- Harlén, A. (2018). *Möte med handledare Amanda Harlén - Miljökonsult, Tyréns. Utformning av examensarbete samt problembakgrund på Tyréns*.
- IPCC (2014). "Summary for Policymakers". I: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, J.C. Minx (eds.)]. Cambridge, United Kingdom och New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IVL (2009). *Svenska Miljöinstitutet: Branschinitiativ för hållbart byggande*. URL: <https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/nyheter/nyheter---arkiv/2009-06-17-branschinitiativ-for-hallbart-byggande.html> (hämtad 2018-02-13).
- Jongeling, R. (2008). "BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt. En jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpningar av BIM." I: *Luleå tekniska universitet*. ISSN: 1402-1528.
- Josephson, P.-E., I. Knauseder och A. Styhre (2003). *Lärande i byggprojekt – det bortglömda framgångsreceptet?* Tekn. rapport. Göteborg: Bygghälsan.
- Jrade, A. och R. Abdulla (2012). "Integrating Building Information Modeling and Life Cycle Assessment Tools to Design Sustainable Buildings". I: *CIB W78 2012: 29th International Conference*. Beirut, Lebanon, 17-19 October.
- Jrade, A. och F. Jalaei (2013). "Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage". I: *Building Simulation* 6.4.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Tekn. rapport. Keele University, UK och Australian Technology Park, Australia.

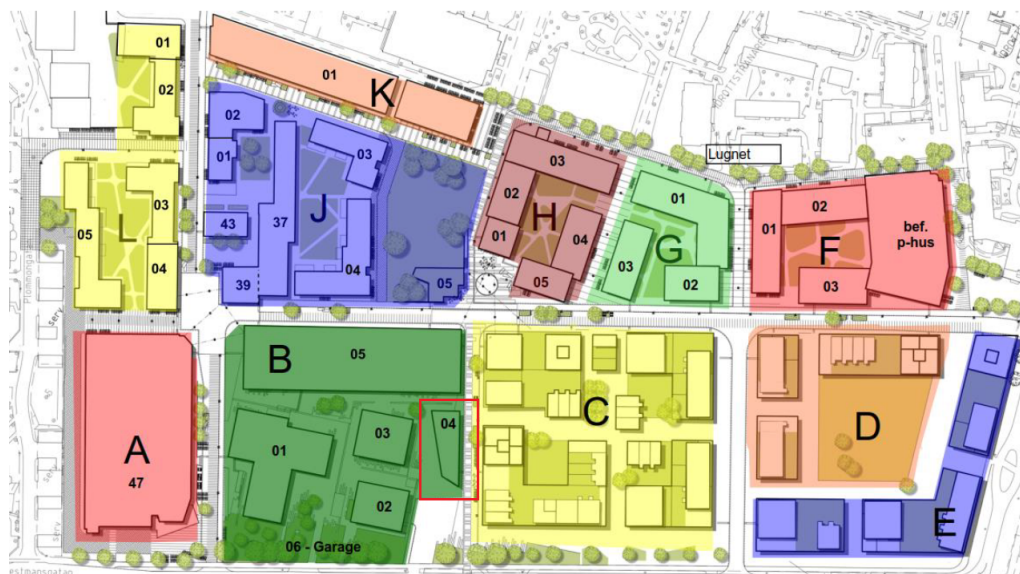
- Kylili, A., P. A. Fokaides, J. Vaiciunas och L. Seduikyte (2015). "Integration of Building Information Modelling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) for sustainable constructions". I: *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* 13.4, s. 28–38. ISSN: 2029-9990.
- Liljenström, C., T. Malmqvist, M. Erlandsson, J. Fredén, I. Adolfsson, G. Larsson och M. Brogren (2015). *Byggandets klimatpåverkan. Sammanfattning för beslutsfattare*. Tekn. rapport B2217-P. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Linköping Kommun (2017). *Ebbepark*. URL: <http://www.linkoping.se/stadsplanering-och-trafik/stadsutveckling/ebbepark/> (hämtad 2018-03-01).
- Loh, E., N. Dawood och J. Dean (2007). "Integration of 3D Tool with Environmental Impact Assessment (3D EIA)." I: *3rd Int'l ASCAAD Conference on Embodying Virtual Architecture [ASCAAD-07]*. Alexandria, Egypt.
- Lucon, O., D. Üрге-Vorsatz, A. Z. Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L. Cabeza, N. Eyre, A. Gadgil, L. Harvey, Y. Jiang, E. Liphoto, S. Mirasgedis, S. Murakami, J. Parikh, C. Pyke och M. Vilarino (2014). "Buildings". I: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom och New York, NY, USA: IPCC [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel och J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press.
- Means, P. och A. Guggemos (2015). "Framework for Life Cycle Assessment (LCA) Based Environmental Decision Making During the Conceptual Design Phase for Commercial Buildings". I: *Procedia Engineering*. Defining the future of sustainability and resilience in design, engineering and construction 118.Supplement C, s. 802–812. ISSN: 1877-7058. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.517.
- Motawa, I. och K. Carter (2013). "Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings". I: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Selected papers from the 26th IPMA (International Project Management Association), World Congress, Crete, Greece, 2012 74, s. 419–428. ISSN: 1877-0428.
- Musante, K. och B. R. DeWalt (2011). *Participant Observation : A Guide for Fieldworkers*. 2. utg. UK: AltaMira Press.
- Najjar, M., K. Figueiredo, M. Palumbo och A. Haddad (2017). "Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building". I: *Journal of Building Engineering* 14, s. 115–126.
- National Institute of Building Science (2015). *National BIM Standard-United States*. Tekn. rapport.
- Naturvårdsverket (2017). *Miljökvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan*. URL: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Begransad-klimatpaverkan/> (hämtad 2018-01-31).
- Nilsson, G. (2013). "Bättre informationsflöde i BIM med BSAB-systemet". I: *openBIM*.
- Nordstrand, U. (2008). *Byggprocessen*. 4. utg. Stockholm: Liber AB.
- Oduyemi, O., M. I. Okoroh och O. S. Fajana (2017). "The application and barriers of BIM in sustainable building design". I: *Journal of Facilities Management* 15.1.
- Omar, M. F., M. N. M. Nawi och A. T. Nursal (2014). "Towards the Significance of Decision Aid in Building Information Modeling (BIM) Software Selection Process". I: *E3S Web of Conferences* 3.
- One Click LCA (2018). *Building Life Cycle Assessment software*. URL: <https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software/#> (hämtad 2018-04-16).

- Ottosson, H. (2015). *VAD NÄR HUR och av VEM. Praktisk projektledning inom bygg-, anläggnings- och fastighetsbranschen*. 2. utg. Hässleholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Owen, R., R. Amor, M. Palmer, J. Dickinson, C. B. Tatum, A. S. Kazi, M. Prins, A. Kiviniemi och B. East (2010). "Challenges for Integrated Design and Delivery Solutions". I: *Architectural engineering and design management* Volume 6, s. 232–240.
- Penttilä, H. (2006). "Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression." I: *Journal of Information Technology in Construction* 11, s. 395–408.
- Pratt, M. J., B. D. Anderson och T. Ranger (2005). "Towards the standardized exchange of parameterized feature-based CAD models". I: *Computer-Aided Design* 37, s. 1251–1265.
- Ramström, E. K. (2018). *Möte med handledare Elin Kågas Ramström - BIM/Data-samordnare, Tyréns. Utformning av examensarbete samt problembakgrund på Tyréns*.
- Regeringskansliet (2014). *Boverket*. URL: <http://www.regeringen.se/myndigheter-med-flera/boverket/> (hämtad 2018-02-13).
- Rezgui, Y., S. Boddy, M. Wetherill och G. Cooper (2011). "Past, present and future of information and knowledge sharing in the construction industry: Towards semantic service-based e-construction?" I: *Computer-Aided Design. Emerging Industry Needs for Frameworks and Technologies for Exchanging and Sharing Product Lifecycle Knowledge* 43.5, s. 502–515. ISSN: 0010-4485.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. d. Wit, T. Hughes, S. v. d. Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen och J. A. Foley (2009). "A safe operating space for humanity". I: *Nature* 461.24.
- Russel-Smith, S. och M. Lepech (2012). "Activity-Based Methodology for Life Cycle Assessment of Building Construction". I: Imperial College, London, UK - 18th och 19th April 2012.
- Sampaio, A. Z. och E. Berdeja (2017). "Collaborative BIM environment as a support to conflict analysis in building design". I: Faro, Portugal, s. 77–82.
- Sankt Kors och Stångåstaden (2018a). "Detaljplanen för etapp 4 antagen av kommunfullmäktige". I: URL: <http://ebbepark.se/nyheter/118-detaljplanen-foer-etapp-4-antagen-av-kommunfullmaektige> (hämtad 2018-03-01).
- (2018b). *Om projektet*. URL: <http://ebbepark.se/om-projektet> (hämtad 2018-03-01).
- Sarigecili, M. I., U. Roy, S. Rachuri och R. D. Sriram (2009). "Development of Functionality-Based Conformance Classes for ISO 10303 – Conformance Classes for Tolerancing Functionality". I: *Computer-Aided Design and Applications* 6(2), s. 167–179.
- Simplebim (2018). *Simplebim Benefits*. URL: <http://www.datacubist.com/benefits/> (hämtad 2018-04-16).
- SIS (2018). *Bygghandlingar 90*. URL: <https://www.sis.se/konstruktionochtillverkning/bygg/bygghandlingar-90-ritningar/> (hämtad 2018-02-05).
- SLU (2018). *Sveriges Lantbruksuniversitet: Vad är livscykelanalys?* URL: <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/> (hämtad 2018-02-13).
- Smith, D. K. och M. Tardif (2008). *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*. Hoboken, UNITED STATES: Wiley. ISBN: 978-1-118-39923-1.
- Solibri (2018). *About Solibri*. URL: <https://www.solibri.com/contact/solibri/> (hämtad 2018-04-16).
- Sweden Green Building Council (2017a). *BREEAM-SE Nybyggnad 2017. Teknisk Manual 1.0*. Tekn. rapport.

- Sweden Green Building Council (2017b). *Tekniska manualer för Miljöbyggnad 3.0. Bedömningskriterier för nyproduktion*. Tekn. rapport 170915. Stockholm.
- (2018). *Vår Verksamhet*. URL: <https://www.sgbc.se/var-verksamhet/> (hämtad 2018-02-13).
- Swedish Standard Institute (2006). *Svensk Standard. SS-EN ISO 14040:2006. Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur*. Tekn. rapport. CEN - European Committee for Standardization.
- (2010). *Svensk Standard. SS-EN ISO 14025:2010. Miljömärkning och miljödeklarerationer - Typ III Miljödeklarerationer - Principer och procedurer*. Tekn. rapport. CEN - European Committee for Standardization.
- (2013). *Svensk Standard. SS-EN 15804:2012+A1:2013. Hållbarhet hos byggnadsverk - Miljödeklarerationer - Produktspecifika regler*. Tekn. rapport. CEN - European Committee for Standardization.
- Svensk Byggtjänst (2016a). *CoClass - Nya generationen BSAB Klassifikation och tillämpning*. Tekn. rapport Slutgiltig Version 1.2.
- (2016b). *En introduktion till miljöcertifiering*. URL: <https://byggtjanst.se/acdmy/en-introduktion-till-miljocertifiering/> (hämtad 2018-02-13).
- (2018a). *BSAB*. URL: <https://byggtjanst.se/tjanster/bsab/> (hämtad 2018-02-05).
- (2018b). *Om Oss*. URL: <https://byggtjanst.se/om-oss/> (hämtad 2018-02-23).
- Sveriges Byggindustrier och IVA (2014). *Klimatpåverkan från byggprocessen*. Tekn. rapport. URL: <https://www.iva.se/globalassets/rapporter/ett-energieffektivt-samhalle/201406-iva-energieffektivisering-rapport9-i1.pdf>.
- The International EPD System (2014). *Product category rules according to ISO 14025. Product group: UN CPC 531. Buildings*. Tekn. rapport 2014:02.
- (2018). *Using EPD*. URL: <http://www.environdec.com/en/> (hämtad 2018-04-12).
- Trafikverket (2017). *AMA Anläggning - allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten*. URL: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/AMA---allman-material--och-arbetsbeskrivning/> (hämtad 2018-02-23).
- Tyréns (2017). *IT-handledning. Ebbepark, Linköping*. Tekn. rapport V. 1.9.
- U.S. Green Building Council (2014). *LEED. Reference Guide for Building Design and Construction*. Tekn. rapport V4.
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987). *Our Common Future*. Tekn. rapport. Oxford: Oxford University Press. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (hämtad 2018-02-15).
- Vetenskapsrådet (2002). *Forskningsetiska principer inom humanistisk-samhällsvetenskaplig forskning*. Tekn. rapport.
- Wong, J. K. W. och J. Zhou (2015). "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review". I: *Automation in Construction* 57, s. 156–165.
- WorldGBC (2018). *About Green Building*. URL: <http://www.worldgbc.org/what-green-building> (hämtad 2018-02-08).
- Younger, M., H. R. Morrow-Almeida, S. M. Vindigni och A. L. Dannenberg (2008). "The Built Environment, Climate Change, and Health. Opportunities for Co-Benefits." I: *American Journal of Preventive Medicine* 35.5.
- Yudelson, J. (2009). *Green Building Trends: Europe*. 2. utg. Washington DC, USA: Island Press.
- Yung, P. och X. Wang (2014). "A 6D CAD Model for the Automatic Assessment of Building Sustainability". en. I: *International Journal of Advanced Robotic Systems* 11.8. ISSN: 1729-8814.

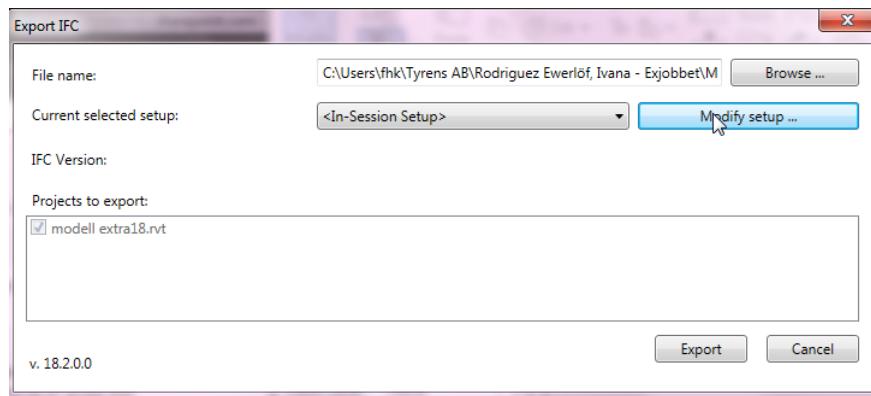
BILAGA A: FIGURER

Figur A.1 visar hus B.04, markerat på en karta över Ebbepark med en röd rektangel.

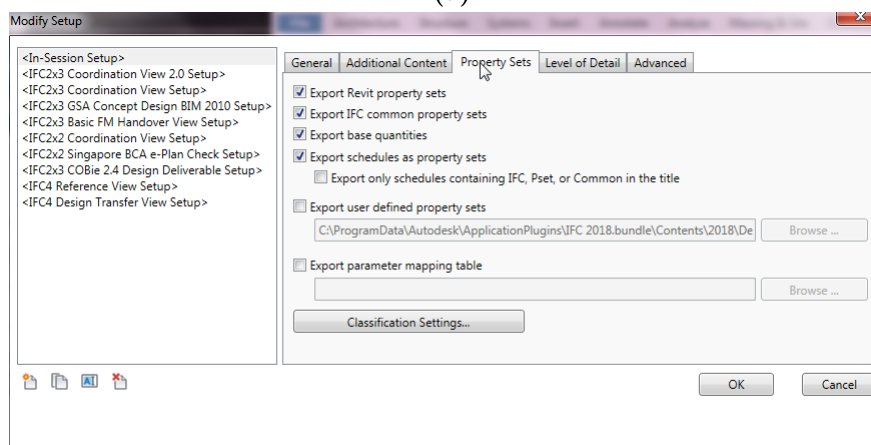


Figur A.1: Placering för hus B.04 i Ebbepark, markerad med röd rektangel

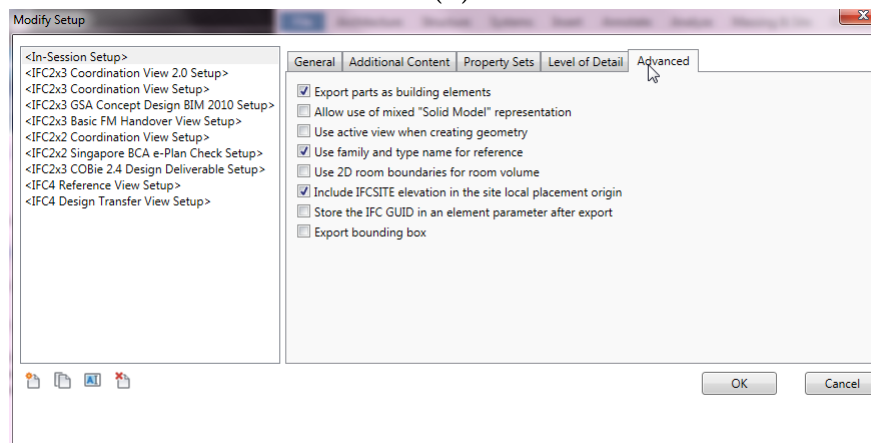
Figur A.2 visar inställningarna som gjordes när testmodellen exporterades från Revit till IFC-format.



(a)



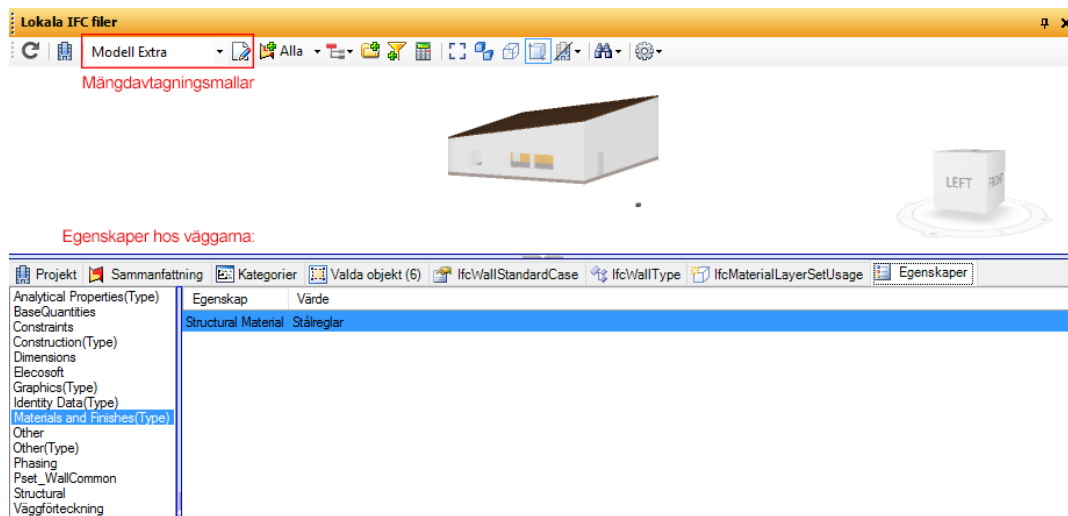
(b)



(c)

Figur A.2: Inställningar som gjordes vid IFC-exporten av testmodellen, (a) visar steg 1, (b) steg 2 och (c) steg 3.

I figur A.3 ses en bild över testmodellen i Bidcon, materialegenskaper för innerväggarna (vilket endast var stålreglar eftersom informationen om de andra materialen fallit bort) samt var mängdavgagningsmallarna kan redigeras.



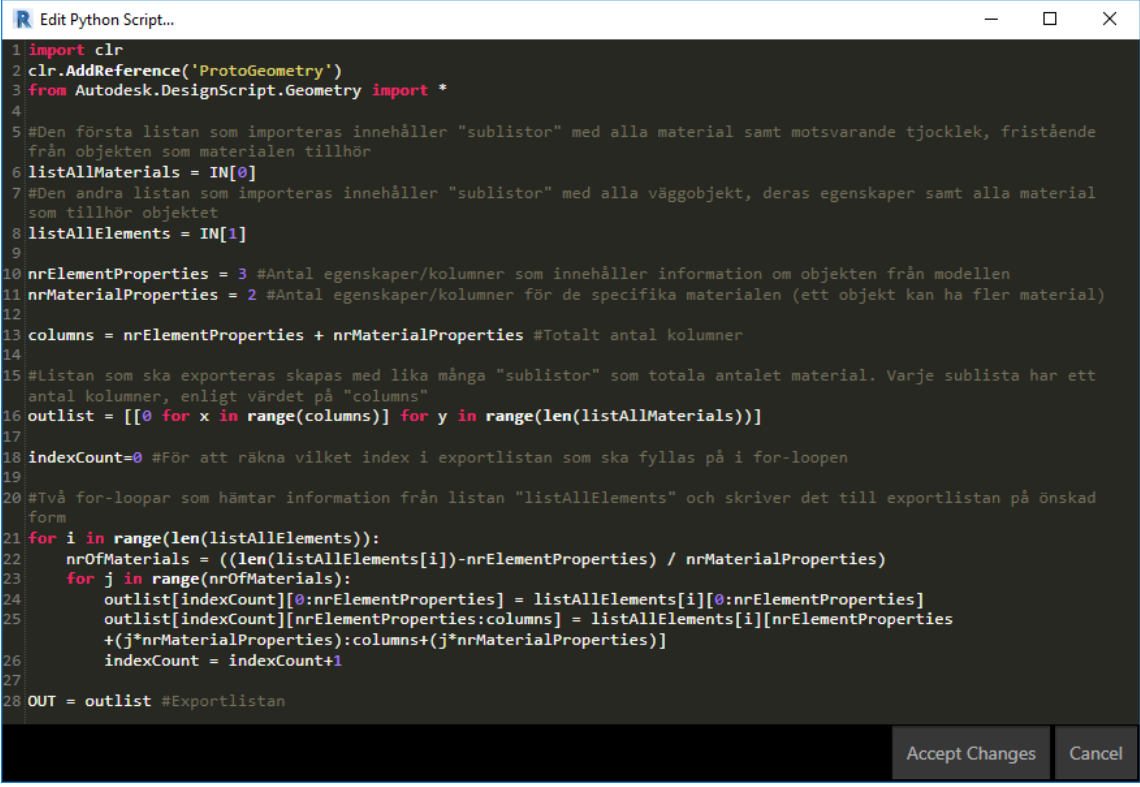
Figur A.3: Egenskaper hos objekten i modellen (innerväggar) samt var mängdavgagningsmallar redigeras i Bidcon.

Figur A.4 visar hur mängdavgtagningssmallen utformades i Bidcon för testmodellen i process 1. För olika typer av objekt hämtades information under olika parametrar från modellen och fördes över till kalkylen i Bidcon. Mallen kan återanvändas i andra projekt.

Domän	Entitet	Typ	Namn	Anmärkning	Beteckning	BD 96	Vil	Mängd	Enhet
Övrigt	ifcBuilding	ifcBuildingElementProxy	'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	H: + 'Dimensions.Height' + 'W: + 'Dimensions.Width'	'Material.Exterior: + 'Materials and Finishes(Type).Material Exterior' + 'Panel: + 'Materials and Finishes(Type).Material Panel' + 'Hardware: + 'Materials and Finishes(Type).Material Hardware'	'Identity Data (Type).Keynote	<Styck>	<Styck>	st
Övrigt	ifcBuildingStorey		'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Pset_RoofCommon...'	Thickness: + 'Dimensions.Thickness'		'Identity Data (Type).Keynote...		Dimensions .Area	m2
Övrigt	ifcOpeningElement		'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	Thickness: + 'Construction (Type).Width'	'Structural Material: + 'Materials and Finishes(Type).Structural Material'	'Identity Data (Type).Keynote...		Dimensions .Area	m2
Övrigt	ifcSite		'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	H: + 'Dimensions.Height' + 'W: + 'Dimensions.Width'	'Material.Exterior: + 'Materials and Finishes(Type).Material Exterior' + 'Glass: + 'Materials and Finishes(Type).Material Glass' + 'Interior: + 'Materials and Finishes(Type).Material Interior'	'Identity Data (Type).Keynote	<Styck>	<Styck>	st
Byggelement	ifcDoor	ifcDoorStyle	'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	Thickness: + 'Construction (Type).Thickness'	'Material Finish: + 'Pset_CoveringCommon.Finish'	'Identity Data (Type).Keynote...		Dimensions .Area	m2
Byggelement	ifcRoof		'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	Thickness: + 'Dimensions.Thickness'	'Structural Material: + 'Materials and Finishes(Type).Structural Material'	'Identity Data (Type).Keynote		Dimensions .Area	m2
Byggelement	ifcWallStandardCase	ifcWallType	'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	H: + 'Dimensions.Height' + 'W: + 'Dimensions.Width'		'Identity Data (Type).Keynote		<Styck>	st
Byggelement	ifcWindow	ifcWindowS...	'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	Thickness: + 'Construction (Type).Thickness'		'Identity Data (Type).Keynote		Dimensions .Area	m2
Övrigt	ifcCovering		'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	Thickness: + 'Dimensions.Thickness'		'Identity Data (Type).Keynote		Dimensions .Area	m2
Byggelement	ifcSlab		'Identity Data (Type).Type Mark' + 'Other (Type).Family Name'	Thickness: + 'Dimensions.Thickness'	'Structural Material: + 'Materials and Finishes(Type).Structural Material'	'Identity Data (Type).Keynote		Dimensions .Area	m2

Figur A.4: Mängdavgtagningssmall som utformades och användes vid mängdavgtagning i Bidcon, för process 1 med testmodellen

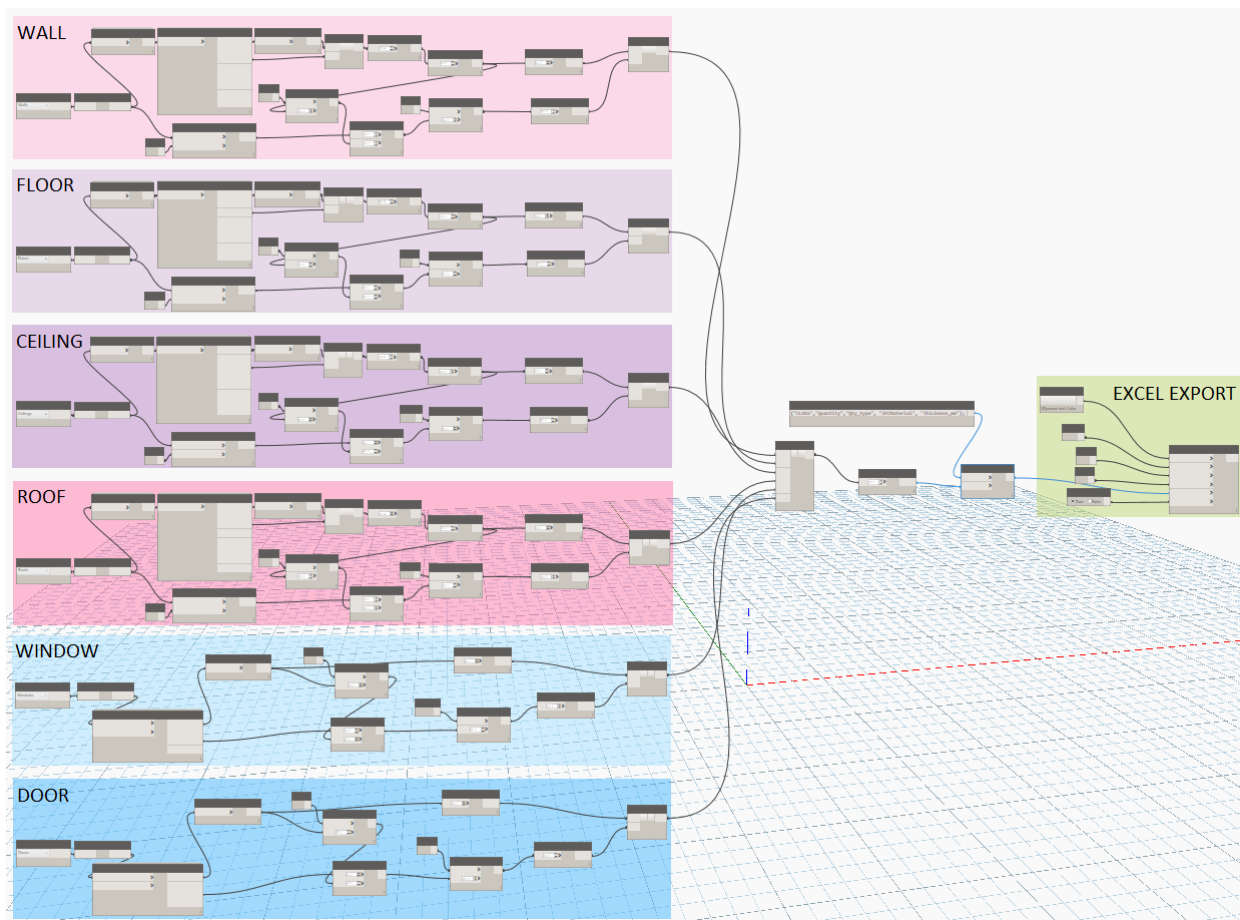
Figur A.5 visar Python-scriptet som gjordes under process 2, där Dynamo användes för informationsöverföring mellan Revit och One Click LCA. Scriptet sorterar listor för att passa Excelmallen för One Click LCA.



```
1 import clr
2 clr.AddReference('ProtoGeometry')
3 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
4
5 #Den första listan som importeras innehåller "sublistor" med alla material samt motsvarande tjocklek, fristående
6 #från objekten som materialen tillhör
7 listAllMaterials = IN[0]
8 #Den andra listan som importeras innehåller "sublistor" med alla väggobjekt, deras egenskaper samt alla material
9 #som tillhör objektet
10 listAllElements = IN[1]
11
12 nrElementProperties = 3 #Antal egenskaper/kolumner som innehåller information om objekten från modellen
13 nrMaterialProperties = 2 #Antal egenskaper/kolumner för de specifika materialen (ett objekt kan ha fler material)
14
15 columns = nrElementProperties + nrMaterialProperties #Totalt antal kolumner
16
17 #Listan som ska exporteras skapas med lika många "sublistor" som totala antalet material. Varje sublista har ett
18 #antal kolumner, enligt värdet på "columns"
19 outlist = [[0 for x in range(columns)] for y in range(len(listAllMaterials))]
20
21 #För att räkna vilket index i exportlistan som ska fyllas på i for-loopen
22 indexCount=0
23
24 #Två for-loopar som hämtar information från listan "listAllElements" och skriver det till exportlistan på önskad
25 #form
26 for i in range(len(listAllElements)):
27     nrOfMaterials = ((len(listAllElements[i])-nrElementProperties) / nrMaterialProperties)
28     for j in range(nrOfMaterials):
29         outlist[indexCount][0:nrElementProperties] = listAllElements[i][0:nrElementProperties]
30         outlist[indexCount][nrElementProperties:columns] = listAllElements[i][nrElementProperties
31         +(j*nrMaterialProperties):columns+(j*nrMaterialProperties)]
32         indexCount = indexCount+1
33
34 OUT = outlist #Exportlistan
```

Figur A.5: Python-scriptet för att sortera listor i Dynamo, process 2

Figur A.6 visar en översikt över hur det totala Dynamoscriptet i process 2 utformades för de olika objektkategorierna samt Excelexporten.



Figur A.6: Översikt av Dynamoscriptet i process 2

I figur A.7 visas excellistan från Dynamoexporten för resterande objektkategorier utöver väggarna från testmodellen.

	A	B	C	D	E
1	CLASS	Quantity	Qty_type	IFCMaterial	Thickness_mm
20	Floor	216,0504	m2	Betong	300
21	Floor	197,5544	m2	Betong	300
22	Ceiling	197,5544	m2	Gipsskiva	36
23	Ceiling	197,5544	m2	Mineralullsplatta, 600x600, vit	16
24	Roof	219,3833257	m2	Takpannor, röd	50
25	Roof	219,3833257	m2	Trä, bärläkt	22
26	Roof	219,3833257	m2	Trä, ströläkt	22
27	Roof	219,3833257	m2	Underlagspapp	5
28	Roof	219,3833257	m2	Trä, råspont	22
29	Window	0,0166144	m3	Glas, klart	
30	Window	0,0298935	m3	Trä, vitt	
31	Window	0,0166144	m3	Glas, klart	
32	Window	0,0298935	m3	Trä, vitt	
33	Window	0,0166144	m3	Glas, klart	
34	Window	0,0298935	m3	Trä, vitt	
35	Window	0,0166144	m3	Glas, klart	
36	Window	0,0298935	m3	Trä, vitt	
37	Window	0,0354944	m3	Glas, klart	
38	Window	0,0435435	m3	Trä, vitt	
39	Window	0,0354944	m3	Glas, klart	
40	Window	0,0435435	m3	Trä, vitt	
41	Window	0,0354944	m3	Glas, klart	
42	Window	0,0435435	m3	Trä, vitt	
43	Door	0,169302	m3	Stål, rostfritt	
44	Door	0,0332975	m3	Default Door	
45	Door	0,0013205	m3	Default Threshold	
46	Door	0,000110829	m3	Default Hardware	
47	Door	0,047908	m3	Trä, vitt	
48	Door	0,000107688	m3	Aluminium	
49	Door	0,03534	m3	Default Door	
50	Door	0,000708	m3	Default Threshold	
51	Door	0,047908	m3	Trä, vitt	
52	Door	0,000107688	m3	Aluminium	
53	Door	0,03534	m3	Default Door	
54	Door	0,000708	m3	Default Threshold	

Figur A.7: Excellistan med de resterande objektkategorierna från testmodellen

BILAGA B: INTERVJUER

Semistrukturerad intervju med respondent D, BIM-samordnare på Tyréns, 2018.03.15.
Frågor redovisas i fet stil och svaren redovisas i vanlig text.

Om beställaren vill göra en LCA, kan man kravställa materialinformation i modellerna då, även om Tyréns inte arbetar med BIM-samordning i projektet?

Om man ska göra en LCA måste man ju få information om material från projektörerna på något sätt. Då kan miljökonsulten ställa krav och oavsett om Tyréns är BIM-samordnare eller inte bör man snacka ihop sig från början. I vissa projekt levereras bara ritningar och inte 3D-modeller, dessa kan miljökonsulten ta del av. Om beställaren vill ha en LCA kan Tyréns säga: "Ja men då behöver vi göra den modellbaserad", vilket kan innebära ÄTA (Ändrings- och tillägsarbeten) på ett visst antal timmar för att lägga in rätt information i modellen. Kan antagligen gå åt mindre timmar totalt på detta sätt. Gärna vill man ha dessa krav tidigt i projektet.

Vill alla beställare ha kostnadskalkyl?

Ofta beställer man en etapp i taget, till exempel beställer beställaren en systemhandling. Kan variera om de är BIM-samordnare i hela projektet eller endast för exempelvis systemhandling som är en teknisk beskrivning på anläggningens funktion. Bygghandlingen innebär hur man ska utföra de här tekniska kraven. Traditionellt i processen utformas en handling i taget, vilket är en väldigt linjär process. Modellen kan dock leva och vara flytande i hela processen. Ofta blir det dock upphackat. I systemhandling vill man ha lite öppet fortfarande för olika material, exempelvis stål- eller träbalkar. Men man vill inte ha för specifikt bestämda material på grund av bland annat upphandlingskrav. Man kan dock önska att de "antar" ett material och anger det i modellen.

Säg att Tyréns är BIM-samordnare i systemhandling, och beställaren vill uppnå till exempel miljöcertifiering, hur går man till väga då?

Då kan man kravställa att de anger material i modellen, om beställaren vill. Om Elin var med i projektet vill hon då ha samordningsmöte med alla berörda discipliner. Med modell och analys som diskussionsunderlag kan man då diskutera modellens utformning. Avstämning med LCA och samordningsmöten kan då ske under processens gång.

I vilket skede bestämmer man specifika produkter?

Vet inte riktigt, men tror att när man tar fram en bygghandling skickar man till entreprenör som sen i sin tur handlar upp material. Material kan bestämmas innan. Jag kan tänka mig att funktionen är viktigare än vilken specifik produkt och leverantör som används. Alltså till exempel att bygghandlingarna ska klara de här vikterna, hållfasthet och kanske bestämda miljökrav. Sen kan man se vilka produkter och leverantörer som uppfyller kraven. De vill sedan ofta köpa det billigaste. I bygghandlingen specificerar man vilka krav som måste uppfyllas hos produkterna.

Kan man införa mer som rutin att ange materialinformation?

Det skulle man kunna. Det är en jätteprocess. Jag vill att vi har en samsyn på vad som är miniminivå i information under projekteringen. Vi borde ha rekommendationer på Tyréns att man sätter minimikrav för projekteringen. Då måste det dock säljas in när man upphandlar nya uppdrag och generera inkomster. Men det kan öka kvaliteten. Det behövs samsyn och utbildning internt. Man kan ha checklistor för projektörerna för att underlätta andra discipliners arbete.

I vilket skede under projekteringsprocessen bör en LCA göras senast om den

ska ligga till grund för att påverka designen?

Beror lite på om det är hus- eller anläggningsprojekt. Så tidigt som möjligt är det bästa. Men vem betalar att man gör det här extrajobbet?

Är det vanligt att beställaren vill ha kravställning om material?

Jag har aldrig varit med om att man krävställt materialangivelser. Det handlar nog mer om vad syftet med BIM är och vad beställaren vill få ut av det. Ett problem är att byggprocessen är väldigt traditionell och upphackad med alla handlingar. Modellerna och BIM är mer flytande. Man kan också diskutera från början vilka material som är bäst miljömässigt, men det beror också på vilken funktion huset ska ha, geografiska förutåttningar till exempel. Det bästa är att para ihop projektörerna och miljökonstrukterna tidigt.

Semistrukturerad intervju med respondent F, Byggnadskonstruktör på Tyréns, 2018.03.20. Frågor redovisas i fet stil och svaren redovisas i vanlig text.

Vet ni när ni börjar med en modell vilka material det ska vara, är det krävställt?

Vi jobbar mest med ombyggnad och vad gäller exempelvis kyrkor kan material vara krävställt. Också tillbyggnader, ofta till gamla betonghus. Man kan bygga om och bygga på. I 90% av fallen används exempelvis balkar av stål.

Är det för att det är standard att använda stålbalkar?

Ja så är det, visst du kan stoppa in träbalkar men det är inte standard. I vissa fall passar vissa material bättre. Men vi gör en hel del påbyggnader i trä, men då kommer det kravet från beställaren eller arkitekten. Konstruktörer föreslår sällan material, de gillar och är bekväma med stål och betong för de är vana att räkna med det. Trä är mindre vanligt vad gäller större hus i städerna. Antingen väljer man det material som är det vanliga för att man vet hur man räknar på det eller det material som beställaren sagt. Beror också på vilka hantverkare som ska utföra arbetet. Är de vana att exempelvis sätta in träbalkar i befintligt betong? Material i nybyggnad eller tillbyggnad idag styrs mest från beställare eller arkitekt, de kanske har önskemål om att bygga trähus. Ofta används mycket prefabricerade element och då får konstruktörerna anpassa sig till det och lämnar över till andra som räknar på prefabricerade standardlösningar som är lättare att räkna på. Finns fler möjligheter för konstruktörerna att påverka om man inte använder så mycket prefabricerade element.

Om man ska göra LCA:er av huset behövs information i modellen. Vet ni vilket material som ska användas och kanske mer specifik information om till exempel betongsort?

Vi utgår från en tryckhållfasthet hos betong när vi modellerar. Om det handlar om prefabricerade element gör inte vi så noggranna modeller och beräkningar utan mer en skiss i program- och systemhandling och räknar på ett ungefär. Sen i senare skeden som när bygghandlingar tas fram kan modellen utökas eller göras om av andra parter där information om prefabricerade element specificeras. Då har någon redan bestämt att det ska vara prefabricerat.

Väljer man recept eller utformning hos prefab-elementen då?

Ja man kan dimensionera elementen och kanske välja olika betongsorter. Men det är nog begränsat hur mycket man kan påverka dem.

Man vill ju att konstruktörer och arkitekter kan specificera informationen i modellen, även prefabricerade element. I en modell (K.B04) finns prefabricerade

element med angivna material, men väldigt generell information. Kan man ange mer specifik information?

Betongen som används brukar ha samma tryckhållfasthet så det gör nog inte så mycket om man inte specificerar. Stålet brukar också ha samma hållfasthetsklasser. Så det brukar man nog inte ange i modellerna. Dimensionen är det viktiga, profiler och tjocklek på stål hos balkar och pelare. Sen i tidiga skeden modellerar man inte exakt, till exempel hur tjockt stålet är. Men det kan ju göra stor skillnad i klimatpåverkan.

Om det inte finns något krav på material, skulle man inte kunna välja och föreslå till exempel trä istället för stål?

Ja det skulle vi ju kunna göra, men det kan vara lite konstigt att göra en trävägg i ett stort bostadshus om det inte kommer förslag eller krav på det från beställare eller arkitekt. Mycket sker på rutin.

Kan man ha kontinuerliga samordningsmöten med projektörer och miljökon-sulter för att bestämma och diskutera material och design?

Ja det tror jag, om man börjar i tidiga skeden. Vi hade ett projekt nyligen där man hade en diskussion om att uppnå LEED-certifiering. Då berättade en person om kraven för att uppnå detta, för konstruktörerna. Nu ligger dock projektet på paus, men det var bra att få den informationen tidigt. Då börjar man reflektera. Konstruktörer har tidigare inte haft så mycket krav på hur de väljer material. Jag tror kraven måste komma från någon annan, annars blir det ofta på rutin. Antingen om Tyréns bestämmer det eller om beställaren har krav på detta tidigt. Arkitekterna kan också lyfta det här.

Jag har tittat lite på modellerna från Ebbepark, och arkitektmodellerna inne-håller sällan information om material. Vad kan det bero på?

Ja, de brukar väl ha krav och idéer på utseende och kanske inte bryr sig om stommen är i trä eller betong. Men det kan ju vara olika, ska man ha en "träkänsla" kanske man lika gärna kan göra väggar i massivt trä.

Det finns lite två aspekter av det här. Antingen vill man bara göra en ana-lysis och då behöver man information i modellerna. Eller så kan man vara med tidigt och påverka materialet. Finns någon rutin för att ange material i model-lerna?

Vägg kan vi ju till exempel välja i betong eller trä i CAD-programmen. Men ofta börjar man inte på ett blankt papper om man jobbar med om- och tillbyggnad. Då gör vi ofta först en modell över det befintliga huset som ofta är i betongstomme. Arkitekten är nog mer styrande i materialval, men standard är ofta betong. Det ligger inte på konstruktörer att bestämma material. I systemhandlingen ska stommaterialet bestämmas. Storleken och material hos exempelvis balkar har man absolut valt då. Som miljökonsult borde man alltså komma in innan detta bestäms om man vill påverka material, kanske redan i programhandlingen när man diskuterar material i stommen.

Brukar ni ha krav på att exempelvis ange BSAB- eller BIP-koder?

Ja i ett projekt kom krav på att ange BIP-koder. Då fixade de på BIM-avdelningen detta. BIM-samordnare kan ju ge oss krav på hur informationen i modellerna ska se ut eller rit-ningsspecifika krav. Om de kommer in sent kan det bli väldigt krångligt. Det finns ju ofta CAD- eller BIM-manualer.

Hur ofta anger ni olika typer av material i modellen?

De är automatiskt från vissa Revitmallar vi använder, det står alltid om det är till exempel

en betongvägg eller stålbalkar. Vi anger tjocklek och material samt om delarna är befintliga eller nya. Fasad och innerväggar till exempel gör ju arkitekterna. Från Naviatebiblioteket för konstruktörer i Revit kan man välja bland olika stål- eller träbalkar till exempel. Sen kan man ladda in fler objekt.

Vore det bra om ni kan se direkt när ni modellerar vad de olika objekten och materialen här för koldioxidutsläpp?

Problemet är att vi ofta börjar med beräkningar i andra program än modelleringsverktygen. Till exempel hur stor lasten är och hur vi då måste dimensionera balkar och pelare. Eftersom det inte brukar finnas krav på hur vi ska dimensionera brukar vi överdimensionera för att vara flexibla och ha marginaler om något annat i modellen skulle ändras. Jag påverkar oftare dimensionerna än själva materialet och skulle jag då vara medveten om skillnad i klimatpåverkan kanske jag inte skulle överdimensionera så mycket. Men det finns ju risker om man ligger på marginalen. Nu snart ska en kille från hållbart byggande komma och berätta om vad konstruktörer kan göra till exempel när man ska uppnå miljöcertifieringar.