

**Life Cycle Assessment (LCA) baseret på
Building Information Modeling (BIM)**

Kandidatspeciale i bygningsinformatik

Af
Lasse Eeg Møller

Titel:

Life Cycle Assessment (LCA) baseret på Building Information Modeling (BIM)

Projekt:

Kandidatspeciale, 4. semester

Vejleder:

Kjeld Svidt

ECTS:

30

Normalsider:

63

Projektperiode:

1. september 2021 til 7. januar 2022

Afleveringsdato

07. januar 2022

Forfatter og underskrift

Lasse Eeg Møller

Institut:

Institut for Byggeri, By og Miljø ved
Aalborg Universitet

Forord

Denne rapport er udarbejdet som et 30 ECTS kandidatspeciale på uddannelsen byggeledelse og bygningsinformatik med speciale i bygningsinformatik ved Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i perioden d. 1. september 2021 til d. 7. januar 2022. Der skal lyde en stor tak til lektor Kjeld Svidt, ved Aalborg Universitet, som har været vejleder på projektet.

Jeg vil gerne takke en mindre ingeniør virksomhed for at tilbyde en studieplads, som har gjort det muligt, at have en fast base under specialet. Derudover skal lyde en stor tak til de ansatte hos denne virksomhed, for at kunne tilbyde en daglig sparring igennem rapporten.

I forbindelse med udarbejdelsen af specialet, har jeg været i kontakt med en række LCA-eksperter hos en stor ingeniørvirksomhed. Der skal lyde en stor tak til de informanter, som har valgt at bidrage til rapporten.

Læsevejledning

Rapporten består af fem dele. Første del er en indledning, som fører frem til rapportens problemformuleringen. I anden del præsenteres et metodeafsnit omhandlende den overordnede metode i rapporten. I tredje del introduceres nogle grundlæggende begreber indenfor LCA og BIM, samt den nyeste viden indenfor BIM-LCA integration. Den fjerde del er metoden Contextual design, som indeholder undersøgelse af nuværende arbejdsgang, samt to forskellige løsningsforslag. Til sidst afsluttes med metodediskussion samt diskussion af rapportens resultater.

Der gøres i rapporten brug af ordene ”mapping” og ”mapped”. Disse ord skal læses på engelsk. Det er valgt ikke at oversætte ordene, da det danske ord kortlægning ikke dække betydningen i rapporten. I rapporten dækker ”mapping” og ”mapped” derfor over, at elementer i et givet datasæt forbindes med elementer i et andet datasæt.

Abstract

In the future there is a need to take the environmental impact from buildings into account. For this, life cycle assessment (LCA) is a common and standardized method. However, LCA is a complicated and time-consuming task, and this is often seen as barriers. Therefore, there is a potential to break down these barriers with building information modeling (BIM), but there is a lack of interoperability between LCA-software and BIM.

Through a literature study different BIM-LCA integrations were found. Afterwards a contextual interview was conducted with two LCA-experts from a big engineering organization. The purpose of the interview was to find the industry practice of working with LCA. Based on the results from the interview two solutions were investigated. First, a solution for an increased interoperability between Revit and a Danish LCA-software was proposed. The solution was presented at a workshop. The results from the workshop were that the solution was found to be proprietary and contains processes that could not be refined. This led to a second solution based on open BIM with IFC. The second solution was presented at a new workshop and were found to support a better workflow for the future.

Based on the interview and the two solutions, eight recommendations for a new LCA-tool were found. The recommendations are features that will increase the interoperability and support the BIM-LCA workflow in the future.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	1
1.1. Motivation	2
1.2. Problemstilling og formulering	3
2. Metode.....	3
2.1. Litteratursøgning	3
2.2. Contextual Design	5
2.2.1. Contextual Inquiry.....	6
2.2.2. Interpretations Session	7
2.2.3. Visioning.....	7
2.2.4. User environment design	7
2.3. Rapportens fremgangsmetode	7
3. Grundlæggende begreber.....	8
3.1. Bæredygtighed	8
3.2. Den frivillige bæredygtighedsklasse	9
3.3. Life Cycle Assessment.....	10
3.3.1. Life Cycle Assessment i byggeri og anlægsbranchen.....	11
3.3.2. Environmental product declaration.....	13
3.3.3. LCA Databaser.....	14
3.3.4. Påvirkningskategorier i LCA.....	15
3.3.5. Opsummering af LCA.....	16
3.4. Building Information Modeling	16
3.4.1. Level of Development	16
3.4.2. LCA-informationer ifølge DiKon's Level of Development	18
4. State of the art	20
4.1. Integrationstilgange mellem BIM og LCA.....	20
4.1.1. Strategi nummer et - Bill of Quantities.....	21
4.1.2. Strategi nummer to - IFC-import.....	22
4.1.3. Strategi nummer tre - BIM viewer	22
4.1.4. Strategi nummer fire - LCA plugin	23
4.1.5. Strategi nummer fem - Integreret LCA-informationer BIM.....	24
4.1.6. Opsummering af de fem strategier	25
4.2. Hvad findes der af LCA-værktøjer.....	26
4.2.1. Tally.....	29
4.2.2. eTool LCA.....	30
5. Undersøgelse af nuværende workflow	31
5.1. Interview og fortolkning.....	32
5.1.1. Flowmodel og sekvensmodel	32
6. Løsningsforslag #1	34
6.1. Software brugt i Prototype #1	34
6.1.1. Revit.....	34
6.1.2. Visual Programming Language.....	35
6.1.3. Life Cycle Assessment værktøj - LCAByg 5.....	36
6.1.4. LCAByg 5 og JSON.....	38
6.2. Visioning.....	43
6.2.1. Mapping af BIM objekter med Gen_dk biblioteket.....	43
6.2.2. Opsummering af de tre mappingsmetoder.....	45
6.2.3. Forslået nyt workflow	46
6.3. User Environment Design	47
6.3.1. Revit.....	49
6.3.2. Dynamo	49
6.3.3. Excel template	50

6.3.4.	<i>LCAByg 5</i>	51
6.4.	Udvikling af prototype til løsningsforslag #1	51
6.4.1.	<i>Metode og indhold i prototypen</i>	51
6.4.2.	<i>Beskrivelse af Excel template</i>	52
6.4.3.	<i>Beskrivelse af Script #3 - Eksportering til JSON</i>	53
6.5.	Præsentation af løsningsforslag #1	60
6.5.1.	<i>Resultat fra workshop</i>	62
7.	Løsningsforslag #2	64
7.1.	Visioning	65
7.1.1.	<i>IFC-datamodel og materialer</i>	66
7.1.2.	<i>Hvordan skal strukturen være i et nyt generisk bibliotek</i>	68
7.1.3.	<i>Hvordan skal miljøpåvirkningerne hentes fra LCA-databasen Ökobaudat</i>	69
7.1.4.	<i>Opsummering af udfordringer i visioning af løsningsforslag #2</i>	72
7.1.5.	<i>Prototypekoncept</i>	72
7.2.	User Environment Design	74
7.2.1.	<i>LCA-værktøj</i>	75
7.3.	Udvikling af prototype til løsningsforslag #2	76
7.3.1.	<i>Beregningsdel af prototypen</i>	77
7.3.2.	<i>Scenariedel af prototypen</i>	80
7.3.3.	<i>Diagram</i>	81
7.4.	Præsentation af løsningsforslag #2	83
7.4.1.	<i>Resultat fra workshop</i>	84
8.	Opsummering af resultater	85
8.1.	Nuværende workflow	85
8.2.	Løsningsforslag #1	86
8.3.	Løsningsforslag #2	86
9.	Diskussion	88
9.1.	Metodediskussion	88
9.2.	Diskussion af resultater	89
10.	Konklusion	93
11.	Referencer	95
12.	Figurliste	100
13.	Tabelliste	102
14.	Bilag	103

Forkortelser

API:	Application Programming Interface
BCF:	BIM Collaboration Format
BIM:	Building Information Modeling
BoQ:	Bill of Quantities
CD:	Contextual design
CSV:	Comma Separated Value
DHGU:	Drivhusgasudledning
EPD:	Environmental product declaration / Miljøvaredeklaration
FBK:	Den frivillige bæredygtighedsklasse
GUID:	Globally Unique Identifier
IFC:	Industry Foundation Classes
JSON:	JavaScript Object Notation
LCA:	Life Cycle Assessment
LCC:	Life Cycle Cost
LCI:	Life Cycle Inventory
LCIA:	Life Cycle Impact Assessment
LOD:	Level Of Development
LOI:	Level Of Information
MVD:	Model View Definition
UED:	User Environment Design
UUID:	Universally unique identifier
AAU:	Aalborg Universitet

1. Indledning

Med Parisaftalen i 2015 har mange lande forpligtet sig til at begrænse den globale temperaturstigning til 2 grader, med en målsætning på 1,5 grader (The Danish Parliament 2019). I Danmark er der vedtaget et kortsigtet- (2030) og et langsigtet mål (2050). Som kortsigtet mål skal Danmark reducere drivhusgasudledningen (DHGU) med 70 pct., i forhold til år 1990. Som langsigtet mål vil Danmark opnå klimaneutralitet i senest år 2050 (The Danish Parliament 2019).

Driften af bygninger står globalt for 28 pct. af DHGU, og hvis man lægger DHGU fra produktionsfasen i byggeindustrien til, er det globalt 38 pct. (United Nations Environment Programme 2020). Bygninger har dermed en stor andel af den samlede DHGU, og det er derfor vigtigt, at byggebranchen har fokus på at reducere denne. DHGU er dog kun en af flere miljøpåvirkninger.

I mange år har der været fokus på energieffektivitet, i forbindelse med driften af bygningerne, men dette har medført en stigning af de miljøpåvirkninger, der er forbundet med produktionen af materialer og deres bortskaffelse. Det er derfor vigtigt at vurdere miljøpåvirkninger i både produktions-, konstruktions- og driftsfasen samt ved endt levetid for bygningen (Dalla Mora, Bolzonello et al. 2020).

Til at vurdere og reducere de miljømæssige påvirkninger af bygninger, bruges i stigende grad "Life Cycle Assessment" (LCA). LCA er i litteraturen betragtet som en komplet metode, til at vurdere den miljømæssige påvirkning fra en bygning i dens livscyklus (Soust-Verdaguer, Llatas et al. 2017). Europa Kommissionen har herudover konkluderet, at LCA er den bedste tilgængelige metode, til at beregne produkters miljøpåvirkning (Schlanbusch, Fufa et al. 2016).

Vigtigheden af LCA fremgår af den øgede grad af studier (Safari, AzariJafari 2021, Nwodo, Anumba 2019), og at LCA i den nærmeste fremtid vil blive obligatorisk i flere lande, såsom Frankrig, Finland, Sverige og Danmark (Zimmermann, Bruhn et al. 2021).

Boligministeren i Danmark introducerede i år 2020 den frivillige bæredygtigheds-klasse (FBK) (Videnscenter for energibesparelser i virksomheder 2021). FBK er i dag ikke en del af bygningsreglementet, men målsætningen er at gøre den obligatorisk i 2023. Den består af i alt ni krav og heriblandt en LCA (Videnscenter for energibesparelser i virksomheder 2021).

For at kunne lave en LCA kræves det, at der indsamles en betydelig mængde information om bygningsmaterialerne, bygningsprocessen, brugsfasen og endt

1. Indledning

levetid/genanvendelse (Soust-Verdaguer, Llatas et al. 2017). Dette gør LCA til en kompleks og tidskrævende opgave. Komplexiteten og tiden anses ofte som barrierer mod at udarbejde en LCA (Rasmussen, Malmqvist et al. 2020), og det er essentielt at nedbryde disse barrierer, sådan at der i fremtiden kan imødekommes kravet om LCA i FBK.

Et af værktøjerne, til at nedbryde disse barrierer, er Building Information Modeling (BIM) (Zimmermann, Bruhn et al. 2021) Ifølge Sacks, Eastman et al. (2018) er BIM en modelleringsteknologi og nogle tilhørende sæt af processer til at producere, kommunikere og analysere bygningsmodeller. Modellerne i BIM modelleres i et dedikeret software og indeholder parametriske objekter. De parametriske objekter indeholder data vedrørende geometrien og andre egenskaber, der beskriver, hvordan de opfører sig i forbindelse med analyser og arbejdsprocesser (Sacks, Eastman et al. 2018).

Der findes i dag forskellige værktøjer, til beregning af LCA af bygninger, såsom Athena Impact Estimator, Baubook eco2soft, Caala, eLCA, One Click LCA, Anavitor og BM. Udfordringen ved disse værktøjer er, at de er tilpasset deres specifikke regionale kontekst (Kanafani, Regitze Kjær Zimmermann et al. 2021), samt at der ofte mangler interoperabilitet mellem LCA-værktøjerne og BIM (Seyis 2020, Potrč Obrecht, Röck et al. 2020, Kai Xue, Md. Uzzal Hossain et al. 2021).

Det er fundet af Rasmussen, Malmqvist et al. (2020), at 10 pct. bruger BIM i relation til LCA, mens 64 pct., af respondenterne i studiet, planlægger at bruge BIM i relation LCA i fremtiden. Koblingen mellem BIM og LCA, er forskningsmæssigt, stadig i et tidligt stadie (Soust-Verdaguer, Llatas et al. 2017). Ved at øge interoperabiliteten mellem BIM og LCA, kan tidsforbruget og kompleksiteten mindskes ved LCA, da inputtet af manuelle data kan mindskes (Antón, Díaz 2014).

Rapporten har derfor til formål at undersøge det nuværende workflow med BIM-LCA og heraf udarbejde et løsningsforslag, der kan øge interoperabiliteten mellem BIM og LCA.

1.1. Motivation

Denne rapport er opstået på baggrund af en stor motivation, for at optimere processer. Fra personlig erfaring er det oplevet, at BIM-LCA er en kompleks og forvirrende proces for mange parter i byggebranchen. I den indledende undersøgelse blev det fundet, at LCA-processen, på nuværende tidspunkt, indeholder flere manuelle processer. På baggrund af dette kunne jeg se et uudnyttet potentiale.

2. Metode

Som beskrevet i indledningen, bliver FBK obligatorisk i Danmark fra år 2023. Det er dermed også et nutidigt problem for branchen, og dette har også været en medvirkende faktor, til en øget motivation.

1.2. Problemstilling og formulering

På baggrund af rapportens indledning er hypotesen, at der mangler interoperabilitet mellem BIM og LCA. Rapportens problemformulering med underspørgsmål er derfor:

Hvordan bør et fremtidigt BIM-LCA workflow være, i den danske byggebranche, for at understøtte den frivillige bæredygtighedsklasse?

- Hvad er den nuværende proces, for udarbejdelsen af en LCA, i den danske byggebranche?
- Hvad er mulighederne, for at skabe et link mellem BIM og LCA og hvordan kan det laves?
- Hvordan bør BIM-LCA automatiseres for at undgå manuelle processer, der indeholder risiko for fejlindtastning?

2. Metode

I dette afsnit beskrives rapportens metoder. Metodeafsnittet består af tre dele. For det første beskrives metoderne til litteratursøgningen. Dernæst beskrives contextual design (CD), som er brugt til at undersøge det nuværende workflow for LCA, samt udarbejde et løsningsforslag. Til slut beskrives en samlet opbygning af rapporten.

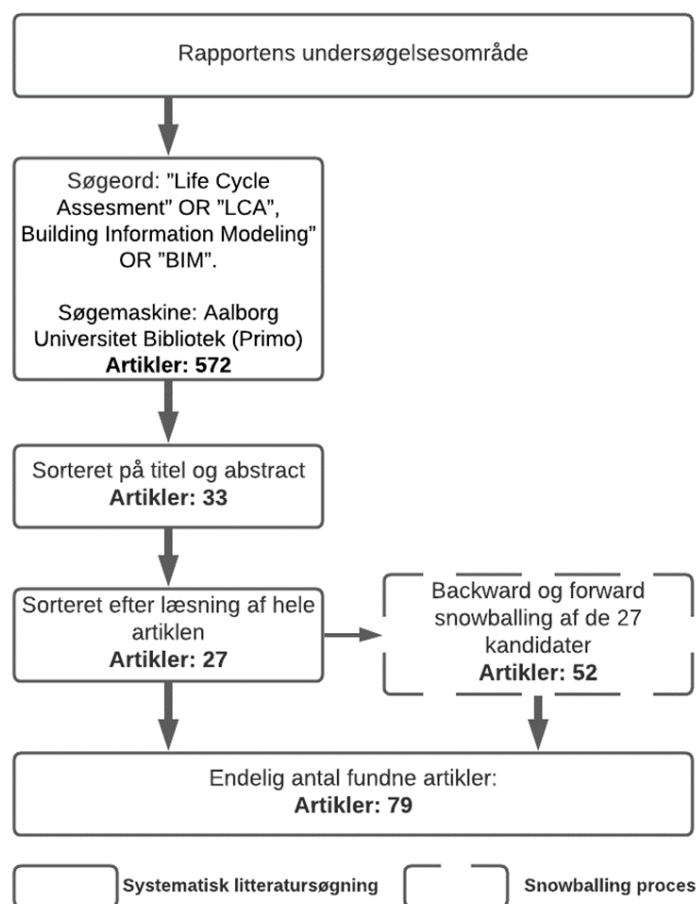
2.1. Litteratursøgning

Litteratursøgningen er lavet for at identificere den nyeste viden, vedrørende rapportens hovedspørgsmål. Til litteratursøgningen blev brugt Aalborg Universitet (AAU) biblioteks søgemaskine (Primo). Denne søgemaskine blev valgt, fordi den søger i litteratur fra relevante databaser, som fx Science Direct, Scopus, Web of Science og Springer (Aalborg Universitetsbibliotek 2021). De første søgeord blev identificeret fra problemstillingen og var "Life Cycle Assessment" OR "LCA", "Building Information Modeling" OR "BIM". Resultaterne var afgrænset til engelsk som sprog og ingen tidshorisont var fastsat. Derudover var fagfællebedømt tidsskrifter tilvalgt for at sikre, at der er lavet en faglig vurdering af publikationen, forud for optagelsen i tidsskriftet.

Litteratursøgningen har taget udgangspunkt i metoden snowballing beskrevet af Wohlin (2014). Dette blev valgt, for at have en systematisk tilgang til litteratursøgningen.

2. Metode

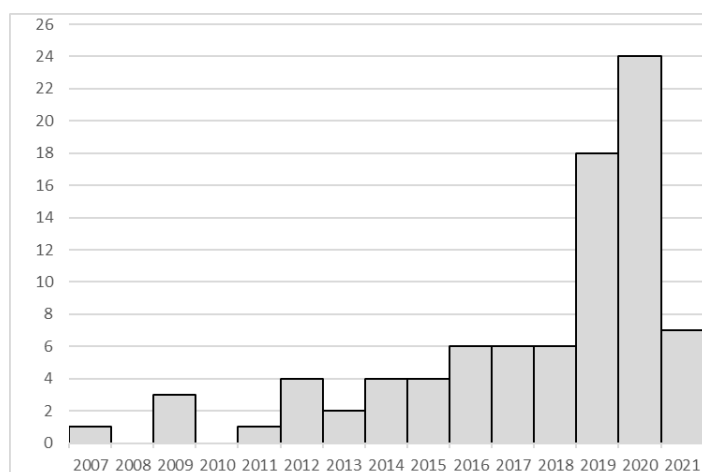
På baggrund af søgeordene i AAU-biblioteks søgemaskine, blev der identificeret 572 resultater. Titlerne som blev udvalgt, var ikke begrænset til en bestemt miljøpåvirkning eller fase. Dette blev valgt, da der er fokus på dataene og sammenhængen mellem BIM og LCA. Efter sortering på titel, blev der identificeret 39 artikler og disse blev efter læsning af abstract og hele rapporten skåret ned til 27 kandidater. Forward Snowballing blev lavet med Scopus eller GoogleScholar med funktionen "Citeret af". Backward Snowballing blev lavet ved at gennemgå referencerne i artiklerne. Efter snowballing på disse 27 kandidater og sortering efter førnævnte metode, blev der identificeret yderligere 52 artikler. Det blev fravalgt at lave flere søgninger, da der mellem kandidaterne var flere systematiske litteraturstudier, der tidligere har identificeret artikler omhandlende BIM-LCA. Det blev derfor vurderet, at disse sammen med resten af artiklerne, dækkede problemstillingen. De endelige 79 artikler blev dermed den primære litteratur, men dette suppleres igennem rapporten af standarder, rapporter fra organisationer og hjemmesider. I Figur 2.1 fremgår processen over litteratursøgningen.



Figur 2.1 - Overblik over processen af de identificerede artikler.

2. Metode

I Figur 2.2 fremgår, at de identificerede 79 artikler, distribuerer sig fra år 2007 til 2021, med en tydelig stigning i antal artikler fra 2018 til 2020. Dette er også støttet op af et tidligere litteraturstudie (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Jeg forstår dette som, at rapportens område er et nutidigt problem, med stigende interesse de seneste år. At der er et fald i 2021, skyldes sandsynligvis, at litteratursøgningen er lavet primo september 2021.



Figur 2.2 - Viser den årlige distribution af artikler identificeret i litteratursøgningen.

2.2. Contextual Design

Det blev valgt at bruge contextual design (CD), for at opnå en struktureret brugercen-
treret designproces. CD beskriver nogle metoder til at indsamle data omkring brugerne i
deres arbejdsmiljø, for derefter at fortolke og konsolidere dataene på en struktureret måde.
Informationerne kan herefter bruges til at udvikle og lave prototyper, produkter og ser-
vicekoncepter, samt gentagende teste og videreudvikle koncepterne med brugeren. CD
handler derfor om at forstå brugerne, sådan der kan findes frem til deres oprindelige hen-
sigt, ønsker og drivkraft (Holtzblatt, Beyer 2021).

Faser	Underfaser	Beskrivelse
Requirements & Solutions	Contextual Inquiry	Felt Interview
	Interpretations Session	Fortolkning af data, sådan der skabes en fælles forståelse for problemet.
	Work Models and Affinity Diagramming	Sammenligne de indsamlede data
	Visioning	Nye Idéer til workflows ifm. ny teknologi
Define & Vali- date concepts	Storyboarding	Find detaljerne og flowet i workflows
	User Environment Design	Design system til at understøtte det nye workflow
	Paper Mock-Up Interviews	Mock-up af interface
	Interactions & Visual Design	Test

Tabel 2.1 - Contextual Design processen. Egen tilvirkning efter Holtzblatt, Beyer (2021).

Det fremgår af Tabel 2.1, at CD er inddelt i to overordnede faser, ”Requirements & Solutions” og ”Define & Validate concepts”, og disse yderligere er inddelt i nogle underfaser. ”Requirements & Solutions” handler om at forstå, hvad der vigtigt for brugeren og beskrive hvordan de opfører sig. Denne fase afsluttes med visioning, hvor den nye designløsning skal findes. ”Define & Validate concepts” fasen analyserer detaljerne og arbejdsprocesserne, i forbindelse med den nye designløsning (Holtzblatt, Beyer 2021)

2.2.1. Contextual Inquiry

Der er i rapporten taget udgangspunkt i contextual interview, som er en dybdegående interviewmetode. Metoden bruges til, at få indblik i processen, i en normal arbejdsituation med et softwareprodukt eller service. Denne metode bygger på Holtzblatt, Beyer’s (2021) fire vejledende principper, som fremgår af Tabel 2.2.

Principper	Forklaring
Context/kontekst	Forskeren observerer brugen af produktet og taler med brugeren om, hvad der er sket i den observerede session. Der fokuseres på de involveredes arbejde i deres naturlige kontekst og det er her muligt at stille opfølgende spørgsmål, der kan fuldende manglende informationer i interviewet.
Partnership/partnerskab	I interviewet er der brug for, at brugeren og forskeren danner et samarbejde for at forstå, hvad brugeren gør og hvorfor. Interviewet vil her skifte fra at observere til at diskutere.
Mutual interpretation / Gensidig fortolkning	Intervieweren opsummerer konklusionen og fortolkninger og brugeren er velkommen til at rette denne til.
Focus/Fokus	Intervieweren skal igennem interviewet fokusere på de emner, der skal undersøges for, at der opnås nyttige data. Det er muligt at bede brugeren om at udføre bestemte opgaver, hvis de skal undersøges nærmere.

Tabel 2.2 - De fire principper i Contextual Inquiry. Egen tilvirkning efter Holtzblatt, Beyer (2017).

Selve interviewets struktur er baseret på tre faser, som ikke specifikt bliver defineret i interviewet, men som skal forløbe sig naturligt igennem interviewet (Holtzblatt, Beyer 2021). De tre interviewfaser og deres forklaring fremgår af Tabel 2.3.

Interviewfaser	Forklaring
Introduktion	Intervieweren introducerer sig selv, formålet med rapporten og andet relevant information. Intervieweren sørger for accept til optagelse og præsentere forløbet af interviewet.
The main body	Spørgsmål og observation af brugerne i deres arbejdsområde. Der diskuteres, tages notater og indledende work models kan udarbejdes.
The wrap up	Intervieweren opsummerer konklusionen og fortolkninger og brugeren er velkommen til at rette denne til.

Tabel 2.3 - Interviewfaser med forklaring

2.2.2. *Interpretations Session*

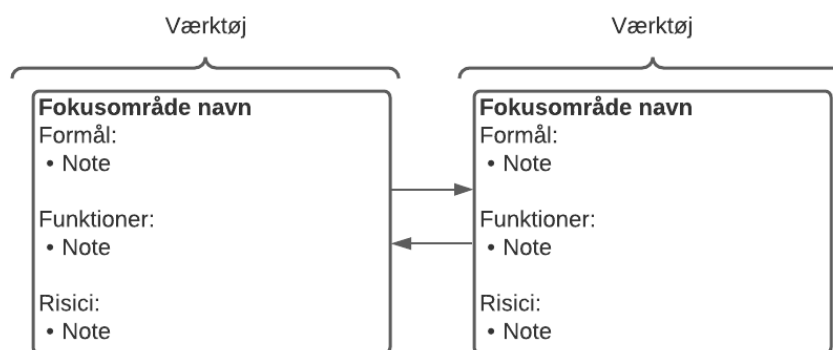
På baggrund af interviewene er der udarbejdet workmodels. Dette er valgt for at analysere og danne et overblik over arbejdsprocesserne. I CD findes flow-, kultur-, sekvens-, den fysiske-, og artefakt modellen (Holtzblatt, Beyer 2021). Der er i denne rapport tilvalgt flow- og sekvensmodel. Flowmodellen er tilvalgt, da den viser kommunikationen og koordineringen mellem menneskerne. Sekvensmodellen er tilvalgt, da den skaber et overblik over sekvenserne for brugerne, i den nuværende arbejdsgang.

2.2.3. *Visioning*

I visioning redesignes brugernes arbejdsgang. Dette er lavet med to nye sekvensmodeller. Først laves en sekvensmodel med fokus på softwaren, som brugeren skal bruge. Dernæst laves en sekvensmodel med fokus på de nye steps for brugerne. Der gøres yderligere brug af udarbejdelsen af et produktkoncept. Dette bruges til indsamling og dokumentation af nye funktioner i løsningsforslaget (Holtzblatt, Beyer 2017).

2.2.4. *User environment design*

User environment design (UED) er en samlet oversigt over det nye system. Meningen med UED er at finde og dokumentere strukturen i systemer på de enkelte værktøjer, eller på tværs af værktøjer. I denne rapport, er dette lavet som fokusområder med beskrivelse af formål, funktioner og risici. På Figur 2.3 fremgår opbygningen af et fokusområde. Pilene mellem fokusområderne viser, at brugeren kan tilgå et fokusområde fra et andet.



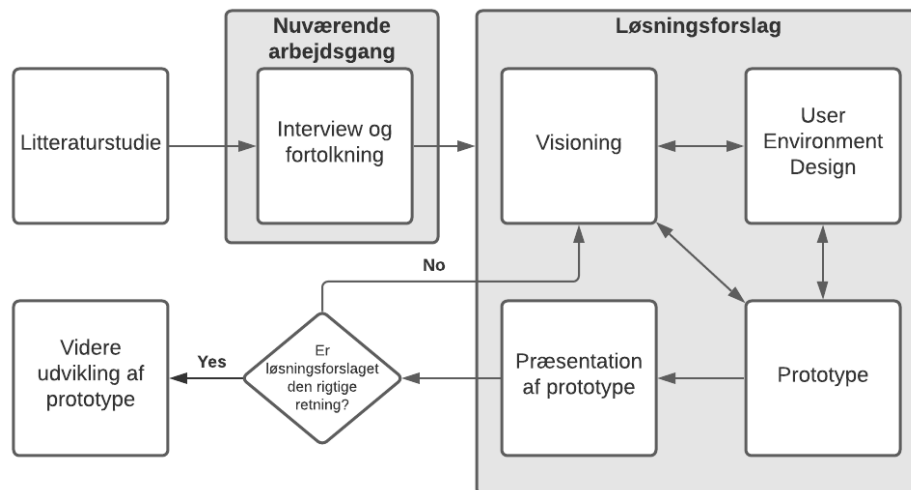
Figur 2.3 - Template for user environment design

2.3. *Rapportens fremgangsmetode*

Rapportens fremgangsmetode fremgår af Figur 2.4. Først blev der lavet litteraturstudie. Dernæst er der undersøgt den nuværende arbejdsgang for udarbejdelsen af en LCA. Slutteligt er der lavet et løsningsforslag, som blev præsenteret for brugerne med henblik på at indsamle feedback. Det blev i rapporten fundet nødvendigt at gå tilbage til visioning efter løsningsforslag #1 og udarbejde løsningsforslag #2.

3. Grundlæggende begreber

Da rapporter skrives lineært, er det valgt at beskrive en fase ad gangen. Dette kan lede til opfattelsen af, at alle faserne har været udført sekventielt. Dette er ikke tilfældet i rapporten, da CD ikke er en vandfaldsmetode (Holtzblatt, Beyer 2017). I udarbejdelsen af løsningsforslagene er visioning, UED og udvikling af prototype udført parallelt med hinanden. Dette er vist med pilene i Figur 2.4, hvor det har været muligt at springe mellem de tre faser.



Figur 2.4 - Fremgangsmetode til undersøgelse af rapportens problemstilling

3. Grundlæggende begreber

Formålet med dette afsnit er at give en forståelse af begreber, som hører under rapportens problemstilling. Det er derfor valgt at beskrive og forklare grundlæggende begreber som bæredygtighed, den frivillige bæredygtighedsklasse, life cycle assesment og build information modeling.

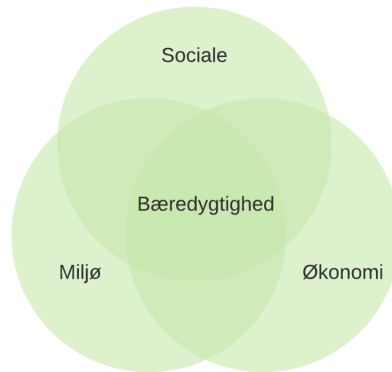
3.1. Bæredygtighed

Bæredygtighed blev første gang defineret i Brundtlandrapporten i 1987, og kan opdeles i tre kvaliteter (World Commission on Environment and Development 1987). I Figur 3.1 fremgår det, at bæredygtighed er en sammenkobling af de tre kvaliteter.

Den første er social kvalitet, som fokuserer på de menneskelige faktorer, som fx livskvalitet og helbred. Indenfor byggebranchen handler dette om at skabe liv, fællesskaber og tryghed i og omkring bygningerne (Videnscenter for energibesparelser i virksomheder 2021). Den anden er økonomisk kvalitet, som handler om at behandle økonomien som totaløkonomi. I byggebranchen handler dette om at inddrage både byggeudgifterne, samt udgifterne til den efterfølgende drift og vedligeholdelse. Det skal derfor vurderes om ekstra udgifter i byggefasen, kan give en besparelse senere (Videnscenter for

3. Grundlæggende begreber

energibesparelser i virksomheder 2021). Dette kan fx beregnes gennem en life cycle cost (LCC) analyse, som ligesom LCA tager højde for hele bygningens livscyklus. Den tredje kvalitet er den miljømæssige, som har fokus på, hvordan bygninger påvirker og belaster klimaet, og til dette kan der benyttes LCA.



Figur 3.1 - Bæredygtighed består af tre forskellige kvaliteter. Den sociale-, økonomiske- og miljømæssige kvalitet (Videnscenter for energibesparelser i virksomheder 2021).

3.2. Den frivillige bæredygtighedsklasse

Den frivillige bæredygtighedsklasse (FBK) består af i alt ni forskellige krav, som alle har en indflydelse på en af de tre kvaliteter - sociale, økonomiske og miljømæssige kvalitet (Trafik- 2020). De ni forskellige krav i FBK er:

1. Livscyklusvurdering (LCA)
2. Ressourceanvendelse på byggepladsen
3. Totaløkonomisk analyse
4. Drifts- og vedligeholdelsesplan for opretholdelse af indeklimaet
5. Dokumentation af problematiske stoffer
6. Afgasninger til indeklimaet
7. Detaljeret eftervisning af dagslysniveauet
8. Støj fra ventilationsanlæg i bygninger
9. Rumakustik i boliger

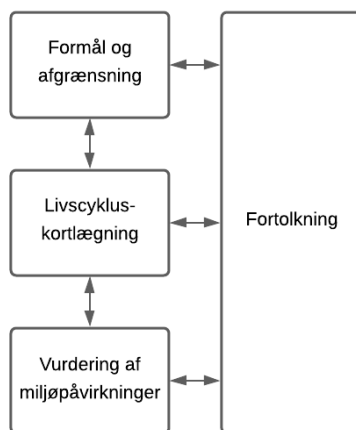
Kravene er i dag ikke obligatoriske, men det forventes de, at blive i år 2023 (Trafik- 2020). På nuværende tidspunkt er det sådan, at hvis FBK tilvælges, skal byggeprojektet leve op til alle ni krav. Denne rapport fokuserer på kravet om udarbejdelsen af en LCA, som falder under den miljømæssige kvalitet. FBK stiller ikke krav til et maksimalt udslip af en miljøpåvirkning - fx CO₂. Kravet er blot, at der skal laves en LCA ad to omgange - ved ansøgning om byggetilladelse og ved færdigmelding (Videnscenter for

energibesparelser i virksomheder 2021). Derudover stiller FBK krav om, at beregningen og dokumentationen skal udføres i LCAByg 5, eller med tilsvarende beregningsmetode og beregningsforudsætninger (Trafik- 2020). LCAByg 5 er et program udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet med økonomisk støtte fra Trafik- og Byggestyrelsen. LCAByg 5 kan anvendes til LCA-beregning af nybyggeri, tilbygninger og renoveringsprojekter. Nærmere beskrivelse af LCAByg 5 fremgår af afsnit 6.1.3.

3.3. Life Cycle Assessment

LCA er en metode til bedre at kunne forstå og imødekomme påvirkningerne, som produkter kan have på miljøet (DS/EN ISO 14040 2008). Standarderne for anvendelsen af LCA er beskrevet i DS/EN ISO 14040 (2008) og ISO 14044 (2008). DS/EN ISO 14040 (2008) beskriver de principper og den opbygning, der skal anvendes for at udføre en LCA, hvorimod ISO 14044 (2008) indeholder kravene til udførelsen af en LCA.

I standarderne beskrives det, at LCA består af fire trin: formål og afgrænsning, livscykluskortlægning (Life cycle inventory analysis, LCI), vurdering af miljøpåvirkninger (Life cycle impact assesment, LCIA) og fortolkning. I Figur 3.2 fremgår det, at der er en forbindelse mellem disse fire trin. Der gøres i DS/EN ISO 14040 (2008) opmærksom på, at LCA er en iterativ metode, hvor resultaterne fra de forrige trin, derfor skal bruges i de efterfølgende trin (DS/EN ISO 14044 2008).



Figur 3.2 - Viser den iterative LCA-proces. Baseret på DS/EN ISO 14040 (2008)

I det første trin, formål og afgrænsning, defineres tre elementer, som er funktionel enhed, systemgrænse og krav til datakvalitet. Den funktionelle enhed skal bestemmes, for at kunne sammenligne forskellige løsninger. Safari, AzariJafari (2021) undersøgte i et litteraturstudie, hvilke funktionelle enheder, som bruges i litteraturen. Det viste sig, at der på tværs af studierne, blev brugt forskellige funktionelle enheder, og det er derfor svært

3. Grundlæggende begreber

at sammenligne resultaterne, fra et studie til et andet. Af funktionelle enheder, som er brugt i litteraturen, er de mest brugte 1) miljøpåvirkning for hele bygningen, 2) miljøpåvirkning per person, som skal bruge bygningen, 3) miljøpåvirkning per m² etageareal og 4) miljøpåvirkning per m² opvarmet etageareal (Safari, AzariJafari 2021).

Det andet trin er livscykluskortlægningen (LCI). Dette indebærer dataindsamlingen og beregningerne, med henblik på at kvantificere relevante input og output i et produkt-system (DS/EN ISO 14040 2008). Dette kunne eksempelvis være kg. metan påvirkning til luften.

I det tredje trin (LCIA) beregnes miljøpåvirkninger og de brugte ressourcer baseret på livscykluskortlægningen (LCI) (DS/EN ISO 14040 2008). Fx er ”kg metan påvirkning til luften” et af mange komponenter til miljøpåvirkningen global warming potential (GWP).

Det fjerde og sidste trin er fortolkningen, som skal give mulighed for at forstå resultaterne, drage konklusioner, forklare begrænsningerne i resultaterne og samtidig give anbefalinger til beslutningstagerne. (Dalla Mora, Bolzonello et al. 2020).

DS/EN ISO 14040 (2008) og DS/EN ISO 14044 (2008) beskriver derfor de overordnede rammer og krav for en LCA. Udover DS/EN ISO 14040 (2008) og DS/EN ISO 14044 (2008) findes også DS/EN ISO 15978 (2012). Denne er en standard, som er lavet til byggeri- og anlægsbranchen, men bruger rammerne og kravene fra de to øvrige standarder.

3.3.1. Life Cycle Assessment i byggeri og anlægsbranchen

DS/EN ISO 15978 (2012) omhandler en beregningsmetode baseret på LCA til byggeri- og anlægsbranchen. LCA kan beregnes på forskellige tidspunkter i byggeriets faser, og det kan enten være på de enkelte produkter, eller på hele bygningen. I DS/EN ISO 15978 (2012) beskrives en metodisk guide til beregning af bygningers miljøpåvirkning. Standarden beskriver en række livscyklusmoduler, som en bygning følger. Dette er:

- Produktionsfasen
- Konstruktionsfasen
- Drift og vedligeholdelsesfasen
- Endt levetid.

Som supplement til disse faser, kan genbrug og genanvendelsespotentiallet, også vurderes. I Tabel 3.1 er oplistet de forskellige livscyklusmoduler, med dertilhørende

3. Grundlæggende begreber

underfaser. I FBK er det valgt, at A1-A5, B4, B6, C3 og C4 skal indgå i vurderingen af en LCA - disse er markeret med fed i tabellen (Trafik- 2020).

Produktionsfasen			Konstruktionsfasen		Drift og vedligeholdelsesfasen							Endt levetid				Fordele og belastninger
Råmateriale leve	Transport	Produktion	Transport	Konstruktion, installation process	Brugs	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Renovering	Operationelt energiforbrug	Operational vandforbrug	Nedrivning	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Potentiale for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Tabel 3.1 - Systemafgrænsningen med faser over livscyklus med tilhørende moduler. Moduler markeret med fed skal vurderes i den frivillige bæredygtighedsklasse. Tabellen er egen tilvirkning baseret på Kanafani, Regitze Kjær Zimmermann et al. (2021)

Produktionsfasen (A1-A3) beskriver, hvordan et råmateriale transformeres til byggeproduktet. Der skal i denne fase analyseres på påvirkningerne fra råmaterialerne, transport af disse og produktionen af dem. Derfor handler produktionsfasen om at gennemgå påvirkningerne, inden det leveres på byggepladsen - også kaldet cradle to gate (DS/EN 15978 2012). Reglerne for, hvordan påvirkningerne i denne fase skal beregnes, er defineret i DS/EN 15804 (2019). Der kan læses mere om DS/EN 15804 (2019) i afsnit 3.3.2.

Konstruktionsfasen (A4-A5) beskriver påvirkningerne fra transport til og fra byggepladsen, samt selve opførelsen/monteringen af byggeprodukterne. I underfasen A5 skal derudover måles energiforbrug i byggeperioden, transport i byggeperioden, byggeaffald og byggematerialer på byggepladsen samt spild på materialer. Brændstofforbrug, til fx maskiner og køretøjer på byggepladsen, skal også registreres (DS/EN 15978 2012).

Drift og vedligeholdelsesfasen (B1-B7) indeholder alle aktiviteter, som relaterer sig til brug, vedligeholdelse, reparation, udskiftning og renovering. Udskiftning af byggevarer sker, når der er materialer med kortere levetid end betragtningsperioden. Et eksempel på dette kunne være, at beklædningen på en ydervæg skal udskiftes efter 20 år, mens betragtningsperioden er 50 år. Derudover kigges der også på energi- og vandforbruget til driften af bygningen (DS/EN 15804 2019).

Endt levetid (C1-C4) handler om processerne ved slutningen af bygningens betragtningsperiode. Dette omfatter affaldsbehandling, forberedelse til genbrug og eventuel bortskaffelse (DS/EN 15978 2012).

3. Grundlæggende begreber

Fordele og belastninger (D) er en tillægsfase i bygningens livscyklus, og handler om at beskrive fordelene og belastningerne af byggeaffald, nedrivning af bygningen og heraf mulighederne for genbrug eller genanvendelse (DS/EN 15978 2012).

3.3.2. Environmental product declaration

Environmental product declaration (EPD) kaldes for en miljøvaredeklaration på dansk (Videnscenter for energibesparelser i virksomheder 2021). En EPD dokumenterer en byggevarers miljømæssige egenskaber i de forskellige faser, og udvikles efter DS/EN 15804 (2019). Data i en EPD er altid LCIA data som allerede er karakteriseret - fx GWP (Shaun 2021). DS/EN 15804 (2019) beskriver fem forskellige typer af EPD'er, som fremgår af Tabel 3.2. I tabellen vises det, at de forskellige typer EPD'er indeholder forskellige faser. Nogle af faserne er obligatoriske i EPD'erne, imens andre kan tilvælges, eller ikke er inkluderet i EPD'en (DS/EN 15804 2019).

EPD-type	Produktionsfasen			Konstruktionsfasen		Drift og vedligeholdelsesfasen							Endt levetid				Fordele og belastninger
	Råmateriale leve	Transport	Produktion	Transport	Konstruktion, installation proces	Brugs	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Renovering	Operationelt energiforbrug	Operational vandforbrug	Nedrivning	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Potentiale for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
1	✓	✓	✓										✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	T	T	T	T	T	T	T	T	T	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓														
5	✓	✓	✓	T	T												

Tabel 3.2 - Viser de moduler der er obligatoriske, tilvalg eller ikke indeholdt i de forskellige EPD'er. ✓ = Obligatorisk. T = Tilvalg, Tomme = er ikke inkluderet i EPD'en. Tabellen er egen tilvirkning baseret på DS/EN 15804 (2019).

EPD'er kan hentes fra forskellige databaser, og downloades oftest i PDF-format (Durão, Vera, Costa et al. 2020). Organisationen ISO kigger på nuværende tidspunkt på andre formater, og har derfor udarbejdet et forslag, der skal standardisere dataskabeloner til brugen af EPD'er til byggevare i BIM (ISO/DIS 22057 2021). Denne standard omhandler muligheden for at præsentere dataene, på en harmoniseret måde, sådan at EPD'er kan læses af BIM-værktøjer (Durão, Vera, Costa et al. 2020).

3. Grundlæggende begreber

I LCAByg 5 er det muligt at indlæse EPD'er, hentet fra EPD Danmark (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). Dette er dog en LCAByg fil, og derfor virker EPD'en kun til dette program. EPD Danmark indeholder i dag 145 forskellige EPD'er (EPD Danmark 2021).

3.3.3. LCA Databaser

EPD'er kan hentes fra forskellige LCA-databaser. En LCA-database er et generisk navn for en database, som indeholder data til at lave en LCA. Dataene i en LCA-database kan indeholde LCI-data og/eller LCIA-data (Shaun 2021). For forklaring af LCI og LCIA henvises til afsnit 3.3. I nærværende studie er der fokus på LCA-databaser, som indeholder generiske LCIA-data om bygningsmaterialer. Af Tabel 3.3 fremgår nogle forskellige generiske LCA-databaser (Wittstock, Gantner et al. 2012).

Navn	Land
The Athena Institute database	Canada
Bauteil Katalog	Schweiz
DIOGEN	Frankrig
ESUCO	Europa
KBOB	Schweiz
IBO LCA database	Østrig
Ökobaumat	Tyskland
ITec	Spanien
WorldSteel	Global
Base carbone ADME	Frankrig
Leitfaden database	Luxembourg
Minnesota Building Materials Database	USA

Tabel 3.3 - Generiske LCA databaser for byggebranchen (Wittstock, Gantner et al. 2012).

Databaserne er i nogle tilfælde begrænset til deres geografiske placering og nationalsprog (Durão, V., Costa et al.). Dette anses dog ikke som et problem, da det anbefales at bruge LCA-data, der passer til den nationale sammenhæng (Wittstock, Gantner et al. 2012).

Galiano-Garrigós, García-Figueroa et al. (2019) har i et studie fundet, at forskellige LCA-databaser giver forskellige resultater, selvom beregningsmetoden er den samme. Hvis resultaterne skal kunne sammenlignes, er det derfor nødvendigt, at LCA-databasen er den samme. Det er dog fundet, at studier fra samme land ofte har brugt forskellige databaser (Crippa, Araujo et al. 2020). Dette betyder, at studier fra samme land, i nogle tilfælde, ikke kan sammenlignes. Dette forstås som, at der mangler regionale standarder for beregningsforudsætninger. Der er i LCAByg 5 valgt at bruge LCA-databasen Ökobaumat (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). For at kunne sammenligne

3. Grundlæggende begreber

resultaterne i Danmark, er det derfor nødvendigt, at fremtidige værktøjer også gør brug af denne database.

3.3.4. Påvirkningskategorier i LCA

I DS/EN 15978 (2012) er defineret 22 forskellige indikatorer, som kan inkluderes i en LCA, og disse er fordelt i påvirkningskategorierne miljøpåvirkninger, ressourceforbrug og ekstra miljøpåvirkninger. I LCAByg 5 er nogle af disse indikatorer fravalgt, for at gøre resultaterne mere overskuelige (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). De indikatorer, som er tilvalgt i LCAByg 5, fremgår af Tabel 3.4 med dertilhørende enhed og forklaring. Indikatorerne er LCIA-data og kan typisk findes i EPD'er.

Indikator	Enhed	Problem
Global Opvarmning (GWP)	CO ₂ -ækvivalenter	Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimaændringer til følge.
Ozonlagsnedbrydning (ODP)	Ethen-ækvivalenter	Nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag, som beskytter flora og fauna mod solens skadelige UV-A og UV-B-stråler
Fotokemisk ozondannelse (POCP)	R11-ækvivalenter	Bidrager i forbindelse med UV-stråler til at danne jordnær ozon (sommersmog), som bl.a. er skadelig for luftvejene.
Forsuring (AP)	SO ₂ -ækvivalenter	Reagere med vand og falder som en "sur regn", der bl.a. medvirker til at nedbryde rodsystemer og udvaske planternes næringsstoffer.
Næringssaltbelastning (EP)	PO ₄ -ækvivalenter	For høje tilførsler af næringsstoffer fremmer uønsket plantevækst i sarte økosystemer, f.eks. algevækst med fiskedød til følge.
Udtømning af abiotiske ressourcer - grundstoffer (ADPe)	Sb-ækvivalenter	Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller og mineraler.
Udtømning af abiotiske ressourcer - fossile brændsler (ADPf)	MJ	Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelige energi i form af fossile brændsler.
Primærenergiforbrug (PEtot)	MJ eller kWh	Et højt forbrug af ressourcer i primærenergiform fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til udtømning af naturlige ressourcer.
Forbrug af sekundære brændsler (Sek)	MJ eller kWh	Sekundære brændsler (fx affald) er i princippet en begrænset ressource, og derfor kan et højt forbrug af sekundære brændsler indirekte føre til ressourceknaphed.

Tabel 3.4 - Indikatorer for miljøpåvirkning og ressourceforbrug iht. EN 15978, som LCAByg 5 understøtter. Egen tilvirkning baseret på Brisson Jørgensen, Kanafani et al. (2020)

3.3.5. *Opsummering af LCA*

Der er i rapporten nu gennemgået de begreber, som knytter sig til LCA. Først blev det forklaret, at bæredygtighed består af tre kvaliteter - den sociale, økonomiske og miljømæssige kvalitet. Derudover blev den frivillige bæredygtighedsklasse og dens ni krav gennemgået. Der fokuseres i nærværende rapport på, om kravet til LCA. Dernæst beskrives LCA, DS/EN ISO 14040 (2008) og DS/EN ISO 14044 (2008). I disse standarder beskrives det, at LCA består af fire trin - formål og afgrænsning, livscykluskortlægning, vurdering af miljøpåvirkninger og fortolkning.

Dette førte videre til DS/EN ISO 15978 (2012), som omhandler en beregningsmetode af LCA til byggeri og anlægsbranchen. I denne standard beskrives det, at LCA kan regnes på forskellige tidspunkter i byggeriets faser - produktionsfasen, konstruktionsfasen, drift og vedligeholdelsesfasen, endt levetid samt fordele og belastninger. Derudover blev DS/EN 15804 (2019) præsenteret, som beskriver fem forskellige EPD'er. EPD'erne kan findes i forskellige databaser, og der er i LCAByg 5 valgt at gøre brug af Ökobaudat. I næste afsnit forklares de begreber, som relaterer sig til BIM indenfor rapportens problemstilling.

3.4. **Building Information Modeling**

Ifølge Sacks, Eastman et al. (2018) er building information modeling (BIM) en modelleringsteknologi og nogle tilhørende sæt af processer til at producere, kommunikere og analysere bygningsmodeller. Building information model er derimod selve modellen, som er en digital repræsentation af en bygning (Borrmann, König et al. 2018). Modellerne modelleres i et dedikeret værktøj og indeholder parametriske objekter. De parametriske objekter indeholder data vedrørende geometrien og andre egenskaber, der beskriver, hvordan de opfører sig i forbindelse med analyser og arbejdsprocesser (Sacks, Eastman et al. 2018).

3.4.1. *Level of Development*

Bygningsdesign er en proces med kontinuerlig udvikling, udarbejdelse og forfining. Indenfor den digitale projektering manglede der tidligere en analogi til at forklare den geometriske korrekthed, og grad af udarbejdelse af modellerne (Borrmann, König et al. 2018). På baggrund af dette opstod termen Level of Detail, men denne blev forkastet, da det henviste for meget til geometrien af bygningsdelene (Borrmann, König et al. 2018). I stedet opstod Level of Development (LOD), og dette er i dag en udbredt betegnelse til at

3. Grundlæggende begreber

forklare den geometriske korrekthed og grad af udarbejdelse i BIM-modellen (BIMForum 2020, Dikon 2021).

Ifølge DiKon (2021) (Digital Konvergens) beskriver Level of Development, hvilke informationer på hvilke bygningsdele, der skal være til stede i en bygningsmodel på forskellige tidspunkter under projekterings- og udførelsesprocessen. LOD henviser derfor ikke til selve bygningsmodellen, men henviser til objekterne indeholdt i bygningsmodellen. Der findes forskellige LOD niveauer. BIMForum (2020) har beskrevet LOD 100, 200, 300, 350, 400 og 500. DiKon (2021) har derimod beskrevet LOD 200, 300, 325 og 400. Da DiKon (2021) beskriver de danske standarder, er det valgt at bruge deres definitioner i rapporten. I Tabel 3.5 er DiKon's (2021) definitioner for de forskellige LOD niveauer oplistet.

LOD niveau	Definition
LOD 200 DK	Definerer bygningsdele modelleret med generiske objekter med tilhørende egenskabsdata. Alle informationer er defineret på et forventet niveau.
LOD 300 DK	Definerer bygningsdele modelleret som specifikke typer af objekter med tilhørende egenskabsdata. Alle informationer er defineret på et fastlagt niveau.
LOD 325 DK	Definerer bygningsdele modelleret som detaljerede specifikke typer af objekter med tilhørende specificerende egenskabsdata. Alle informationer er defineret på et endeligt niveau.
LOD 400 DK	Definerer bygningsdele modelleret ud fra produktspecifikke typer af objekter med tilhørende produktspecifikke egenskabsdata. Alle informationer er defineret på et endelig detaljeret niveau.

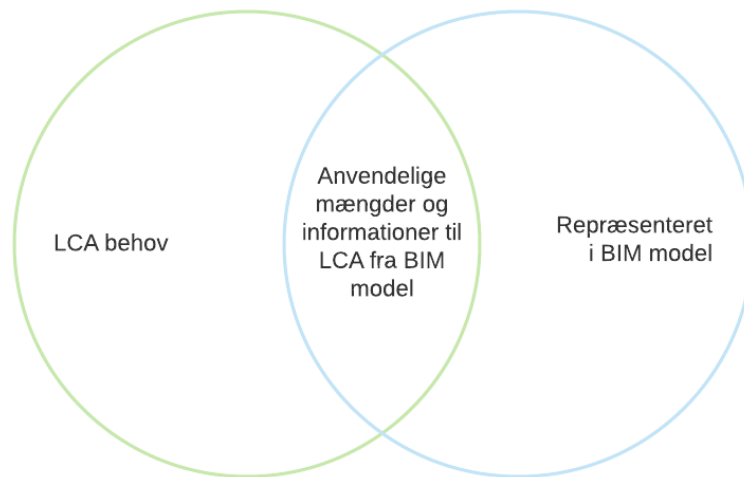
Tabel 3.5 - LOD niveau med definitioner af DiKon (2021). Der bruges DK (Danmark) bagved LOD niveauet for ikke at forveksle LOD niveauet med andre organisationers.

Da LOD fortæller noget om informationerne på de forskellige bygningsdele, har dette betydning for, i hvilken grad, at det er muligt at forbinde BIM og LCA. Soust-Verdaguer, Llatas et al. (2017) fandt frem til, at integrationen af BIM-LCA anses som mest passende i modeller, der har fået defineret de mest relevante materialer og komponenter; heriblandt vægtykkelse (inklusive lagopdeling) og definitionen af bærende elementer i deres rigtige beregnede størrelse, form og lokation. Fra dette konkluderede Soust-Verdaguer, Llatas et al. (2017), at LOD 300 er det mest passende niveau i designfasen til udarbejdelsen af LCA med BIM-modellen. Af denne grund, tages der i nærværende rapport udgangspunkt i LOD 300 DK. I praksis vil der dog opleves, at forskellige bygningsdele, har forskellige LOD, på forskellige tidspunkter, og dette kan derfor påvirke nøjagtigheden af LCA'en (Safari, AzariJafari 2021).

3.4.2. LCA-informationer ifølge DiKon's Level of Development

DiKon er på nuværende tidspunkt i gang med at udarbejde en vejledning omhandlende, hvilke informationer, der er nødvendige i en BIM-model, for at kunne understøtte LCA-processen. I Figur 3.3 er det illustreret, at DiKon gør opmærksom på, at det reelle informationsbehov til at kunne gennemføre en LCA, ikke er repræsenteret i BIM-modellerne. Vejledningen tilsigter at præcisere den nødvendige information, som der skal være til stede i en model, på et givent tidspunkt, for at kunne udføre LCA i løbet af projekterings- og udførelsesfasen.

Det har været muligt at modtage den foreløbige LCA-vejledning og supplement fra DiKon. Efter aftale med DiKon er det valgt ikke at vedlægge denne som bilag, da den stadig er under udarbejdelse.



Figur 3.3 - LCA-behovet er væsentligt større end BIM-modellen og derudover er det ikke alle informationer i BIM-modellen som kan bruges til LCA

Som beskrevet tidligere er LCA en iterativ proces, og bør derfor udføres løbende, med en øget detaljeringsgrad. I Tabel 3.6 er det beskrevet, at DiKon har inddelt LCA i tre typer - tidlig LCA, indledende LCA og endelig LCA. Den indledende LCA stemmer overens med FBK's krav om aflevering af LCA-dokumentation ved byggetilladelse. Den endelige LCA stemmer overens med FBK's krav om aflevering af LCA-dokumentation ved ibrugtagningstilladelse. Det fremgår i Tabel 3.6, at den indledende LCA er med LOD 300 - som nævnt tidligere er dette nærværende rapports omfang. I Tabel 3.7 er det beskrevet, at LOD 300 betyder, at modellen skal indeholde informationer om lagopdelingen af bygningsobjekterne og det dertilhørende areal. LOI i tabellen henviser til Level Of

3. Grundlæggende begreber

Information, og beskriver de tilhørende egenskabsdata koblet til bygningsdelene (DiKon 2021).

LOD-Niveau	200	300	325 og 400
LCA-type	Tidlig LCA	Indledende LCA	Endelig LCA
Formål og beskrivelse	Tidlig vurdering af bygnings miljøpåvirkning. LCA anvendes til tidlig vurdering af, om den bærende konstruktion og overordnede bygningsgeometri vil kunne overholde krav til bæredygtighedsklassen og/eller bæredygtighedscertificering. Den tidlige LCA viser, hvor der er de store optimeringspotentialer.	LCA som indsendes ifm. byggetilladelse og/eller præcertificering. LCA som skal svare til vidensniveauet på det pågældende indsendelsestidspunkt.	LCA som indsendes ifm. ibrugtagningstilladelse og/eller endelig certificering. LCA som skal svare til den færdige bygning.

Tabel 3.6 - Tabellen viser DiKon's bud på sammenhæng mellem LCA-type og LOD niveauer (DiKon LCA-vejledning).

	LOI 200	LOI 300	LOI 325	LOI 400
Bæredygtighed, enkelt-ydelser (Livscyklus-vurderinger, LCA)	Areal: M_AD_11_A1 Bredde: M_AD_11_L3	Areal: M_AD_11_A1 Bredde: M_AD_11_L3 Materiale: AD (lag-opdelt)	Areal: M_AD_11_A1 Bredde: M_AD_11_L3 Materiale: AD (lag-opdelt)	Areal: M_AD_11_A1 Bredde: M_AD_11_L3 Materiale: AD (lag-opdelt), NCB
Eksempel på skillevæg	Areal: 100 m2 Bredde: 150 mm Materiale: Gipsvæg.	Areal: 100 m2 Materiale: Gips 25 mm Træ/Isolering 100 mm Gips 25 mm	Areal: 100 m2 Materiale: Flise 8 mm Vådrumsgips 25 mm Fyrretræ/Mineral-uld kl. 37 100 mm Fibergips 25 mm	Areal: 100 m2 Længde: 29 m Materiale: Casa Dolce kera-misk flise 8 mm Knauf Vådrums-gips 25 mm Fyrretræ/Isover formstykker 100 mm Fermacell fibergips 25 mm

Tabel 3.7 - DiKon's Level of Information ifm. en skillevæg (DiKon LCA-vejledning)

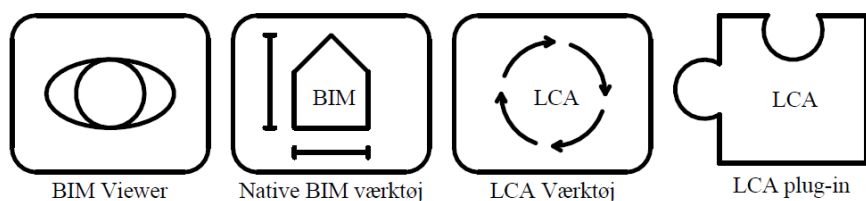
4. State of the art

Der er i afsnit 3 gennemgået grundlæggende begreber, som relaterer sig til LCA og BIM. I dette afsnit tager vi nu fat på den nyeste litteratur vedrørende BIM-LCA integrationen. Formålet med dette er at præsentere den nyeste viden.

4.1. Integrationstilgange mellem BIM og LCA

Flere studier har klassificeret BIM og LCA integrationen (Antón, Díaz 2014, Nizam, Zhang et al. 2018, Wastiels, Decuypere 2019, Safari, AzariJafari 2021). I et studie af Safari, AzariJafari (2021) blev litteraturen sorteret i tre kategorier, baseret på antallet af manuelle inputs i BIM-LCA processen. Den første kaldes den konventionelle. Processen for denne er, at dataene hentes automatisk fra BIM-modellen til et Excel ark. Excel arket bruges herfra som input i et kommercielt LCA-værktøj, eller LCA'en beregnes direkte i Excel. Den anden kaldes statisk tilgang. I denne tilgang eksporteres BIM-modellen til IFC. IFC-datamodellen bruges herefter som input i et LCA-værktøj. IFC står for Industry Foundation Classes og er et neutralt og åbent filformat. Det som kendetegner en statisk tilgang er, at der ikke er noget bidirectional link mellem LCA-værktøjet og BIM native værktøjet. Det kræver derfor en ny eksport til IFC for at opdatere LCA-beregningen. Den sidste kaldes for den dynamiske tilgang. I denne tilgang laves der et automatisk og bidirectional forbindelse mellem native BIM miljøet og LCA-databasen (Safari, AzariJafari 2021).

En anden klassificering er Wastiels, Decuypere (2019) fem strategier. Denne anses som den mest omfattende klassificering af BIM-LCA integrationstilgange, og flere studier har taget udgangspunkt i disse strategier (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020, Zimmermann, Bruhn et al. 2021). Der gøres opmærksom på, at der i praksis findes flere strategier end disse fem. De fem strategier er sammensat af fire forskellige værktøjer, der kan indgå i en BIM-LCA proces. Som det fremgår af Figur 4.1 er disse fire værktøjer, BIM-viewer, BIM native værktøj, LCA-værktøj og LCA-plugin.

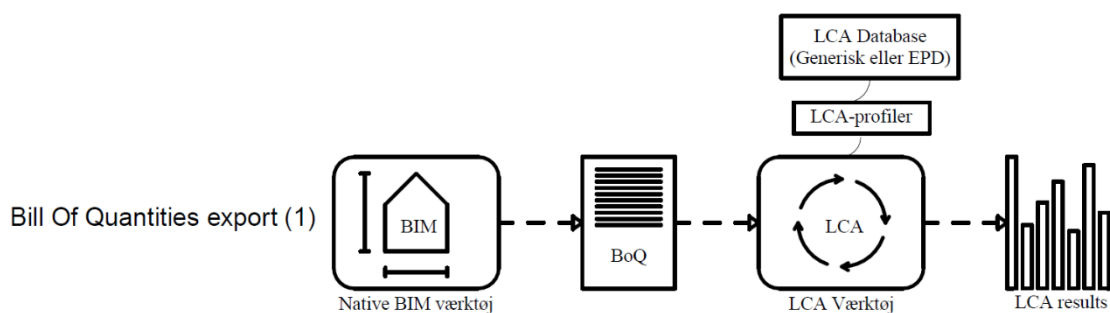


Figur 4.1 - Wastiels, Decuypere (2019) fire værktøjer i en BIM-LCA proces. Disse værktøjer kan sammensættes forskelligt alt efter fremgangsmetoden.

Udover de fire værktøjer, er det nødvendigt at definere generisk LCA-database, specifik LCA-database og LCA-profil. Generisk LCA-database indeholder LCA-data, som ikke er for en specifik producent. Specifik LCA-database indeholder LCA-data for specifikke producenter. LCA-profil er et sæt LCA-data, fra et bestemt materiale eller kombination af flere materialer. Denne kan bestå af både generiske og specifikke LCA-data (Wastiels, Decuypere 2019).

4.1.1. Strategi nummer et - Bill of Quantities

Det fremgår af Figur 4.2, at den første strategi er et workflow, hvor mængderne eksporteres til Bill of Quantities (BoQ). BoQ kan eksporteres direkte fra native BIM-værktøjet, fx Revit eller Archicad, og derefter importeres i LCA-værktøjet. I LCA-værktøjet kan brugeren mappe de importerede mængder, sammen med en LCA-database. En ulempe ved dette workflow er; afhængigt af det LCA-værktøj som bruges, vil importen af den opdaterede BoQ, måske overskrive de tidligere oprettede links og dermed bibeholdes de ikke - processen starter dermed forfra (Wastiels, Decuypere 2019).



Figur 4.2 - BIM-LCA strategi nummer et beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).

Dette er den mest brugte strategi i litteraturen (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Processen i strategien kan være manuel, semiautomatisk eller automatisk, og den mest almindelige i litteraturen er manuel. Dette betyder, at BoQ informationerne indtastes manuelt i LCA-værktøjet (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Dette resulterer dog i, at processen er tidskrævende, og der er risiko for fejl ved indtastningen. Derfor er der også studier, som har prøvet at automatisere processen (Kumanayake, Luo 2017, Nizam, Zhang et al. 2018, Bueno, Pereira et al. 2018, Cavalliere, Dell'Osso et al. 2018, Jalaei, Jrade 2014).

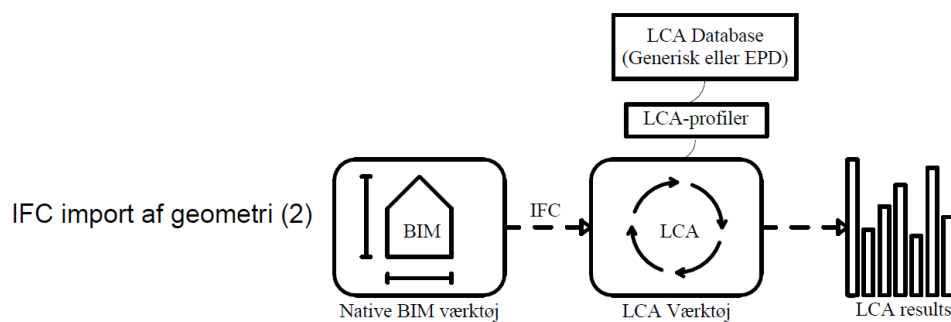
Kumanayake, Luo (2017) lavede en automatisk deling fra BIM til Excel, ved at kombinere Visual Studio C# objekt orienteret programmeringssprog med .NET framework integreret med Structured Query Language (SQL), der indeholdt informationer fra LCA-databasen BATH inventory. Mapping mellem LCA-databasen og BoQ forgår dog

manuelt. Der ikke fundet et studie, som har mapped BoQ med LCA-profilerne automatisk, uden først at lave manuelle ændringer af navngivningen i BIM-modellen og/eller LCA-databasen.

4.1.2. Strategi nummer to - IFC-import

Den anden strategi fremgår af Figur 4.3 og indebærer, at geometrien fra BIM-modellen importeres til LCA-værktøjet. Oftest bruges IFC som datamodel, men der kunne også bruges proprietære formater - fx .rvt (Revit) eller .pla (Archicad) - alt efter LCA-værktøjets funktioner (Wastiels, Decuypere 2019).

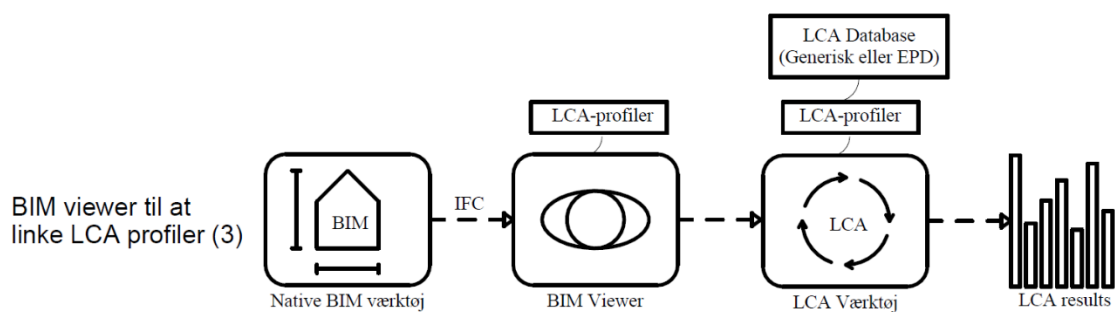
Fordelen ved denne strategi er, at hvis Globally Unique Identifier (GUID) eksporteres med bygningsdelene, er der mulighed for at linke disse sammen med LCA-profilerne fra en database (Wastiels, Decuypere 2019). Dette giver mulighed for, at man kan importere en ændret version af IFC-datamodellen, uden at miste linket til LCA-profil databasen. En GUID er en identifikator, som er unik og består af 16-byte hexadecimal (Sacks, Eastman et al. 2018).



Figur 4.3 - BIM-LCA strategi nummer to beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).

4.1.3. Strategi nummer tre - BIM viewer

Den tredje strategi fremgår af Figur 4.4. Denne kræver, at BIM-modellen eksporteres til IFC for derefter, at importeres i en BIM viewer. Hvis BIM-vieweren understøtter den korrekte funktionalitet, vil der kunne linkes mellem bygningsobjekterne og LCA-profilerne. Derefter vil modellen, med mængderne og de dertilhørende LCA-informationer, kunne sendes til et LCA-værktøj, hvor det er muligt at lave den endelige beregning. Fordelene ved denne metode er, at mapping mellem bygningsobjekterne og LCA-profilerne kan ske i et 3D miljø, og dette kan være med til at skabe et overblik. Derudover er der også mulighed for at skabe et link, mellem BIM-vieweren og LCA-værktøjet. Dette gør, at det er muligt at opdatere IFC-datamodellen i BIM-vieweren og ændringerne også slår igennem i LCA-værktøjet (Wastiels, Decuypere 2019).



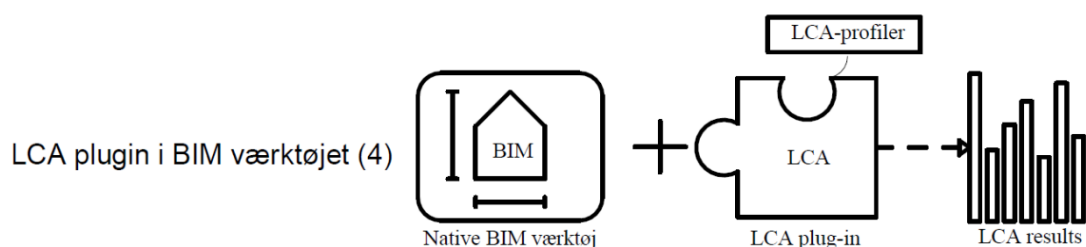
Figur 4.4 - BIM-LCA strategi nummer tre beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).

Zimmermann, Bruhn et al. (2021) har udarbejdet en prototype efter denne metode. Prototypen gør brug af en BIM-viewer, som er koblet til et LCA-værktøj. I BIM vieweren kan brugeren linke bygningsobjekterne til en database med LCA-profiler. Dette kan herefter eksporteres til LCA-værktøjet, LCAbyg.

Denne strategi, vurderes med fordel at kunne kombineres med strategi nummer to. Kombinationen mellem disse vil være, at 3D visningen er en indbygget funktion i LCA-værktøjet. Dette gør, at det ikke er nødvendigt med to værktøjer.

4.1.4. Strategi nummer fire - LCA plugin

Processen for den fjerde strategi fremgår af Figur 4.5. I strategien erstattes den dedikerede LCA-software af et plugin, og alt beregningen forgår nu i native BIM miljøet ved hjælp af pluginnet. Med denne strategi kan LCA informationer linkes direkte til bygningsobjekterne i native BIM miljøet. En af fordelene ved denne strategi er, at LCA-resultaterne potentielt kan visualiseres i native BIM værktøjet med live ændringer (Wastiels, Decuypere 2019).



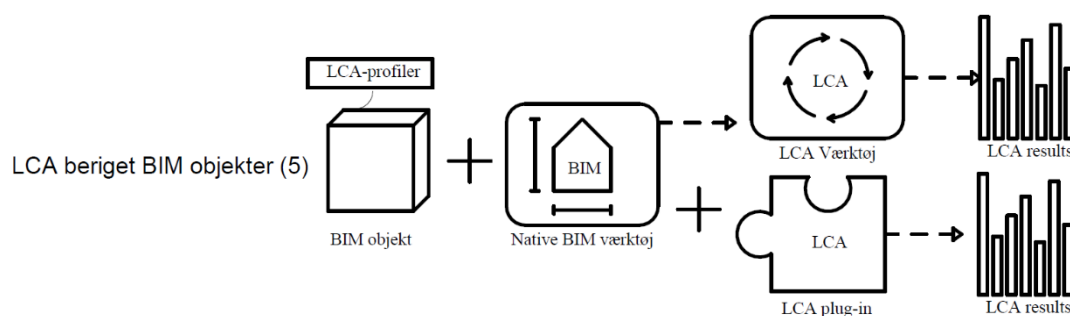
Figur 4.5 - BIM-LCA strategi nummer fire beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).

Dette er den anden mest benyttede strategi i litteraturen (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Fordelen ved at bruge et plugin er, at der er mulighed for hurtige resultater. Ulemper er derimod, at de for det meste bruger generiske databaser (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Dette gør dem især brugbare i designfasen, mens de ikke kan bruges, når materialerne bliver produktspecifikke. Af LCA-plugin findes fx Impact (Storbritannien),

Cocon-BIM (Frankrig), Lesoi (Schweiz), 360optimi (Finland) og Tally (USA). Det mest benyttede plugin i litteraturen er Tally, som stammer fra USA (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Dette formodes at hænge sammen med, at den største mængde af BIM-LCA litteraturen stammer fra USA (Safari, AzariJafari 2021). En ulempe ved denne strategi er, at et plugin oftest er proprietær. Det formodes derfor, at der kan opstå nogle komplikationer i et projekt, hvor arkitektmodellen og ingeniørmodellen er lavet i forskellige værktøjer.

4.1.5. Strategi nummer fem - Integreret LCA-informationer BIM

Den femte strategi er, at LCA-informationerne er beriget direkte i native BIM-modellen. Denne strategi fremgår af Figur 4.6. Informationerne fra LCA-profilerne er inkluderet på BIM-objekterne, som bruges i modellen. Der er to muligheder for videre steps i denne strategi. For det første kan LCA-beregningen laves direkte med et plugin. Den anden mulighed er at eksportere BIM-modellen til fx IFC eller XML, og derfra importere informationer i et dedikeret LCA-værktøj. På denne måde kan generiske materialer i BIM-modellen indeholde generiske LCA-data, og produktspecifikke materialer i BIM-modellen indeholde specifikke LCA-data (Wastiels, Decuypere 2019). Hvis IFC bruges i denne strategi, er det vigtigt at være opmærksom på om de korrekte parametre eksporteres med. Horn, Ebertshäuser et al. (2020) undersøgte netop dette problem og konkluderede, at open-bim, med en beriget BIM-model er muligt med LCA, men at det kræver tilpasning af IFC-eksporten.



Figur 4.6 - BIM-LCA strategi nummer fem beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).

Wastiels, Decuypere (2019) gør opmærksom på, at denne strategi kan have stort potentiale, da alle informationerne bliver centraliseret, men dette kan også gøre designprocessen mere besværlig. Dette skyldes, at der løbende skal ændres materialer i modellen, når de bliver produktspecifikke. Derudover er det også vigtigt at have styr på opdateringen af materialebiblioteket i native BIM værktøjet, for altid at have de nyeste informationer indenfor miljøpåvirkninger. Potrč Obrecht, Röck et al. (2020) beskriver, at LCA-

informationerne kan importeres manuelt på parametre eller ved at bruge værktøjer, som muliggør en automatisk import af LCA-informationerne - dette kunne fx være Dynamo (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020).

Hollberg, Genova et al. (2020) har i et studie brugt denne metode. Der blev i et regneark lavet en manuel mapping af LCA-databasens materiale ID med materialerne fra en BIM-model. Dette materiale ID fungerer derfor som linket mellem materialerne i BIM-modellen og LCA-database. Regnearket med de mapped materialer, importeres herefter med Dynamo til Revit. Herefter laves beregningen af LCA'en i Dynamo, hvor resultaterne eksporteres til et nyt regneark, og samtidig kan resultaterne visualiseres, i native BIM værktøjet i 3D.

Lee, Tae et al. (2021) har også taget udgangspunkt i denne strategi. I dette studie blev der udviklet en BIM-template med LCA-parametre og dertilhørende bibliotek af families med LCA data. Da denne template indeholder LCA-informationer, kan den derfor genbruges, men metoden er dog stadig manuel i forbindelse med ændringer og opdateringer i materialebiblioteket.

Ved brug af, at LCA-database ID skrives ind i materialebiblioteket, gøres der opmærksom på, at ikke alle materialer modelleres i native BIM miljøet. Et eksempel på dette er, at en murstensvæg består af både sten og mørtel. I dette tilfælde vil det oftest kun være murstenen, som er tegnet. På denne måde bliver mørtlen, derfor ikke talt med i LCA'en.

Det er derudover konkluderet af Forth, Braun et al. (2019), at der ofte opleves fejl i mængderne når IFC bruges. Dette formodes at kunne føres tilbage til modelleringsmetoden, og mængderne derfor er et udtryk for modelleringskorrektheden.

4.1.6. Opsummering af de fem strategier

Som nævnt tidligere er disse fem strategier sammensat af fire forskellige værktøjer, der kan indgå i en BIM-LCA proces - native BIM software, BIM viewer, LCA software og LCA plugin til native BIM software. Det første er et workflow baseret på Bill of Quantities (BoQ). Den anden strategi indebærer at eksportere BIM-modellen til et åbent filformat og oftest bruges IFC formatet. Den tredje strategi kræver, at modellen fx eksporteres til IFC for derefter at importeres i en BIM-viewer. Hvis BIM-vieweren understøtter den korrekte funktionalitet, vil der kunne linkes mellem bygningsobjekterne og LCA informationerne. Den fjerde strategi er LCA-plugin i native BIM miljøet. I denne strategi erstattes det dedikerede LCA-værktøj af et plugin og alt beregningen forgår i native BIM

miljøet. Den femte strategi beskriver, at LCA-informationerne er inkluderet direkte i native BIM miljøet.

4.2. Hvad findes der af LCA-værktøjer

Der er udviklet forskellige værktøjer, som kan hjælpe med udarbejdelsen af en LCA. Mange af disse værktøjer opnår dog ikke interoperabilitet med BIM-værktøjerne (Bueno, Fabricio 2018). Bueno, Fabricio (2018) har udarbejdet Tabel 4.1 med eksisterende BIM-LCA-værktøjer, beskrivelse af funktioner og begrænsninger. Tabellen er oversat fra engelsk til dansk, og jeg har yderligere tilføjet LCAByg 5, som er udarbejdet til den danske byggebranche. For nærmere beskrivelse af LCAByg 5 henvises til afsnit 6.1.3.

BIM-LCA værktøj Institution og Land	Funktioner	Begrænsninger
Elodie Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France)	• Simplificeret LCA - kompatibel med Europæiske standarder • Design alternativer kan sammenlignes • Miljøpåvirkninger på konstruktionsfasen • Beregning af transport og større miljøbidrag	• Separat software, hvor det er nødvendigt at importere data fra BIM-fil • Det meste af softwaren er på Fransk.
eTool LCA International Team Effort (Australia, UK, Brazil, Germany)	• Detaljeret rapporter med sammenlignelige informationer om miljødata • Flere rapporter, herunder CO2, omkostninger, energi, vand, arealudnyttelse, ozonnedbrydelse og giftstoffer • Webbaseret værktøj • I overensstemmelse med ISO 14044 og Europæiske standarder	• Separat software, hvor det er nødvendigt at importere data fra BIM-fil. • Gratis version tillader ikke, at brugeren printer rapporter
Green building assessment tool (GBAT) Istanbul Technical University, (Turkey)	• Rammerne bygger på en relation mellem BIM og "green building rating processes" • Kan beregne BREEAM point.	• Separat software, hvor det er nødvendigt at importere data fra BIM-fil • Præsentere de tilgængelige point, men er begrænset til nogle undergrupper af BREAM-materialet. • Materialedatabasen kan ikke automatisk opdateres fra BREAM databasen, og der er en manuel indsats i at konvertere den til materialebiblioteket.

4. State of the art

Green Building Studio Autodesk (USA)	• Rapport om kulstofemissioner • Energianalyse af bygningen • Dagslys, vandforbrug og relateret omkostninger samt analyse af naturlig ventilation • Cloud-baseret værktøj • Kan bruges som supportende værktøj til miljøpåvirkninger i brugsfasen • Supportere LEED og Energy Star certificering	• Meget bredt analyse værktøj, som ikke kun er dedikeret til LCA beregning • Kan ikke beregne hele LCA-under søgelser • Separat software, hvor det er nødvendigt at importere data fra BIM-fil
Impact Compliant Suite IESVE (United Kingdom)	• Kan lave LCA i overensstemmelse med Britisk Standards • Indeholder LCA, LCC og kapitale omkostninger (CC) • Kan beregne BREEAM point. • BRE ecopoint output	• Separat software, hvor det er nødvendigt at importere data fra BIM-fil
LCA Design (Ecospecifier) National Research Center on Sustainable Built Environment (Australia)	• En enkelt ecopoint scorer • Valg af miljømæssig opgørelse, påvirkning og point-score. • Komparativ miljøprofil på alle niveauer af designprocessen • Detaljeret grafiske og tabelformede output • Omkostningsvariation • I overensstemmelse med ISO standarder	• Svært at finde detaljeret informationer vedr. værktøjet, dens data, og metode • Ingen prøveversion tilgængelig
Lesosai Solar Energy and Building Physics Laboratory of Ecolepolytechnique fédérale de Lausanne (Switzerland)	• Basal version af bygnings LCA med fokus på Schweiz, Frankrig, Luxemburg, Italien, Tyskland og Rumænien • Beregning af miljøpåvirkninger fra energiforbrug fra brugsfasen • LCIA-metode ifølge Schweizisk standarder • Database opdateret af materialeproducenterne • Ubegrænset prøvetid på prøveversionen	• Separat software hvor det er nødvendigt at importere data fra BIM-fil • Meget bredt analyse værktøj, som ikke kun er dedikeret til LCA beregning • LCA-studierne er regionsspecifikke • Demoversionen tillader ikke at printe vurderingsrapporterne

4. State of the art

One Click LCA Bionova (USA)	• Simplificeret LCA • Kan beregne BREEAM, LEED, HQE, DGNB og flere certificeringer • Integreret byggepladspåvirkninger og LCC • Miljøvaredeklarations (EPD) database • Verificeret af tredje part • Har samarbejde med Simplebim	• Svært at finde informationer
Tally Kieran Timberlake Innovations in partnership with Autodesk and PE International (USA)	• LCA for hele bygningen eller en komparativ analyse af bygningsdesign muligheder • Identifikation af den største miljøpåvirkning mellem forskellige designmuligheder • Som Revit plugin tillader det at brugeren kan lave LCA direkte i BIM native miljøet • Tilgængelige informationer om anvendte data og metoder samt fyldestgørende instruktioner • Fleksibel ikke kommercielle licenser • Intuitivt og brugervenligt design	• Virker kun til Autodesk Revit software • Dataene til LCIA-metode kan ikke ændres eller opdateres af brugeren.
LCAByg 5	• Kompatibel med Dansk DGNB-vurdering • Gratis at bruge • Mulighed for at eksportere resultaterne til Excel • Videoguides online • Mulighed for import af EPD fra EPD Danmark • Kan læse JSON filer sådan, at der kan skabes et link til BIM. • Tilgængelige informationer om anvendte data og metoder samt fyldestgørende instruktioner	• Stadig under udvikling ift. interoperabiliteten med BIM • Dansk brugerflade • Manuel indtastning af informationer

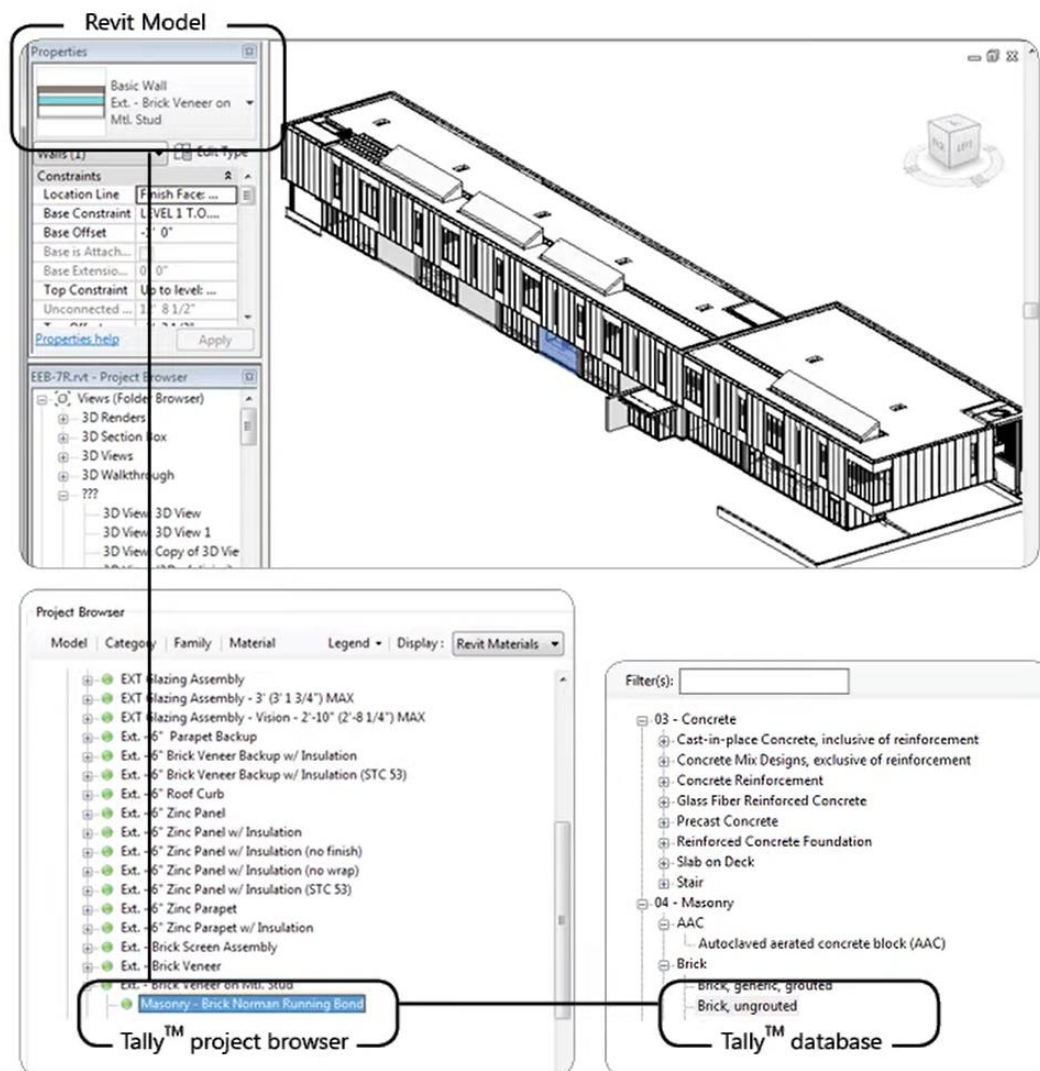
Tabel 4.1 - Oversigt over BIM-LCA programmer udarbejdet af Bueno, Fabricio (2018)

4. State of the art

4.2.1. Tally

Det er valgt at undersøge strukturen i Tally, fordi det er det mest benyttede plugin i litteraturen (Potrč Obrecht, Röck et al. 2020). Tally er et plugin til Autodesk Revit, som kan beregne de miljømæssige påvirkninger (Tally 2021).

På Figur 4.7 er det illustreret, hvilke informationer Tally bruger fra Revit til at linke med deres LCA-database. I dette eksempel er en murstensvæg i Revit vist i en Project Browser i Tally. Det er herfra muligt at klikke på bygningsdelen, og se hvilke materialer den består af. Herfra kan materialer linkes med Tally's LCA-database. Det fremgår yderligere af figuren, at Tally benytter sig af gruppering i project browser. Grupperingen er efter "Type" og kan udvides med dertilhørende materialer. Tally understøtter ikke alle bygnings komponenter af Revit modellen. Den tager højde for "roofs, walls, ceilings, floors, doors, columns, beams og windows" (Tally 2021).



Figur 4.7 - Skærbillede fra tutorial på som forklarer sammenhængen mellem BIM objekterne og Tally databasen.

4.2.2. eTool LCA

Det er valgt at undersøge eTool, da dette værktøj kan mappe til en BIM-model. eTool er et webbaseret LCA-værktøj. eTool har et plugin til Revit, hvor det er muligt at uploade dataene fra modellen til eTool. Derudover beskriver eTool, at det er muligt at importere en IFC-datamodel. Dette gøres ved at importere IFC-datamodellen til Revit og gemme den som .rvt og derefter uploade den (eTool 2019). Af Figur 4.8 fremgår en importeret model fra Revit til eTool. Figuren viser, at de første kolonner indeholder de importerede informationer. Informationer fremgår på type niveau fra Revit modellen. I næste kolonne vælges den enhed, som skal bruges i linket - fx m² eller m³. I sidste kolonne vælges den template, som informationer skal linkes med. En template er en prædefineret bygningsdel med tilhørende LCA-data (eTool 2019).

Informationer importerede fra Revit med plugin Enhed som skal mappes Template (bygningdele) med tilhørende LCA informationer

Category	Item	Area (m2)	Volume (m3)	Length (m)	Count	Import Unit Chosen	Template	Template Unit
Floors	Generic: 150mm	123.909	18.5864	0	2	m2 (Area)	Concrete Floor, 150mm slab, 40MPa, 3.8% reo ...	m2 of floor slab
Walls	SIP 202mm Wall - conc clad	114.7643	21.9551	51.808	4	ignore	ignore	
Walls	Wall - Timber Clad	162.9063	32.9071	61.408	8	ignore	ignore	
Plumbing Fixtures	Family Type: Steel-Stainless-NA, Family: Sink-Offset-Kohler-Vault-3823_4	1.1952	0.004	0	1	ignore	ignore	
Plumbing Fixtures	Family Type: Chrome-Polished_Chrome-CP, Family: Faucet-Brook-Reach-Kohler-Purist-7507	0.0002	0.0003	0	1	ignore	ignore	
Roofs	SG Metal Panels roof	173.142	34.9741	0	1	ignore	ignore	
Structural Columns	Family Type: M_1000, Family: M_Concrete-Round-Column with Drop Caps	11.5996	4.1013	4.9	1	ignore	ignore	
Floors	Generic: 300	109.493	32.8479	0	2	ignore	ignore	
Plumbing Fixtures	Family Type: 01 Cotton, Family: Bathroom-TOTO-Nexus-PBF7945	2.7009	0.2562	0	1	ignore	ignore	
Doors	Family Type: 800 x 2100, Family: Single-Flush	20.755	0.7614	0	7	ignore	ignore	
Walls	SH_Curtain wall	159.4187	0	51.176	9	ignore	ignore	

Figur 4.8 - Screenshot fra eTool tutorial. Viser importerede informationer fra Revit Model.

Jeg vil i rapporten yderligere gerne have undersøgt Simplebim, som har et samarbejde med One Click LCA. Simplebim er et Open BIM IFC-værktøj med mulighederne for at trimme og fjerne unødvendig information, beregne mængder og mange flere funktioner (Simplebim 2021). Det har dog ikke været muligt at finde mere information vedrørende Simplebim og One Click LCA.

5. Undersøgelse af nuværende workflow

Der er i rapporten nu gennemgået grundlæggende begreber og nyeste viden vedrørende BIM-LCA integration. I dette afsnit tager vi nu fat på undersøgelsen af det nuværende workflow med LCA, i den danske byggebranche. Formålet med dette er at finde frem til den nuværende proces, sådan en ny og bedre kan udvikles.

Før der er afholdt contextual interview, er der afholdt et intromøde med virksomhed A, som havde følgende agenda: Præsentation – bordet rundt, intro til kandidatspeciale af forfatteren, åben snak for afklaring af roller og samarbejde samt videre forløb. Dette intromøde er afholdt for at forstå hinandens roller, samt skabe en tryk og god fremadrettet proces.

Efter dette møde er der udført contextual interview med to LCA-eksperter, der til dagligt arbejder med LCA. Interviewet er udført som beskrevet i afsnit 2.2.1, men med nogle få afvigelser. Det har eksempelvis ikke været muligt, at lave feltarbejdet ude ved virksomheden, og interviewene er derfor afholdt over Microsoft Teams. I dette interview har jeg haft fokus på processen for LCA-eksperter og deres arbejde med LCA. Der er udført interview med informanterne i Tabel 5.1.

Interview	Informant	Virksomhedsstørrelse	Jobtitel
A	Informant A	Stor ingeniørvirksomhed (A)	Bæredygtighedskonsulent
	Informant B	Stor ingeniørvirksomhed (A)	Senior bæredygtighedskonsulent

Tabel 5.1 - Oversigt over interview med deltagende informanter, virksomhed, virksomhedsstørrelse og jobtitel.

Da interviewet er optaget, er det fravalgt at udføre indledende work-models under interviewene. Dette er fravalgt af to grunde. For det første vil jeg være mere til stedet i interviewet, hvis jeg ikke er optaget af at udarbejde work-models imens. For det andet giver det mulighed for stille opfølgende spørgsmål ved manglende information.

Interviewfaser	Forklaring og indhold
Introduktion	Præsentation fra interviewerens vha. PowerPoint med emnerne: - Godkendelse af optagelse - Informanterne opfordres til at dele deres skærm, og at de gerne må vise processen - Hvordan bruges det, som informanterne fortæller
The main body	Brugerne viser, hvordan de arbejder med indhentelsen af informationer, samt hvordan de arbejder med LCA. Brugerne opfordres til at dele skærm og slavisk beskrive processen. Ved manglende information afbrydes brugerne, og der spørges yderligere ind til processen. Opfanges frustrationer ved forskellige processer, spørges der også ind til disse.
The wrap up:	Intervieweren opsummerer fortolkningerne og konklusioner. Brugerne har til slut mulighed for at rette eller specificere disse.

Tabel 5.2 - Tabel fra afsnit 2.2.1 med specificering af de udførte interview.

5. Undersøgelse af nuværende workflow

Interviewet er lavet efter faserne i Tabel 5.2 - introduktion, the main body og the wrap-up. I tabellen fremgår forklaring og indhold af de forskellige interviewfaser, i det udførte interview.

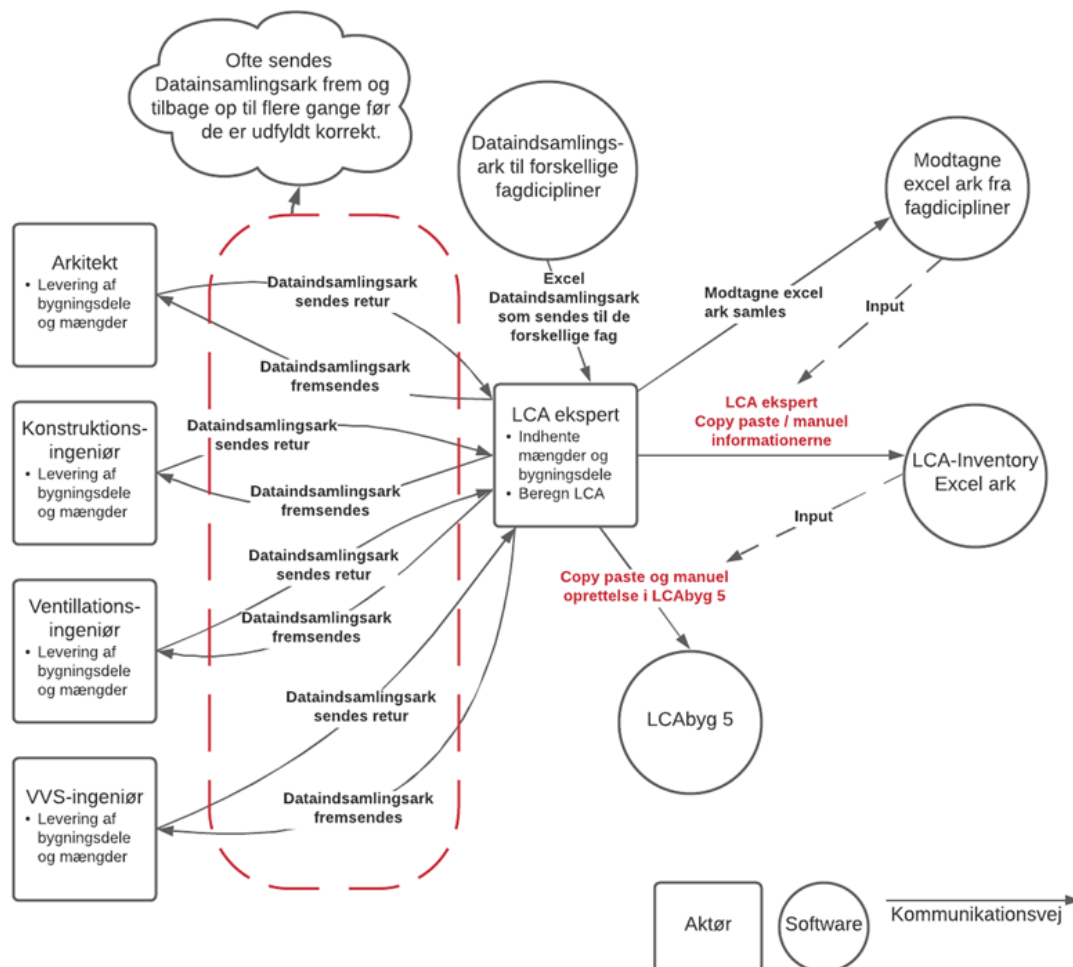
5.1. Interview og fortolkning

I dette afsnit er der udarbejdet flow- og sekvensmodel. Modellerne er udarbejdet efter interviewet på baggrund af optagelsen.

5.1.1. Flowmodel og sekvensmodel

I udarbejdelsen af flowmodel har der været fokus på kommunikationen og koordineringen mellem LCA-eksperterne og andre parter. Den udarbejdede flowmodel fremgår af Figur 5.1.

I flowmodellen kan det ses, at LCA-eksperterne kommunikerer med mange forskellige fag. Kommunikationen sker med et dataindsamlingsark, som LCA-eksperterne sender til de forskellige fag. Dette dataindsamlingsark sendes oftest frem og tilbage flere gange, før de korrekte informationer er indhentet.



Figur 5.1 - Flowmodel udarbejdet over informationerne fra LCA-eksperterne.

5. Undersøgelse af nuværende workflow

Dataindsamlingsarket og de informationer som LCA-eksperten ønsker udfyldt på en ydervæg, er vist i Figur 5.2. Det fremgår af denne figur, at ID, bygningsdel, konstruktion og materialer med tilhørende mængde skal udfyldes. Der kan vælges mellem ude, midt og inde i konstruktionskolonnen. Dette skyldes, at informationerne skal skrives ind i LCAbyg 5 senere i workflowet, og LCAbyg 5 følger denne lagopdeling for bygningsdele. For beskrivelse af LCAbyg 5 kan springes til afsnit 6.1.3.

ID nr. (tegning)	Bygningsdel	Konstruktion	Materiale	Areal (m²)	Tykkelse (m)	Mængde (m³/m²)	Mængde (kg/m²)	Mængde (kg/m)
132001	Ydervæg, CLT	Inde	Maling, indenders	300				0,32
			2 lag brandgips	300	0,03			
			CLT	300	0,12			
			Isolering i træskellet 45mm	300	0,25			
			Vindspærre	300	0,009			
			Forskalling	320	0,038	0,0095		
			Afstandslister	320	0,025	0,0021		
			Beklædning (lodret spor 50 mm)	320	0,022			
152001	Indervæg, CLT	Side 1	Maling, indenders	150				0,32

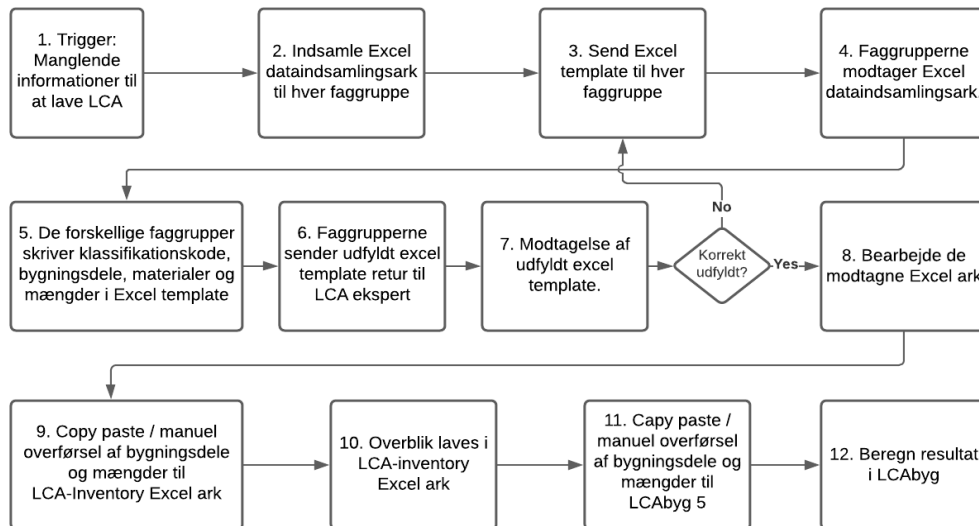
Figur 5.2 - Screenshot fra interview af dataindsamlingsark til arkitekt.

Når dataindsamlingsarkene fra de forskellige fag er udfyldt korrekt kopieres/skrives informationerne manuelt over i et andet Excel ark, som hedder LCA-Inventory ark. I dette ark mapper LCA-eksperten materialeopbygningen fra de forskellige fag sammen med LCAbyg 5's Gen_dk bibliotek. LCAbyg 5's Gen_dk bibliotek er et forhåndsgeneret bibliotek med LCA-informationer (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). Når alle informationerne er samlet i dette ark, begynder LCA-eksperten at oprette bygningsdelene i LCAbyg 5. Oprettelsen i LCAbyg 5 er en manuel proces, hvor informationer copy-pastes eller skrives ind.

Det fremgår af sekvensmodellen på Figur 5.3, at LCA-eksperten kopierer og indsætter de samme informationer to gange. Første gang er fra de modtaget dataindsamlingsark og til LCA-Inventory arket. Anden gang er fra LCA-Inventory arket og til LCAbyg 5. Fra Excel ark til Excel ark kan kopieres flere celler på en gang. Fra Excel ark til LCAbyg 5, kan kopieres en celle ad gangen. Dette er derfor en tidskrævende opgave. Det kan derudover konkluderes, at der ikke benyttes en eneste automatisk proces.

Der kan på baggrund af de to modeller opsummeres to oplagte optimeringspunkter. For det første bruger LCA-eksperten meget tid på at indhente de korrekte informationer om materialerne i projektet. For det andet er det en tidskrævende opgave, for LCA-eksperten, at skrive informationerne fra LCA-Inventory arket og ind i LCAbyg 5.

6. Løsningsforslag #1



Figur 5.3 - Sekvensmodel af nuværende workflow

6. Løsningsforslag #1

I dette afsnit præsenteres først værktøjerne, som er brugt i prototypen med løsningsforslag #1. Dernæst følger visioning, user environment design og prototypen. Formålet med at præsentere værktøjerne først, er at give en bedre forståelse for afsnittene med visioning og user environment design.

6.1. Software brugt i Prototype #1

I dette afsnit beskrives værktøjer, som er brugt i prototypen tilhørende løsningsforslag #1. Først beskrives BIM-plattformen Revit. Dernæst beskrives visuel programming language og Dynamo. Til slut beskrives LCA-værktøjet LCAbyg 5. Der beskrives både brugerfladen i LCAbyg 5, samt mulighederne for at importere informationer i værktøjet. Det er valgt at tage udgangspunkt i LCAbyg 5 af to grunde. For det første stiller FBK krav om at LCA'en skal laves i dette. For det andet bruges værktøjet i forvejen af LCA-eksperterne.

6.1.1. Revit

Revit er en BIM platform introduceret af Autodesk i 2002. I en survey, udarbejdet af Bips i 2014, blev det fundet, at Revit Architecture/Structure/MEP, er den mest anvendte modelleringsapplikation i Danmark (Øbro). Af denne grund afgrænses modelleringsapplikationen i prototypen til Revit.

Revit har bidirectional link til og fra tegninger, skemaer og model, og er derfor et stærkt værktøj til BIM (Sacks, Eastman et al. 2018). Revit arbejder med tre forskellige familier af objekter. Den første er systems families, som fx er vægge, tage og gulve/dæk

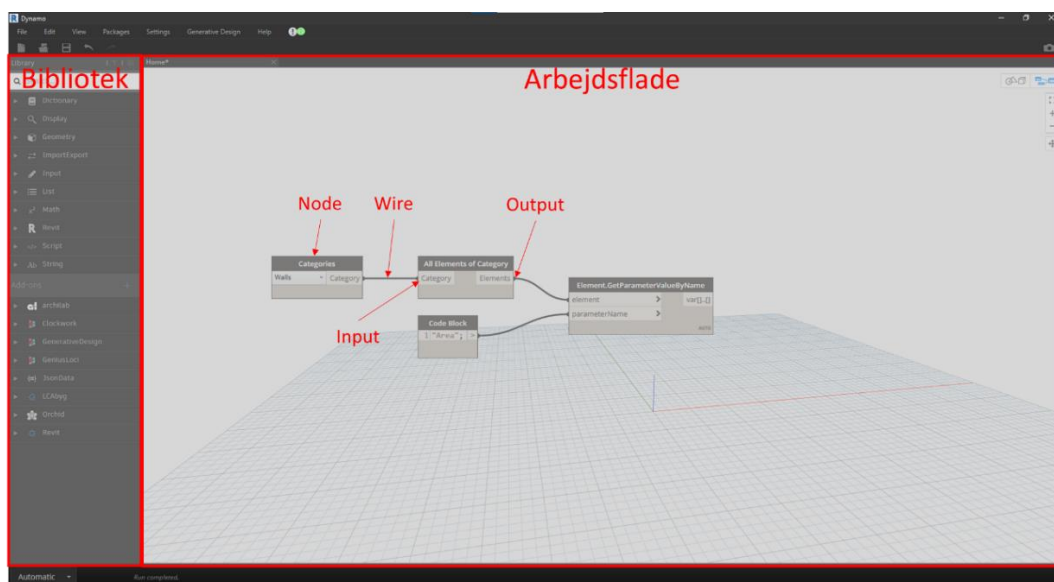
6. Løsningsforslag #1

og disse er prædefineret i Revit. Dette betyder, at brugeren ikke loader dem ind i projekterne, eller gemmer dem i eksterne lokationer. Den anden er loadable families, som fx er vinduer, døre, møbler, planter, vandvarmere og ventilation. Disse familier er gemt eksternt og kan loades ind i Revit projektet. Den tredje er in-place families, som er unikke elementer for det enkelte projekt (Autodesk Help 2021).

Revit tillader plugins, som kan gøre brug af den åbne API (Application programming interface). Dette gør, at det er muligt at hente informationer eller tildele informationer til modellen og objekterne. Værktøjer som Dynamo gør brug af denne API, og tillader derfor et visuelt kodningsmiljø, som kan tilgå BIM-modellen (Sacks, Eastman et al. 2018).

6.1.2. Visual Programming Language

Visual programming language (VPL) har vundet mere og mere frem indenfor digital konstruktion (Borrmann, König et al. 2018). I Figur 6.1 fremgår en typisk brugerflade for VPL. Denne består af en arbejdsflade og et bibliotek, som indeholder nodes. Nodes kan placeres på arbejdsfladen og kan forbindes med wires/edges. Koden bliver repræsenteret visuelt, og der kan i den forbindelse let ses et flow af informationerne (Borrmann, König et al. 2018). En af fordelene ved VPL, er den visuelle brugerflade. Denne gør, at brugere uden stort kendskab til kodning, bedre kan forstå kodningen og dermed også hurtigere kan opnå resultater. Nogle eksempler på VPL-programmer er Dynamo, Google Blockly, Grasshopper3D, Marionette og Scratch (Borrmann, König et al. 2018).



Figur 6.1 - Typisk brugerflade i visual programming language. Brugerfladen består af et bibliotek af nodes og en arbejdsflade, hvor disse kan forbindes. Den viste brugerflade er fra Dynamo.

Dynamo

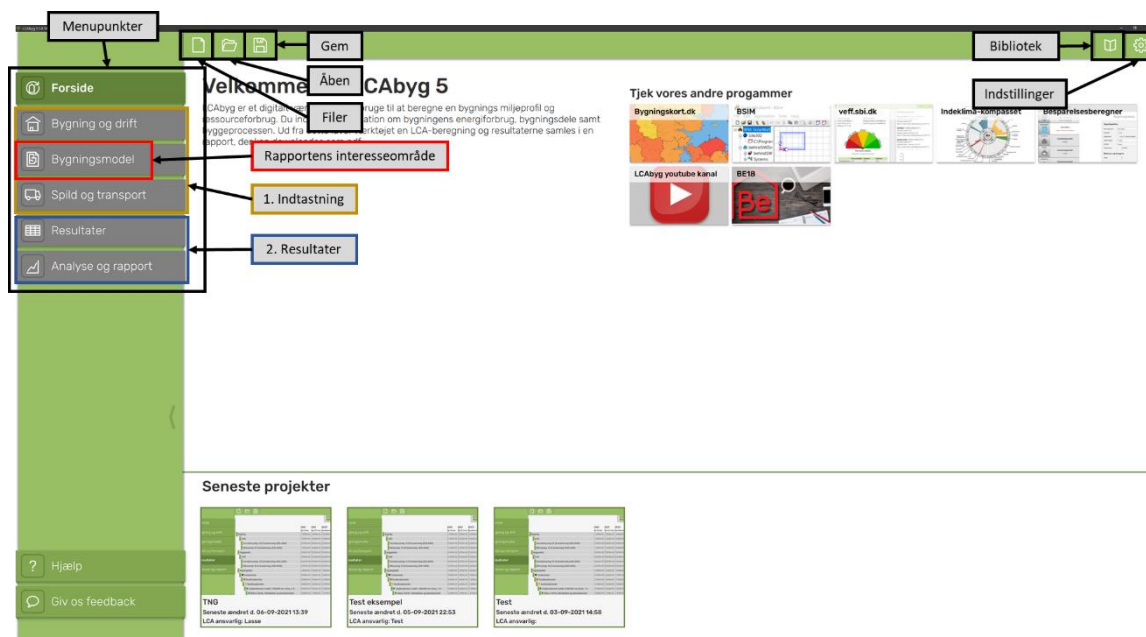
I denne rapport gøres der brug af Dynamo, som kan tilgå Revit objekterne igennem den åbne API. Dynamo's "programming interface" er C#, Iron Python og C3Python (Borrmann, König et al. 2018). Det er muligt at importere forskellige pakker i Dynamo fra udviklere. Med disse pakker øges OOTB (out of the box) mulighederne i Dynamo. Det er også en mulighed at oprette egne Python scripts. Dette er relevant, hvor det ikke er muligt, at finde nodes med den rigtige funktionalitet. I rapportens prototype er der gjort brug af dette. Alle egne kodet Python scripts, er oprettet som C3Python, der tillader import af flere Python biblioteker end Iron Python, såsom NumPy, SciPy og Pandas (Aparajit 2021).

6.1.3. Life Cycle Assessment værktøj - LCAByg 5

LCAByg 5 er udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet med økonomisk støtte fra Trafik- og Byggestyrelsen. LCAByg 5 kan downloades gratis fra LCAByg.dk/download-program ved oprettelse af en bruger, hvilket også er gratis. Med LCAByg 5 kan man beregne byggeriets miljøprofil og ressourceforbrug. LCAByg 5 kan anvendes til nybyggeri, tilbygninger og renoveringsprojekter (Videnscenter for energibesparelser i virksomheder 2021).

Brugerflade i LCAByg 5

Som det fremgår af Figur 6.2 er menupunkterne til venstre i LCAByg 5 delt op i to overordnet grupper.



Figur 6.2 - Forside i LCAByg 5 og dens brugerinterface. Figur er baseret på Brisson Jørgensen, Kanafani et al. (2020)

Den første er indtastning, som indeholder tre menupunkter - Bygning og drift, Bygningsmodel samt Spild og transport. I disse menupunkter sker indtastningen af informationer vedrørende materialer, energiforbrug, transport osv. Den anden gruppe er resultater, som indeholder de endelige resultater, samt en analyse og rapport (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). Som beskrevet i afsnit 3.3.1 indeholder LCAbyg 5 faserne A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3, C4 og D. De tilvalgte miljøpåvirkningskategorier i LCAbyg 5 fremgår af Tabel 3.4.

Indenfor rapportens interesseområde er menupunktet Bygningsmodel, som indeholder informationer vedrørende de materialer som bygningen består af. I Figur 6.3 fremgår det, at menupunktet Bygningsmodel er inddelt i fire kolonner - Bygningsdele, Konstruktioner, Byggevere og Faser. Bygningsdele består af nogle forskellige prædefineret grupper. Fx kan ydervæggene fra en bygning, oprettes under gruppen ydervægge osv. En bygningsdel består af en eller flere konstruktioner. En konstruktion består af en eller flere byggevere. En byggevere består af faserne A1-A3, C3 og D. Under hver af faserne, kan findes de tilhørende indikatorer (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020).

Kolonnen konstruktionslag i LCAbyg 5

I LCAbyg 5 består en bygningsdel af en til tre konstruktionslag. I Tabel 6.1 er oplistet de forskellige konstruktionslag for forskellige bygningsdele. Eksempelvis kan en ydervæg bestå af følgende konstruktionslag:

Lag 1: Vægside, malerbehandling, akrylmaling, fuldspartling

Lag 2: Midterlag, beton, porebetonblok 100 mm, mineraluld

Lag 3: Yderside, Teglsten, formur

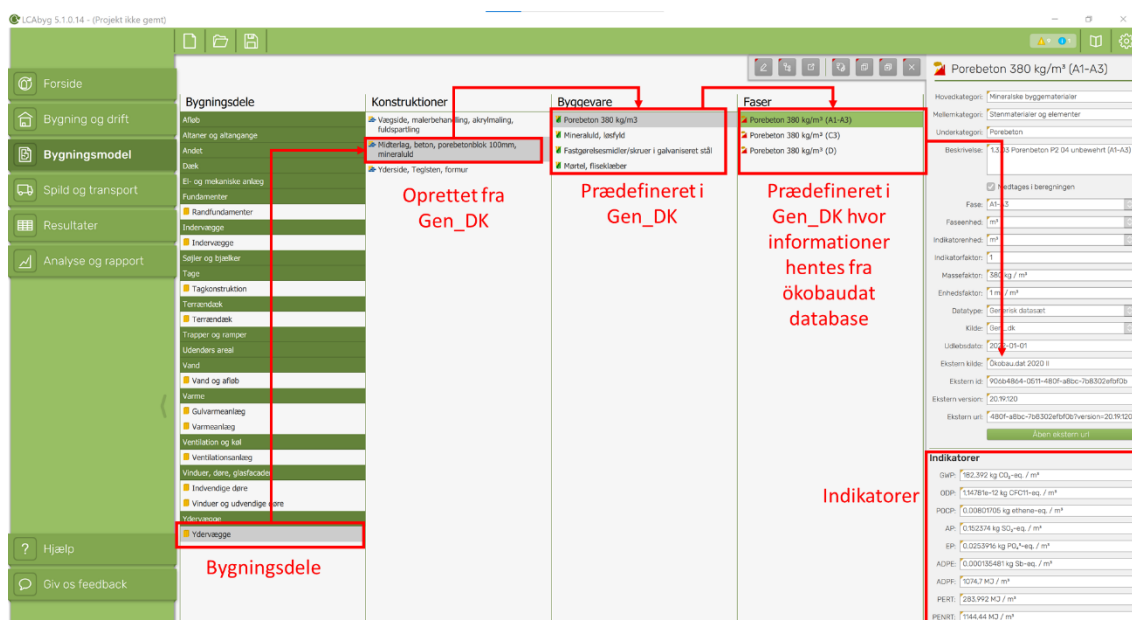
Gruppe	Lag 1	Lag 2	Lag 3
Afløb	-	-	-
Altaner og altangange	Altanbund	Fastgørelse	Rækværk
Andet	-	-	-
Dæk	Gulve	Dæk	Lofter
El-mekaniske anlæg	-	-	-
Fundamenter	Fundamenter		
Indervægge	Side 1	Midt	Side 2
Søjler og bjælker	Søjler, Bjælker	Beklædning mod brand	-
Tage	Tagbeklædning	Midt	Lofter
Terrændæk	Gulve	Dæk	Underlag
Trapper og ramper	Trappe/ramper	Trinoverflade	Værn
Udendørsarealer	-	-	-
Vand	-	-	-
Varme	-	-	-
Ventilation og køl	Forsyningsanlæg	Fordeling	Forbrugsanlæg

6. Løsningsforslag #1

Vinduer, døre og glas-facader	Profiler	Rude	(Solafskærmning)
Ydervægge	Inde	Midt	Ude

Tabel 6.1 - Eksempel på konstruktioner og lagdeling. Nogle eksempler er stadig under udvikling. Tabel er egen tilvirkning baseret på Brisson Jørgensen, Kanafani et al. (2020)

Det er ikke nødvendigt at udfylde informationer i byggevare- og fasekolonnen manuelt. I LCAbyg 5 kan der gøres brug af det forhåndsgenereret bibliotek, Gen_dk, som kan bruges til hurtigere og nemmere opbygning af LCA'en (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). Med Gen_dk er det muligt at oprette en bygningsdel med nogle prædefineret konstruktionslag, der indeholder informationer om byggevarer og faser. Dette er illustreret i Figur 6.3, hvor en ydervæg er oprettet med Gen_dk biblioteket. Det fremgår yderligere af figuren, at indikatorerne hentes fra LCA-databasen Ökobaumat.



Figur 6.3 - Menupunktet bygningssmodel i LCAbyg 5 der viser sammenhængen mellem kolonnerne

I nærværende rapport er der i prototypen til løsningsforslag #1 gjort brug af de prædefineret konstruktionslag fra Gen_dk. I Gen_dk kan der vælges mellem 396 forskellige konstruktionslag, som er sammensat af 465 forskellige byggevarer. Biblioteket kan tilgås igennem LCAbyg 5 eller kan hentes som CSV filer, sammen med en JSON guide til LCAbyg 5.

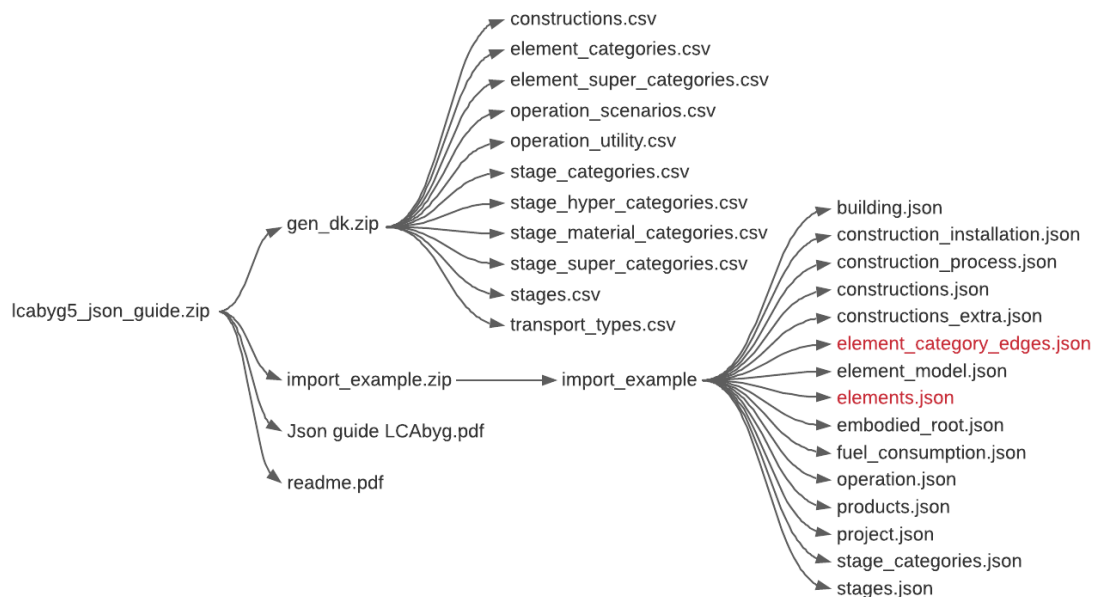
6.1.4. LCAbyg 5 og JSON

I LCAbyg 5 er det muligt at oprette projekter, med en række JSON filer. Disse kan hentes fra [LCAbyg.dk/download-program](https://lcabyg.dk/download-program), under ikonet "Json guide for LCAbyg 5". JSON står for JavaScript Object Notation, og er en åben standard og letvægtsformat til at

gemme og dele data. JSON er nemt at læse og skrive for mennesker, og bruges ofte når data sendes fra en web-server til en webpage (w3schools 2021).

I de hentede JSON filer er det muligt at indtaste oplysninger, som ellers skulle indtastes i LCAbyg 5 under de tre menupunkter bygning og drift, bygningsmodel samt spild og transport. Som tidligere nævnt er rapportens interesseområde menupunktet bygningsmodel, og derfor tages der udgangspunkt i de JSON filer, som bruges under dette menupunkt.

Opbygningen af den hentede mappe fra LCAbyg er illustreret i Figur 6.4. JSON filerne ligger i mappen import_example og de JSON filer, som bruges i denne rapports omfang, er elements.json og element_category_edges.json - markeret med rød i Figur 6.4. I den downloadede mappe ligger også Gen_dk biblioteket i en række CSV filer, som indeholder navn og et UUID tilhørende de forskellige navne. Derudover indeholder den hentede mappe to pdf filer. Den første er en guide til JSON filerne og hvordan de skal bruges. Den anden er en "readme", der forklarer indholdet i den hentede mappe.

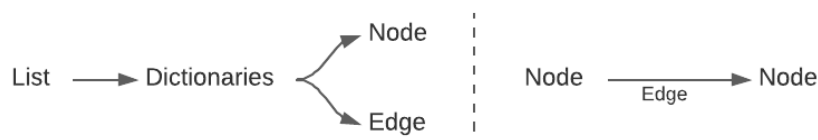


Figur 6.4 - Opbygning af hentede mappe fra LCAbyg.dk/download-program,

JSON filerne - Lists, dictionaries, nodes og edges

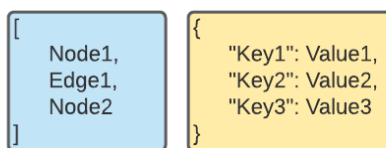
I Figur 6.5 til venstre fremgår det, at JSON filerne består af lists, som indeholder forskellige antal af dictionaries, der indeholder en række nodes og edges. Når der arbejdes med JSON filerne er det vigtigt at være opmærksom på karaktererne og indrykningen, da LCAbyg 5 ellers ikke kan læse filerne (Bruhn, Grau Sørensen 2020). I Figur 6.5 til højre er det illustreret, at to nodes kan forbindes med en edge.

6. Løsningsforslag #1



Figur 6.5 - Til venstre: Opbygning af JSON filerne. Til højre: To Nodes kan forbindes med en Edge. Figuren er egen tilvirkning baseret på Bruhn, Grau Sørensen (2020).

En list i JSON filerne startes ved bruge "[" og afsluttes med "]". I denne list kan der oprettes nodes og edges. Et eksempel på dette fremgår af Figur 6.6, hvor det er illustreret, at en liste indeholder Node1, Edge1 og Node2.



Figur 6.6 - Til venstre: Viser hvordan en liste starter ved bruge "[" og afsluttes med "]". Til højre: Viser hvordan en liste startes med "{" og afsluttes med "}" og derudover indeholde "Key" og "Values".

En dictionary er en samling af dataværdier og startes med "{" og afsluttes med "}". I en dictionary er dataværdierne repræsenteret med "Key" og "Value", og opdelingen heraf fremgår af Figur 6.6 til højre (Bruhn, Grau Sørensen 2020).



Figur 6.7 - Eksempel på elements.json filen hvor lists (blå), dictionaries (gul) og nodes og edges (grøn) er repræsenteret med farver.

Figur 6.7 er et eksempel på elements.json filen, fra den hentede mappe. Det kan ses i det blå felt, at filen indeholder en overordnet liste, der startes med "[" og afsluttes med "]". Denne liste indeholder nogle dictionaries (markeret med gul) og inde i disse ligger

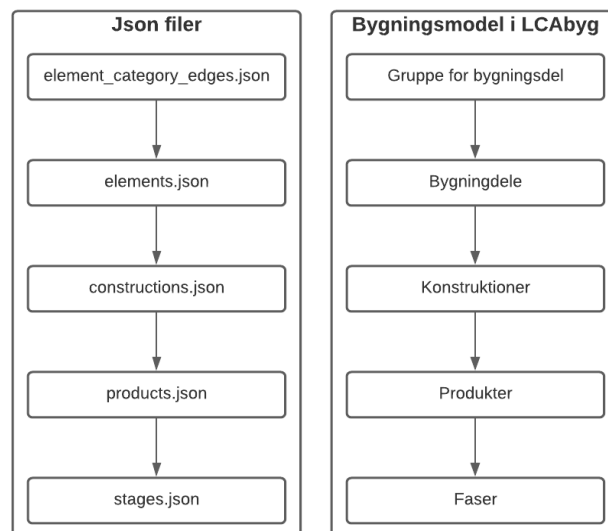
nodes og edges (markeret med grøn). Dictionaries opdeles med ”,” med undtagelse af den sidste. Rækkefølgen af nodes og edges har ingen betydning (Bruhn, Grau Sørensen 2020).

ID's i JSON filerne

Som det ses i Figur 6.7 indeholder alle nodes og edges et unikt id. JSON filerne følger UUID version 4 standarden. Disse kan fx genereres på hjemmesider eller som i prototypen, hvor der brugt et python script (Bruhn, Grau Sørensen 2020).

JSON filernes indbyrdes forhold

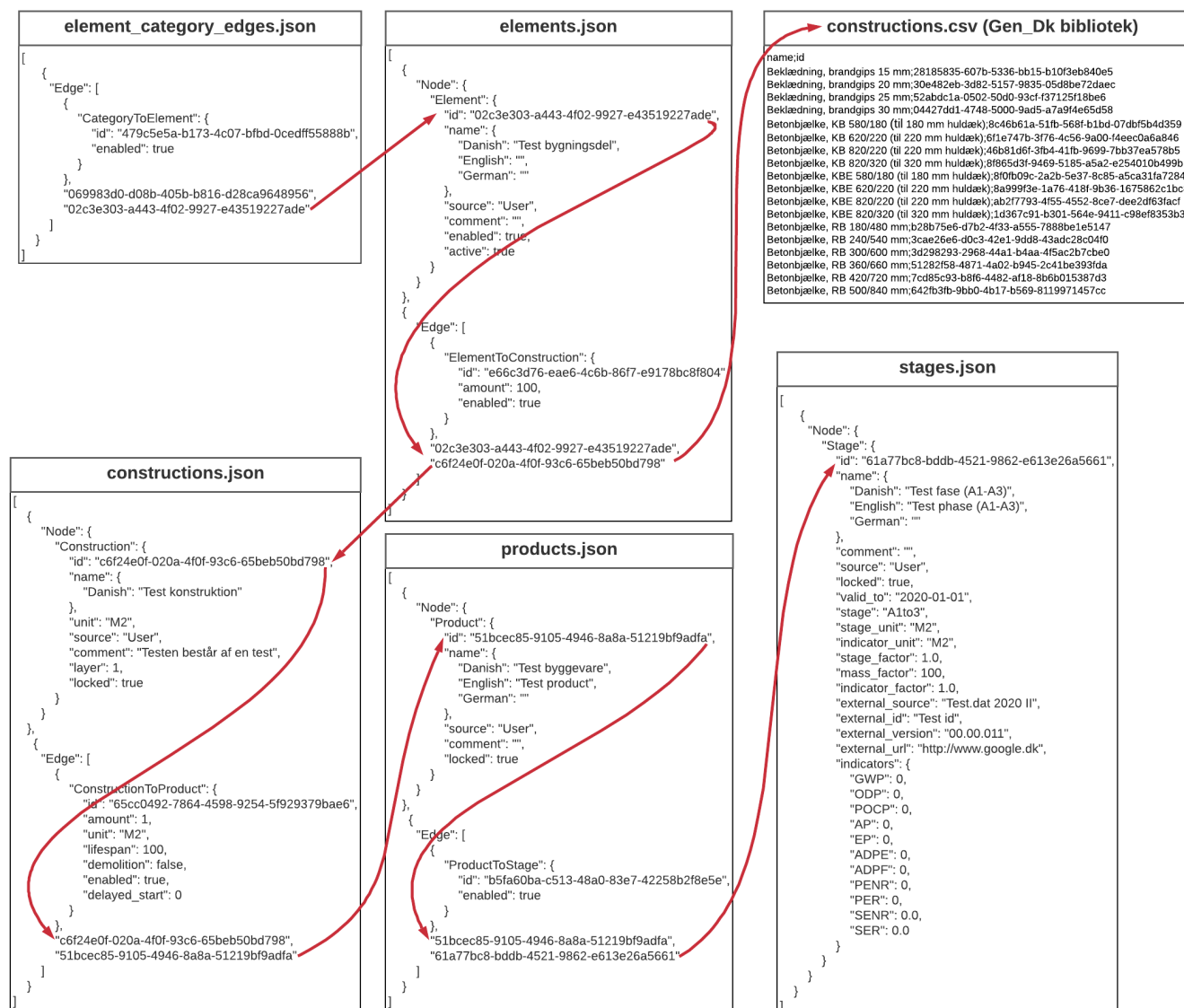
JSON filerne har et forhold til de forskellige kolonner i LCAByg 5. JSON filen, som hedder `element_category_edges.json`, bestemmer, hvilken gruppe bygningsdelen skal tilhøre. Dette kan fx være ydervægge, indervægge, tag osv. I `elements.json` filen defineres bygningsdelen og den forbindes med `constructions.json`. I `constructions.json` kan der oprettes de forskellige konstruktionslag, som fx betonavæg med isolering, mursten osv. Disse konstruktionslag linkes derefter sammen med `products.json`, som indeholder de specifikke produkter for konstruktionen. Disse produkter er derefter linket til de forskellige faser, som er indeholdt i LCAByg 5. I Figur 6.8 fremgår forbindelserne mellem JSON filer sammenlignet med kolonnenavnene i LCAByg 5.



Figur 6.8 - JSON filernes navne og sammenhæng sammenlignet med navne inde i LCAByg 5

Det fremgår af Figur 6.9, hvordan JSON filerne er linket sammen med UUID's. De røde pile i figuren viser sammenhængen mellem de forskellige JSON filer. Det er muligt fra `elements.json` filen at linke til Gen_dk biblioteket, sådan at det ikke er nødvendigt at udfylde `constructions.json`, `products.json` og `stages.json`. I stedet bruges informationerne fra det forhåndsgenereret bibliotek Gen_dk.

6. Løsningsforslag #1



Figur 6.9 - Viser sammenhængen mellem de forskellige JSON filer. Det fremgår at UUID's forbinder de forskellige filer sammen.

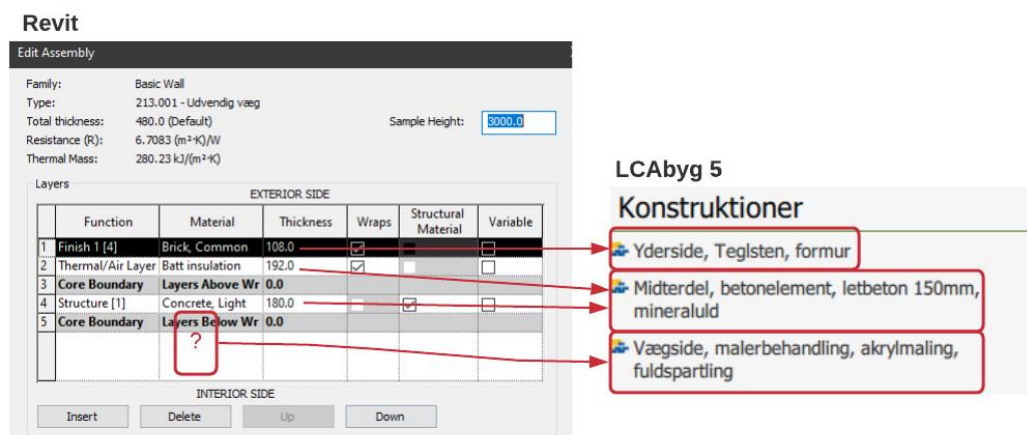
6.2. Visioning

Der tages nu fat på at udvikle et nyt workflow, som kan optimere BIM-LCA processen for LCA-eksperterne.

Der er fundet frem til en hovedudfordring, som vurderes at have indflydelse på de mulige nye workflows. Hovedudfordringen er mapping af BIM-objekter med Gen_dk bibliotekets konstruktionslag.

6.2.1. Mapping af BIM objekter med Gen_dk biblioteket

Strukturen af bygningsdelenes lag i LCAbyg 5 og BIM miljøet er forskellige ontologier. I Figur 6.10 fremgår et eksempel på en ydervæg i Revit, og hvordan den bør være repræsenteret i LCAbyg 5. Det fremgår heraf, at ydersiden med teglsten stemmer overens med LCAbyg 5's lagopbygning. Isolering og bærende lag oprettes som et enkelt lag i LCAbyg 5, hvorimod det er modelleret som to lag i Revit. Derudover er det erfaret fra tidligere arbejde, i en stor arkitektvirksomhed, at maling sjældent er modelleret i Revit. Dette er også understøttet af DiKon vejledningen, som heller ikke foreskriver, at maling bør modelleres (Dikon 2021).



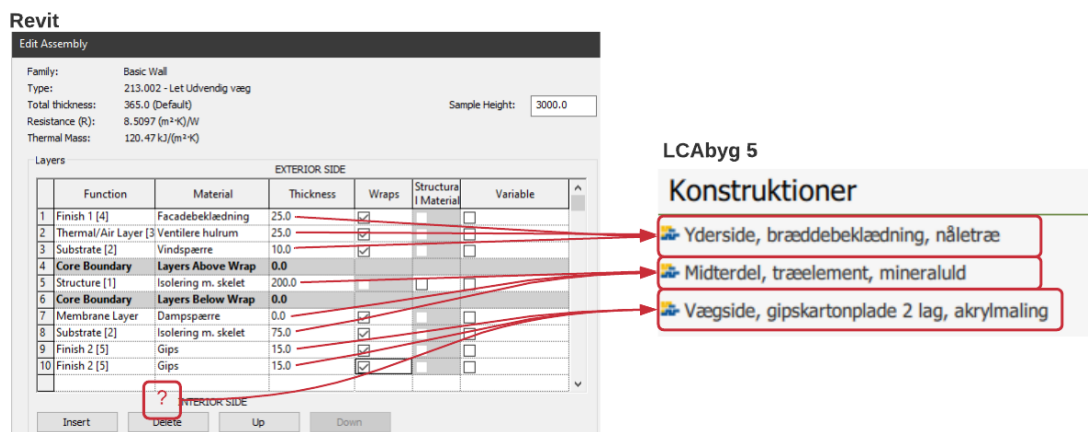
Figur 6.10 - Udfordringen med mapping mellem Revit lagopbygning og LCAbyg 5 konstruktioner. Viser en tung udvendig væg.

Af Figur 6.11 fremgår et andet eksempel med opbygningen af en let udvendig væg, og hvordan den bør være repræsenteret i LCAbyg 5. Det kan her ses, at lagene facadebeklædning, ventileret hulrum og vindspærre skal mappes med samme konstruktionslag i LCAbyg 5. Yderligere skal isolering m. skelet, dampspærre og isolering m. skelet mappes med samme konstruktionslag i LCAbyg 5.

Det vurderes, at denne mapping vil kunne skabe nogle udfordringer for et fremtidigt workflow, da ontologierne er forskellige for en bygningsdel. For at opnå en korrekt

6. Løsningsforslag #1

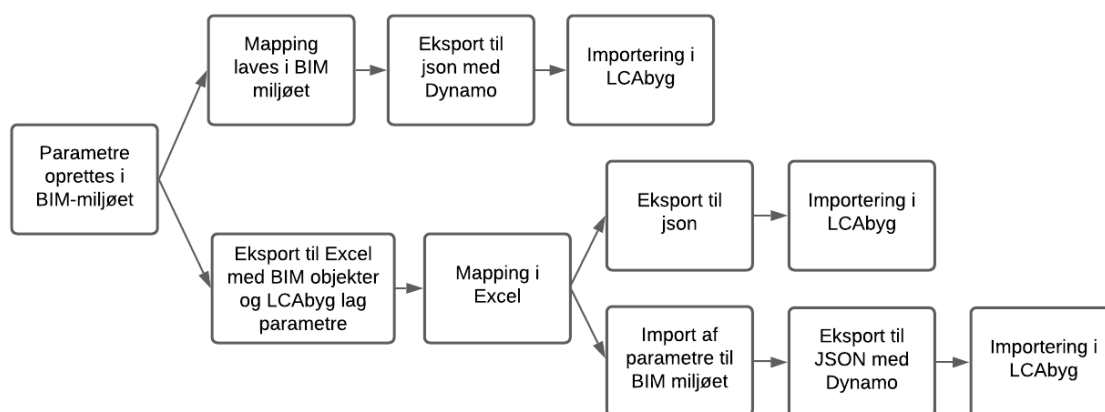
mapping, mellem BIM-objekterne og LCAbyg 5's konstruktionslag, er der vurderet to manuelle, to semiautomatiske og en fuld automatisk metode.



Figur 6.11 - Udfordringen med mapping mellem Revit lagopbygning og LCAbyg 5 konstruktioner. Viser en let udvendig væg.

Manuelle fremgangsmetode

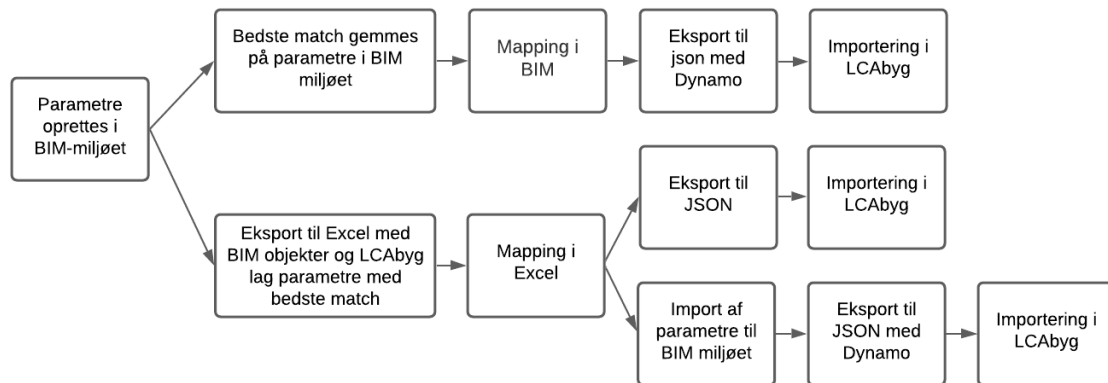
Der er vurderet to forskellige manuelle fremgangsmetoder. Den første manuelle fremgangsmetode er, at konstruktionsnavnene fra Gen_dk biblioteket oprettes på de forskellige BIM-objekter - som type parametre. På type parametre kan skrives navnet på konstruktionslaget fra Gen_dk. Den anden metode er at eksportere bygningsdelene til Excel. Med denne metode kan mappingen ske i Excel, og herfra er der to muligheder. For det første kan Excel arket eksporteres til en JSON fil, og derefter importeres til LCAbyg 5. For det andet kan de mappede navne, importeres til BIM-miljøet, for derefter at eksportere til en JSON fil. Ovenstående forklaring fremgår af Figur 6.12.



Figur 6.12 - Manuelle fremgangsmetode til mapping mellem BIM-objekter og LCAbyg 5 Gen_dk.

Semiautomatisk mapping

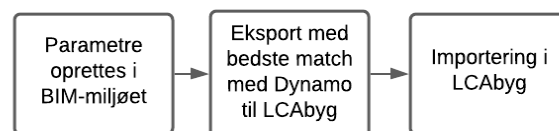
Den semiautomatiske metode fremgår af Figur 6.13, og indebærer at bruge en bedste match funktion. Med denne funktion kan et python script matche materialerne i BIM-miljøet med lagene i LCAbyg 5, og heraf finde det bedste match. Det bedste match kan derefter, enten skrives til nogle type parametre i BIM miljøet, eller eksporteres til Excel ligesom i den manuelle metode. Herfra skal brugeren redigere de LCAbyg 5 lag, hvor bedste match funktionen ikke stemmer.



Figur 6.13 - To forskellige semiautomatiske muligheder

Automatisk mapping

Forslaget til den automatiske metode fremgår af Figur 6.14 og er udelukkende at bruge bedste match funktion. Bedste match funktionen er undersøgt i prototypen, med koden "difflib.get_close_matches" fra python pakken difflib. Det viste sig, at matchingen er væsentligt mere forkert end korrekt. Dette skyldes to dele. For det første er navnene i BIM-modellen og LCAbyg 5 ofte forskellige. For det andet skal nogle af materialerne i BIM modellen lægges sammen, og mappes til det samme konstruktionslag. Det er yderligere min erfaring, fra tidligere arbejde, at navngivningen af materialer i BIM-modellerne ofte er forskelligt fra projekt til projekt.



Figur 6.14 - Fuldautomatisk metode

6.2.2. Opsummering af de tre mappingsmetoder

I Tabel 6.2 er oplistet fordelene og ulemperne ved manuel, semiautomatisk og automatisk mappingsmetode. Det er vurderet, at den fuldautomatiske metode indeholder for mange usikkerheder og workarounds, som vil gøre scriptet projektspecifik. Af denne grund er den fuldautomatiske metode forkastet. Da også den semiautomatiske metode

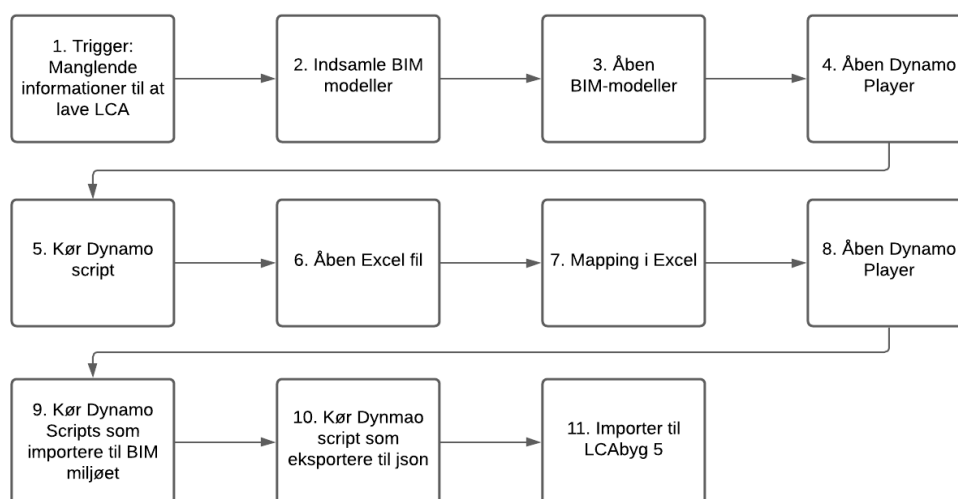
bruger bedste match funktion, er denne også forkastet. Det er derfor valgt at arbejde videre med en manuel mappingsmetode.

Metode	Fordele	Ulemper
Manuel	• Præcis mapping • Mulighed for, at matching kun skal ske en gang eller ved ændringer.	• Tidskrævende opgave
Semiautomatisk	• Mulighed for at bedste match kan gøre mappingsprocessen hurtigere.	• Upræcis bedste match • Matching skal tjekkes efter ligesom i den manuelle metode.
Automatisk	• Mulighed for en automatisk, og dermed hurtig mappingsproces.	• Upræcis bedste match

Tabel 6.2 - Fordele og ulemper ved manuel, semiautomatisk eller automatisk metode

6.2.3. Forslået nyt workflow

Det forslået nye workflow i visioning fremgår af sekvensmodellen i Figur 6.15. Sekvensen er baseret på viden fra foregående afsnit og interview af LCA-eksperterne.

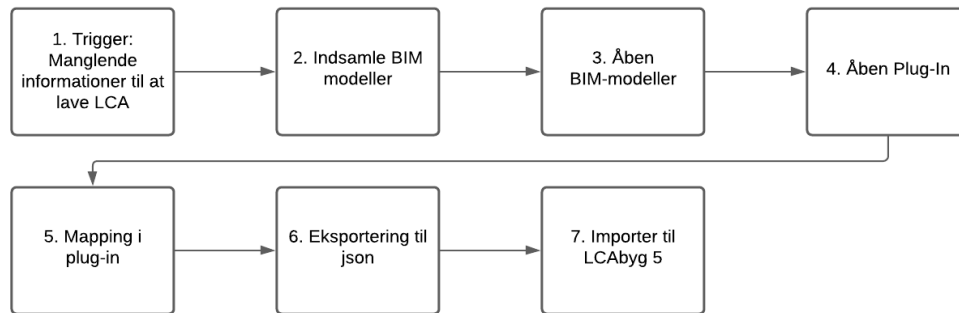


Figur 6.15 - Sekvensmodel over ny forslået workflow

LCA-eksperthen skal, i dette workflow, eksportere de nødvendige informationer (klassifikationskode, bygningsdel, materiale og materiale tykkelse) til Excel. I Excel kan LCA-eksperthen manuelt mappe bygningsdelen med konstruktionslagene fra Gen_dk. De mappede lag, kan herefter importeres tilbage til Revit. Fra Revit kan laves JSON filen, som herefter kan importeres i LCAbyg 5. Med dette workflow, undgår LCA-eksperthen at skulle kopiere informationer ind i LCAbyg 5. Det er valgt at importere informationerne tilbage til Revit, da dette giver muligheden for at lave en ny eksport uden om Excel.

Hvor der i sekvensmodellen er brugt Excel, kunne dette med fordel have været et plugin i Revit. Fordelen ved dette er, at sekvensmodellen kunne have været fire punkter

mindre. Dette fremgår af Figur 6.16, hvor eksport og import fra Excel er fjernet. Eksporten til JSON vil yderligere også kunne laves i pluginnet. Det er fravalgt at udarbejde et plugin, da det er vurderet ikke at give mere viden til rapporten, men derimod være en tidskrævende opgave.



Figur 6.16 - Sekvensmodel over nyt workflow med plugin i Revit

6.3. User Environment Design

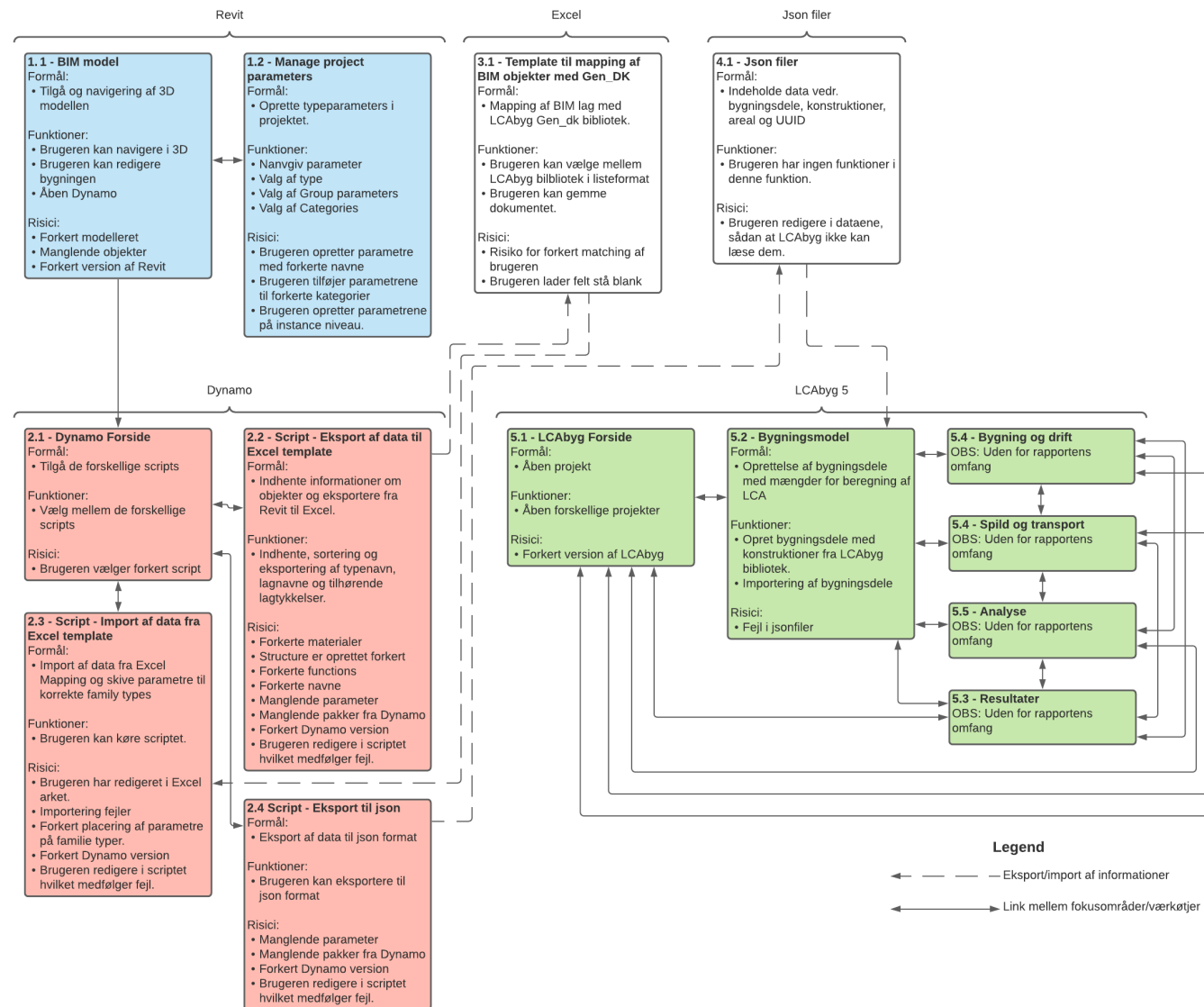
Dette afsnit beskriver og visualiserer brugermiljøet i det fremtidige workflow. Formålet med dette er at analysere strukturen af systemet. Sekvensmodellen i Figur 6.17 fokuserer på værktøjerne i det nye workflow og hvilken rækkefølge brugeren vil anvende dem i.



Figur 6.17 - Sekvensmodel som repræsenterer værktøjerne i det nye workflow

I nedenstående afsnit er analyseret de forskellige fokusområder i hvert program. Der er brugt UED template fra metodeafsnit 2.2.4. Denne template indeholder formål, funktioner og risici. I Figur 6.18 fremgår den samlede UED og sammenhængen mellem de forskellige programmer. Farverne i figuren symboliserer de forskellige programmer og hjælper til at skabe et overblik i rapporten. Det er valgt ikke at gennemgå fokusområdet med JSON filen, da denne ikke er et værktøj. Den er dog valgt at beskrive i modellen, da den viser sammenhængen mellem fokusområderne.

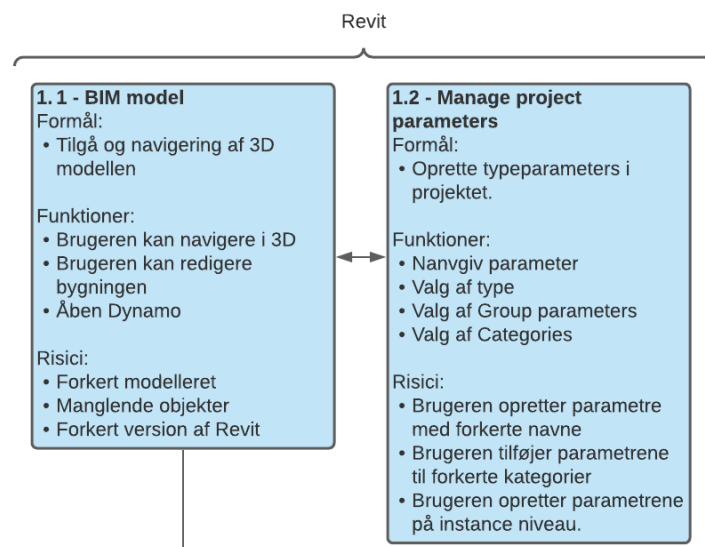
6. Løsningsforslag #1



Figur 6.18 - Samlet UED med de forskellige software, som bruges i det nye workflow.

6.3.1. Revit

I Revit er det nødvendigt at tjekke modellen for, om de korrekte LCAByg parametre er oprettet. Hvis de findes i forvejen, kan brugeren gå videre til Dynamo og eksportere dataene. Hvis parametrene ikke findes, skal brugeren oprette parametrene i Revit under manage project parameters. Dette kunne, med fordel, laves som et Dynamo script. Det er vigtigt, at parametrene oprettes med de nøjagtige parametrenavne, da import scriptet ellers ikke vil virke. Når disse parametre er oprettet, kan brugeren trykke videre til Dynamo. De forskellige formål, funktioner og risici i Revit, fremgår af Figur 6.19.



Figur 6.19 - UED i Revit med Løsningsforslag #1

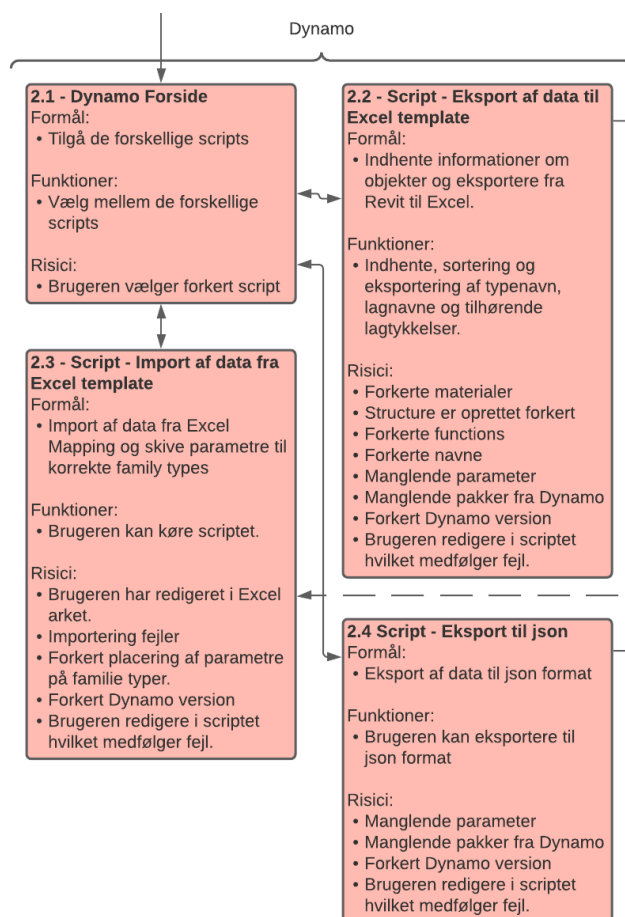
6.3.2. Dynamo

I Dynamo er fire fokusområder. I det første fokusområde 2.1 er formålet at kunne tilgå de tre forskellige Dynamo scripts.

Formålet med fokusområde 2.2 er at eksportere de korrekte informationer til Excel template. I scriptet skal brugeren vælge filplacering for Excel template. Prototypen er afgrænset til at virke med "Walls" fra Revit. Det vil dog være oplagt, at brugeren også kunne vælge, hvilke families, som skulle eksporteres. De informationer som eksporteres, er type navn på objektet, materialenavne og dertilhørende materialetykkelser.

Formålet med fokusområdet 2.3 er at importere de mappede informationer fra Excel template til BIM-modellen. Brugeren skal igen vælge filplacering for Excel template. Det er vigtigt at brugeren ikke har ændret strukturen i Excel template, da scriptet ellers vil fejle.

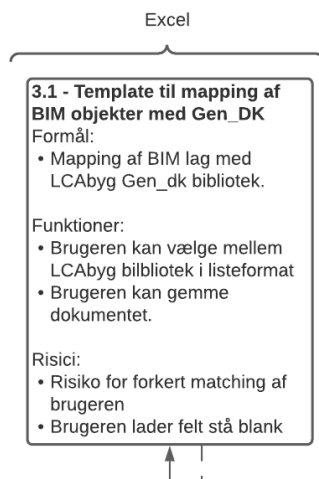
Formålet med fokusområdet 2.4 er at eksportere informationer fra BIM-modellen til JSON format og gemme som filerne elements.json og element_category_edges.json.



Figur 6.20 - Dynamo med tilhørende UED.

6.3.3. Excel template

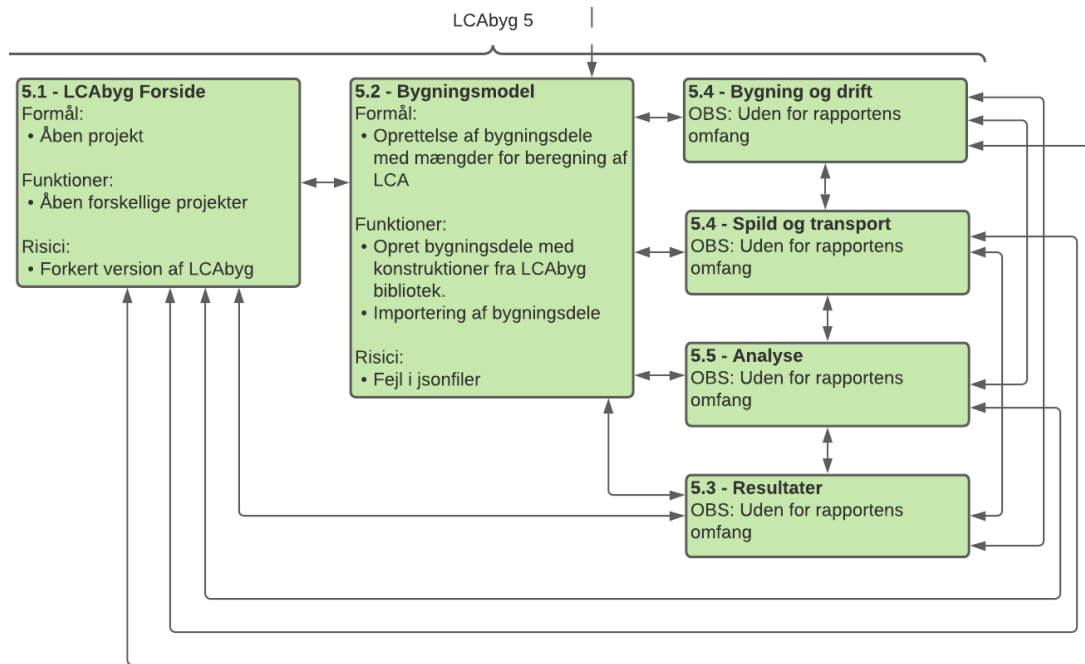
I fokusområdet 2.2 eksporteres informationerne; type navne, dertilhørende materia-lenavne og materialetykkelser fra BIM-modellen til Excel. Det fremgår af Figur 6.21, at en af funktionerne i Excel templatens er, at brugeren manuelt kan mappe BIM-objekterne med konstruktionslagene fra Gen_DK biblioteket. Efter mappingen, kan de valgte Gen_dk's konstruktionslag importeres til Revit, på de oprettede LCAByg parametre.



Figur 6.21 - Excel template med UED

6.3.4. LCAByg 5

I LCAByg 5 kan alle faner tilgås fra hinanden. Indenfor rapportens omfang er fanen bygningsmodel. I fokusområdet bygningsmodel kan de eksporterede JSON filer fra Revit importeres. Det er fravalgt at beskrive LCAByg 5's funktionalitet yderligere, da prototypen ikke kan ændre funktionaliteten i værktøjet.



Figur 6.22 - LCAByg UED

6.4. Udvikling af prototype til løsningsforslag #1

I dette afsnit tages der nu fat på udviklingen af prototypen til løsningsforslag #1. Afsnittet er opbygget efter:

1. Forklaring af metode og indhold i prototypen
2. Beskrivelse af Excel template
3. Beskrivelse af nogle udvalgte punkter fra Dynamo script til fokusområde 2.4.

Det er fravalgt at præsentere opbygningen af Dynamo scriptet til fokusområde 2.2 og fokusområde 2.3, da jeg antager disse til at være simple.

6.4.1. Metode og indhold i prototypen

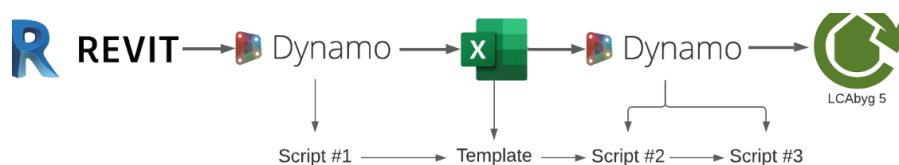
I udviklingen af prototypen er der gjort brug af Autodesk Revit 2022, Dynamo Core 2.10.1.3976, Dynamo Revit 2.10.1.4002, Excel version 2109 og LCAByg 5 version 5.1.0.14. For nærmere beskrivelse af de forskellige værktøjer, henvises til afsnit 6.1. Der er i udviklingen af prototypen, lavet følgende scripts og template:

- Script #1, Fokusområde 2.2 - Eksport til Excel template (Bilag 1)

6. Løsningsforslag #1

- Script #2, Fokusområde 2.3 - Import fra Excel template (Bilag 2)
- Script #3, Fokusområde 2.4 - Eksport til JSON (Bilag 3)
- Template, Fokusområde 3.1 - Template til mapping af BIM objekter med Gen_DK (Bilag 4)

Der er gjort brug af VPL, med Dynamo, til at lave forbindelsen mellem Revit og LCAbyg 5. Der er i udarbejdelsen af prototypen gjort brug af noden "GetCompoundStructureLayers" fra Dynamo pakken GeniusLoc. Der er yderligere i python koderne gjort brug af import uuid, -csv og -json. Prototypen er afgrænset til at lave linket mellem Revit og LCAbyg med "walls". Dette er valgt af to grunde. For det første indeholder vægge flere lag, som skal mappes med Gen_dk biblioteket. For det andet vælges der kun en bygningsdelstype, til at starte med, sådan at prototypen kan tilpasses eller forkastes, før der er investeret for meget tid i denne. Rækkefølgen som de forskellige scripts og template bør anvendes i, fremgår af Figur 6.23.



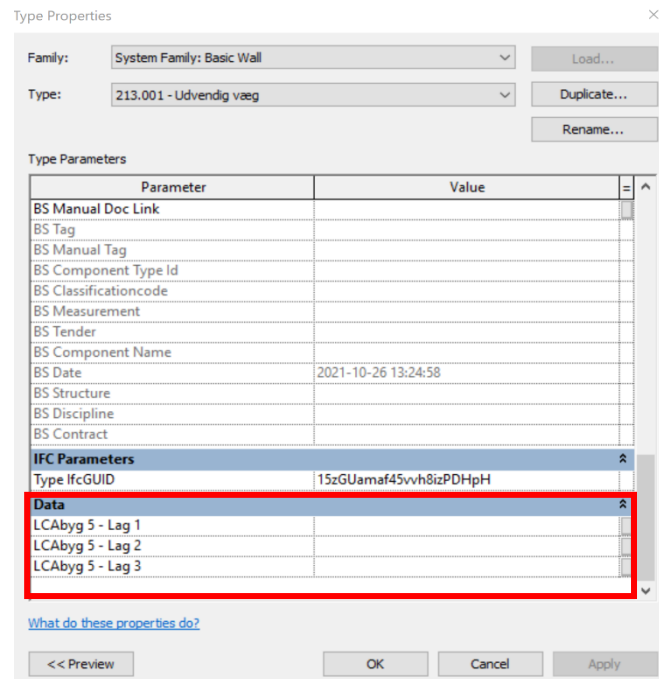
Figur 6.23 - Rækkefølgen af prototypen sammenlignet med sekvensmodellen over værktøjerne.

6.4.2. Beskrivelse af Excel template

I Figur 6.24 fremgår det, at templatens indeholder type navn (kolonne A), dertilhørende materialer (kolonne B) og materialetykkelser (kolonne C). Der er i kolonne E mulighed for at vælge det dertilhørende lag i LCAbyg 5 fra en liste. Denne liste er lavet fra constructions.csv filen. De mappede LCAbyg 5 lag, kan herefter importeres til Revit med script #2. LCAbyg lagene importeres til det korrekte objekt, og på de oprettede typeparametre, som fremgår af Figur 6.25.

	A	B	C	D	E
1	Bygningsdel	Materiale	Tykkelse (mm)	Konstruktion	Lag Lcabyg
2	213.001 - Udvendig væg	Concrete, Lightweight	180	Lag 1 - Inde	
3		Batt insulation	192	Lag 2 - Midt	
4		Brick, Common	108	Lag 3 - Ude	
5					
6	224.001 - Indvendig let skillevej	Gypsum Wall Board	25	Lag 1 - Inde	
7		Timber, C24	70	Lag 2 - Midt	
8		Gypsum Wall Board	25	Lag 3 - Ude	
9					

Figur 6.24 - Excel template med mulighed for at vælge LCAbyg 5 lag for objekterne. Kolonne A = Bygningsdels fra Revit, Kolonne B = Materiale i bygningsdel fra Revit, Kolonne C = Tykkelse af materiale



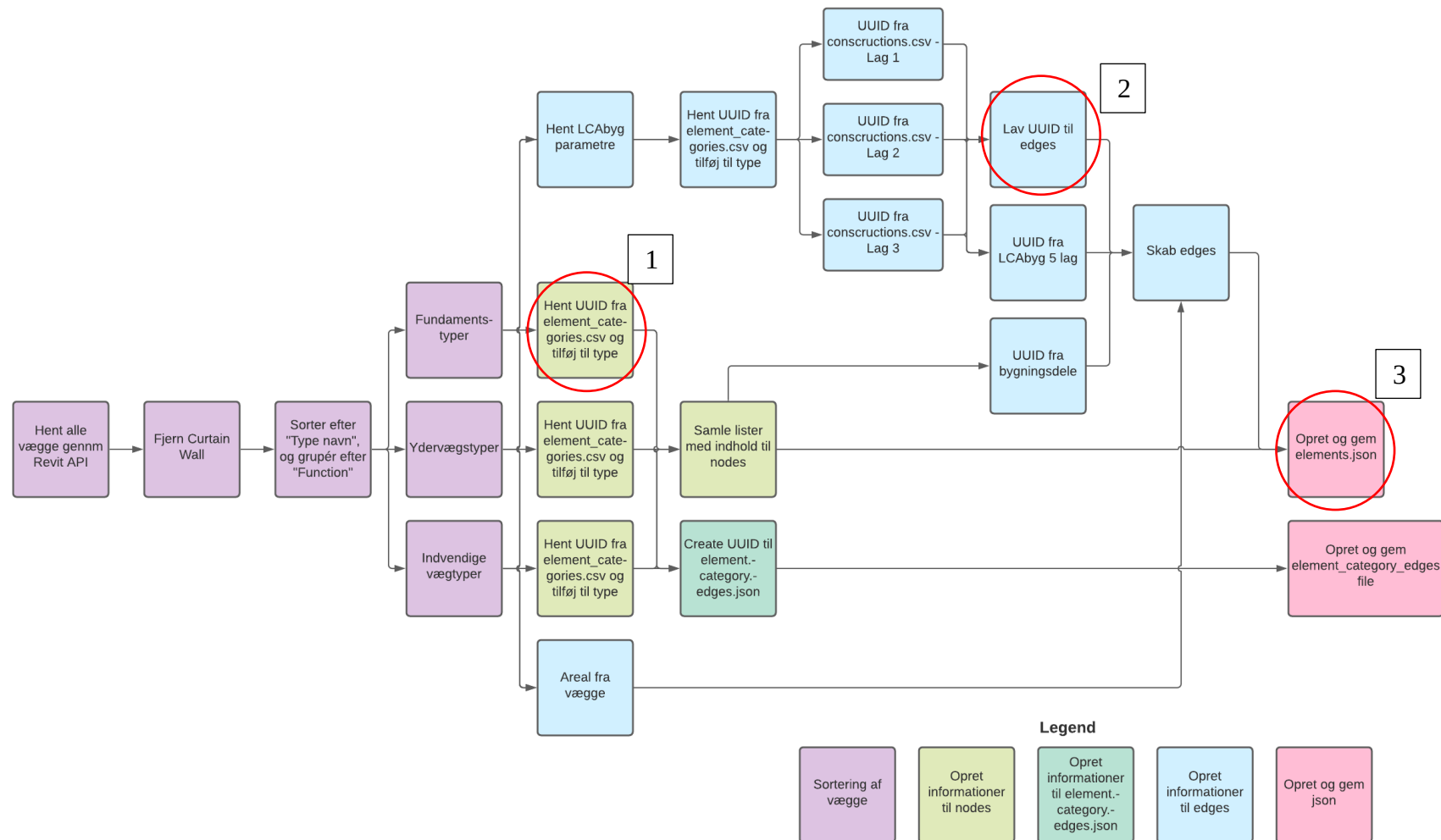
Figur 6.25 - LCAbyg 5 parametre som skal oprettes i Revit

6.4.3. Beskrivelse af Script #3 - Eksportering til JSON

I Figur 6.26 fremgår et flowchart over script #3. Flowchartet er opdelt med farver for at vise de forskellige steps i scriptet. Første del er markeret med lilla, og i denne proces hentes alle vægge i BIM modellen og sorteres efter typenavn samt "function" (ydervæg og indvendig væg). I den grønne del tildeles væggene det UUID, som relaterer sig til den bygningsdelsgruppe, de tilhører i LCAbyg 5 - dette kunne fx være ydervægge eller indvendige vægge. I de blå felter hentes de forskellige informationer, som skal bruges til at lave edges i JSON filen. Eksempelvis hentes LCAbyg 5 parametrenes værdi fra Revit og sammenligner med constructions.csv filen. På denne måde kan findes det korrekte UUID fra Gen_dk biblioteket. De pink felter er det sidste step, hvor JSON filerne oprettes og gemmes. I Figur 6.27 fremgår script #3 fra Dynamo, hvor farverne stemmer overens med flowchartet i Figur 6.26.

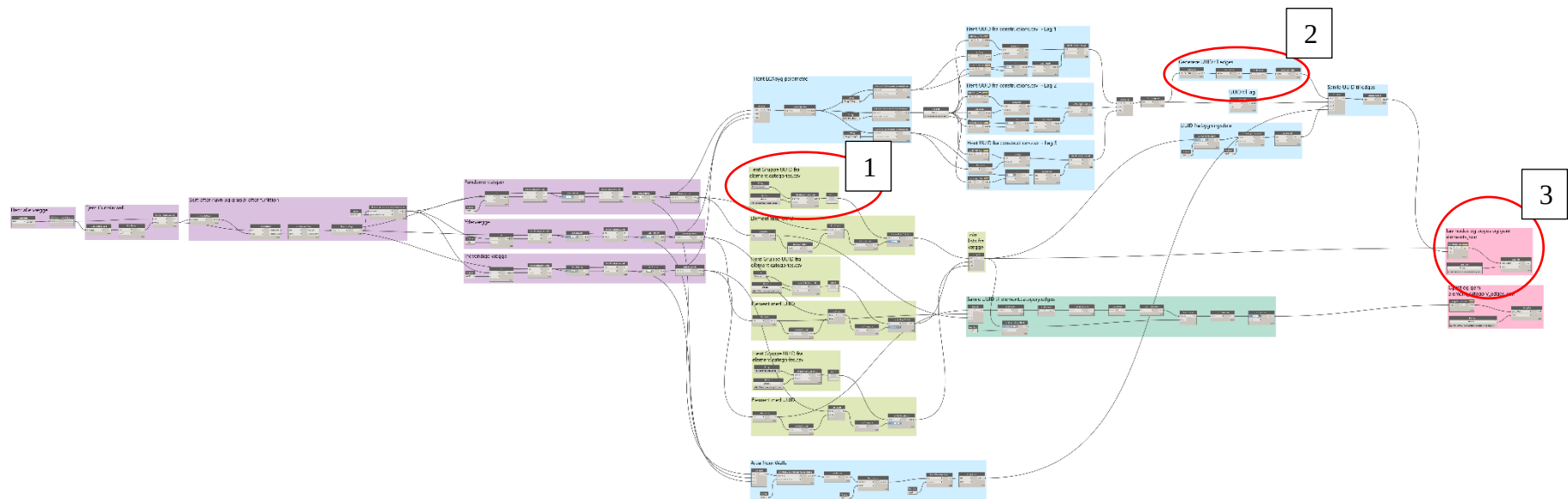
I næste afsnit forklares tre kritiske punkter, som er markeret med rød cirkel i Figur 6.26. Disse tre punkter er lavet som python kode, med forskellige imports af pakker. Først forklares, hvordan CSV filerne fra den hentede LCAbyg mappe læses. Dernæst forklares, hvordan UUID genereres. Til sidst forklares, hvordan alle informationerne sammensættes til JSON formatet.

6. Løsningsforslag #1



Figur 6.26 - Flowchart for eksportering til JSON.

6. Løsningsforslag #1



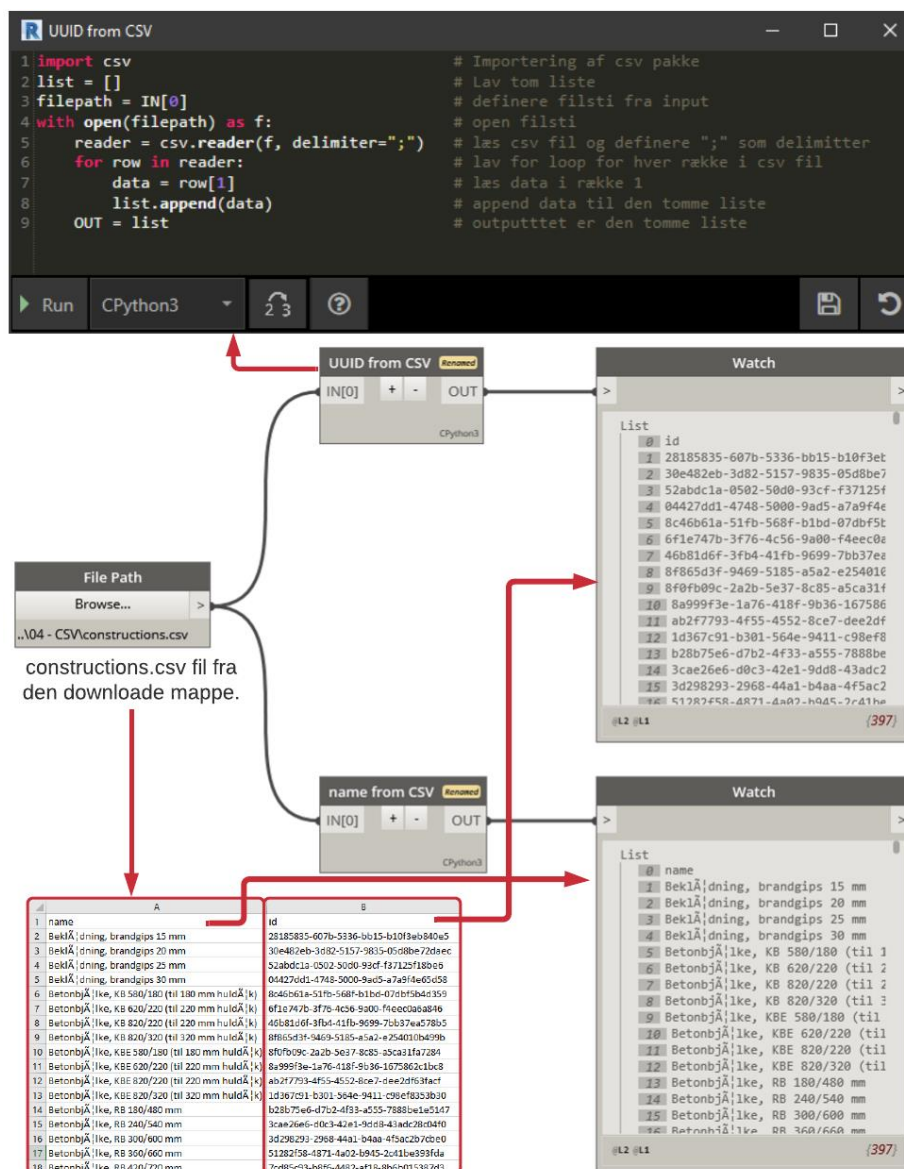
Figur 6.27 - Viser hele Dynamo Script #3. Er sat ind for at give en sammenhæng til ovenstående flowchart.- findes også i Bilag 3

Python koder i script #3

Læsning af CSV filer - Cirkel nr. 1

I script #3 læses informationer fra CSV filerne, som er hentet fra LCAbyg's hjemmeside. Dette er valgt for, at der i fremtiden kan hentes en opdateret CSV fil fra LCAbyg - og herigennem sikre, at de nyeste konstruktioner bruges.

Der hentes både informationer fra element.categories.csv og constructions.csv. Element.categories.csv bestemmer gruppen, som bygningsdelen tilhører i LCAbyg 5. Dette kunne fx være ydervægge eller indvendige vægge. Constructions.csv indeholder de konstruktionslag, som kan vælges i Excel template. CSV filerne er læst i Dynamo med Python koden, som fremgår af Figur 6.28. Forklaring af hver linje kan læses i figuren efter ”#”.



Figur 6.28 - Python kode til import af CSV file. I ovenstående kode læses første kolonne i CSV filen. Forklaring af de forskellige linjer følger efter ”#”.

6. Løsningsforslag #1

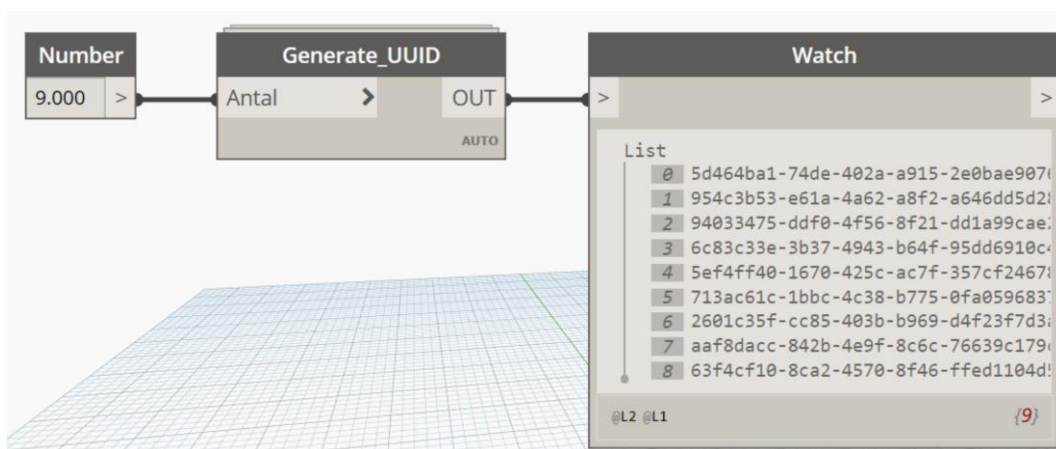
Som det fremgår af figuren, hentes både konstruktionsnavnene og UUID fra CSV filerne. Konstruktionsnavnene bruges til at matche med Revit's LCAbyg parametre. Hvis der er et match, skal den tilhørende UUID bruges videre i scriptet.

Generering af UUID - Cirkel nr. 2

I script #3 genereres UUID version 4 til de forskellige nodes og edges. Disse UUID er genereret med python koden fra Figur 6.29. Det er muligt med inputtet "IN[0]" at vælge antal UUID, som skal genereres. Hvis inputtet fx er tallet ni bliver outputtet ni forskellige UUID's - dette er illustreret i Figur 6.30. Forklaring af linjerne kan læses i figuren, efter "#". Det blev valgt at lave de genereret UUID's til strings. Grunden til dette er, at python koden, som laver JSON strukturen, ellers meldte fejl.

```
1 import uuid # import uuid pakke
2 uuid_list = [] # definer tom liste
3 IN = IN[0] # definer input
4 for x in range(IN): # for loop
5     uuids = (str(uuid.uuid4())) # lav uuid og konverter til string
6     uuid_list.append(uuids) # append uuid til liste
7 OUT=(uuid_list) # outputtet er listen med de oprettede uuid
```

Figur 6.29 - Generering af UUID's. Forklaring af de forskellige linjer følger efter "#".



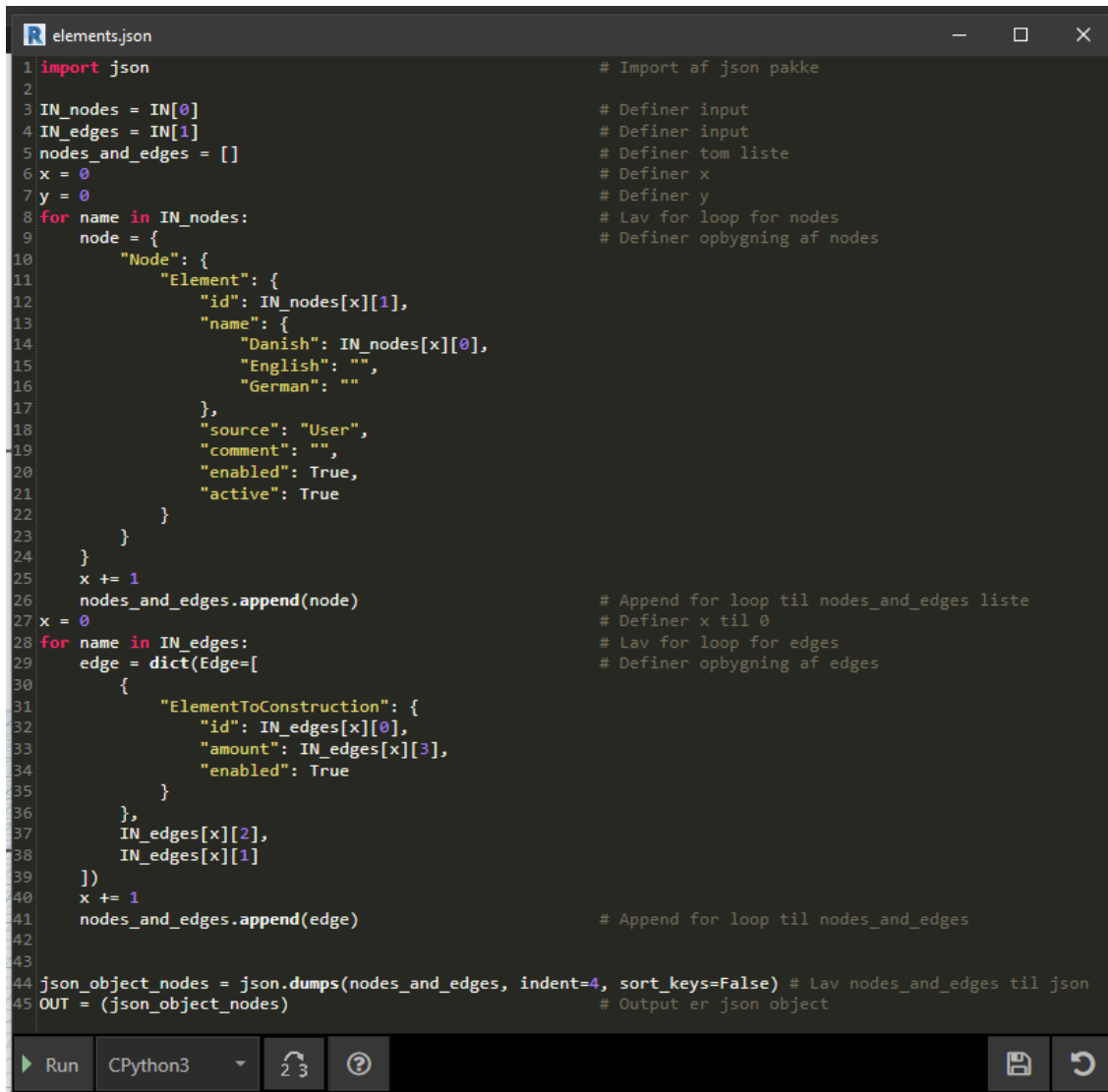
Figur 6.30 - Generering af ni forskellige UUID.

JSON struktur - Cirkel nr. 3

Til at eksportere til den korrekte JSON struktur for LCAbyg 5, er undersøgt to forskellige metoder. Først blev det undersøgt at lave JSON strukturen med Dynamo pakken JsonData. JsonData indeholder nodes til at læse eller lave JSON formatet. Dernæst blev undersøgt muligheden for at lave strukturen med en python kode, og dette blev fundet bedre til at styre strukturen. Løsningen blev derfor at gøre brug af "import json" i et python script. I denne kode laves et "for loop" for alle nodes og edges. Disse for loops "appendes" til den samme liste og derfra laves listen til JSON strukturen med koden

6. Løsningsforslag #1

”json.dumps” (række 44 i Figur 6.31). Denne python kode fremgår af Figur 6.31. Resultat af denne kode er en JSON fil, hvor et udklip fremgår af Figur 6.32.



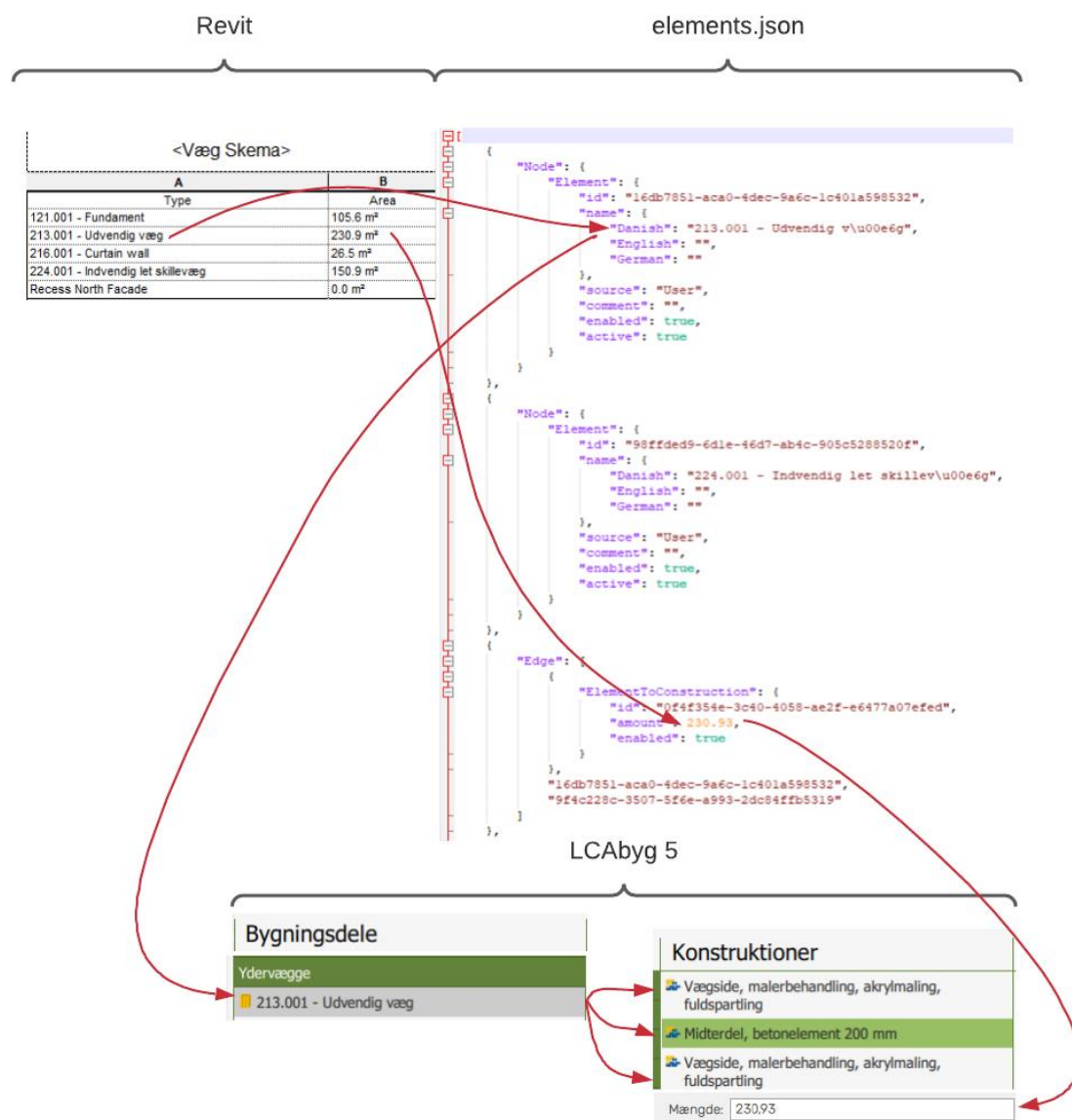
```
1 import json # Import af json pakke
2
3 IN_nodes = IN[0] # Definer input
4 IN_edges = IN[1] # Definer input
5 nodes_and_edges = [] # Definer tom liste
6 x = 0 # Definer x
7 y = 0 # Definer y
8 for name in IN_nodes: # Lav for loop for nodes
9     node = {} # Definer opbygning af nodes
10    "Node": {
11        "Element": {
12            "id": IN_nodes[x][1],
13            "name": {
14                "Danish": IN_nodes[x][0],
15                "English": "",
16                "German": ""
17            },
18            "source": "User",
19            "comment": "",
20            "enabled": True,
21            "active": True
22        }
23    }
24    x += 1
25    nodes_and_edges.append(node) # Append for loop til nodes_and_edges liste
26    x = 0 # Definer x til 0
27    for name in IN_edges: # Lav for loop for edges
28        edge = dict(Edge={ # Definer opbygning af edges
29            {
30                "ElementToConstruction": {
31                    "id": IN_edges[x][0],
32                    "amount": IN_edges[x][3],
33                    "enabled": True
34                }
35            },
36            IN_edges[x][2],
37            IN_edges[x][1]
38        ])
39        x += 1
40        nodes_and_edges.append(edge) # Append for loop til nodes_and_edges
41
42
43
44 json_object_nodes = json.dumps(nodes_and_edges, indent=4, sort_keys=False) # Lav nodes_and_edges til json
45 OUT = (json_object_nodes) # Output er json object
```

Figur 6.31 - For loop til oprettelse af elements.json med nodes og edges.
Forklaring af de forskellige linjer følger efter ”#”.

```
[
  {
    "Node": {
      "Element": {
        "id": "16db7851-aca0-4dec-9a6c-1c401a598532",
        "name": {
          "Danish": "213.001 - Udvendig v\u00e6g",
          "English": "",
          "German": ""
        },
        "source": "User",
        "comment": "",
        "enabled": true,
        "active": true
      }
    },
    "Node": {
      "Element": {
        "id": "98ffded9-6d1e-46d7-ab4c-905c5288520f",
        "name": {
          "Danish": "224.001 - Indvendig let skillev\u00e6g",
          "English": "",
          "German": ""
        },
        "source": "User",
        "comment": "",
        "enabled": true,
        "active": true
      }
    },
    "Edge": [
      {
        "ElementToConstruction": {
          "id": "0f4f354e-3c40-4058-ae2f-e6477a07efed",
          "amount": 230.93,
          "enabled": true
        },
        "16db7851-aca0-4dec-9a6c-1c401a598532",
        "9f4c228c-3507-5f6e-a993-2dc84ffb5319"
      }
    ]
  },
  ]
```

Figur 6.32 - Resultat af python kode fra Figur 6.31. Hele resultatet kan ses i bilag 5.

Når Script #3 er kørt er JSON filerne elements.json og element_category_edges.json oprettet og gemt. LCAbyg 5 kan herefter importere JSON filerne. Af Figur 6.33 fremgår resultatet af en ydervæg og sammenhængen fra Revit til LCAbyg 5. Ydervæggen bliver repræsenteret i LCAbyg 5 med typenavn, de mappede lag og mængden. Med denne eksport er arealet på type niveau. Dette betyder, at alle konstruktionslag i LCAbyg 5 får det samme areal. I designfasen er det dog beskrevet i FBK, at dette er tilladt. Ved den endelige aflevering af LCA, skal der dog bruges de faktiske mængder, for hvert enkelt materiale (Trafik- 2020) - dette script vil derfor ikke kunne bruges her.



Figur 6.33 - Sammenhæng mellem Revit, elements.json og LCAbyg 5.

6.5. Præsentation af løsningsforslag #1

Det blev valgt at præsentere løsningsforslag #1 til en workshop, da linket mellem Revit og LCAbyg 5 var lavet. Formålet med denne workshop var at skabe afklaring om prototypen burde forfines videre, eller om der burde trædes tilbage til visioning.

Det blev valgt at afholde en workshop med to BIM-specialister fra en lille ingeniør virksomhed. Virksomheden har specialiseret sig i at hjælpe bygherre og entreprenører med projekt- og risikostyring i komplicerede byggeprojekter. De to BIM-specialister blev valgt, fordi de til dagligt arbejder med BIM-processer i flere forskellige programmer.

Der gøres opmærksom på, at jeg under rapporten har haft arbejdsplads i samme virksomhed som deltagerne, og dette kan have præget resultatet af workshoppen. Jeg har haft en idé om resultatet af interviewet på forhånd, da problemstillingerne i rapporten er blevet vendt tidligere. Det blev dog vurderet, at deltagerne forholder sig objektivt til

6. Løsningsforslag #1

løsningsforslaget og deres ekspertviden indenfor BIM-processer vil belyse fordelene og ulemperne ved løsningsforslaget. Prototypen blev præsenteret med scenarietestning beskrevet af Holtzblatt, Beyer (2017). Til workshoppen blev derfor brugt click-through, på en fælles skærm, hvor deltagerne kunne se, hvordan bygningsdelene oprettes fra Revit i LCAbyg5.

Workshoppen havde en varighed på cirka 40 minutter og forløbet var følgende:

1. Præsentation af løsningsforslag #1 med click-through af prototypen
2. Fælles dialog mellem deltagerne og forfatteren, hvor deltagerne var blevet bedt om:
 - a. Forholde sig kritisk til det præsenterede workflow i løsningsforslaget.
 - b. Er de to verdener (ontologier) i forhold til forståelsen af en bygningsdel for forskellige til, at linket bliver godt?

Der blev udfyldt fordele og ulemper samtidig med, at deltagerne kunne se dette på en fælles skærm. Dette blev valgt, da det gav deltagerne mulighed for, at rette forkerte fortolkninger. Dette var med til at sikre, at der efter workshoppen, var en fælles enighed om fordelene og ulemperne.

Der er af de udfyldte fordele og ulemper udført kondensering i forhold til emnerne processen, ontologi, muligheder/begrænsninger og andre kommentarer. Efter kondenseringen er denne sendt til godkendelse hos deltagerne. Formålet med dette er at undgå misforståelser og forkerte fortolkninger i kondenseringen. Resultatet af workshoppen fremgår af Tabel 6.3. Jeg har selv tilføjet en fordel og en ulempe på baggrund af egen viden. Disse kommentarer er efterfuldt af ”(forfatter)”.

6.5.1. Resultat fra workshop

Fordele	Ulemper
Processen • Den automatiske overførsel er løst • Minimere fejlkilder, da der er mindre manuel indtastning • Skaber konsistens mellem model og LCAbyg ift. typenavne og mængder • Kan styre meget fra modellen	Processen • Mange skridt i processen • For tung arbejdsgang (mange klik) til at det kan implementeres • Manuelt i Excel • Ikke særlig BIM
Muligheder • Kan måske bruges i de tidlige faser • Det fungerer fint, at Revit er databasen • Kan mindske tiden ved oprettelsen af projektet i LCAbyg (forfatter)	Ontologi • Tror måske ikke linket bliver helt godt, da det kræver datastrukturen, er mere ens. • Branchen snakker et andet sprog • LCAbyg bruger ikke klassifikation og der mangler strukturering
	Begrænsninger • Man kan ikke arbejde med det, som ikke er modelleret. • Overskriver/ny oprettelse er et problem • Kan ikke opdatere • Bundet af de tre lag • Løser ikke at LCAbyg snakker sammen med BIM, men flytter dataene. • Løsningen er proprietær, da den henviser sig til Revit (forfatter)
	Andre kommentarer • LCAbyg skal ikke have deres egen database.

Tabel 6.3 - Kondensering af fordele og ulemper fra workshop.

Fordele

I workshoppen var der enighed blandt deltagerne om, at linket mellem Revit og LCAbyg er løst. Med det præsenterede workflow, vil risikoen for fejlkilder blive minimeret, da der er færre manuelle indtastninger sammenlignet med oprettelse af bygningsdelene manuelt. Prototypen sikrer også en konsistens mellem BIM-objekterne og LCAbyg 5. Dette skyldes, at typenavnene fra BIM-objekterne bruges som bygningsdelsnavn i LCAbyg 5. Deltagerne kunne se mulighederne i, at dette workflow kan understøtte de tidlige projekteringsfaser. Derudover blev det anset som en fordel at importere LCAbyg konstruktionslagene tilbage i Revit, på de oprettede LCAbyg parametre. Dette skyldes, at deltagerne kunne se muligheder i at have informationerne samlet i BIM modellen. Udover førnævnte fordele vurderer jeg en tidsmæssig fordel. Den tidsmæssige skal findes i oprettelsen af et projekt i LCAbyg 5. Dette skyldes, at LCA-eksperterne i dag opretter alle informationer, i LCAbyg 5, med manuelle indtastninger.

Ulemper

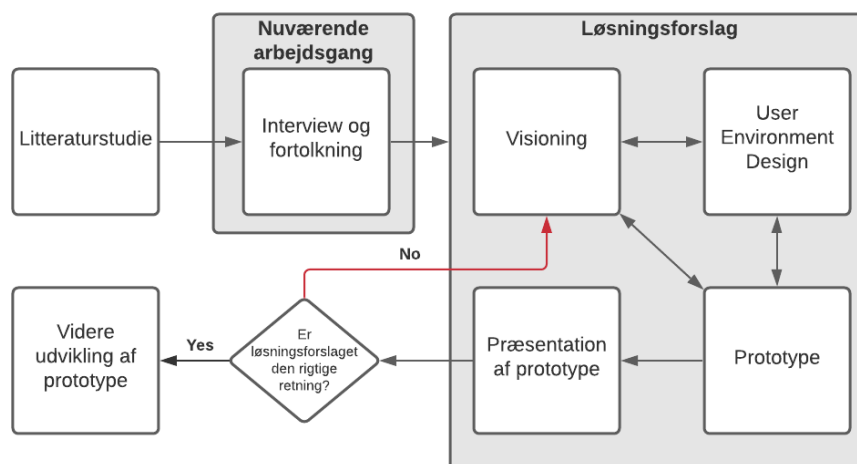
For det første blev der nævnt nogle ulemper, som relaterer sig til processen. Det blev nævnt at prototypen kræver mange klik og dermed vil være svær at implementere hos nye brugere. Dette vurderer jeg at kunne løses med, at dataene ikke skulle eksporteres til Excel, for at mappe BIM objekterne med Gen_dk. Som nævnt tidligere, kunne dette derimod laves som et plugin i Revit. En anden ulempe relateret til processen er, at mappingen i Excel forgår manuelt.

For det andet er forståelsen af sprogene/dataene forskellige i BIM og LCAbyg. På grund af dette blev det påpeget, at linket måske aldrig bliver helt godt. For det tredje nævnte deltagerne nogle forskellige begrænsninger. Dette er, at scriptet overskriver tidligere informationer og dermed ikke opdatere dem. Dette gør fx, at udført arbejde i LCAbyg ikke kan genbruges ved næste eksport. Dette betyder, at brugeren i LCAbyg manuelt skal tilføje de ændringer, som ellers blev lavet tidligere. Derudover blev det nævnt scriptet ikke løser, at BIM-LCA kan snakke sammen, men kun flytter nogle data.

Videre udvikling af løsningsforslag eller tilbage til visioning?

Deltagerne kunne se mulighederne i scriptet, og det løste et problem. Det blev dog nævnt af deltagerne til workshopen, at de ikke tror linket bliver ”helt godt, da dette vil kræve mere ens datastruktur” mellem BIM og LCAbyg 5. Derudover nævnte deltagerne flere begrænsninger i scriptet, som ikke kan løses gennem forfining af scriptet. Eksempler på dette er, at man er bundet af LCAbyg’s lagopdeling, samt processen overskriver tidligere udført udarbejde i LCAbyg 5.

Da de to ontologier er forskellige, og det tyder på, at linket aldrig vil blive ”helt godt”, er det valgt at gå tilbage til visioning, hvilket er illustreret på Figur 6.34 med en rød pil.



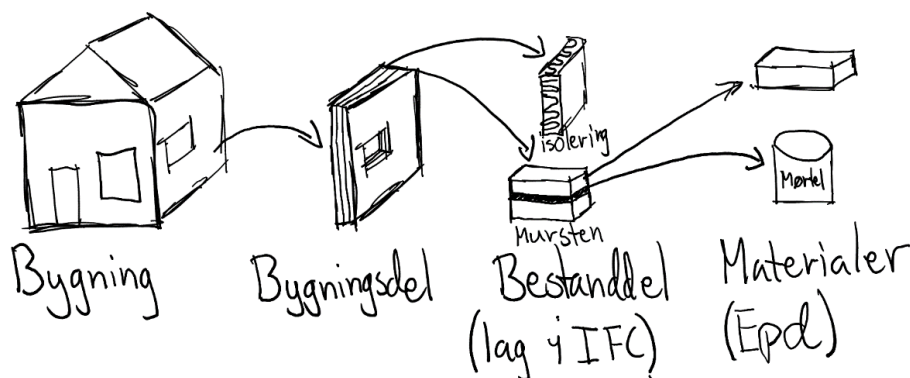
Figur 6.34 - Viser processen over udviklingen af prototype. Det blev herfra valgt at gå tilbage til visioning og starte forfra.

7. Løsningsforslag #2

I dette afsnit undersøges muligheden for et andet løsningsforslag, hvor LCAByg 5 ikke skal bruges. Da FBK stiller krav om, at beregning og dokumentation skal udføres i LCAByg 5 eller med tilsvarende beregningsmetode og beregningsforudsætninger er det valgt, at dette løsningsforslag også skal bruge Ökobaudat databasen (Trafik- 2020).

Det er derudover valgt, at det nye løsningsforslag skal understøtte Open BIM, og derfor undersøges en proces, som gør brug af IFC som datadelingsmodel. IFC er valgt af tre grunde. For det første er det den mest benyttede datamodel i byggebranchen (Sacks, Eastman et al. 2018). For det andet bør et fremtidigt LCA-værktøj understøtte flere BIM-modellerings værktøjer, fordi et projekt kan være opbygget i flere forskellige modellerings værktøjer. For det tredje er det usikkert, hvilke BIM-modellerings værktøjer, som bruges i fremtiden.

Visioning starter dermed forfra ved at arbejde mod et nyt LCA værktøj efter Wastiels, Decuypere (2019) strategi nummer to, som er beskrevet i afsnit 4.1.2. Som beskrevet i dette afsnit, indebærer denne at eksportere BIM modellen til IFC og derefter importerer geometrien og egenskaberne i LCA-værktøjet. Dette giver mulighed for, at man kan importere en ændret version af IFC-datamodellen, uden at miste linket til LCA-databasen. IFC benytter GUID (Globally Unique Identifier), som eksporteres med bygningsdelene, og dette kan bruges til at lave linket med LCA-databasen (Wastiels, Decuypere 2019). Det er valgt at tydeliggøre forskellen mellem bygning, bygningsdele, bestanddele og materialer. Dette er gjort, fordi der i udarbejdelsen af løsningsforslaget ofte bruges forklaringer, som henvender sig til de forskellige detaljeringsgrader af en bygning.



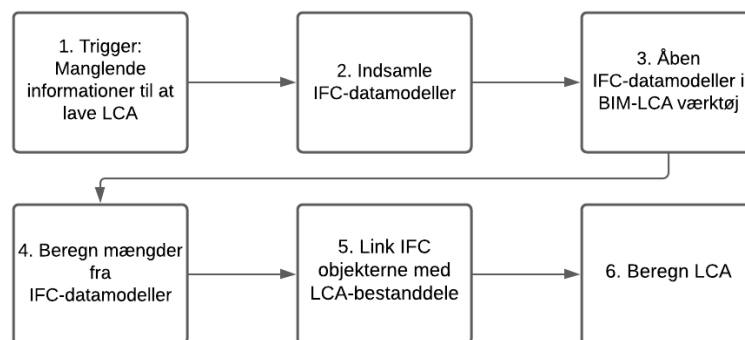
Figur 7.1 - Rapportens sammenhæng mellem bygning, bygningsdel, bestanddel og materialer

I Figur 7.1 fremgår sammenhængen af de forskellige detaljeringsgrader. Det fremgår heraf, at en bygning består af flere forskellige bygningsdele. En bygningsdel - væg, tag, dør, vindue osv. - kan bestå af flere forskellige bestanddele. En bestanddel består af flere

forskellige materialer. Det kan yderligere ses, at bestanddel er lig med lagene i IFC-datamodellen.

7.1. Visioning

I Figur 7.2 fremgår en ny sekvensmodel for LCA-eksperten. LCA-eksperten skal indhente de forskellige fagmodeller, som IFC-datamodeller. Det formodes, at i et typisk projekt deles modellerne løbende, mellem de forskellige fag, og derfor burde disse modeller være til rådighed for LCA-eksperten. Når de forskellige modeller er indhentet, kan de åbnes med LCA-værktøjet. I værktøjet kan der laves en mapping mellem et LCA-bestanddele bibliotek og IFC-datamodellens bygningsdele. Med denne mapping laves der et link mellem IFC-datamodellen og LCA-bestanddele biblioteket. En af fordelene ved dette er, at IFC-datamodellen kan opdateres løbende, mens linket til bestanddelene beholdes.



Figur 7.2 - Sekvensmodel over den nye vision.

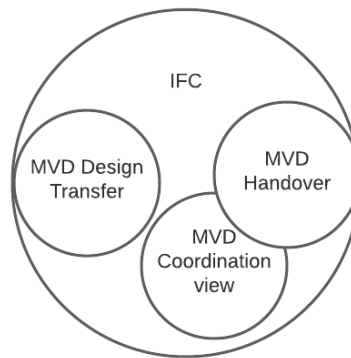
Før der kan laves UED af dette workflow, er der nogle spørgsmål, som bør besvares. Disse spørgsmål er valgt undersøgt, da de har betydning for, hvordan det nye workflow kan udføres. Derfor er undersøgt følgende:

- Indeholder IFC-datamodellen materialer og dertilhørende tykkelser?
 - Dette er valgt at undersøge, fordi DiKon anbefaler, at materialerne og dertilhørende tykkelse, skal være tilgængelige for LCA-eksperten på LOD 300 DK
- Hvordan bør strukturen være i et nyt generisk LCA-bestanddele bibliotek?
 - Dette er valgt at undersøge, for at imødekomme ens ontologier mellem BIM og LCA
- Hvordan kan informationerne hentes fra Ökobaudat databasen?
 - Før et nyt værktøj kan udvikles, bør det undersøges, hvordan LCA-dataene kan hentes fra Ökobaudat, fordi denne skal bruges som beregningsforudsætning

7.1.1. IFC-datamodel og materialer

IFC er et skema udviklet til at definere et udvideligt sæt af konsistente datarepræsentationer af bygningsinformationer til udveksling mellem AEC softwareapplikationer (Architect, Engineer og Construction) (Sacks, Eastman et al. 2018).

MVD'er (Model View Definition) har betydning for, hvilke dele af en IFC-datamodel, som kommer med i eksporten. I Figur 7.3 fremgår det, at MVD'en er en delmængde af IFC-skemaet. I Danmark bruges ofte IFC 2x3 med MVD'en Coordination View Version 2.0 (Graabæk, Østergaard et al. 2020). Det er derfor valgt at undersøge, om IFC2x3 indeholder de materialelag med dertilhørende tykkelser som DiKon forskriver bør udveksles, samt at disse også er indeholdt i MVD'en Coordination View Version 2.0.

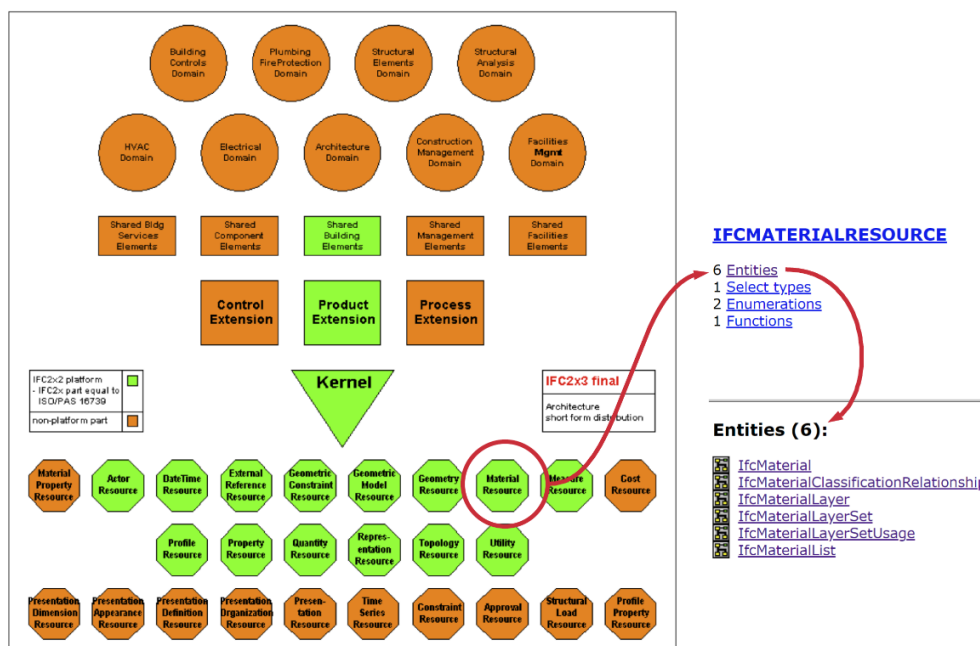


Figur 7.3 - Viser at MVD'er er en delmængde af en IFC datamodel (Baseret på Berlo 2019)

Dette er undersøgt i specifikationen for IFC2x3 på technical.buildingsmart.org (Liebich, Adachi et al. 2019). Da IFC-datamodellen er meget omfangsrig og kompleks, er datamodellen struktureret i fire lag: Resource layer, Core layer, Interoperability layer og Domain layer. Princippet i disse lag er, at elementer i de øverste lag kan referere til elementer i lagene under, men ikke omvendt (Borrmann, König et al. 2018)

I Figur 7.4 er det vist, at resource layer indeholder IfcMaterialResource Definitions. I denne findes seks entiteter - IfcMaterial, IfcMaterialClassificationRelationship, IfcMaterialLayer, IfcMaterialLayerSet, IfcMaterialLayerSetUsage og IfcMaterialList.

7. Løsningsforslag #2



Figur 7.4 - Screenshot fra Liebich, Adachi et al. (2019) som viser at IFC2x3 material entities.

Det er derudover sikret, at disse materiale entiteter er indeholdt i MVD'en Coordination View Version 2.0. Dette er sikret med Coordination View Version 2.0 entity list, som kan hentes fra technical.buildingsmart.org (Berlo 2021). I Figur 7.5 fremgår et screenshot fra denne entity list, der viser, at førnævnte IFC-entiteter er markeret med grøn, og dermed er en del af MVD'en Coordination View Version 2.0.

Material	Material	
IfcMaterial	Material	1
IfcMaterialClassificationRelationship	Material	1
IfcMaterialLayer	Material	1
IfcMaterialLayerSet	Material	1
IfcMaterialLayerSetUsage	Material	1
IfcMaterialList	Material	1

Figur 7.5 - Screenshot fra Coordination View Version 2.0 entity list. Grøn betyder at de forskellige IfcMaterial er en del af denne MVD.

Det kan konkluderes, at den mest brugte MVD i Danmark indeholder de informationer som DiKon foreskriver, der bør være i modellen på LOD300. Det er derfor muligt at bruge IFC 2x3 Coordination View Version 2.0, som input til et LCA-værktøj.

Det er dog vigtigt at bemærke, at entiteter i resource layer ikke indeholde GUID (Sacks, Eastman et al. 2018). Det vurderes derfor at være nødvendigt, at LCA-værktøjet kan oprette et unikt ID, for hvert materiale på de forskellige bygningstyper. Dette vil gøre, at bestanddelene i IFC-datamodellen, kan linkes med LCA-bestanddele biblioteket.

7.1.2. *Hvordan skal strukturen være i et nyt generisk bibliotek*

I løsningsforslag #2 er der forslået et nyt LCA-bestanddele bibliotek sammensat af generiske materialer. Det skal være muligt, fra et bibliotek, at vælge en mursten som bestanddel. Denne bør, udover LCA-informationer om mursten, også indeholde LCA-informationer om mørtel.

I LCAByg 5 er der lavet et bibliotek af konstruktioner, men som forklaret tidligere er ontologien af dette anderledes end i BIM. Det blev i løsningsforslag #1 fundet essentielt, at der bør være en ens ontologi mellem BIM og LCA, da dette vurderes at øge interoperabiliteten.

Det er valgt at udarbejde Tabel 7.1, som viser to eksempler på, hvordan LCA-bestanddele biblioteket bør opbygges. Essensen bag denne er, at hvis materialet er modeleret i BIM-modellen, skal det kunne mappes med et materiale i LCA-bestanddele biblioteket. På denne måde undgås det, at fx isolering og beton skal mappes med samme konstruktionslag - som der ellers gøres brug af i LCAByg 5. Det skal derudover være muligt i LCA-værktøjet, at tilføje yderligere materialer, som ikke er tegnet - et eksempel på dette er maling.

IFC eksporteret lag	LCA-bestanddele bibliotek med dertilhørende materialer
Tung Ydervæg • Mursten 108 mm • Isolering 245 mm • Porebeton 100 mm	• Mursten ○ Mursten (EPD) ○ Mørtel (EPD) ○ Binder (EPD) • Isolering • Porebeton ○ Porebeton (EPD) ○ Mørtel (EPD) • Maling (Tilføjes manuelt) ○ Puds (EPD) ○ Grunder (EPD) ○ Maling (EPD)
Let Ydervæg • Beklædning • Luft • Vindspærre • Isolering • Dampspærre • Isolering • Gipsplade	• Beklædning ○ Beklædning (EPD) ○ Fastgørelse (EPD) • Luft (LCA-profil) ○ Afstandslist (EPD) • Vindspærre ○ Vindspærre (EPD) ○ Fastgørelse (EPD) • Isolering ○ Isolering (EPD) ○ Konstruktionstræ (EPD) • Dampspærre • Gipsplade ○ Afretningslag (EPD) ○ Fastgørelsesmidler (EPD) • Maling (Tilføjes manuelt) ○ Grunder (EPD) ○ Maling (EPD)

Tabel 7.1 - Pilene viser mapping mellem IFC-materialer og LCA-bibliotek.

7.1.3. Hvordan skal miljøpåvirkningerne hentes fra LCA-databasen Ökobaumat

Sidste spørgsmål, som er undersøgt i visioning, er at undersøge hvordan miljøpåvirkningerne kan hentes fra Ökobaumat. Der blev fundet to muligheder for dette. For det første er det muligt at downloade det nuværende Ökobaumat dataset, som zip arkiv eller CSV-fil. Den anden mulighed er at bruge Ökobaumat's åbne API løsning (Ökobaumat 2021). I dette afsnit er det undersøgt at hente dataene med API løsningen. Dette er valgt, da det vurderes at give bedre muligheder, for at opdatere informationerne i et kommende LCA-værktøj automatisk.

Det er muligt at hente en zip-fil med "developer documentation" fra Ökobaumat. I denne kan man finde dokumentationen for de forskellige API forespørgsler, som Ökobaumat understøtter. Det er testet igennem værktøjet Postman version 9.1.3, hvilken

API forespørgsel, som kan hente miljøpåvirkningsinformationerne. Postman er et værktøj, der er udviklet specifikt til API testning (Postman 2021).

Ved hjælp af ”developer dokumentation” filen og testning med Postman, blev det fundet, at følgende API med GET forespørgsel, bruges til at hente miljøpåvirkningerne:

GET: oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/datastocks/cd2bda71-760b-4fcc-8a0b-3877c10000a8/processes/{UUID}?parameter¶meter¶meter

Den sidste UUID, markeret med blå, i API'en skal være den UUID, som tilhører materialet fra Ökobaudat's database. Det er derudover muligt at tilvælge tre forskellige parametre - markeret med grøn. Disse tre parametre er version, format og/eller view. Parameteret version kan specificere versionen af EPD'en/materialet, som ønskes hentet - som standardværdi hentes den nyeste version. Format bestemmer om responsen fra API'en er HTML eller XML - som standardværdi bruges HTML. View specificerer om API'en skal være et resume, detalje eller metadata af datasættet.

Et eksempel på en API for mineraluld med en UUID fafd5743-0b42-4614-8e3d-5c4eacdfba98, samt parametrene format=XML og view=detail er derfor følgende:

GET: oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/datastocks/cd2bda71-760b-4fcc-8a0b-3877c10000a8/processes/fafd5743-0b42-4614-8e3d-5c4eacdfba98?format=xml&view=detail

I Figur 7.6 kan ses et udklip af resultatet af denne forespørgsel, hvor værdierne for GWP af faserne A1-A3, C2, C3 og C4 og enheden er markeret med rød. I xml filen kan yderligere findes de resterende påvirkningskategorier indeholdt i EPD'en. Hele resultatet kan findes i bilag 6. Med denne forespørgsel, er det derfor muligt at hente informationer fra Ökobaudat databasen.

Det er yderligere undersøgt at filtrere i xml filen gennem programmet PyCharm, der benytter python kode. I Figur 7.7 fremgår en python koden, som laver API forespørgslen og derefter filtrere i XML filen. I koden er der gjort brug af import numpy, -request, -xmldict og -pandas. Outputtet fra denne kode er vist i Figur 7.8, hvor xml filen er filtreret og sorteret i tre kolonner med fase, mængde og enhed. Denne kode er lavet for, at vise mulighederne for at sortere i datasættet, som hentes fra Ökobaudat.

7. Løsningsforslag #2

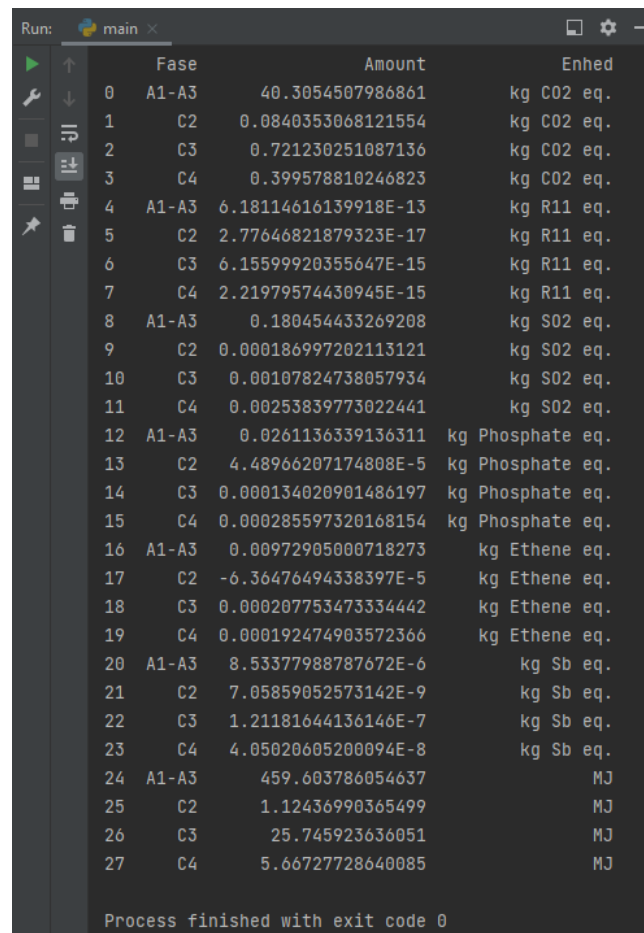
```
<LCIAResults>
  <LCIAResult>
    <referenceToLCIAMethodDataSet refObjectId="77e416eb-a363-4258-a04e-171d843a6460" version="39.00.000"
    type="LCIA method data set" uri="http://lcamethods/77e416eb-a363-4258-a04e-171d843a6460.xml">
      <common:shortDescription xmlns:common="http://lca.jrc.it/ILCD/Common"
      xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013" xml:lang="en">Global warming potential (GWP)</common:shortDescription>
      <common:shortDescription xmlns:common="http://lca.jrc.it/ILCD/Common"
      xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013" xml:lang="de">Globales Erwärmungspotenzial
      (GWP)</common:shortDescription>
    </referenceToLCIAMethodDataSet>
    <common:other xmlns:common="http://lca.jrc.it/ILCD/Common">
      <epd:amount xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013" epd:module="A1-A3">40.3054507986861</epd:amount>
      <epd:amount xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013" epd:module="C2">0.0840353068121554</epd:amount>
      <epd:amount xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013" epd:module="C3">0.721230251087136</epd:amount>
      <epd:amount xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013" epd:module="C4">0.399578810246823</epd:amount>
    </common:other>
    <epd:referenceToUnitGroupDataSet xmlns:epd="http://www.iai.kit.edu/EPD/2013"
    refObjectId="1ebf3012-d0db-4de2-aefd-ef30cedb0be1" version="39.00.000" type="unit group data set"
    uri="http://unitgroups/1ebf3012-d0db-4de2-aefd-ef30cedb0be1.xml">
      <common:shortDescription xml:lang="en">kg CO2 eq.</common:shortDescription>
      <common:shortDescription xml:lang="de">kg CO2 Äquiv.</common:shortDescription>
    </epd:referenceToUnitGroupDataSet>
  </LCIAResult>
</LCIAResults>
```

Figur 7.6 - Udklip af resultat fra GET request API fra Ökobaudat.

```
1 import numpy
2 import requests
3 import xmltodict
4 import pandas
5 list_amount = []
6 list_fase = []
7 list_enhed = []
8 list_enhed2 = []
9 i = 0
10 parameters = {"format": "xml", "view": "detail"}
11 uuid = "fafd5743-0b42-4614-8e3d-5c4eacdfba98"
12 response = requests.get(
13     ("http://oekobaudat.de/ÖK08AU.DAT/resource/datastocks/cd2bda71-760b-4fcc-8a0b-3877c10000a8/processes/" + uuid,
14     params=parameters)
15 data = xmltodict.parse(response.content)
16 xml = data["processDataSet"]["LCIAResults"]["LCIAResult"]
17 for enhed in xml:
18     xml = data["processDataSet"]["LCIAResults"]["LCIAResult"][i]["common:other"]["epd:referenceToUnitGroupDataSet"]
19     "common:shortDescription"][0]["#text"]
20     i += 1
21 list_enhed.append(xml)
22 xml = data["processDataSet"]["LCIAResults"]["LCIAResult"]
23 i = 0
24 y = 0
25 for LCIAResult in xml:
26     xml = data["processDataSet"]["LCIAResults"]["LCIAResult"][i]["common:other"]["epd:amount"]
27     x = 0
28     for amount in xml:
29         xml = data["processDataSet"]["LCIAResults"]["LCIAResult"][i]["common:other"]["epd:amount"][x]["@epd:module"]
30         list_fase.append(xml)
31         xml = data["processDataSet"]["LCIAResults"]["LCIAResult"][i]["common:other"]["epd:amount"][x]["#text"]
32         list_amount.append(xml)
33         list_enhed2.append(list_enhed[y])
34         x += 1
35     y += 1
36     i += 1
37 list = [list_fase, list_amount, list_enhed2]
38 list_transpose = numpy.transpose(list)
39 pandas.set_option('display.max_rows', None, 'display.max_columns', None, 'display.width', None, 'display.max_colwidth', None)
40 df = pandas.DataFrame(list_transpose, columns=["Fase", "Amount", "Enhed"])
41 print(df)
```

Figur 7.7 - Python kode som laver en API forespørgsel og derefter filtrere XML responsen i kolonner med faser, mængder og enhed.

7. Løsningsforslag #2



	Fase	Amount	Enhed
0	A1-A3	40.3054507986861	kg CO2 eq.
1	C2	0.0840353068121554	kg CO2 eq.
2	C3	0.721230251087136	kg CO2 eq.
3	C4	0.399578810246823	kg CO2 eq.
4	A1-A3	6.18114616139918E-13	kg R11 eq.
5	C2	2.77646821879323E-17	kg R11 eq.
6	C3	6.15599920355647E-15	kg R11 eq.
7	C4	2.21979574430945E-15	kg R11 eq.
8	A1-A3	0.180454433269208	kg S02 eq.
9	C2	0.000186997202113121	kg S02 eq.
10	C3	0.00107824738057934	kg S02 eq.
11	C4	0.00253839773022441	kg S02 eq.
12	A1-A3	0.0261136339136311	kg Phosphate eq.
13	C2	4.48966207174808E-5	kg Phosphate eq.
14	C3	0.000134020901486197	kg Phosphate eq.
15	C4	0.000285597320168154	kg Phosphate eq.
16	A1-A3	0.00972905000718273	kg Ethene eq.
17	C2	-6.36476494338397E-5	kg Ethene eq.
18	C3	0.000207753473334442	kg Ethene eq.
19	C4	0.000192474903572366	kg Ethene eq.
20	A1-A3	8.53377988787672E-6	kg Sb eq.
21	C2	7.05859052573142E-9	kg Sb eq.
22	C3	1.21181644136146E-7	kg Sb eq.
23	C4	4.05020605200094E-8	kg Sb eq.
24	A1-A3	459.603786054637	MJ
25	C2	1.12436990365499	MJ
26	C3	25.745923636051	MJ
27	C4	5.66727728640085	MJ

Process finished with exit code 0

Figur 7.8 - Resultatet af python koden fra Figur 7.7. Viser de hentede miljøpåvirkningerne for mineraluld fra Ökobaumat.

7.1.4. Opsummering af udfordringer i visioning af løsningsforslag #2

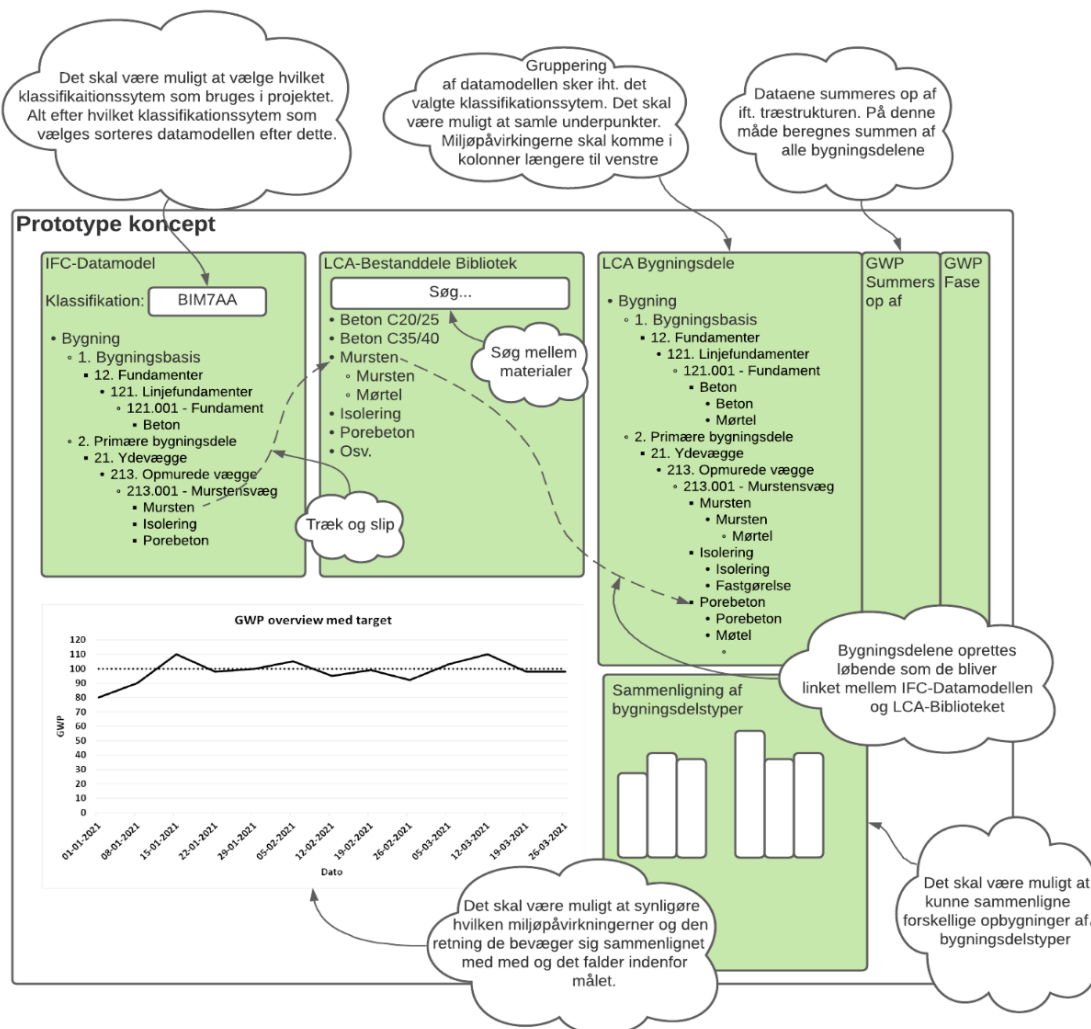
Det blev valgt at undersøge tre udfordringer, før der kunne laves UED af løsningsforslag #2. For det første blev det fundet, at IFC-datamodellen indeholder materialer og materialetykkelse. For det andet er der udarbejdet en ramme for, hvordan et nyt LCA-bestanddele bibliotek bør struktureres. For det tredje er det undersøgt, hvordan informationer fra LCA-databasen Ökobaumat, kan hentes gennem den åbne API.

7.1.5. Prototypekoncept

Der er udarbejdet et prototypekoncept i nærværende afsnit. Dette er valgt, for at skabe et overordnet overblik over funktioner i et kommende LCA-værktøj.

I Figur 7.9 fremgår prototypekonceptet for opbygningen af prototypen i løsningsforslag #2. Prototypen skal indeholde tre forskellige fokusområder. For det første, skal der være et fokusområde af IFC-datamodellen. IFC-datamodellen skal kunne sorteres efter den klassifikationskode, som er brugt i projektet. Denne funktion er tilvalgt på baggrund af Veselka, Nehasilová et al. (2020) anbefalinger til BIM-LCA. En af Veselka,

Nehasilová et al. (2020) anbefalinger er, at der i BIM-LCA skal bruges et klassifikations-system på tværs af hele projektet. I eksemplet i Figur 7.9 vises IFC-datamodellen med BIM7AA typekode, men dette kunne også have været CCS eller et helt tredje. Det kan yderligere ses, at IFC-datamodellen er grupperet efter klassifikationskoden.



Figur 7.9 - Visioning af prototypekoncept

Nummer to visning er LCA-bestanddele biblioteket. Denne indeholder de bestanddele som lagene fra IFC-datamodellen, skal mappes til. Dette bestanddele bibliotek skal opbygges efter Tabel 7.1. Biblioteket kan med fordel oprettes efter en materialeklassifikation. Det vurderes, at hvis lagene i IFC-datamodellen bruger samme materialeklassifikation, at mapping mellem IFC-materialelagene og LCA-bestanddele biblioteket vil kunne ske automatisk.

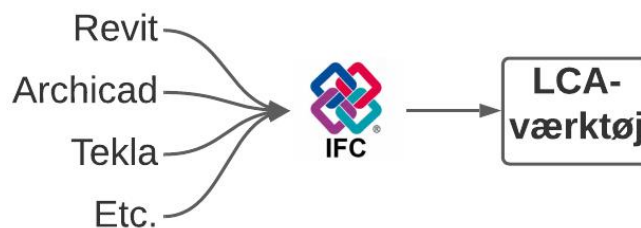
Den sidste visning er LCA-beregningen. I denne visning oprettes de materialer, som er blevet mappet fra IFC-datamodellen til LCA-bestanddele biblioteket. Denne visning skal følge samme klassifikationsstruktur, som er i visningen fra IFC-datamodellen.

Det er derudover vurderet, at følgende to hovedfunktioner er vigtige for at understøtte LCA. For det første skal det være muligt at spore de forskellige miljøpåvirkninger, over projekteringsperioden. Dette er valgt understøttet med et diagram, hvor x-aksen er den foreløbige tid, og y-aksen er den valgte miljøpåvirkning. Der skal være indsat en mållinje for miljøpåvirkningerne på grafen, der gør, at bygherre og de projekterende kan holde øje med afvigelser. Denne hovedfunktion er vigtig, da den understøtter to dele. For det første, er det muligt at spore, hvornår og hvorfor afvigelsen er opstået. For det andet giver det designteamet muligheden for, at rette projektet til, når afvigelser opstår. Den anden hovedfunktion er sammenligning af forskellige bygningsdele. Denne funktion understøtter, at LCA-værktøjet kan bruges som beslutningsværktøj, i forbindelse med valg af materialer (Santos, Costa et al. 2019).

7.2. User Environment Design

Dette afsnit beskriver og visualiserer brugermiljøet, ved løsningsforslag #2. Formålet med dette er, at vise strukturen af systemet. Sekvensmodellen i Figur 7.10 fokuserer på softwaren i løsningsforslaget #2, og hvilken rækkefølge brugeren vil anvende programmerne i.

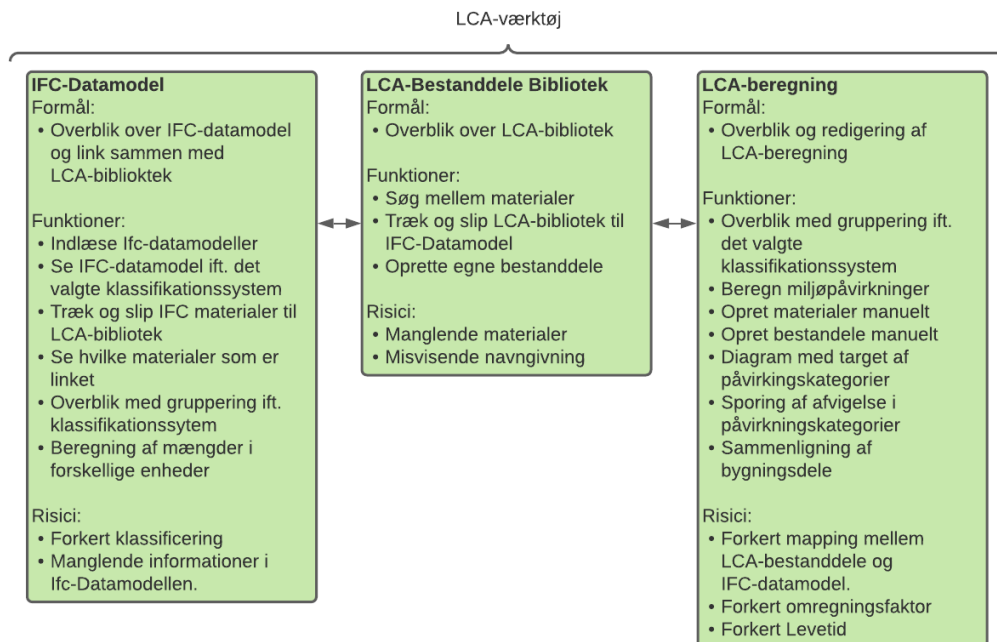
LCA-eksperten vil, enten selv skulle eksportere til IFC, eller indsamle IFC-datamodellerne fra de forskellige fag. En anden mulighed er, at IFC-datamodellerne hentes fra en fælles projektplatform, hvor de forskellige fag løbende uploader deres model til. Fordelen ved dette er, at LCA-eksperten løbende har adgang til de nyeste IFC-datamodeller.



Figur 7.10 - Sekvensmodel over software i prototype #2

7.2.1. LCA-værktøj

Der er udarbejdet UED som fremgår af Figur 7.11. Formålet er at analysere funktionerne, formål og risici i det kommende LCA-værktøj.



Figur 7.11 - UED af løsningsforslag #2

Fokusområde IFC-datamodel

Formålet med visningen af IFC-datamodel, er at skabe et overblik over de importerede IFC-datamodeller. Denne består af fem forskellige funktioner.

- Det skal være muligt at indlæse IFC-datamodeller fra de forskellige fag - arkitekt, konstruktion, vvs, el osv. På denne måde kan de forskellige fags IFC-datamodeller, samles i LCA-værktøjet.
- IFC-datamodellerne skal kunne sorteres efter det klassifikationssystem, som bruges i projektet.
- Værktøjet skal kunne beregne mængderne i forskellige enheder, på baggrund af IFC-datamodellen.
- Det skal være muligt at linke materialerne fra bygningsdelene i IFC-datamodellen med LCA-bestanddele biblioteket - dette kan ske ved fx en træk og slip funktion.
- Det skal være muligt for brugeren at se, hvilke objekter, som er linket til LCA-bestanddele biblioteket. Dette kunne fx synliggøres, ved hjælp af en grå toning af materialenavnet, eller anden visuel metode. Med denne metode kan også lokaliseres nye modelleret objekter i IFC-datamodellerne, som derfor endnu ikke er linket.

Fokusområde LCA-bestanddele bibliotek

Formålet med LCA-bestanddele biblioteket er at vise de prædefineret bestanddele. Biblioteket skal være opbygget som beskrevet i Tabel 7.1, og består heraf af to forskellige funktioner.

- For det første skal der være mulighed, for at søge mellem de forskellige bestanddele i biblioteket.
- For det andet skal det være muligt, med træk og slip funktion, at linke til IFC-datamodellen.
- Brugeren kan oprette egne bestanddele med informationer fra Ökobaudat databasen.

Fokusområde LCA-Beregning

Den sidste visning er LCA'en af bygningsdele og i denne laves beregningen af de forskellige påvirkningskategorier. I denne visning oprettes løbende de forskellige bygningsdele, når de er blevet mapped og dermed linket. Denne visning indeholder seks forskellige funktioner.

- Strukturen skal følge, den samme klassifikationsstruktur som i projektet.
- Beregning af de forskellige miljøpåvirkninger.
- Det skal være muligt for brugerne at redigere i de materialer, som er linkede eller tilføje nye.
- Det skal herudover være muligt at oprette nye bygningsdele, som fx ikke er modelleret i IFC-datamodellen.
- Det skal være muligt at sammenligne bygningsdele med forskelle materialer.
- Skal indeholde diagram, med en valgt miljøpåvirkning. Diagrammet skal indeholde en mållinje.

7.3. Udvikling af prototype til løsningsforslag #2

I dette afsnit tages der nu fat på udviklingen af en prototype til løsningsforslag #2. I udviklingen af prototypen er der gjort brug af Microsoft Excel Version 2110 og Microsoft PowerPoint Version 2110. Excel er brugt til udviklingen af en beregningsdel, hvor der er fokus på beregningerne i prototypen. PowerPoint er brugt til udviklingen af en scenariedel, der viser et narrativ for prototypen. Beregningsdelen er vedlagt som bilag 7 i .xlsx format og scenariedelen er vedlagt som bilag 8 i .pptx format. I bilaget med scenariedelen er der indsat noter i PowerPointet, som forklarer fortællingen på det enkelte slide.

7.3.1. Beregningsdel af prototypen

Beregningsdelen af prototypen, er udarbejdet over fokusområdet LCA-beregning, og er lavet for at vise en mulig opsætning af LCA-beregningen.

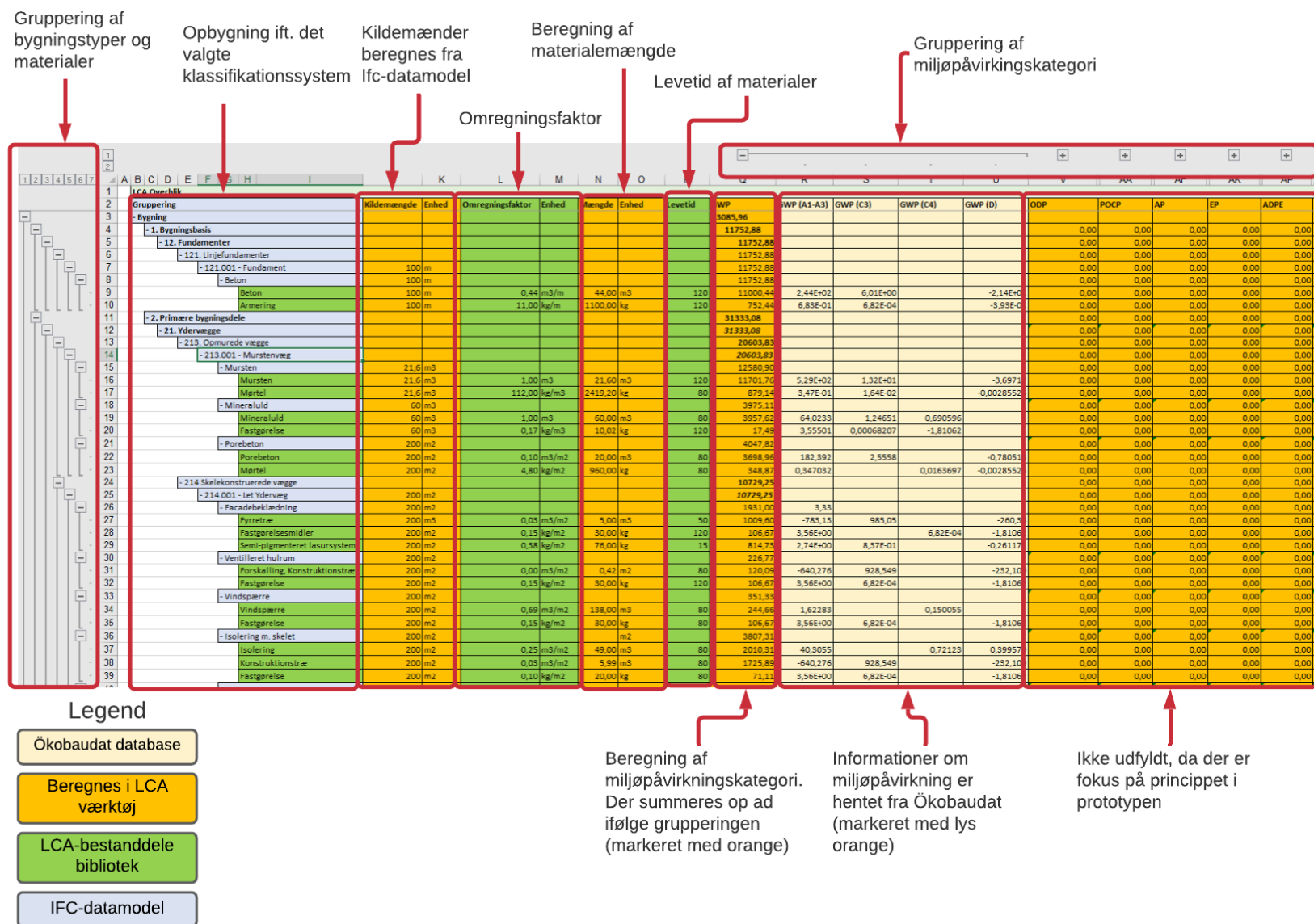
I Figur 7.12 fremgår et screenshot af beregningsdelen for prototypen. Cellerne i figuren er markeret med forskellige farver, som symboliserer, hvor informationerne kommer fra. Cellerne som er lys orange viser, at dataene er fra Ökobaudat. Cellerne som er orange, er beregninger, som er lavet i LCA-værktøjet - dette er fx mængder og sum af miljøpåvirkningerne. Mængderne beregnes i LCA-værktøjet, ud fra IFC-datamodellens geometri. Cellerne som er grønne, er data, som er oprettet i LCA-bestanddele biblioteket. Cellerne som er blå, er at data som kommer fra IFC-datamodellen.

Prototypens struktur, af LCA-visningen, er opbygget efter gruppering, i forhold til det valgte klassifikationssystem i LCA-værktøjet - i Figur 7.12 er brugt BIM7AA. Miljøpåvirkningerne summeres op ad i skemaet og følger grupperingen. Med denne metode har brugeren et overblik over, den samlede miljøpåvirkning, for hver enkelt gruppe.

Beregningsdelen af prototypen indeholder kildemængden (kolonne J), som er mængden beregnet fra IFC-datamodellen. Den endelige mængde (kolonne N) er produktet af kildemængden (kolonne J) og omregningsfaktoren (kolonne L). De forskellige materialers miljøpåvirkninger er produktet af den endelige mængde og summen af miljøpåvirkningerne (Fase A1-A3 og C3-C4). Hvis levetiden for et materiale (kolonne P) er under betragtningsperioden, skal der tages højde for dette. Dette gøres ved at dividere betragtningsperioden med levetiden - dette giver antal udskiftninger. En udskiftning svarer til summen af A1-A3 og C3-C4 for materialet, da det udtjente materiale affaldsbehandles og en ny produceres (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020). Fase D er medtaget i prototypen, men er ikke en del af beregningen, da dette også er tilfældet i LCAbyg 5 (Brisson Jørgensen, Kanafani et al. 2020).

Miljøpåvirkningerne bør hentes fra Ökobaudat. Det er dog valgt i prototypen at bruge informationerne fra LCAbyg 5. Dette er valgt, for at kunne lave en sammenligning, af de to værktøjer, og dermed sikre, at beregningsmetoden er den samme.

7. Løsningsforslag #2



Figur 7.12 - Oversigt og forklaring af beregningsdelen af prototypen

Sammenligning af resultat fra LCAByg 5 med nyt LCA-værktøj

Det er undersøgt, om det nye LCA-værktøj beregner de samme resultater, som LCAByg 5. I LCAByg 5 er brugt det generiske bibliotek Gen_dk, hvor der er oprettet bygningsdelene med dertilhørende mængde fra Tabel 7.2. Disse bygningsdele er også oprettet i beregningsdelen af prototypen, men med den nye forslået ontologi. Det er valgt at sammenligne GWP, da beregningsmetoden for de andre miljøpåvirkninger er magen til denne. Sammenligningen er på to vægge og et fundament. Dette er valgt for at have en simpel væg og fundament (213.001 og 121.001), men samtidig have en væg som består af mange bestanddele (214.001). Da prototypen ikke automatisk henter informationerne fra Ökobaudat, er det en tidskrævende opgave, at oprette bygningsdelene med alle miljøpåvirkningerne. Grundet den tidsmæssige ramme for nærværende rapport er sammenligningen, derfor begrænset til disse tre bygningsdele.

Bygningsdel	Konstruktion fra Gen_dk	Mængde
121.001 - Fundament	- Linjefundament, 400/400 (h/b)	100 m
213.001 - Murstensvæg	- Yderside, Teglsten formur	200 m ²
	- Midterlag, beton, porebetonblok 100 mm, mineraluld	200 m ²
214.001 - Let Ydervæg	- Yderside, bræddebeklædning, nåletræ	200 m ²
	- Midterdel, træelement, mineraluld	200 m ²
	- Vægside, gipskartonplade, akrylmaling	200 m ²

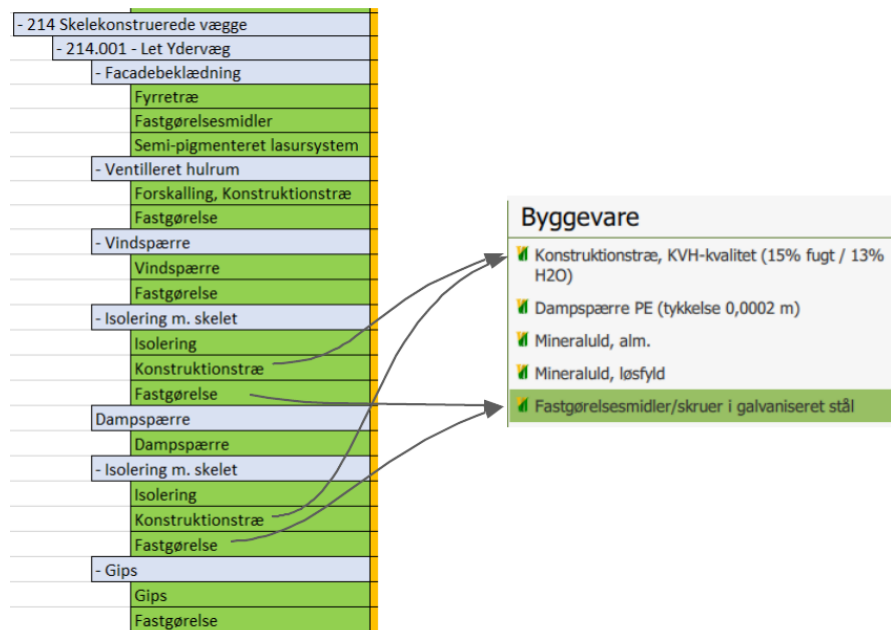
Tabel 7.2 - Oversigt over de valgte konstruktioner i LCAByg 5, som sammenlignes med det nye LCA-værktøj.

Resultatet fra sammenligningen fremgår af Tabel 7.3. Her kan det ses, at det samlede resultatet afviger med -0,28 %. Dette skyldes primært en afvigelse i bygningsdelen 214.001 - Let Ydervæg på -1,38 %. Dette kan skyldes en indtastningsfejl, da informationer er indtastet i beregningsdelen. Det kan også skyldes, at i oversættelsen af informationer fra ontologien i LCAByg 5 til prototypen, er der lavet en fejl. LCAByg 5 tager fx højde for konstruktionstræ, og fastgørelse i en byggevare. Som det fremgår af Figur 7.13, er dette delt ud på flere bestanddele i den nye ontologi. I denne oversættelse kan det derfor ikke udelukkes at være sket fejl.

Bygningsdel	Resultat (GWP)		Afvigelse	
	LCAByg 5	LCA-værktøj	Afvigelse	Procentvis afvigelse
121.001 - Fundament	4273,77	4273,77	0	0 %
213.001 - Murstensvæg	20621,90	20591,58	30,32	-0,15 %
214.001 - Let Ydervæg	9103,15	9229,15	-126	-1,38%
I alt	33998,82	34094,5	-560,9	-0,28%

Tabel 7.3 - Sammenligning af GWP resultat fra LCAByg og ny LCA-værktøj

7. Løsningsforslag #2



Figur 7.13 - Forklaring af oversættelsen fra LCAbyg 5 til beregningsdelen.

Da der i 213.001 - murstensvæg kun er en afvigelse på -0,15 pct., vurderes dette at skyldes en indtastningsfejl. Det kan ses, at 121.001 - Fundament beregner samme resultat i begge værktøjer. På baggrund af dette vurderes det at beregningsmetoden er den samme, men at der sandsynligvis er sket fejl oversættelsen eller indtastningen.

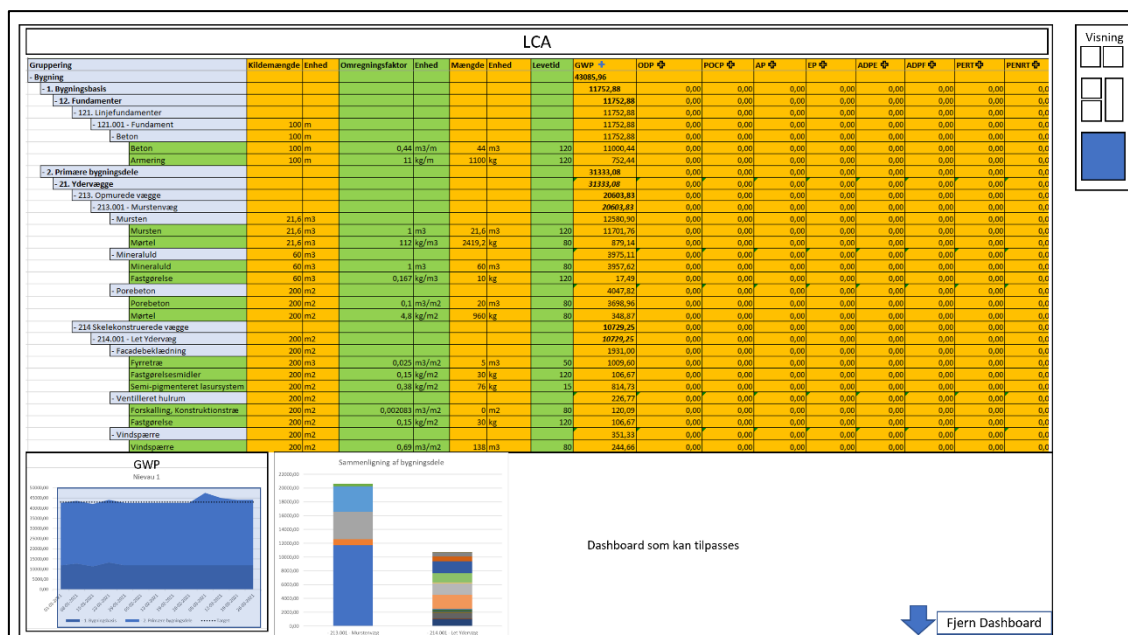
7.3.2. Scenariedel af prototypen

Formålet med scenariedelen af prototypen, er at gennemgå et narrativ i LCA-værktøjet. Der er indsat blå knapper, som viser de muligheder, som brugeren har i scenariet. Hver knap fører brugeren videre til næste step i narrativet. De forskellige steps er:

1. Importer IFC-datamodel
2. Sorter IFC-datamodel efter et valgt klassifikationssystem
3. Beregn mængder
4. Mappe materiale mængder med LCA-bestanddele bibliotek
5. LCA-visning med mulighed for at fremhæve et dashboard med diagram over miljøpåvirkninger, og sammenligning af to bygningsdele med forskellige materialer.
6. Der kan klikkes på diagrammet, hvilket fører brugeren videre til et nyt diagram.

Dette er illustreret i afsnit 7.3.3.

På Figur 7.14 fremgår et udklip scenariedelen fra prototypen. Der kan til højre, vælges mellem forskellige visninger. Det er derudover muligt at fjerne dashboardet. Der kan også klikkes på diagrammet med GWP og lokaliseres, hvorfor en ændring kan være sket. En af funktionerne bør yderligere være, at dashboardet kan tilpasses af brugeren.



Figur 7.14 - Screenshot fra visuel prototype i PowerPoint.

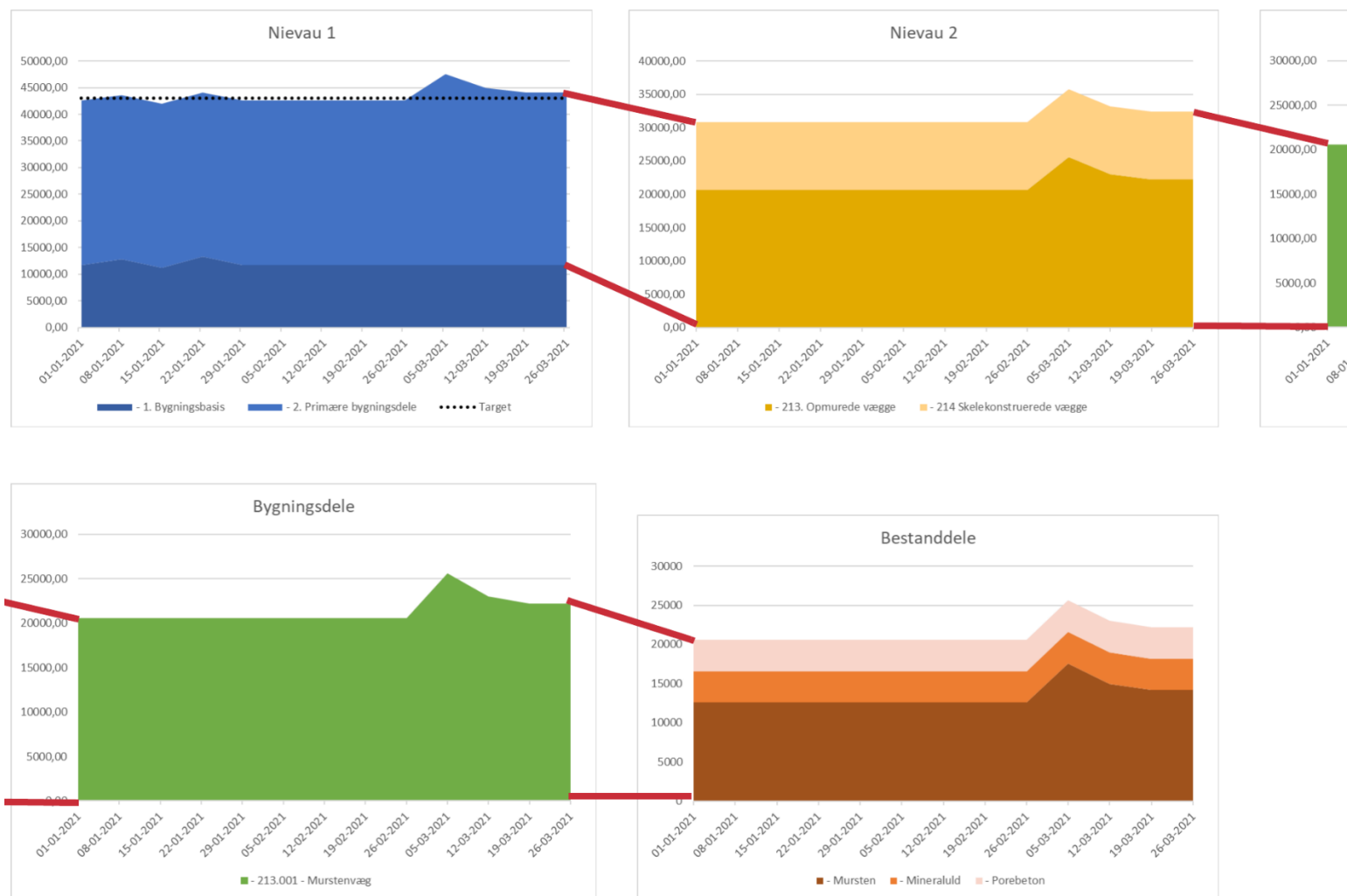
7.3.3. Diagram

Det skal, i diagrammet, være muligt at fokusere på en bestemt miljøpåvirkning og heraf lokalisere hvilke bygningsdele, bestanddele og materialer, som skyldes en ændring i miljøpåvirkningen.

I et studie af Hollberg, Kiss et al. (2021), blev der undersøgt forskellige visualiseringsmetoder af en LCA, som er brugt i litteraturen. Studiet fandt to diagrammer, som indeholder tid som parameter. Dette er et kurvediagram og et stablet kurvediagram. I prototypen er det valgt at bruge et stablet kurvediagram, med tidshorisonten på x-aksen og miljøpåvirkningen på y-aksen. Denne metode, gør det muligt at lokalisere ændringer i miljøpåvirkningerne. I Figur 7.15 fremgår et eksempel med diagrammet, hvor der er et udsving i GWP.

Det er her muligt at klikke videre i diagrammet, sådan at ændringen kan lokaliseres ned på materialeniveau. Der kan i figuren ses, at udsvinget skyldes en ændring i primære bygningsdele. Der kan herefter klikkes på primære bygningsdele i diagrammet, og på denne måde komme videre ned i strukturen. Der kan i det sidste diagram lokaliseres, at ændringen skyldes bestanddelen mursten, i væggen 213.001 - Murstensvæg. Ændringen i GWP kan skyldes forskellige dele. For det første, kan der have været en ændring af mængden af mursten. For det andet, kan det være at miljøpåvirkningen fra EPD'en har ændret sig. Hvis ændringen skyldes mængden, kan det være nødvendigt at lokalisere om dette stammer fra en opdateret IFC-datamodel, eller om brugeren manuelt har overskrevet mængden.

7. Løsningsforslag #2



Figur 7.15 - Target i stablet diagram, hvor det er muligt at spore en ændring ned gennem grupperingen.

7.4. Præsentation af løsningsforslag #2

Det blev valgt at præsentere løsningsforslag #2 til en workshop. Formålet med denne workshop var at indsamle brugerfeedback til løsningsforslaget samt prototypen. Feedbacken var delt op i to dele. For det første skulle det afklares om prototypen i løsningsforslag #2, skal viderebearbejdes, eller der burde trædes tilbage til visioning. For det andet skulle feedbacken omhandle nye og ændrede funktioner i prototypen.

Feedbacken er dokumenteret i et Excel ark, som er beskrevet i CD af Holtzblatt, Beyer (2017). Excel arket havde følgende tre kolonneoverskrifter, notenr, note og fokusområde. Fokusområde kolonnen er udfyldt efter workshoppen, og er valgt på baggrund af, hvilket fokusområde fra UED noten falder under. Det udfyldte Excel ark, er efter mødet, sendt til godkendelse hos deltagerne. Dette er valgt for undgå forkerte fortolkninger i feedbacken.

Workshoppen bestod af tre personer fra virksomhed A. Til workshoppen var de to LCA-eksperter, som var blevet interviewet vedrørende det nuværende workflow, i afsnit 5.1. Derudover deltog en leder, fra samme virksomhed, der har ansvaret for en digital afdeling. Workshoppen havde en varighed af 60 minutter, og fremgangsmetoden var:

- Præsentation af løsningsforslag #2
- Click-through af beregningsdelen af prototypen
- Click-through af scenariedelen af prototypen.

Beregningsdelen blev brugt til at forklare beregninger og opsætning af LCA-beregningen. Scenariedelen blev brugt som narrativ for funktionerne i prototypen. Begge dele af prototypen blev gennemgået på en skærm, som alle deltagerne kunne følge med på. Deltagerne var inden click-through gennemgangen blevet bedt om, at forholde sig til følgende:

1. Forholde sig kritisk til løsningsforslag #2 samt prototypen.
2. Efterfølgende diskussion af fordele og ulemper samt nye/ændrede funktioner i prototype #2.

7.4.1. Resultat fra workshop

Resultaterne fra workshoppen er oplistet i Tabel 7.4, med de ønskede ændringer og nye funktioner. De ønskede ændringer og nye funktioner, er tildelt det fokusområde, som det falder under i UED.

Note.nr	Note	Fokusområde
1	Dashboard med et diagram, hvor der største "syndere" kan lokaliseres	LCA-beregning
2	Godt at have informationerne samlet et sted	Ikke et fokusområde
3	Man kan pushe informationer til et projektweb	LCA-beregning
4	Hvis man kunne standardisere og klassificere materialerne, vil det kunne gøres automatisk	LCA-bestanddele bibliotek
5	Rum som række med overflade kunne godt være en mulighed	Ikke et fokusområde
6	Nummer to LCA-ekspert fortrækker at have overflader som fx maling på bygningsdelen	Ikke et fokusområde
7	3D visning er "nice to have", men ikke et nødvendigt	Nyt fokusområde
8	Vigtigt at bestanddele biblioteket er med nyeste EPD'er	LCA-bestanddele bibliotek
9	Et EPD-bibliotek vil give god mening til videre arbejde på højere informationsniveau	Nyt fokusområde
10	Godt at det virker med IFC	Ikke et fokusområde
11	Hvis det virkede automatisk med mapping mellem IFC-datamodel og bestanddele bibliotek, vil det være smart at den meldte fejl, hvis nogle dele (fx mængder) "stak" af.	LCA-beregning

Tabel 7.4 - Resultat fra workshop med prototype #2

LCA-beregning

Der er lokaliseret tre nye funktioner til fokusområdet LCA-beregning. For det første vil LCA-eksperterne gerne have et diagram, over de største syndere i LCA-beregningen. Dette kunne gælde for bygningsdelene, bestanddele og/eller materialer.

For det andet ønskes det, at LCA-værktøjet kan kobles på et projektweb. Her vil det være muligt at uploade resultaterne til. På denne måde vil bygherre og andre parter i byggeriet, have mulighed for at følge LCA-beregningen.

For det tredje skal LCA-værktøjet give meddelelse ved beregninger som "stikker af". Som eksempel til workshoppen blev nævnt *"hvis ventilation er 50 % af hele miljøpåvirkningen, så er der nok sket et fejl i mængderne eller et andet sted"*. Dette formodes at kunne løses med regeltjek, som tjekker for resultater, der falder udenfor normaliteten.

LCA-Bestanddele bibliotek

Der blev til workshoppen beskrevet to nye funktioner til fokusområdet LCA-bestanddele bibliotek. For det første anses det som en fordel, hvis bestanddele biblioteket standardiseres og klassificeres. Dette vil gøre at mapping mellem IFC-datamodellen og LCA-bestanddele biblioteket kan automatiseres, ved hjælp af en match funktion. Som beskrevet

8. Opsummering af resultater

tidligere, vurderes dette at kræve en standard indenfor materialeklassifikation, som bruges i både LCA-værktøjet og BIM-modellen.

For det andet blev det nævnt, at det er vigtigt, at LCA-værktøjet har de nyeste EPD'er. Dette er undersøgt og løst i et tidligere afsnit. Med API'en til ÖkobaDat, er det muligt at hente den nyeste EPD, hver gang.

Nye fokusområder

Informanterne beskrev to nye fokusområder. For det første kunne det være "rart", at have en 3D visning over bygningen, men ikke en nødvendighed. For det andet vil det give mening at opbygge et LCA-bestanddele bibliotek med specifikke producenter. På denne måde vil generiske bestanddele, kunne udskiftes i LCA-beregningen, ved højere detaljeringsniveau.

8. Opsummering af resultater

I dette afsnit opsummeres resultaterne fra undersøgelsen af nuværende workflow, løsningsforslag #1 og løsningsforslag #2. Formålet med dette er, at give et overblik over de vigtigste resultater.

8.1. Nuværende workflow

I det gennemførte interview med LCA-eksperterne, vedrørende undersøgelsen af det nuværende workflow, blev der fundet to punkter, hvor der vurderes et optimeringspotentiale.

- For det første viste interviewet, at der bruges meget tid på kommunikation, mellem de forskellige fag og LCA-eksperterne. Dette skyldes, at der blev brugt Excel template til udfyldelse af informationer, og de forskellige fag ofte udfyldte disse forkert. Dette ledte til, at der kommunikeres frem og tilbage flere gange, mellem LCA-eksperterne og de forskellige fag.
- For det andet bruger LCA-eksperterne meget tid på, at copy-paste informationer fra Excel til LCAByg 5.

8.2. Løsningsforslag #1

Løsningsforslag #1, med dertilhørende prototype, blev præsenteret på en workshop med to BIM-specialister. Til workshoppen var der fokus på fordelene og ulemperne, ved løsningsforslag #1 og prototypen.

- Fordele
 - Der var en fælles enighed, blandt BIM-eksperterne, at prototypen vil kunne minimere fejlkilder, da der er mindre manuel indtastning.
 - Det kan konkluderes, at prototypen skaber konsistens mellem BIM-modellen og LCAbyg 5, i forbindelse med typenavne og mængder.
- Ulemper
 - BIM-specialisterne tror ikke på, at linket mellem Revit og LCAbyg 5 kan blive "helt godt". De nævnte, at dette kræver, at datastrukturen skal være mere ens. Nærværende studie understøtter dette, da det ikke var muligt, i prototypen, at lave en automatisk mapping mellem Revit og LCAbyg 5. Dette tyder på, at skyldes de forskellige ontologier for en bygningsdel.
 - Det kan konkluderes, at tidligere udført arbejde i LCAbyg 5 ikke kan genbruges, hvis der laves en ny eksport fra Revit. LCA-eksperten skal derfor lave dobbeltarbejde - dette er dermed en proces, som ikke er optimal.

8.3. Løsningsforslag #2

Det blev i visioning af løsningsforslag #2 fundet, at IFC indeholder de informationer som DiKon forskriver skal bruges til en LCA. Der blev derudover forslået en ny opbygning af et LCA-bestanddele bibliotek, hvor det er muligt at mappe IFC-materialerne til. Essensen af dette bibliotek er, at alle materialer i IFC-datamodellen, skal kunne mappes en til en med en bestanddel.

Der er yderligere vurderet to hovedfunktioner, som er vigtige for at kunne understøtte LCA-processen. For det første skal værktøjet indeholde et stablet kurvediagram, hvor det er muligt at følge miljøpåvirkningerne igennem projekteringsperioden. For det andet skal værktøjet kunne sammenligne bygningsdele, med forskellige materialer.

Prototype #2 er opdelt i to dele - en beregningsdel og en scenariedel. Det tyder på at beregningsdelen af prototypen bruger samme beregningsmetode som LCAbyg 5. At der

8. Opsummering af resultater

er en afvigelse på 1,38 % i den ene bygningsdel vurderes, at kan skyldes en indtastningsfejl eller oversættelsesfejl til det nye LCA-værktøj.

Løsningsforslag #2 med dertilhørende prototype blev præsenteret på en workshop med to LCA-eksperter og en leder, der har ansvaret for en digital afdeling. Til workshoppen var deltagerne blevet bedt om at forholde sig kritisk til løsningsforslaget og prototype's funktioner. Der var enighed blandt deltagerne til workshoppen, at prototype #2 burde være det fremtidige workflow. Til workshoppen nævnte informanterne flere funktioner, som bør implementeres fremadrettet i LCA-værktøjet. Der blev nævnt fire nye funktioner til fokusområdet LCA-beregning:

- LCA-beregning
 - Diagram med største syndere
 - Pushe informationer til projektweb
 - Gøre opmærksom på unormale resultater
- LCA-bestanddele bibliotek
 - Standardisering og klassificering åbner for muligheden at automatiserer mappingsprocessen.
 - Sikre, at de nyeste EPD'er bruges
- Nye fokusområder
 - EPD-bibliotek med produktspecifikke materialer
 - 3D visning

9. Diskussion

I dette afsnit diskuteres først rapportens metode - herunder metodens begrænsninger, vurdering af metodefejl og mangler - og hvad dette kan have af betydning for rapportens resultater. Til slut diskuteres rapportens resultater, sammenlignet med den eksisterende litteratur.

9.1. Metodediskussion

Til litteratursøgningen er der brugt snowballing beskrevet af Wohlin (2014). Forward og backward snowballing er lavet af en omgang. Dette er et bevidst valg, da der blandt kandidaterne var flere litteraturstudier. Det blev derfor vurderet, at den fundne mængde litteratur var tilstrækkelig bred og med høj kvalitet, samtidig med, at tidshorisonten for projektet blev taget i betragtning. Der er ikke lavet flere strukturerede litteratursøgninger efter interviewene, eller da alle artiklerne var læst. Der kunne fx have været søgt på nye ord, som var kommet til kendskab. Dette vil have medført, at studiet havde fundet flere artikler og dermed flere vinkler på emnet - dette blev dog fravalgt grundet den tidsmæssige begrænsning for projektet.

Rapportens metode har taget udgangspunkt i contextual design (CD) af Holtzblatt, Beyer (2017). Første underfase i denne metode er contextual inquiry, der i nærværende rapport har bestået af et interview med to LCA-eksperter. Formålet med interviewet var at kortlægge det nuværende workflow, for udarbejdelsen af en LCA, i den danske byggebranche. Dette empiriske datagrundlag har sine begrænsninger. For det første er undersøgelsen kun lavet i én stor ingeniørvirksomhed. For det andet er kun to LCA-eksperter interviewet. Disse to begrænsninger medfører, at der ikke er grundlag for at konkludere, at det fundne nuværende workflow, er den normale praksis i byggebranchen. Dette kan derfor have haft indflydelse på udviklingen af prototyperne, fordi de er udviklet med henblik på at skabe et nyt og forbedret workflow.

Interviewene er udført med Microsoft Teams og optaget. Her blev informanterne opfordret til at dele deres skærm, og vise det nuværende workflow for udarbejdelsen af en LCA. Det er fravalgt at transskribere interviewene, fordi store dele af interviewet omhandler indholdet på skærmdelingen. På den ene side vil en transskribering derfor ikke give mening, medmindre man samtidig havde indholdet fra skærmen til rådighed. På den anden side kan det ikke udelukkes, at en transskribering af interviewet vil have givet et overblik, og dermed hjulpet med kondensering af dataene. Det er dog vurderet, at fordi

interviewet blev optaget, og der dermed var mulighed for at se det flere gange, at en transskribering ikke vil have haft betydning for resultatet.

Der har i prototyperne været fokus på vægge, og en model på LOD 300 DK. Det kan derfor ikke afvises, at der kan opstå nogle problemer med andre bygningsdelstyper eller andet LOD niveau - dette er gældende for både løsningsforslag #1 og #2. Da begge prototyper er opbygget efter, at lagopbygning med materialer er til rådighed fra BIM-modellen, formodes det, at lavere LOD niveauer, uden lagopbygning, vil skabe nogle komplikationer.

Der er i løsningsforslag #2 kun sammenlignet GWP mellem LCAByg 5 og prototypen. Der kunne med fordel have været lavet en bredere sammenligning med flere miljøpåvirkninger og bygningsdele. Dette blev dog vurderet ikke at give mere viden til rapporten, imens tidshorisonten blev taget i betragtning. Det blev derfor valgt at lægge tiden på andre undersøgelsesområder.

Der er i begge workshops gjort brug af scenarie testning med click-through beskrevet i Holtzblatt, Beyer (2017). Der kunne i stedet have været benyttet prototype testning, som også er beskrevet af Holtzblatt, Beyer (2017). Prototype testning aktiverer deltagerne til at klikke i prototypen, og herigennem opnås mere pålideligt feedback fra brugerne (Holtzblatt, Beyer 2017). Dette kunne have betydet, at flere funktioner og fokusområder vil være blevet identificeret. Prototype testning blev ikke benyttet, da det blev vurderet, at prototyperne stadig er i et tidligt stadie, hvor dette ikke var muligt.

Der er i løsningsforslag #2 undersøgt om IFC 2x3 indeholder de informationer, som DiKon forskriver, skal bruges i den indledende LCA. Det kan diskuteres, om IFC 2x3 er den rigtige version at bruge til LCA. Det er fundet, at IFC4 ADD2 TC1, indeholder to "property sets" der hedder "Pset_EnvironmentalImpactIndicators" og "Pset_EnvironmentalImpactValues" (BuildingSMART 2021). Det kan ikke udelukkes, at IFC4 vil give nogle andre muligheder end IFC 2X3, som ellers er undersøgt i nærværende rapport.

9.2. Diskussion af resultater

Det blev i udarbejdelsen af løsningsforslag #1 lavet en eksport af BoQ med tilhørende LCA Gen_dk informationer. Det er beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019) vedrørende BoQ metoden at; afhængigt af det LCA-værktøj som bruges, vil importen af den opdateret BoQ måske overskrive de tidligere oprettede links og dermed bibeholdes de ikke - processen starter dermed forfra. Det kan konkluderes, at dette - på nuværende tidspunkt - er tilfældet i LCAByg 5. Dette er ikke en optimal proces, da tidligere udført arbejde derfor

skal laves af flere omgange. Det vurderes, at LCAbyg 5 igennem opdateringer vil kunne løse dette problem.

Det er beskrevet af Potrč Obrecht, Röck et al. (2020), at hvis eksterne kilder med information bruges til BIM-LCA, bør de passe til ontologien og semantikken fra BIM-modellen. Nærværende studie støtter dette, da det blev fundet, at LCAbyg's og Revit's ontologier af en bygningsdel er forskellige, og dette tyder på, at være en hindring for mappingen. Det tyder på, at en automatisk matching mellem BIM og LCAbyg's bibliotek ikke kan laves med python koden "difflib.get_close_matches", fra python pakken difflib. Der er undersøgt andre regler for matching, men ikke fundet en, som kan løse udfordringen. Dette formodes, at skyldes to dele. For det første er materialenavnene i Revit og konstruktioner i LCAbyg 5 ofte navngivet forskelligt. For det andet, kan der ikke matches en til en, da ontologierne er forskellige.

Det kan diskuteres om LCAbyg skal implementere ontologien fra BIM eller om det bør være BIM, som kan supportere LCAbyg 5. Det formodes, at BIM bruges af mange parter i byggeriet. LCAbyg 5 er derimod et værktøj under udarbejdelse. Af denne grund vurderes det, at LCAbyg 5 bør tilpasse sig BIM-ontologien.

Det er yderligere beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019), at for at kunne lave en korrekt mapping af LCA med BIM, er der behov for en database med generiske objekter, med dertilhørende LCA-data. Dette giver muligheden for at linke EPD data med BIM-objekterne. Nærværende studie støtter op om dette, da det blev fundet i løsningsforslag #2, at LCA-bestanddele biblioteket er nødvendigt, for at der mellem BIM og LCA kan skabes en ens ontologi for materialerne i en bygningsdel.

Potrč Obrecht, Röck et al. (2020) argumenterer for brugen af datastruktur og fælles navngivning baseret på en systematisk metode (CCS, BIM7AA, SFB etc.). Nærværende studie er på linje med dette, og det antages, at første skridt mod en automatiseret mapping mellem BIM og LCA er, at der er styr på klassifikationen. Tages skridtet videre til at klassificere materialelagene/bestanddelene formodes det, at mappingsprocessen kan automatiseres i prototype #2.

Målet med bæredygtigt design er at lave en bygning med den mindst mulige miljøpåvirkning, men samtidig at vurdere balancen med den økonomiske og sociale kvalitet (Antón, Díaz 2014). På den ene side kan der argumenteres for, at diagrammet med mållinje, for en given miljøpåvirkning, modarbejder dette. I et projekt, hvor en miljøpåvirkning ligger under mållinjen, vil der måske ikke arbejdes mod en lavere miljøpåvirkning. Diagrammet giver derfor et overblik over projektets miljøpåvirkning, men samtidig

mistes der måske incitamentet for at mindske denne, hvis den allerede er under mållinjen. På den anden side er det et styringsværktøj, som sikrer at miljøpåvirkningerne ikke øges betragteligt, uden at dette opfanges. Jeg vurderer derfor, at funktionen er brugbar, men man bør undersøge mulighederne for at skabe incitament for, at mindske en miljøpåvirkning mest muligt.

I FBK står der, at en LCA skal bruge samme beregningsmetode og -forudsætning som LCAByg 5. Det blev fundet, at det er muligt at bruge samme beregningsmetode og -forudsætning som LCAByg 5. Det kan diskuteres, hvordan det påvises, at et nyt LCA-værktøj bruger samme beregningsmetode og -forudsætning. En metode kunne være at sammenligne resultaterne for en bygning i de to programmer. Med denne metode skal informationer skrives ind i LCAByg 5 og i det nye LCA-værktøj - man ender derfor med at arbejde i to programmer. Det tyder derfor på, at så længe der ikke er en fast skabelon for beregningen af LCA i Danmark, men det derimod er fastsat efter LCAByg, er dette en hindring for udviklingen af nye LCA-programmer i Danmark.

Da bæredygtighed består af tre kvaliteter - social, økonomisk og miljømæssige kvalitet er det essentielt at vurdere kvaliteterne mod hinanden. Denne rapport har fokuseret på den miljømæssige kvalitet. Et materiale kan ikke vælges, uden at vurdere alle kvaliteterne. Dette skyldes, at et materiale kan have gode egenskaber miljømæssigt, men samtidig være dyrt. Det kan derfor diskuteres, om et nyt LCA-værktøj også bør beregne LCC. Der bør derfor undersøges mulighederne for at bruge BIM til både LCA og LCC i et samlet værktøj.

LCAByg 5 er et program udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet med økonomisk støtte fra Trafik- og Byggestyrelsen. Det kan diskuteres, om LCAByg har lavet et program, som skal bruges af for mange forskellige parter, til forskellige bygningstyper og størrelser. Brugere er både håndværkere og LCA-specialelister hos en stor ingeniørvirksomhed. Der kan derfor, opleves mange forskellige behov i et LCA-værktøj, og LCAByg skal opfylde alle kravene fra alle parterne. Jeg vurderer derfor, at man bør revurdere om det er værdiskabende, at alle parter skal bruge det samme program. Det nye LCA-værktøj i prototype #2 henvender sig til LCA-eksperten. Værktøjet vil sandsynligvis ikke understøtte den almindelig håndværkers behov. Dette skyldes, at der er fokus på en BIM-LCA proces, hvor håndværkeren ikke nødvendigvis arbejder med BIM-modeller.

Af rapportens resultater og diskussion kan opsummeres nogle anbefalinger til udarbejdelsen af et nyt LCA-værktøj. Disse anbefalinger bør følges for, at der opnås de bedste

forudsætninger for integration mellem BIM og LCA. Derudover fremgår anbefalingerne også som nogle hovedfunktioner, som LCA-værktøjet bør indeholde, for at kunne understøtte BIM-LCA-processen. Anbefalingerne er:

- Det tyder på at en ens ontologi mellem BIM og LCA er nødvendig, for at kunne lave en automatisk mapping.
- Det er nødvendigt med en database med generiske objekter med dertilhørende LCA-data.
 - Hvis LCA-bestanddele biblioteket klassificeres samtidig med, at materialerne i BIM-modellen klassificeres, giver dette mulighed for en automatisk mappingsproces. Der mangler dog standarder for klassificering af materialer.
- LCA-værktøjet skal kunne beregne mængder fra IFC-datamodellen. Det er en fordel, hvis disse kan beregnes i forskellige enheder.
- LCA-værktøjet skal kunne sammenligne bygningsdele. Dette er en nødvendig funktion, for at kunne bruge det som beslutningsværktøj.
- Et stablet kurvediagram med målværdi, giver mulighed for at styre projektet.
- LCA-værktøjet skal understøtte forskellige klassificeringssystemer, som fx CCS og BIM7AA.
- Det er vigtigt, at der benyttes de nyeste EPD'er. Dette kan sikres igennem Ökobaumat's API.

10. Konklusion

I dette afsnit konkluderes der på rapportens problemformulering, som lyder således:

Hvordan bør det fremtidige BIM-LCA workflow være, i den danske byggebranche, for at understøtte FBK?

For at besvare problemformuleringen blev der først undersøgt, hvad det nuværende workflow for udarbejdelsen af en LCA er, i den danske byggebranche. Det kan konkluderes, at det nuværende workflow blandt informanterne indeholder meget kommunikation med andre faggrupper, samt en del copy-paste arbejde. Det fundne workflow giver ikke et tilstrækkeligt præcist billede af det, som kan være det normale workflow i branchen - dette skyldes, at studiet har et begrænset empirisk datagrundlag.

Dernæst blev undersøgt, hvilke muligheder, der er for at lave et link mellem BIM og LCA. I nærværende studie er der taget udgangspunkt i Wastiels, Decuypere (2019) fem integrationsstrategier. I denne rapport er der gjort brug af strategierne beriget BIM model, med eksport af BoQ i JSON format, og IFC-import. BoQ strategien blev tilvalgt i løsningsforslag #1, da det blev fundet at LCAbyg5 kan benytte denne. Dette løsningsforslag, med dertilhørende prototype, blev præsenteret på en workshop med to BIM-specialister. Efter denne workshop blev prototypen dog forkastet, da den blev fundet utilstrækkelig. Dette argumenteres med to grunde. For det første er ontologierne mellem Revit og LCAbyg 5 forskellige, og dette ledte til nogle komplikationer. For det andet overskriver en ny eksportering tidligere udført udarbejde i LCAbyg 5.

I stedet blev udviklet løsningsforslag #2 efter IFC-import strategien. På baggrund af undersøgelse af det nuværende workflow, løsningsforslag #1 og løsningsforslag #2 er der fundet otte anbefalinger, som fremgår i afsnit 9.2. Det tyder på, at disse anbefalinger bør følges for at opnå en bedst mulig integration mellem BIM og LCA med IFC-datamodeller.

Rapportens resultat peger derudover på, at dette stadig er et uudforsket område. Rapportens resultater kan derudover bruges som grundlag, for nye BIM-LCA-værktøjer.

Videre arbejde for nærværende studie vil være at implementere de nye funktioner og fokusområder i user environment design fra løsningsforslag #2. Dernæst kan udvikles mod en klikbar prototype, som brugerne kan interagere med, og dermed kan ny feedback indhentes. Det kunne yderligere være interessant at lave en større sammenligning mellem prototype #2 og LCAbyg 5. Sammenligningen burde være med flere bygningsdele og flere miljøpåvirkninger.

10. Konklusion

Der blev i nærværende studie ikke fundet et klassifikationssystem, som klassificerer materialer. I fremtidige undersøgelser kunne man derfor se nærmere på, hvordan materialeklassifikationen bør ske. Yderligere forskning kunne være at undersøge, hvordan LCA-resultaterne skal kommunikeres fra LCA-værktøjet og tilbage til de forskellige fag. En anbefaling herfra er at undersøge, om BCF (BIM collaboration format) vil kunne understøtte LCA.

11. Referencer

AALBORG UNIVERSITETSBIBLIOTEK, 2021-last update, Indhold i Primo. Available: <https://www.aub.aau.dk/find-materiale/soegemaskine/indhold/> [20.09., 2021].

ANTÓN, L.Á and DÍAZ, J., 2014. *Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment*. Elsevier Ltd.

APARAJIT, P., 2021-last update, Why has Dynamo Switched to Python 3, Should I Update Too?. Available: <https://dynamobim.org/why-has-dynamo-switched-to-python-3-should-i-update-too/> [18.10., 2021].

AUTODESK HELP, 2021-last update, About the Different Kinds of Families. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloud-help/2019/ENU/Revit-Model/files/GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2-htm.html> [18.10., 2021].

BERLO, L.V., 27.05., 2021-last update, MVD Database . Available: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/> [03.11., 2021].

BERLO, L.V., 2019-last update, The curious case of the MVD. Available: <https://blog.buildingsmart.org/blog/the-curious-case-of-the-mvd> [03.11., 2021].

BIMFORUM, 2020. *Level of Development Specification Part 1 & Commentary*.

BORRMANN, A., KONIG, M., KOCH, C. and BEETZ, J., 2018. *Building information modeling: technology foundations and industry practice*. Springer.

BRISSEN JØRGENSEN, E., KANAFANI, K., KJÆR ZIMMERMANN, R., GRAU SØRENSEN, C., BIRGISDOTTIR, H. and NYGAARD RASMUSSEN, F., 2020. *Bruervejledning til LCAByg version 5.1 Beregning af bygningers miljøprofil*. BUILD - Institut for byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet.

BRUHN, S. and GRAU SØRENSEN, C., 2020. *Json guide for LCAByg version 5.0*. BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet,.

BUENO, C. and FABRICIO, M.M., 2018. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in construction*, **90**, pp. 188-200.

BUENO, C., PEREIRA, L.M. and FABRICIO, M.M., 2018. Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling. *Architectural engineering and design management*, **14**(5), pp. 332-346.

BUILDINGSMART, 2021-last update, Industry Foundation Classes 4.0.2.1. Available: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/link/pset_environmentalimpactvalues.htm [04.01., 2022].

11. Referencer

- CAVALLIERE, C., DELL'OSSO, G.R., PIERUCCI, A. and IANNONE, F., 2018. Life cycle assessment data structure for building information modelling. *Journal of Cleaner Production*, **199**, pp. 193-204.
- CRIPPA, J., ARAUJO, A.M.F., BEM, D., UGAYA, C.M.L. and SCHEER, S., 2020. A systematic review of BIM usage for life cycle impact assessment.
- DALLA MORA, T., BOLZONELLO, E., CAVALLIERE, C. and PERON, F., 2020. Key Parameters Featuring BIM-LCA Integration in Buildings: A Practical Review of the Current Trends. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **12**(17), pp. 7182.
- DIKON, 2021. *Bygningsdelsspecifikationer*.
- DS/EN 15804, 2019. *Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarerer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer*.
- DS/EN 15978, 2012. *Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygnin- gers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode*.
- DS/EN ISO 14040, 2008. *Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Principper og struktur*.
- DS/EN ISO 14044, 2008. *Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Krav og vejledning*.
- DURÃO, V., COSTA, A.A., SILVESTRE, J.D., MATEUS, R. and DE BRITO, J., Inte- gration of environmental life cycle information in BIM objects according with the level of development.
- DURÃO, V., COSTA, A.A., SILVESTRE, J.D., MATEUS, R., SANTOS, R. and DE BRITO, J., 2020. Current Opportunities and Challenges in the Incorporation of the LCA Method in BIM.
- EPD DANMARK, 2021-last update, EPD Danmark. Available: <https://www.epddan- mark.dk/>.
- ETOOL, 2019-last update, Does eToolLCD integrate with 3D CAD packages or BIM?. Available: <https://support.etoollcd.com/index.php/faq/etoollcd-questions/does-etoollcd- integrate-with-3d-cad-packages-or-bim-2/> [Dec 21, 2021].
- FORTH, K., BRAUN, A. and BORRMANN, A., 2019. BIM-integrated LCA - model analysis and implementation for practice. *IOP conference series. Earth and environ- mental science*, **323**(1), pp. 12100.
- GALIANO-GARRIGÓS, A., GARCÍA-FIGUEROA, A., RIZO-MAESTRE, C. and GONZÁLEZ-AVILÉS, Á, 2019. Evaluation of BIM energy performance and CO2 emissions assessment tools: a case study in warm weather. *Building research and infor- mation : the international journal of research, development and demonstration*, **47**(7), pp. 787-812.
- GRAABÆK, T., ØSTERGAARD, N., TRANBERG, P. and RASMUSSEN, B., 2020. *IFC-GUIDE*.

11. Referencer

HOLLBERG, A., GENOVA, G. and HABERT, G., 2020. Evaluation of BIM-based LCA results for building design. *Automation in Construction*, **109**, pp. 102972.

HOLLBERG, A., KISS, B., RÖCK, M., SOUST-VERDAGUER, B., WIBERG, A.H., LASVAUX, S., GALIMSHINA, A. and HABERT, G., 2021. Review of visualising LCA results in the design process of buildings. *Building and environment*, **190**.

HOLTZBLATT, K. and BEYER, H., 2017. *Contextual Design: Design for Life*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

HOLTZBLATT, K. and BEYER, H.R., 2021-last update, Contextual Design. Available: <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/contextual-design> [Oct 6, 2021].

HORN, R., EBERTSHÄUSER, S., DI BARI, R., JORGJI, O., TRAUNSPURGER, R. and BOTH, P.V., 2020. The BIM2LCA Approach: An Industry Foundation Classes (IFC)-Based Interface to Integrate Life Cycle Assessment in Integral Planning. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **12**(16), pp. 6558.

ISO/DIS 22057, 2021. *Bæredygtighed ved byggeri og anlægsarbejder - Dataskabeloner til bruges af EPD'er til byggevare i BIM*.

JALAEI, F. and JRADE, A., 2014. An automated BIM model to conceptually design, analyze, simulate, and assess sustainable building projects. *Journal of Construction Engineering*, **2014**, pp. 1-21.

KAI XUE, MD. UZZAL HOSSAIN, MENG LIU, MINGJUN MA, YIZHI ZHANG, MENGQIANG HU, XIAOYI CHEN and GUANGYU CAO, 2021. BIM Integrated LCA for Promoting Circular Economy towards Sustainable Construction: An Analytical Review. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **13**(1310), pp. 1310.

KANAFANI, K., REGITZE KJÆR ZIMMERMANN, FREJA, N.R. and HARPA BIRGISDÓTTIR, 2021. Learnings from Developing a Context-Specific LCA Tool for Buildings—The Case of LCAByg 4. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **13**(3), pp. 1508.

KUMANAYAKE, R. and LUO, H., 2017. Development of an automated tool for buildings' sustainability assessment in early design stage. *Procedia engineering*, **196**, pp. 903-910.

LEE, S., TAE, S., JANG, H., CHAE, C.U. and BOK, Y., 2021. Development of Building Information Modeling Template for Environmental Impact Assessment. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **13**(6), pp. 3092.

LIEBICH, T., ADACHI, Y., FORESTER, J., JUHA, H., KARSTILA, K. and WIX JEFFREY, 2019-last update, buildingSMART International Ltd Industry Foundation Classes

IFC2x Edition 3. Available: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/> [03.11., 2021].

11. Referencer

NIZAM, R.S., ZHANG, C. and TIAN, L., 2018. A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings. *Energy and Buildings*, **170**, pp. 1-14.

NWODO, M.N. and ANUMBA, C.J., 2019. A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach. *Building and Environment*, **162**, pp. 106290.

ØBRO, M., *BIM survey 2014*.

ÖKOBAUDAT, 2021-last update, Ökobaudat. Available: <https://www.oekobaudat.de/en.html> [04.11., 2021].

POSTMAN, 2021-last update, About Postman. Available: <https://www.postman.com/company/about-postman/> [Nov 17, 2021].

POTRČ OBRECHT, T., RÖCK, M., HOXHA, E. and PASSER, A., 2020. BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **12**(14), pp. 5534.

RASMUSSEN, F.N., MALMQVIST, T. and BIRGISDÓTTIR, H., 2020. Drivers, barriers and development needs for LCA in the Nordic building sector - a survey among professionals. *IOP conference series. Earth and environmental science*, **588**(3),.

SACKS, R., EASTMAN, C., LEE, G. and TEICHOLZ, P., 2018. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, .

SAFARI, K. and AZARIJAFARI, H., 2021. Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development.

SANTOS, R., COSTA, A.A., SILVESTRE, J.D. and PYL, L., 2019. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Automation in construction*, **103**, pp. 127-149.

SCHLANBUSCH, R.D., FUFA, S.M., HÄKKINEN, T., VARES, S., BIRGISDOTTIR, H. and YLMÉN, P., 2016. Experiences with LCA in the Nordic Building Industry – Challenges, Needs and Solutions. *Energy procedia*, **96**, pp. 82-93.

SEYIS, S., 2020. Mixed method review for integrating building information modeling and life-cycle assessments. *Building and Environment*, **173**, pp. 106703.

SHAUN, 2021-last update, The difference between LCA, LCI, LCIA and EPD data. Available: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064259-The-difference-between-LCA-LCI-LCIA-and-EPD-data> [Dec 22, 2021].

SIMPLEBIM, 2021-last update, Simplebim. Available: <https://simplebim.com/> [Dec 21, 2021].

11. Referencer

SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C. and GARCÍA-MARTÍNEZ, A., 2017. Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, **136**, pp. 110-120.

TALLY, 2021-last update, Tally Tutorials. Available: <https://choosetally.com/tutorials/>.

THE DANISH PARLIAMENT, 2019-last update, Aftale om klimalov. Available: <https://www.regeringen.dk/aktuelt/publikationer-og-aftaletekster/aftale-om-klimalov/> [15.09., 2021].

TRAFIK-, B.O.B., 2020. *Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse*.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2020-last update, 2020 Global status report for buildings and construction. Available: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf [September 15, 2021].

VESELKA, J., NEHASILOVÁ, M., DVOŘÁKOVÁ, K., RYKLOVÁ, P., VOLF, M., RŮŽIČKA, J. and LUPÍŠEK, A., 2020. Recommendations for Developing a BIM for the Purpose of LCA in Green Building Certifications. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **12**(15), pp. 6151.

VIDENSCENTER FOR ENERGIBESPARELSER I VIRKSOMHEDER, 2021. *Grundbog i Baeredygtighed*.

W3SCHOOLS, 2021-last update, What is JSON?. Available: https://www.w3schools.com/whatis/whatis_json.asp [28.09., 2021].

WASTIELS, L. and DECUYPERE, R., 2019. Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. *IOP conference series. Earth and environmental science; IOP Conf.Ser.: Earth Environ.Sci*, **323**(1), pp. 12101.

WITTSTOCK, B., GANTNER, J., LENZ, K., SAUNDERS, T., ANDERSON, J., CARTER, C., GYETVAI, Z., KREISSIG, J., BRAUNE, A., LASVAUX, S., BOSDEVIGIE, B., BAZZANA, M., SCHIOPU, N., JAYR, E., NIBEL, S., CHEVALIER, J., HANS, J., FULLANA-I-PALMER, P., GAZULLA, C., MUNDY, J., BARROW-WILLIAMS, T. and SJOSTROM, C., 2012. *EeBGuide Guidance Document Part B: Buildings*.

WOHLIN, C., 2014. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. , pp. 1-10.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

ZIMMERMANN, R.K., BRUHN, S. and BIRGISDÓTTIR, H., 2021. BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings—An Investigation of Industry Practice and Needs. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, **13**(10), pp. 5455.

12. Figurliste

Figur 2.1 - Overblik over processen af de identificerede artikler.	4
Figur 2.2 - Viser den årlige distribution af artikler identificeret i litteratursøgningen.....	5
Figur 2.3 - Template for user environment design	7
Figur 2.4 - Fremgangsmetode til undersøgelse af rapportens problemstilling.....	8
Figur 3.1 - Bæredygtighed består af tre forskellige kvaliteter. Den sociale-, økonomiske- og miljømæssige kvalitet.....	9
Figur 3.2 - Viser den iterative LCA-proces. Baseret på DS/EN ISO 14040 (2008)	10
Figur 3.3 - LCA-behovet er væsentligt større end BIM-modellen og derudover er det ikke alle informationer i BIM-modellen som kan bruges til LCA	18
Figur 4.1 - Wastiels, Decuypere (2019) fire værktøjer i en BIM-LCA proces. Disse værktøjer kan sammensættes forskelligt alt efter fremgangsmetoden.	20
Figur 4.2 - BIM-LCA strategi nummer et beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).....	21
Figur 4.3 - BIM-LCA strategi nummer to beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).....	22
Figur 4.4 - BIM-LCA strategi nummer tre beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).	23
Figur 4.5 - BIM-LCA strategi nummer fire beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).	23
Figur 4.6 - BIM-LCA strategi nummer fem beskrevet af Wastiels, Decuypere (2019).	24
Figur 4.7 - Skærbillede fra tutorial på som forklarer sammenhængen mellem BIM objekterne og Tally databasen.	29
Figur 4.8 - Screenshot fra eTool tutorial. Viser importerede informationer fra en Revit Model.	30
Figur 5.1 - Flowmodel udarbejdet over informationerne fra LCA-eksperterne.....	32
Figur 5.2 - Screenshot fra interview af dataindsamlingsark til arkitekt.	33
Figur 5.3 - Sekvensmodel af nuværende workflow	34
Figur 6.1 - Typisk brugerflade i visual programming language. Brugerfladen består af et bibliotek af nodes og en arbejdsflade, hvor disse kan forbindes. Den viste brugerflade er fra Dynamo.	35
Figur 6.2 - Forside i LCAByg 5 og dens brugerinterface. Figur er baseret på Brisson Jørgensen, Kanafani et al. (2020).....	36
Figur 6.3 - Menupunktet bygningsmodel i LCAByg 5 der viser sammenhængen mellem kolonnerne	38
Figur 6.4 - Opbygning af hentede mappe fra LCAByg.dk/download-program,	39
Figur 6.5 - Til venstre: Opbygning af JSON filerne. Til højre: To Nodes kan forbindes med en Edge. Figuren er egen tilvirkning baseret på Bruhn, Grau Sørensen (2020).....	40
Figur 6.6 - Til venstre: Viser hvordan en liste starter ved bruge "[" og afsluttes med "]". Til højre: Viser hvordan en liste startes med "{" og afsluttes med "}" og derudover indeholde "Key" og "Values".	40
Figur 6.7 - Eksempel på elements.json filen hvor lists (blå), dictionaries (gul) og nodes og edges (grøn) er repræsenteret med farver.	40
Figur 6.8 - JSON filernes navne og sammenhæng sammenlignet med navne inde i LCAByg 5	41
Figur 6.9 - Viser sammenhængen mellem de forskellige JSON filer. Det fremgår at UUID's forbinder de forskellige filer sammen.	42
Figur 6.10 - Udfordringen med mapping mellem Revit lagopbygning og LCAByg 5 konstruktioner. Viser en tung udvendig væg.....	43
Figur 6.11 - Udfordringen med mapping mellem Revit lagopbygning og LCAByg 5 konstruktioner. Viser en let udvendig væg.....	44
Figur 6.12 - Manuelle fremgangsmetode til mapping mellem BIM-objekter og LCAByg 5 Gen_dk.	44

12. Figurliste

Figur 6.13 - To forskellige semiautomatiske muligheder	45
Figur 6.14 - Fuldautomatisk metode.....	45
Figur 6.15 - Sekvensmodel over ny forslået workflow	46
Figur 6.16 - Sekvensmodel over nyt workflow med plugin i Revit.....	47
Figur 6.17 - Sekvensmodel som repræsenterer værktøjerne i det nye workflow.....	47
Figur 6.18 - Samlet UED med de forskellige software, som bruges i det nye workflow.	48
Figur 6.19 - UED i Revit med Løsningsforslag #1.....	49
Figur 6.20 - Dynamo med tilhørende UED.	50
Figur 6.21 - Excel template med UED	50
Figur 6.22 - LCAByg UED.....	51
Figur 6.23 - Rækkefølgen af prototypen sammenlignet med sekvensmodellen over værktøjerne.	52
Figur 6.24 - Excel template med mulighed for at vælge LCAByg 5 lag for objekterne. Kolonne A = Bygningsdels fra Revit, Kolonne B = Materiale i bygningsdel fra Revit, Kolonne C = Tykkelse af materiale.....	52
Figur 6.25 - LCAByg 5 parametre som skal oprettes i Revit	53
Figur 6.26 - Flowchart for eksportering til JSON.....	54
Figur 6.27 - Viser hele Dynamo Script #3. Er sat ind for at give en sammenhæng til ovenstående flowchart.- findes også i Bilag 3	55
Figur 6.28 - Python kode til import af CSV file. I ovenstående kode læses første kolonne i CSV filen. Forklaring af de forskellige linjer følger efter ”#”.	56
Figur 6.29 - Generering af UUID’s. Forklaring af de forskellige linjer følger efter ”#”.	57
Figur 6.30 - Generering af ni forskellige UUID.	57
Figur 6.31 - For loop til oprettelse af elements.json med nodes og edges. Forklaring af de forskellige linjer følger efter ”#”.	58
Figur 6.32 - Resultat af python kode fra Figur 6.31. Hele resultatet kan ses i bilag 5.....	59
Figur 6.33 - Sammenhæng mellem Revit, elements.json og LCAByg 5.	60
Figur 6.34 - Viser processen over udviklingen af prototype. Det blev herfra valgt at gå tilbage til visioning og starte forfra.	63
Figur 7.1 - Rapportens sammenhæng mellem bygning, bygningsdel, bestanddel og materialer	64
Figur 7.2 - Sekvensmodel over den nye vision.....	65
Figur 7.3 - Viser at MVD’er er en delmængde af en IFC datamodel (Baseret på Berlo 2019)	66
Figur 7.4 - Screenshot fra Liebich, Adachi et al. (2019) som viser at IFC2x3 material entities.....	67
Figur 7.5 - Screenshot fra Coordination View Version 2.0 entity list. Grøn betyder at de forskellige IfcMaterial er en del af denne MVD.....	67
Figur 7.6 - Udklip af resultat fra GET request API fra Ökobaudat.	71
Figur 7.7 - Python kode som laver en API forespørgsel og derefter filtrere XML responsen i kolonner med faser, mængder og enhed.	71
Figur 7.8 - Resultatet af python koden fra Figur 7.7. Viser de hentede miljøpåvirkningerne for mineraluld fra Ökobaudat.	72
Figur 7.9 - Visioning af prototypekoncept	73
Figur 7.10 - Sekvensmodel over software i prototype #2.....	74
Figur 7.11 - UED af løsningsforslag #2	75
Figur 7.12 - Oversigt og forklaring af beregningsdelen af prototypen	78
Figur 7.13 - Forklaring af oversættelsen fra LCAByg 5 til beregningsdelen.	80

13. Tabelliste

Figur 7.14 - Screenshot fra visuel prototype i PowerPoint.	81
Figur 7.15 - Target i stablet diagram, hvor det er muligt at spore en ændring ned gennem grupperingen. 82	

13. Tabelliste

Tabel 2.1 - Contextual Design processen. Egen tilvirkning efter Holtzblatt, Beyer (2021).	5
Tabel 2.2 - De fire principper i Contextual Inquiry. Egen tilvirkning efter Holtzblatt, Beyer (2017).	6
Tabel 2.3 - Interviewfaser med forklaring.	6
Tabel 3.1 - Systemafgrænsningen med faser over livscyklus med tilhørende moduler. Moduler markeret med fed skal vurderes i den frivillige bæredygtighedsklasse. Tabellen er egen tilvirkning baseret på Kanafani, Regitze Kjær Zimmermann et al. (2021).	12
Tabel 3.2 - Viser de moduler der er obligatoriske, tilvalg eller ikke indeholdt i de forskellige EPD'er. ✓ = Obligatorisk. T = Tilvalg, Tomme = er ikke inkluderet i EPD'en. Tabellen er egen tilvirkning baseret på DS/EN 15804 (2019).	13
Tabel 3.3 - Generiske LCA databaser for byggebranchen (Wittstock, Gantner et al. 2012).	14
Tabel 3.4 - Indikatorer for miljøpåvirkning og ressourceforbrug iht. EN 15978, som LCAByg 5 understøtter. Egen tilvirkning baseret på Brisson Jørgensen, Kanafani et al. (2020)	15
Tabel 3.5 - LOD niveau med definitioner af DiKon (2021). Der bruges DK (Danmark) bagved LOD niveauet for ikke at forveksle LOD niveauet med andre organisationers.	17
Tabel 3.6 - Tabellen viser DiKon's bud på sammenhæng mellem LCA-type og LOD niveauer (DiKon LCA-vejledning).	19
Tabel 3.7 - DiKon's Level of Information ifm. en skillevæg (DiKon LCA-vejledning).	19
Tabel 4.1 - Oversigt over BIM-LCA programmer udarbejdet af Bueno, Fabricio (2018)	28
Tabel 5.1 - Oversigt over interview med deltagende informanter, virksomhed, virksomhedsstørrelse og jobtitel.	31
Tabel 5.2 - Tabel fra afsnit 2.2.1 med specificering af de udførte interview.	31
Tabel 6.1 - Eksempel på konstruktioner og lagdeling. Nogle eksempler er stadig under udvikling. Tabel er egen tilvirkning baseret på Brisson Jørgensen, Kanafani et al. (2020)	38
Tabel 6.2 - Fordele og ulemper ved manuel, semiautomatisk eller automatisk metode	46
Tabel 6.3 - Kondensering af fordele og ulemper fra workshop.	62
Tabel 7.1 - Pilene viser mapping mellem IFC-materialer og LCA-bibliotek.	69
Tabel 7.2 - Oversigt over de valgte konstruktioner i LCAByg 5, som sammenlignes med det nye LCA-værktøj.	79
Tabel 7.3 - Sammenligning af GWP resultat fra LCAByg og ny LCA-værktøj	79
Tabel 7.4 - Resultat fra workshop med prototype #2	84

14. Bilag

- Bilag 1. Dynamo script - Eksport til Excel template af typenavn, materialer og tykkelser
- Bilag 2. Dynamo script - Import fra Excel template af de valgte Gen_dk konstruktioner
- Bilag 3. Dynamo script - Eksport til json filer som LCAbyg kan læse
- Bilag 4. Excel template med mulighed for mapping BIM objekter med Gen_dk
- Bilag 5. Eksempel på elements.json output fra Dynamo script
- Bilag 6. Response xml fil fra GET request til Ökobaudat
- Bilag 7. Prototype #2 - Beregningsdel af prototype
- Bilag 8. Prototype #2 - Scenariedel af prototype