

Sølve Jørgensen Øverbø

Hvordan gjøre bygningsprosjekter mer miljøvennlige ved bruk av BIM og LCA

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Rolf André Bohne

Juni 2020

Sølve Jørgensen Øverbø

Hvordan gjøre bygningsprosjekter mer miljøvennlige ved bruk av BIM og LCA

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Rolf André Bohne
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Bygningssektoren står ovenfor store utfordringer når det kommer til klimaproblematikk og bærekraftighet. Den er en av verdens største på blant annet avfallsproduksjon, klimagassutslipp, ressursforbruk og energiforbruk. Det er en sektor i global vekst, og for at verden skal nå sitt mål, fastslått av FN, om å ikke øke temperaturen med mer enn to grader bærer den et stort ansvar.

I nye bygg med lavt energiforbruk står bygningsmaterialer for en stor del av et bygg sitt totale utslipp. Denne oppgaven vil utforske hvordan en BIM-integrert LCA kan redusere klimautslipp i bygginger. Fokuset vil ligge på hva som kan gjøres i de tidlige fasene i et byggeprosjekt, da det er her det er størst handlingsrom for lavest pris. For å utforske dette er det etablert 4 forskningsspørsmål som besvares gjennom ett litteraturstudie og en caseoppgave. Litteraturstudiet legger grunnlaget for det teoretiske rammeverket rundt, og gir en teoretisk tilnærming til hvordan en slik integrasjon kan gjennomføres. Caseoppgaven kartlegger LOD-nivået til et byggeprosjekt i byggefasen, og gjennomfører en automatisk LCA ved bruk av One Click LCA i tillegg til å gjennomføre en manuell LCA ved bruk av Excel og manuelle operasjoner.

Basert på resultatene fra den teoretiske tilnærmingen anbefales det at for LOD-nivå 0-200 bør Screening LCA tas i bruk. For nivå 300-350 kan enten Screening LCA, Forenklet LCA eller en kombinasjon av disse tas i bruk. For LOD-nivå 400-500 kan både Forenklet LCA og Komplet LCA brukes, avhengig av hvilken fase i byggeprosjektet man befinner seg i, og hva målet med LCAen er. Den praktiske tilnærmingen ved caseoppgaven viser at LOD-nivået i en modell varierer fra element til element, og at en BIM-basert LCA ved lavt LOD-nivå kan ha problemer med at materialer ikke korrekt kommer med. Den viser også at dette kan kontres til en viss grad ved bruk av generiske verdier for å kompensere for informasjonsgapet. Som en løsning på elementer med ulike LODer bør en i designfasen strukturere en LOD-beslutningsplan som gjør det lettere å sortere elementer etter LOD som igjen vil forenkle det å gjennomføre en BIM-basert LCA gjennom de tidlige fasene.

Abstract

The building sector faces major challenges regarding climate change and sustainability. It's one of the largest in the world at waste production, greenhouse gas emissions, resource consumption and energy consumption. It's a sector in global growth, and in order for the world to reach its goal, determined by the UN, not to raise the temperature by more than two degrees, it holds a great responsibility.

In new buildings with low energy consumption, building materials account for large a portion of a building's total emissions. This task will explore how a BIM-integrated LCA can reduce climate emissions in buildings. The focus will be on what can be done in the early stages of a construction project, as this phase has the largest potential for change for the lowest price. To explore this, four research questions have been established that are answered through one literature review and one case study. The literature review provides the basis for the theoretical framework, and provides a theoretical approach to how an integration can be carried out. The case assignment maps the LOD-level of a construction project during the construction phase, and implements an automatic LCA using One Click LCA in addition to conducting a traditional LCA using Excel and manual operations.

Based on the results of the theoretical approach, it's recommended that for LOD-level 0-200 Screening LCA should be used. For level 300-350, either Screening LCA, Simplified LCA or a combination of these can be used. For level 400-500, both Simplified LCA and Complete LCA can be used, depending on the phase of the project and the goal of the LCA. The practical approach to the case assignment shows that the LOD-level in a model varies from element to element and that a BIM-based LCA at a low LOD-level can have problems with materials not being properly included. It also shows that this can be countered to some extent by using generic values to compensate for the information gap. As a solution to elements with different LODs one should during the design phase construct a LOD decision plan that makes it easier to sort elements by LOD, which in turn will simplify the implementation of a BIM-based LCA through the early phases.

Forord

Denne masteroppgaven er produsert av studenten Sølve Øverbø, og utgjør det endelige arbeidet for den ingeniørfaglige utdanning Bygg- og Miljøteknikk ved Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet i Trondheim, våren 2020. Masteroppgaven er resultatet av ett femårig studie ved fakultet for ingeniørvitenskap med studieretning bygg og anlegg, og med hovedprofil innen prosjektledelse. Masteroppgavens emne dreier seg om kombinasjonen av LCA og BIM, og hvordan disse kan bidra til en mer miljøvennlig byggebransje. Rolf Andre Bohne har vært veileder for oppgaven, mens Veidekke Entreprenør har gitt tilgang til sitt pågående prosjektet Via Vika i Oslo som har blitt brukt som caseoppgave.

Takk til Rolf Andre Bohne for sin profesjonelle veiledning igjennom semesteret med gode innspill, interesse for tema og støttende kompetanse. Takk til Martin Lysgaard i Veidekke for tilgang til bygningsinformasjonsmodeller og raske svar angående disse. Til slutt ønsker jeg også å takke mine nærmeste som jeg foruten ikke ville kommet meg igjennom dette semesteret da universitet og samfunnet generelt stengte og alle rutiner forsvant ut vinduet.

Trondheim, 11.06.2020

Sølve Jørgensen Øverbø

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Innholdsfortegnelse	ix
Tabeller	xi
Figurer	xiv
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Forskningsspørsmål	4
1.3 Avgrensinger	5
1.4 Oppgavens oppbygning	6
1.5 Deklarasjon	8
2 Teori	9
2.1 Bærekraftighet i bygningssektoren	9
2.2 Material- og energibruk i bygg	10
2.2.1 Designprosessen	11
2.3 BIM	12
2.3.1 Hva er BIM?	12

2.3.2	BIM og bærekraftighet	12
2.3.3	Bruken av BIM	14
2.3.4	BIM-standarder	14
2.3.5	Utviklingsnivå (LOD)	15
2.4	LCA	18
2.4.1	LCA av bygg	20
2.4.2	Ulike typer LCA	21
2.4.3	LCA-verktøy	22
2.5	Integrering av BIM og LCA	23
2.5.1	Etablerte rammeverk og metoder	25
2.5.2	BIM-LCA Verktøy	27
2.5.3	LCA og LOD	27
2.5.4	LCC og BIM	29
3	Metode	31
3.1	Analyse av problemstilling	31
3.2	Forskningen generelt	32
3.3	Forskningsprosessen	32
3.4	Forskningsdesign	33
3.5	Forskningsmetode	33
3.6	Valg av metode	34
3.7	Innsamling av data	36
3.7.1	Datainnsamlingsmetoder	37
3.8	Litteraturstudie	37
3.8.1	Søkeprosessen	38
3.8.2	Litteratursøket	39
3.8.3	Filtreringsprosessen	41
3.8.4	Litteraturevaluering	42
3.8.5	Styrker og svakhet	43
3.8.6	Feilkilder	44
3.9	Caseoppgave: Praktisk tilnærming for empirisk datainnsamling	44
3.9.1	Definering av modellens LOD	45
3.9.2	Fremgangsmåte for utehenting av materialmengder	47
3.9.3	Framgangsmåte for LCA-kalkulasjoner	49
3.9.4	Hensikt og omfang for LCA-beregningene	50

3.9.5	Livsløpsregnskap	51
3.9.6	Vurdrering av miljøpåvirkning	56
3.9.7	Tolkning	57
3.9.8	Styrker og svakheter	57
3.9.9	Feilkilder	58
4	Caseoppgave: Via Vika	61
5	Resultat og diskusjon	63
5.1	Teoretisk tilnærming	63
5.1.1	BIM-basert LCA: Dagens situasjon	63
5.1.2	LCA og LOD	65
5.1.3	Styrker og svakheter ved bruk av BIM-basert LCA	69
5.2	Praktisk tilnærming: Case: ViaVika	71
5.2.1	LOD	71
5.2.2	LCA	78
5.3	Oppsummerende diskusjon fra praktisk og teoretisk tilnærming	84
6	Konklusjon	89
6.1	LCA og BIM: Dagens situasjon	89
6.2	LOD-nivå og LCA	90
6.3	BIM+LCA: Fordeler og utfordringer	91
6.4	Reduksjon av byggebransjens miljøpåvirkninger ved å integrere BIM og LCA	91
7	Forslag til videre arbeid	93
	Referanser	94
	Vedlegg	103

Tabeller

1.1	Rapportens oppbygning	7
2.1	Standarder for BIM implementert i EU	15
2.2	Definisjoner av de forskjellige LOD-nivåene (BImForum, 2013) .	16
2.3	Definisjoner av LCA (Standard Norge, 2006a,b)	19
2.4	Ulike LCA-verktøy (Haapio and Viitaniemi, 2008)	23
2.5	Nødvendig informasjon for nøyaktig LCA	28
3.1	Ulike utvalgsstrategier med tilhørende kort forklaring.	36
3.2	Oversikt over søkeord og databaser	41
3.3	Datakilder og deres bidrag.	41
3.4	TONE-kriterier	42
3.5	Retningslinjer for LCA-beregningene gjennomført.	50
3.6	Utslippsfaktorer for betong	53
3.7	Utslippsfaktorer for stål	53
3.8	Utslippsfaktorer for isolasjon	54
3.9	Utslippsfaktorer for tre, gips, plater og andre kledning / overflate .	55
3.10	Utslippsfaktorer for dører og vinduer	55
3.11	Utslippsfaktorer for udefinerte materialer basert på Solem (2018) .	56

Figurer

1.1	IPCCs estimat for temperatur og risiko knyttet til klimaendringer (IPCC, 2018)	2
1.2	FNs bærekraftsmål (United Nations, 2015)	3
2.1	Copenhagen Resource Institute (2014) sin oversikt over bygg og materialbruk i Europa.	10
2.2	MacLeamy Kurven (Hardin and McCool, 2015)	11
2.3	Level of development (LOD) (BImForum, 2013)	17
2.4	Beslutningplan for LOD (Grytting et al., 2017)	17
2.5	LCA-prosessen (Standard Norge, 2006a)	18
2.6	Eksempel på LCIA	20
2.7	LCA-prosessen (Ectoc, 2016)	20
2.8	Modifisert versjon av prosessstreet presentert av (Dupuis et al., 2017)	24
2.9	Metode 1 (Antón and Díaz, 2014)	25
2.10	Metode 2 (Antón and Díaz, 2014)	25
2.11	Disgnfaseutvikling med tanke på LOD (Nilsen and Bohne, 2019) .	28
3.1	Ulike forskningsdesign	33
3.2	Søkeprosess.	38
3.3	Boolske operatører	39
3.4	Søkeord brukt under litteratursøket.	40
3.5	LOD-nivå allerede gitt på armering.	46
3.6	Information takeoff i Solibri for mengdeuttak.	47

3.7	Slab i Solibri med flere definerte materialer.	48
4.1	Prosjekt Via Vika	61
5.1	Forslag til beslutningsplan for LCA basert på BIM-modellens LOD-nivå	68
5.2	LCA-metoder basert på prosjektets LOD-nivå og fase	69
5.3	LOD-fordeling for den plasstøpte betongen-delen av RIB-modellen	72
5.4	LOD-fordeling for armeringsdelen av RIB-modellen	72
5.5	LOD-fordeling for den samlede RIB-modellen	73
5.6	Visuell fremstilling av LOD-fordelingen for den samlede RIB-modellen	74
5.7	LOD-fordeling for bygg-modellen for ARK-BIMen.	75
5.8	LOD-fordeling for fasade-modellen for ARK-BIMen.	75
5.9	LOD-fordeling for hele ARK-BIMen.	76
5.10	Visuell presentasjon av LOD-nivå for ARK-BIM.	76
5.11	Klimagassutslipp for den samlede RIB-modellen.	79
5.12	Oversikt over andel materialer One Click LCA gjenkjente.	79
5.13	Oversikt over klimagassutslipp for min, med og maksverdier for de udefinerte materialene.	80
5.14	Oversikt over det totale klimagassutslippet for min, med og maksverdier for de udefinerte materialene.	81
5.15	Klimagassutslipp for ARK-modell	82
5.16	Fordeling av klimagassutslipp fra One Click LCA, manuelle utregninger og kompositter.	83
5.17	Uønsket og ønsket utvikling av miljøpåvirkninger ved økende LOD-nivå	85
5.18	Ideell utvikling av klimagassutslipp som følge av økende LOD-nivå og mer presise beslutninger med synkende usikkerhet tilknyttet til resultatene.	86
5.19	Forskjellen mellom manuell og automatisk LCA.	87

Kapittel 1

Introduksjon

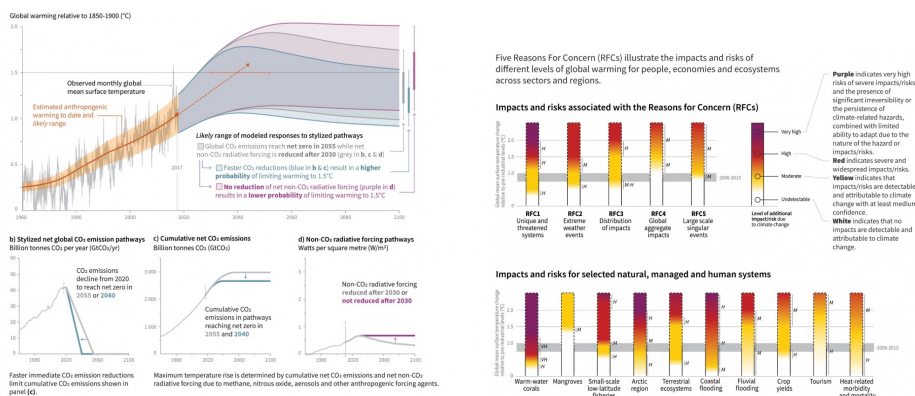
Temaet til oppgaven ble valgt på grunn av interesse for bærekraftighet og miljø, og på grunn av en interesse for digitaliseringen av dagens byggenæring samt hvordan denne digitaliseringen kan bidra til en bærekraftig byggenæring. Dette kapitlet tar for seg den miljømessige- og bærekraftsmessige utfordringen verden, og byggingsektoren, står ovenfor. Disse utfordringene vil utgjøre bakgrunnen for oppgaven, og vil utdypes senere i kapitlet. Oppgavens tema, hensikt, avgrensninger og struktur blir så følgende presentert i dette kapitlet.

1.1 Bakgrunn

Klimaendringer er gjenkjent som en av vår tids største utfordringer, og det er en stor konsensus om at hvis disse endringene ikke blir begrenset vil det få store og irreversible konsekvenser for både samfunnet og miljøet (United Nations, 2015). Derfor, er det viktig å redusere klimagassutslippet slik at Parisavtalens mål om å ikke øke gjennomsnittstemperaturen på kloden med mer enn 2 grader kan realiseres (United Nations, 2015).

Parisavtalen representerer en enighet blant verdens politiske ledere om at det er behov for en forpliktelse om klimakutt, men til hvilken grad og kostnad rår det uenighet om. USAs valg om å trekke seg fra avtalen, og en økende grad av misstillit til etablert forskning i flere vestlige land, er eksempler på dette. Samtidig peker nyeste klimarapport fra FN på at verden bør ha 1,5 grader økning som mål,

målt i forhold til preindustriell alder (IPCC, 2018). Dette er for å redusere risikoen og alvorlighetsgraden for blant annet ekstremvær, høye temeperaturopper, tørke og økning av havnivå (IPCC, 2018). Figur 1.1a viser forventet temeperaturokning, mens Figur 1.1b viser risikonivået for forskjellige scenarier ut i fra gitt temeperaturokning.



Figur 1.1: IPCCs estimat for temperatur og risiko knyttet til klimaendringer (IPCC, 2018)

For å oppnå målet om å kun øke gjennomsnittstemperatur globalt med 1,5 grader er det nødvendig å kutte dagens CO₂-utslipp med rundt 40% (IPCC, 2018). I ett globalt samfunn hvor antallet mennesker øker og mange u-land er i ferd med å industrialiseres (United Nations, 2015) vil det kreve raske og drastiske endringer i de store sektorene som står for klimagassutslipp. For eksempel innen industri, energi og bygg.

Bygningssektoren er den singel største forbrukeren av energi og naturressurser i verden, og er dermed en nøkkelsektor på vegen mot en bærekraftig utvikling (Yeheyis et al., 2013; Zanni et al., 2017; Alwan et al., 2017). FN har utviklet flere bærekraftsmål (United Nations, 2015), hvorav flere berører bygningssektoren. Disse målene ble besluttet i 2015, og er satt til 2030 (United Nations, 2015). De mest relevante målene er presentert i Figur 1.2 da bygningssektoren kan regnes som både forbruker, forsøpler og landokkupant.



Figur 1.2: FNs bærekraftsmål (United Nations, 2015)

Bærekraft kan brytes opp i tre hovedpilarer; økonomisk, sosialt og miljø. Bygningssektoren har en stor innvirkning på disse tre områdene. Den står for rundt 40% av det globale energiforbruket, 12 % av vannforbruket, 30% av råmaterialer, 40% av avfallsproduksjon og 12% av landbruk (Global Alliance, 2016). Bygningssektoren kan i tillegg stå for nesten 10% av den totale globale økonomien (Global Alliance, 2016). Bygg og infrastruktur har også en stor sosial effekt med tanke på hvor mye tid man tilbringer innendørs, og hvilken rolle bygg spiller inn i det urbane miljøet.

Bygningssektoren beveger seg mot en mer bærekraftig utvikling (Bueno and Fabricio, 2018) med en nedgang i energiforbruk per areal bygg, men byggesektoren har samtidig hatt en stor vekst som har ført til at det totale energiforbruket har økt. Globalt så vokser verdens befolkning, kjøpekraften øker, og flere flytter til byer. Hvis nåværende trender forblir, er det estimert at det totale bygningsarealet vil øke med 50% de neste tiårene (Global Alliance, 2016), og det er nødvendig at dette gjøres på en så bærekraftig måte som mulig.

Det er flere verktøy og metoder for å implementere bærekraftig utvikling i bygningssektoren, og livssyklusanalyse (LCA) er regnet for en komplett metode for å vurdere miljøaspektene til blant annet et bygg gjennom hele dets livsløp (Antón and Díaz, 2014). Som en følge av bygningssektorens store miljøbelastninger har LCA av bygninger vært et voksende forskningsområde det siste tiåret (Cabeza et al., 2014). Forskingen tar for seg ulike områder og faser av et byggeprosjekt

i et forsøk på å vitenskapelig analysere og redusere et byggs miljøprofil. LCA er derimot en arbeidstung prosess grunnet den store mengden datasamling om er nødvendig, og flere studier peker på viktigheten av å forbedre og forenkle LCA-applikasjoner til bygninger (Soust-Verdaguer et al., 2017). EN integrasjon av Building Information Modeling (BIM) og LCA kan bidra til å optimalisere og forenkle LCA-applikasjoner (Antón and Díaz, 2014), og flere fagartikler (Soust-Verdaguer et al., 2017), (Antón and Díaz, 2014), (Cavalliere et al., 2019) peker ut en slik integrasjonen som riktig veg å gå.

Integrasjon av BIM og LCA er et konsept som har fått mer og mer oppmerksomhet de siste årene (Soust-Verdaguer et al., 2017), hvor en BIM-modell vil forenkle datahentingene nødvendig for å gjennomføre en LCA. Bruken av BIM har hatt en stødig vekst de siste årene (Zanni et al., 2017), og en slik integrasjon av BIM og LCA vil kunne videre forbedre bygningsdesign og adressere flere av FNs bærekraftsmål.

Det eksiterer allerede programmer som forsøker å integrere LCA med BIM, for eksempel en plug-in for Autodesk Revit som heter Tally (2019) og ett nettbasert LCA-program One Click CLA. Det krever fremdeles manuell input for å få output, og er ingen fullstendig automatisert løsning, men med økende adaptasjon av BIM og LCA i industrien bør muligheten for en fullstendig automatisk løsning nærme seg.

1.2 Forskningsspørsmål

Formålet med denne oppgaven er å kartlegge muligheter og utfordringer som oppstår ved bruken av BIM-integrert LCA, da med fokus på utfordringer knyttet til forholdet mellom modenhetsgraden til modellen og muligheten for bærekraftsanalyser, for så å se hvordan en slik integrasjon kan bidra til å redusere bygningers miljøprofil. For dette er følgende problemstilling laget:

Hvordan kan en BIM-basert LCA redusere et byggs miljøprofil?

For å besvare og tydeliggjøre problemstillingen er det etablert disse fire følgende forskningsspørsmålene:

- Hvilke begrensninger finnes i dag for en automatisert LCA ved bruk av BIM?

-
- Hva slags metoder og verktøy finnes i dag for en BIM-basert LCA?
 - Til hvilken grad påvirkes muligheten til å gjennomføre en automatisert LCA ved bruk av BIM av BIM-modellens modenhetsnivå (LOD)?
 - Hvilke fordeler og ulemper bringer en BIM-basert LCA med seg?

Forskningsspørsmålenes rekkefølge er gitt for å først kunne avdekke tilgjengelig informasjon og verktøy som allerede finnes, for så å anvende denne sammen med en praktisk tilnærming. De to første forskningsspørsmålene har for formål å kartlegge hva situasjonen er i dag når det kommer til en komplett automatisering av LCA. Gjennom en teoretisk tilnærming er målet å finne ut hvordan, og til hvilken grad, en automatisert LCA kan gjennomføres, i hvilken fase det er mest hensiktsmessig og med et fokus på tidligfase. De to siste forskningsspørsmålene skal besvares ved en praktisk tilnærming ved å ta utgangspunkt i et byggeprosjekt i Oslo: Via Vika. Beregningene fra dette prosjektet har for hensikt å vise til hvilken grad en automatisert LCA vil variere fra en tradisjonell / manuell utregning, hvor valid resultatene fra den automatiserte LCA analysen vil være og tydeliggjøre eventuelle problemer som oppstår. Det vil også settes fokus på hvordan, og til hvilken grad, LOD-nivået til modellen påvirker resultatet. Avslutningsvis vil så resultatene fra casen sammenlignes med teorien for å se om det som kommer frem i teorien også stemmer overens med den praktiske tilnærming.

Problemstillingen som den står dekker et ganske bredt tema, og er ganske generell, men med svarene til forskningsspørsmålene og teorien som avdekkes i literatursøket er målet at oppgaven skal kunne legge godt nok grunnlag for å si noe om hvordan en BIM-integrert LCA kan bidra til å redusere byggebransjens miljøavtrykk.

1.3 Avgrensinger

Oppgavens tema og litteratur dreier seg om LCA og BIM. Både LCA og BIM vil bli presentert på et generelt plan i teoridelen, men med en hovedvekt på bygninger. Den generelle delen vil bli introdusert først mens resten av oppgaven vil fokusere på bygningsspesifikk LCA og BIM. Fordeler, utfordringer og teori rundt LCA og BIM vil bli tatt opp hver for seg med et overordnet fokus på hvordan de kan best

brukes sammen. LCC i samspill med BIM blir også smått nevnt i oppgaven, selv om det ikke vil foretas noen egne beregninger på dette.

I slutten av februar 2020 ga Veidekke tilgang til deres Dalux-side som inneholdt blant annet arkitet- (ARK) og rådgivende ingeniør bygg (RIB) modeller til prosjektet Via Vika i Oslo. Prosjektet Via Vika var midt i byggefasen da denne oppgaven ble skrevet, og modellen ble oppdatert fortløpende i løpet av våren hvor tekniske fag som blant annet ventilasjon og elektro ble lagt til i modellen, men oppgaven avgrenses til å håndtere ARK- og RIB-modellene på det stadiet de eksisterte 1. Mars.

Mål av bygningers miljøavtrykk og grad av bærekraftighet kan måles ved andre metoder enn LCA, men ettersom LCA er etablert som «Best Practice» i sektoren velges denne metoden. I dag finnes det mange forskjellige miljøsertifiseringer av bygg som for eksempel BREEAM, Passivhus og LEED, oppgaven går noe inn på disse, men vil ikke legge noe særlig fokus på dem.

1.4 Oppgavens oppbygning

Opgaven følger en struktur etter retningslinjer gitt fra blant annet Olsson (2015), Tjora (2017) og Busch (2018). I tillegg er oppgavens disposisjon lagt etter de retningslinjer gitt av oppgavens veileder og NTNU sine egne råd til disposisjon. Oppgaven åpner med en introduksjon til temaet og problemstillingen oppgaven dreier seg om. Videre blir det lagt et teoretisk rammeverk for oppgaven som forklarer begreper og metoder brukt i oppgaven. Metoden blir så presentert etterfulgt av en presentasjon av caseoppgaven, deretter kommer resultat og diskusjon. Diskusjonen skal knytte teorien og resultatene sammen, og det er valgt å flette sammen diskusjonen med resultatene for en bedre flyt. Konklusjonen følger så med en oppsummering av resultatet og diskusjonen, før så oppgaven avsluttes med forslag til videre arbeid innen temaet. Tabell 1.1 gir en oversikt over oppgavens oppbygning.

Tabell 1.1: Rapportens oppbygning

Del Nr.	Kapittel Nr.
Del 1. Introduksjon	1. Innledning
Del 2. Teori	2. Teoretisk rammeverk
Del 3. Metode	3. Metode for litteraturstudiet og caseoppgave
Del 4. Resultat	4. Caseoppgave 5. Resultat og diskusjon
Del 5. Konklusjon	6. Konklusjon 7. Videre arbeid
Del 6. Vedlegg	Vedlegg

Del 1. Introduksjon: Introduksjonen konkretiserer det generelle til det mer spesifikke gjennom å avgrense og innsere temaet som leder til en problemstilling med underliggende forskningsspørsmål.

Kapittel 1. Introduksjon: Temaet aktualiseres, problemstillingen blir oppbygget med underliggende forskningsspørsmål, oppgavens omfang og avgrensninger, og en disposisjon.

Del 2. Teori: Teorien bringer sammen forskjellige faktorer under et felles system av begreper og prinsipper for å danne en oversikt over temaet.

Kapittel 2. Teoretisk rammeverk: Det teoretiske rammeverket som danner grunnlaget for oppgaven, forklarer begreper og metoder som brukes i oppgaven, samt presenterer funnene gjort i litteraturstudiet.

Del 3. Metode: Metoden er den planmessige framgangsmåten for å produsere et adekvat og relevant resultat gjennom å opprettholde prinsipper som objektivitet, reliabilitet og validitet.

Kapittel 3. Metode: En deduktiv beskrivelse av framgangsmetoden for hvordan resultatene er produsert, hvilken forskningsprosess som ligger bak, designet på forskningsprosessen, valgt forskningsmetode og datainnhentingsmetode, valg og argumentasjon for metode, beskrivelse av framgangsmetode på caseoppgave.

Del 4. Resultat: Resultatene er et produkt av den metodiske tilnærmingen til opp-

gavens problemstilling og forskningsspørsmål.

Kapittel 4. Caseoppgave: Presenterer caseoppgaven.

Kapittel 5. Resultat og diskusjon: Diskusjonen knytter teorien sammen med det teoretiske, og en sammenslåing av resultatet fra caseoppgaven, litteraturstudiet. Diskusjonen rundt er gjort for en bedre flyt i oppgaven.

Del 5. Konklusjon: Konklusjonen tar for seg hvert enkelt forskningsspørsmål for seg og et oppsummerende svar på problemstillingen. Kapittel 6. Konklusjon: Konklusjon for forskningsspørsmålene og problemstillingen. Kapittel 7. Videre arbeid: En anbefaling til videre forskning og arbeid, prosessrefleksjon og anerkjennelse.

Del 6. Vedlegg: Vedleggene er en del av oppgaven og skal virke utfyllende og forklarende på prosesser, argumenter eller metoder brukt i oppgaven.

1.5 Deklarasjon

Innholdet i oppgaven er utelukkende basert på angitt metode og forfatterens egne tolkninger av informasjon fremskaffet av datakilder. Forfatteren av oppgaven kan ha feiltolket, feilvurdert eller avlest feil noe av innholdet i de ulike kildene, og kan dermed ha feilrepresentert noe av budskapet i de ulike datakildene.

Kapittel 2

Teori

Dette kapitlet danner det teoretiske grunnlaget bak oppgaven. Dette er grunnlaget resultatet og diskusjonen baserer seg på. Formålet med dette kapitlet er å gi kontekst til oppgaven og å presentere kunnskap, informasjon og modeller som er viktige for oppgaven.

2.1 Bærekraftighet i bygningssektoren

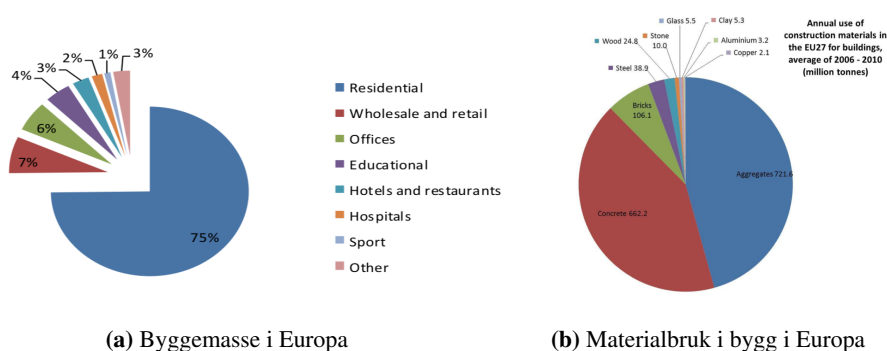
Klimaendringer er gjenkjent som ett av vår tids største utfordringen, og konsekvensene for både miljøet og menneskeheten er usikre og kan være katastrofale. Det er behov for samfunnsmessige endringer for å imøtekomme disse konsekvensene, og for å begrense dem. Ettersom bygningssektoren er en av verden største forbruker av resurser (United Nations, 2015), har den et stort potensiale for å bidra til å styre samfunnet mot en mer bærekraftig utvikling.

Det krever mye ressurser og energi å konstruere bygninger, og det generer mye avfall. I EU, og Europa generelt, spiller bygningssektoren en enda større rolle enn globalt. Den står for rundt 50% av forbruket av råmaterialer, 40% av energiforbruket og generer rundt 30% av det totale avfallet (European Commission, 2014). Dette er gjennomgående for andre vestlige / utviklede land, og det viktig å utvikle gode standarder og rutiner slik at utviklingsland kan unngå å ha like store utslipp

i fremtiden. Gamle bygg, eller bygg som bygges på en mer tradisjonell måte, har betydelig større utslipp igjennom sitt livsløp enn dagens bygg som for eksempel følger passivhuskrav (European Commission, 2011), og det er derfor viktig å ta tak i det nå mens det ennå er et mulighetsvindu åpent.

2.2 Material- og energibruk i bygg

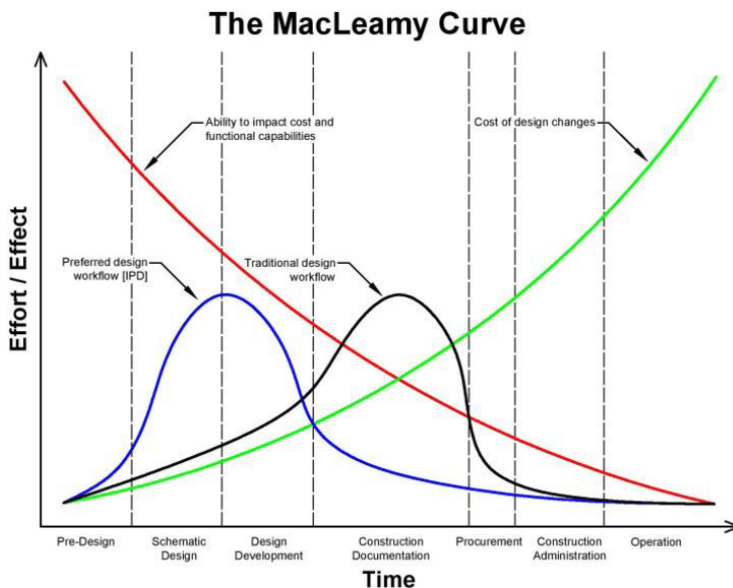
Det har de 2-3 siste tiårene vært stort fokus på å redusere energiforbruket i bruksfasen til bygninger gjennom nasjonale forskrifter, standardløsninger, forskjellige sertifiseringer som BREEAM, LEED og Passivhus og bygningssektoren har sett en stor reduksjon i energiforbruket i denne fasen (Ortiz et al., 2009; Zanni et al., 2017; European Union, 2010; Soust-Verdaguer et al., 2017). Vi begynner å nærme oss en balanse hvor det totale utslippet gjennom hele bruksfasen er omtrent lik den andelen som går med til produksjonsfasen og håndteringen av materialer etter endt levetid (EoL) (Basbagill et al., 2013). Basbagill et al. (2013) mener energieffektiviteten i nye energieffektive hus har nådd sin maksimale grense, og det blir da klart at det er i konstruksjonsfasen og avhendingfasen man må innføre tiltak for å redusere byggets totale utslipp, og her vil materialvalg ha mye å si. Figur 2.1a og 2.1b viser fordelingen av bygningsmasser og materialbruk i Europa, og det er estimert at bygningsmaterialer kan stå så mye som opptil 10% av det totale klimagassutslippet (Habert et al., 2012).



Figur 2.1: Copenhagen Resource Institute (2014) sin oversikt over bygg og materialbruk i Europa.

2.2.1 Designprosessen

Valg av materialer tas gjerne allerede i designfasen, og det er her det er størst frihet til å gjøre endringer og tiltak uten at de økonomiske konsekvensene blir for store (Antón and Díaz, 2014). Utførelsen av et bygg følger en naturlig rekkefølge ved å først sette opp skjellettet til bygget (fundament og bæresystem) for så å sørge for tett bygg med fasade og deretter gjennomføre innvendig arbeid. Designprosessen er derimot ikke en like lineær prosess fra start til slutt, men kan bedre beskrives som en iterativ prosess som går i sirkler. Antón and Díaz (2014) og Basbagill et al. (2013) påpeker viktigheten av avgjørelser som gjøres i designfasen av et prosjekt, ettersom dette legger føringer for de resterende fasene. Figur 2.2 viser hvordan kostnaden knyttet til endringer, og til hvilken grad man kan gjøre endringer, utvikler seg igjennom et byggeprosjekt.



Figur 2.2: MacLeamy Kurven (Hardin and McCool, 2015)

Figur 2.2 viser også forskjellen man kan oppnå ved å gå fra en såkalt tradisjonell designprosess til en integrerende. Forskjellen på de to er at i den tradisjonelle blir det foretatt mange endringer sent i prosjektet når effekten av endringene er små og kostnadene knyttet til disse høye, men i den integrerende gjøres endringene tidligere når kostnadene tilknyttet disse er lavere (Ballard, 2000). Den integrerende

prosessen vil da være mer foretrukken (Ballard, 2000).

2.3 BIM

2.3.1 Hva er BIM?

ISO 29481 definerer BIM (Building information modeling) som bruken av en delt digital representasjon av et bygd objekt (som inkluderer bruer, bygninger, veier osv.) for å tilrettelegge for en pålitelig bakgrunn å ta valg på for design, konstruksjon og operasjonsprosesser. BIM kan oversettes til bygningsinformasjonsmodell, men uttrykket omhandler ikke bare selve 3D-modellen, men også prosessen for modelleringen, informasjonsflyten mellom aktører som bruker modellen og sosiologien rundt (Hardin and McCool, 2015). Informasjonsflyten og sosiologien er viktig ettersom modellen kun er så god som evnen til aktørene å bruke den, både på det tekniske- og kommunikative planet (Hardin and McCool, 2015).

2.3.2 BIM og bærekraftighet

BIM har flere aspekter som kan bidra til økt miljøvennlighet og bærekraftighet gjennom en bygnings livsløp, både i design-, konstruksjons- og bruksfasen. BIM kan blant annet brukes til å evaluere flere designforslag tidlig i designfasen (Antón and Díaz, 2014), og vil da kunne spare mye arbeid som et avgjørelsesverktøy, i tillegg til å sørge for bedre kvalitet og ytelse (Wong and Zhou, 2015). BIM-modeller kan også lett eksporteres til dataprogrammer for å brukes til energi- og sollysanalyser. Kota et al. (2014) viser hvordan en integrering av Revit med Radiance og DAYSIM kan gjøres for å bruke BIM for sollyssimulering, mens Rahmani Asl et al. (2015) presenterer ett rammeverk for å optimalisere energibruken i bygninger ved bruk av BIM.

Hardin and McCool (2015) peker på tre områder BIM kan bidra til en bærekraftig design: materialeleksjon og bruk, tomtevalg og bruk og systemanalyser. Whitlock et al. (2018) og Irizarry et al. (2013) fokuserer på bruken av BIM for bærekraftig design på områdene bærekraftige materialer og logistikk på byggeplassen (for å redusere avfall og karbonutslipp).

BIM kan også brukes til å redusere avfall, både under bygging og når bygget skal

rives. Akbarnezhad Ali et al. og Liu et al. (2015) har lagd et rammeverk for hvordan man kan redusere avfallsproduksjon ved bruken av BIM. Her presenteres blant annet ulike rivescenarioer hvor BIM blir brukt for bestemmelse av resirkulering og avfallshåndtering. Metodene presentert viser hvordan man kan optimalisere rivningsarbeid for å oppnå det beste økonomiske- og miljømessige resultatet.

Flere artikler påpeker BIM sitt potensiale til å inkludere miljømessig informasjon for å bidra til beslutninger (Soust-Verdaguer et al., 2016). Mye av potensialet ligger i at BIM kan bidra til en bedre informasjonsflyt i ett prosjekt. Dette gjør at brukere og interessenter kan raskt hente ut miljømessig informasjon om spesifikke materialer og elementer, og bruke BIM som et visualiseringsverktøy for bærekraftige bygg. Evnen til å visualisere er en av nøkkelstyrkene til bruken av BIM (Hope and Alwan, 2012). BIM-modellen kan brukes til å raskt konstruere kvalitetsbilder for å visualisere løsninger, og for å lage gjennomganger for kunder og interessenter. Klienter og interessenter kan ofte være nervøse for hvordan visse type løsninger vil passe inn i det omkringende området, eller hvordan en spesiell løsning vil bli seende ut (Hope and Alwan, 2012), og en BIM-modell vise dette. Dette vil kunne bidra til en lettere og raskere utvikling igjennom planleggingsprosessen.

Ti slutt så bør det nevnes hvordan BIM er et kraftig verktøy igjennom både design og konstruksjonsfasen med tanke på informasjonsflyt. Ofte kan beslutninger på både design og materialvalg bli tatt i planleggingsfasen ikke bli implementert i konstruksjonsfasen på byggeplassen (Kohler et al., 2012). Dette kan skyldes flere grunner som for eksempel at de kontraherte byggerne har missforstått informasjonen (noe som kan være lett hvis man ser på tradisjonelle 2D tegninger av for eksempel armering) eller at informasjonen rett og slett ikke blir viderformidlet eller skrevet ned. BIM kan sørge for at all nødvendig informasjon, spesifikasjoner og kontekst er fortløpende kommunisert, og lett tilgjengelig igjennom alle fasene til et byggeprosjekt. Ettersom alle interessenter og brukere vil ha tilgang til modellen vil også dette redusere repetisjon av data, noe som har vært et problem i byggebransjen hvor samme dataen er produsert eller gjentatt mange ganger (Antón and Díaz, 2014). Ved at alle har tilgang til modellen vil det også være lettere å få kontroll over prosjektet for både ingeniører og designere.

2.3.3 Bruken av BIM

Interessen og bruken av BIM øker mer og mer globalt (Walasek and Barszcz, 2017). Effektiviteten i byggeindustrien kan se ut til å ha en negativ trend de tre siste tiårene grunnet en økende kompleksitet i prosjektene, og den økende bruken av BIM kan være et svar på denne trenden i ett forsøk på å reversere den (Walasek and Barszcz, 2017). Hardin and McCool (2015) peker ut bruken og kommunikasjonen av BIM som to suksessfaktorer for implementeringen av BIM i et prosjekt. For at en fil skal kommuniseres er det derimot viktig at den kan leses og brukes av alle. Det er derfor essensielt med en åpen platform hvor informasjon kan fritt kommuniseres og forflyttes (BuildingSmart, 2019). God Interoperabilitet er altså avgjørende for suksessen til en slik modell (Ajayi et al., 2015).

Det er ikke bare globalt bruken av BIM øker, men også nasjonalt i Norge (Nadeem and Wong, 2009). Statsbygg har vært en stor pådriver for implementasjonen av BIM i Norge, og har brukt BIM siden 2007 og har hatt krav om IFC-kompatibel BIM siden 2010 (Smith, 2014). Det er ikke bare statlige aktører som går i front for BIM i Norge heller, eksempelvis gjennomførte AF Gruppen Vamma Vannkraftverk i 2016 uten noen papirtegninger hvor alt foregikk digitalt ved bruk av BIM. Et annet eksempel er Veidekke som tar i bruk BIM-kiosker på mange av deres prosjekter.

2.3.4 BIM-standarder

BIM har en varierende grad av standardisering i forskjellige land (Smith, 2014). Det er fortsatt et fenomen under utvikling, og det utvikles stadig nye retningslinjer og standarder for å forbedre BIM. Den Internasjonale Standard Organisasjonen (ISO) har produsert flere standarder som dekker bruken og implementeringen av BIM, men ettersom de ikke dekker alle områder finnes det også flere nasjonale standarder i ulike land (Nadeem and Wong, 2009). I Europa har EU tatt i bruk følgende standarder for BIM (European Comission, 2020):

Tabell 2.1: Standarder for BIM implementert i EU

ISO	År	Navn
12006-2	2015	Building construction - Organization of information about construction works - Part 2: Framework for classification
16739	2013	Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries
12911	2012	Framework for building information modelling (BIM) guidance
12006-3	2007	Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information
29481	2010	Building information modelling Information delivery manual

Det er også flere standarder under utvikling av ISO. Blant annet “ISO 22057 - Enabling Use of Environmental Product Declaration (EPD) at construction works level building information modelling (BIM)” som tar for seg integreringen av EPD-er i BIM-modellen (ISO, 2020). Parallelt med utviklingen av nye ISO-er har EU nylig utviklet og publisert en håndbok for hvordan BIM bør brukes og implementeres i offentlige arbeid. EU fører dermed en klar politikk om å digitalisere byggebransjen i Europa, både privat og offentlig (EUBIM Taskgroup, 2020).

2.3.5 Utviklingsnivå (LOD)

En BIM-modell kan variere i graden av modenhet, ofte kalt level of development (LOD) på engelsk. Utrykk som level of information eksistere også, men det er viktig å kunne skille mellom de to. LOD referer til hvor grafisk detaljert ett objekt/element er, mens level of information referer til all annen slags informasjon bortsett fra grafiske detaljer (BIMForum, 2013). Informasjon i denne sammenheng kan for eksempel være pris, materialdensitet og farge, for å nevne noen. I oppstartsfasen av et prosjekt vil modellen være lite detaljert, men jo lengre ut i planleggingsfasen man kommer desto flere detaljer vil være besluttet, og når disse føres inn i BIM-modellen vil dens LOD-nivå øke. Hvert LOD-nivå tilsvarer et visst definert nivå av informasjon som omhandler egenskaper og geometri, og informasjonskvaliteten i modellen vil på denne måten øke i takt med nivåene (Volk et al., 2014).

Det er en viktig forskjell på detaljnivået og utviklingsnivået til en BIM-modell (BIMForum, 2013). Detaljnivået beskriver hvor mye av detaljene som er med i et element, mens utviklingsnivået sier noe om hvor gjennomtenkt objektets geometri og

informasjon er. Man kan altså ha et høyt detaljnivå, men med et lavt utviklingsnivå, noe som vil si at informasjonen (selv om den er detaljert) ikke nødvendigvis er til å stole på (BImForum, 2013). Man skiller også mellom egenskaper og geometri ved LOD. En modell kan ha en godt utviklet geometri uten at informasjonen til modellen er høy (BImForum, 2013).

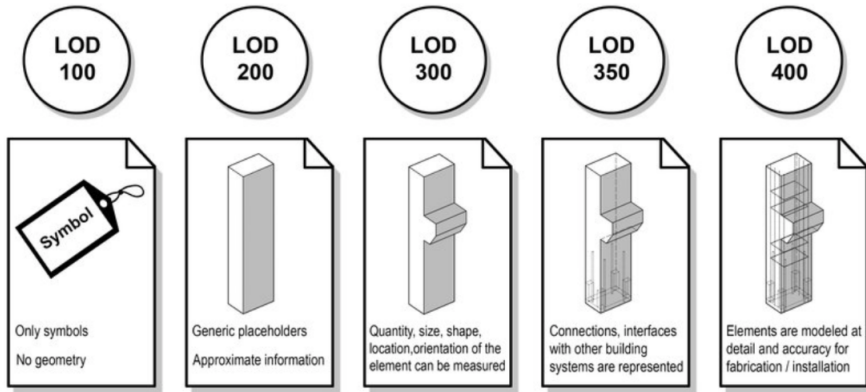
For å forsikre at missforståelser og forvirring knyttet til BIM-modellens modenhetsgrad (LOD) mellom eiere, entreprenører og andre interessenter unngås er det viktig med gitte definisjoner på de forskjellige nivåene. Ved at alle er innenforstått med de samme definisjonene vil alle partene vite omtrent hvor utviklet BIM-modellen er. Det opereres med forskjellige definisjoner rundt om i verden. Tabell 2.2 viser definisjonen gitt av BimForum som samsvarer ganske godt med definisjonene gitt av Det Amerikanske institutt for Arkitekter (AIA). I Norge har man noe som kalles for Modellmodehentsindeks (MMI) som er utarbeidet av Entreprenørforeningen EBA, men det er i stor grad likt som føringene lagt av BimForum for LOD.

Tabell 2.2: Definisjoner av de forskjellige LOD-nivåene (BimForum, 2013)

LOD	Definesjon	Tilgjengelig informasjon/data
100	Elementet er ikke geometrisk representert: All informasjon må regnes som en approksimasjon. Eksempelvis informasjon knyttet til andre modellelementer eller symboler som viser at elementet eksisterer, men ingen informasjon om størrelse, geometri eller presis lokasjon.	Approksimert størrelse og volum
200	Elementet er en generiske representasjon av objektet det skal være. All informasjon må regnes som en approksimasjon.	Omtrentlig form, plassering, mengde og orientering.
300	Elementet er grafisk representert som et bestemt system eller objekt, og det er ikke behov for å referere ut av modellen for informasjon om geometrien.	Form, plassering, mengde og orientering.
350	Elementet er grafisk representert som et bestemt system eller objekt med en bestemt montering.	Form, plassering, mengde, monteringsdetaljer og orientering.
400	Elementet er grafisk representert som et bestemt system eller objekt med en bestemt montering, detaljering, fabrikkering og installering.	Form, plassering, mengde, monteringsdetaljer, installasjonsdetaljer og orientering.
500	Elementet er som bygd.	Form, plassering, mengde, monteringsdetaljer, installasjonsdetaljer og orientering.

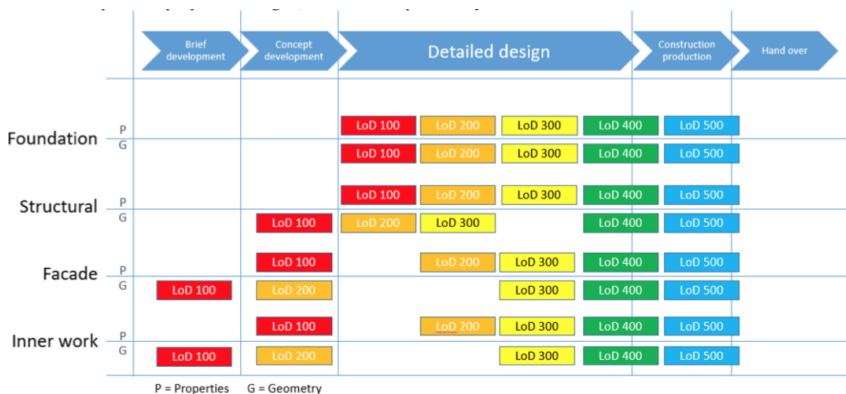
Ett eksempel på en grafisk fremstilling av LOD er gitt i Figur 2.3. Figurene gir et inntrykk av elementets Level of Detail, men ikke noe om dens level of informa-

tion. LOD500 er ikke tatt med da den er visuelt lik LOD400.



Figur 2.3: Level of development (LOD) (BimForum, 2013)

De forskjellige elementene i en BIM-modell utvikler seg ikke likt, og det er ikke slik at man kan samle hele BIM-modellen under ett spesifikt LOD-nivå (Volk et al., 2014). Forskjellige elementer skal bygges til forskjellig tid, og det er naturlig at det som skal bygges først blir detaljprosjektert først, og man kan da ha en modell hvor noen elementer er fullt prosjektert, mens andre kanskje fremdeles er på LOD-nivå 100. Grytting et al. (2017) foreslår en LOD-beslutningsplan for å legge en føring for hvordan LOD bør utvikle seg igjennom et byggeprosjekt. Figur 2.4 visualiserer denne planen.

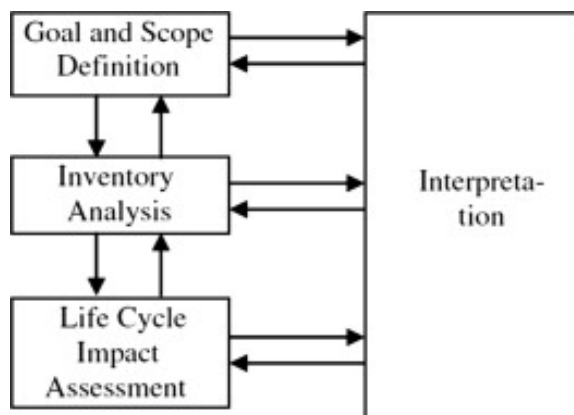


Figur 2.4: Beslutningsplan for LOD (Grytting et al., 2017)

2.4 LCA

Livssyklusanalyse (LCA) er en metode for å systematisk analysere miljømessige effekter av produkter eller prosesser gjennom deres totale livssyklus, derav navnet (Cabeza et al., 2014). Dette inkluderer uthenting av råmaterialer, produksjon, bruk og prosessen ved å kvitte seg med den og resirkulere. LCA er derfor ofte referert til som en “krybbe til død” tilnærming til evalueringen av miljømessige konsekvenser (Zabalza Bribián et al., 2009).

LCA er standardisert ved ISO14000-serien, hvor 14040-serien fokuserer på å etablere prinsipper og rammeverk for LCA, mens 14044-serien gir krav og metodikk for gjennomførelse (Standard Norge, 2006a,b). Konseptet livssyklusanalyse har vært i utvikling siden 70-tallet, men det var først på 90-tallet det ble adaptert av ISO (Cabeza et al., 2014). LCA er delt opp i fire stadier, og er en iterativ metode. De fire stadiene er mål- og rammedefinisjoner, inventaranalyse, livssyklus konsekvsenevaluering og til slutt tolking (Standard Norge, 2006a). Figure 2.8 illustrerer de forskjellige stegene i iterasjonen.



Figur 2.5: LCA-prosessen (Standard Norge, 2006a)

Det er en iterativ prosess ettersom man underveis i analysen vil ha behov for å endre mål og rammer, samt at ny data vil bli tilgjengelig. Man vil da måtte gjenta de fire stegene for å identifisere kritiske komponenter i systemet for så å redusere disse, for så å gjenta prosessen. Tabell 2.3 gir de ulike delene og definisjonene som er tilknyttet LCA.

Tabell 2.3: Definisjoner av LCA (Standard Norge, 2006a,b)

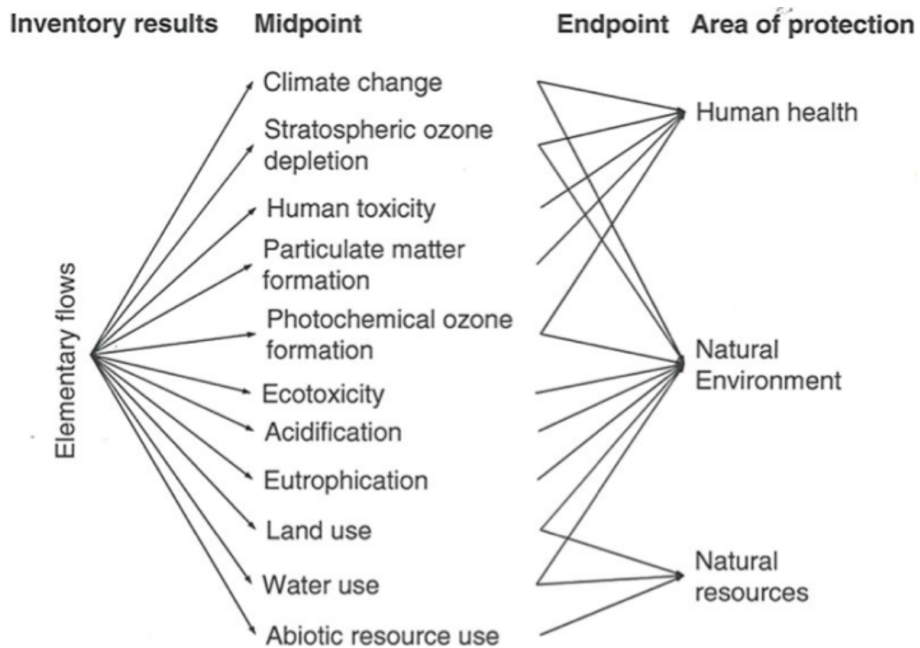
Akronym	Konsept	Definisjon
LCA	Livssyklusanalyse	Sammenstilling og evaluering av den totale input, output og potensielle miljøpåvirkningen av et produktsystem gjennom hele livssyklusen
LCI	Livssyklus inventaranalyse	Fase av livssyklusvurderingen som involverer sammenstilling og kvantifisering av input og output for et produkt gjennom hele livssyklusen
LCAA	Livssyklus konsekvens-evaluering	Fase av livssyklusvurderingen som tar sikte på å forstå og evaluere størrelsen og betydningen av potensielle miljøpåvirkninger for et produktsystem gjennom hele produktets livssyklus
LCIA	Livssyklus tolkning	Fase av livssyklusvurderingen der funnene fra enten inventaranalysen eller konsekvensutredningen, eller begge deler, blir evaluert i forhold til det definerte målet og omfanget for å komme til konklusjoner og anbefalinger
ILCD	Internasjonal referansesystem for livssyklusdata	ILCD består av ILCD-håndboken og ILCD-datanettverket. Det gir myndigheter og virksomheter et grunnlag for å sikre kvalitet og konsistens i livssyklusdata, metoder og vurderinger

Det første steget, nemlig mål- og rammesteget, etablerer LCAens kvalitetskriterier og systemgrenser for inventardataen og den funksjonelle enheten i tillegg til å sette mål og rammegrenser for LCA-en som skal gjennomføres. Systemgrensene forteller hvilke faser av livssyklusen som skal inkluderes i analysen. Den funksjonelle enheten er et mål for systemet som skal studeres, og kan brukes som en referanse til input og output data.

Steg nummer to, inventaranalysen, tar for seg innhenting av data som skal brukes igjennom de forskjellige fasene av LCA-analysen. Data her kan være for eksempel materialer, CO₂-utslipp og energiforbruk. Det er viktig at det er gitte definisjoner på hvor mye som skal inkluderes, noe NS15804 gjør.

Dataene som har blitt innhentet blir så kategorisert i konsekvensanalysen. Dette utgjør steg nummer tre. Dataene blir sortert etter hvilke miljøpåvirkninger de har, og på hvilke måte de påvirker miljøet. Eksempler på ulike kategorier kan være ozonødeleggende, miljøgift, forsuring av vann og bruk av land. De ulike kategori-

ene er delt inn i midt- og endepunkt, hvor flere av midtpunktene bidrar til et endepunkt. Målet er at midt- og endepunktene skal dekke tre “områder for beskyttelse”. Figur 2.7 gir ett eksempel på hvordan denne fordeling kan gjennomføres.



Figur 2.7: LCA-prosessen (Ecetoc, 2016)

Det siste steget er å tolke resultatene fra både inventaranalysen og konsekvensanalysen. Disse resultatene blir tolket ut i fra hvilke mål og rammer som er satt for LCA-analysen, hvor man på disse resultatene kan trekke konklusjoner og eventuelle anbefalinger.

2.4.1 LCA av bygg

Evaluering av miljømessige konsekvenser av konstruksjoner og bygninger innebærer mer enn innsamling av individuelle produkt- og materialvurderinger (Buyle et al., 2013). LCA tar for seg hele prosessen til et byggeprodukt eller materiale, fra produksjon til bruk til gjenvinning. Grunnet kompleksiteten, levetiden og det unike aspektet ved byggeprosjekter byr dette på utfordringer (Cabeza et al., 2014). Lang levetid fører til at det må gjøres enkelte forutsetninger og antagelser for enkelte va-

riabler som for eksempel oppussing og vedlikehold, noe som fører til usikkerheter i en analyse. En annen usikkerhetsfaktor, dersom en LCA utføres i en tidlig fase, er at mange av byggeelementene ikke er ferdig bestemt og prosjektert. Til tross for dette er LCA vurdert som en av de beste måtene å evaluere miljøpåvirkninger til et bygg på, og det gjort flere studier på komplette bygg, bygningssystemer og konstruksjonsprosesser (Soust-Verdaguer et al., 2017).

Mangel på data og informasjon er en av hovedhindringene for en LCA-applikasjon i tidligfase av et byggeprosjekt. Dette er, blant annet, en av hovedgrunne til at LCA ofte først blir gjennomført etter designfasen er over (Pérez and Castell, 2014). I Europa er LCA faktisk mest brukt for sertifiseringsgrunner etter at bygget er ferdig (Antón and Díaz, 2014). Dette er et problem ettersom det er i de tidlige fasene man har størst potensiale for å påvirke prosjektet, og som en følge størst potensiale for å redusere miljøkonsekvensene av et byggeprosjekt. Det å manuelt mate inn prosjektinformasjonen til et LCA-verktøy er en krevende oppgave da det både tar lang tid og kan regnes for bortkastet. Det er bortkastet fordi all denne informasjonen allerede som regel eksisterer i BIM-modellen, og prosessen av å manuelt gjenta denne informasjonen i et LCA-verktøy kan føre til både feil og missforståelser (Antón and Díaz, 2014). Ved en integrering av BIM og LCA vil dette problemet på mange måter være løst.

Bygge- og anleggsindustrien er kjent for å være komplisert, noe som fører til at LCA-gjennomførelser også blir kompliserte (Erlandsson and Borg, 2003). Alle byggeprosjekt kan anees for unike da de har sine egne lokasjoner, spesifikasjoner, egenskaper og tekniske aspekter - for å nevne noe. Man må derfor ha individuelle vurderinger for hvert prosjekt, og dette fører til vanskeligheter for å standardisere LCA eller automatisere det (Erlandsson and Borg, 2003).

2.4.2 Ulike typer LCA

LCA er etablert i bygningssektoren som en kraftig strategi for å redusere miljøbelastninger og energiforbruk til bygg. Det eksisterer likevel noen fordommer i bransjen når det gjelder kompleksiteten og tidsforbruket tilknyttet LCA av komplette bygg (Basbagill et al., 2013; Zabalza Bribián et al., 2009; Gervásio et al., 2014). I følge EeBguide håndboken kan ikke LCA metoden gjennomføres med samme detaljnivå

i bygningssektoren som i andre sektorer (EeBguide, 2012). Som en konsekvens av dette er det etablert tre forskjellige typer LCA: Screening, Simplified (forenklet) og Complete (komplett) LCA. De forskjellige typene er definert utifra flere kriterier som blant annet: tilgjengelig data, type data, statusen på utviklingen til bygget, livssyklusfaser og erfaringen til brukeren (EeBguide, 2012)

Screening LCA er den enkleste formen, og er kun ment for å gi et raskt overslag på utslipp og miljøpåvirkninger. Forenklet LCA skal i tillegg gi en evaluering av et bygg, med fokus på de mest kritiske materialene i tillegg til energi- og vannforbruk. Komplett LCA tar for seg de mer bestemte fasene i et byggeprosjekt, og skal gi nøyaktige resultater. Her skal hele livsløpet inkluderes samt alle utslippene (EeBguide, 2012). EeBguide (2012) gir en mer detaljert forklaring av hver type, hvor blant annet krav til dokumentasjon og kommunikasjon gis.

2.4.3 LCA-verktøy

Det finnes i dag mange ulike LCA-verktøy som kan brukes til å evaluere bygningers miljøpåvirkninger igjennom hele livssyklusen. Det finnes både generiske og byggspesifikke LCA-verktøy i forskjellige skalaer og bredder, fra hel industri, til sektor til produkt (Haapio and Viitaniemi, 2008). Erlandsson and Borg (2003) poengterer at det alle fleste LCA-verktøy som BEES, Athena og EcoQuantum har en såkalt “bunn-opp” tilnærming, mens kun Envest 2 hadde en “topp-ned” tilærming. Forskjellen er at “topp-ned” tar først for seg bygningens form, for så å gå igjennom material spesifikasjonene også til slutt konstruksjonsdetaljene. “Bunn-opp” derimot starter med selve materialene og antar at designstadiet allerede har skjedd. Et utvalg LCA-relaterte verktøy er presentert i Tabell 2.4.

Tabell 2.4: Ulike LCA-verktøy (Haapio and Viitaniemi, 2008)

Verktøy (Navn)	Utvikler
ATHENA Experiental Impact Estimator	ATHENA Sustianable Material Institute, Kanada
BEES	NIST, USA
BREEAM	Building Research Establishment, UK
EcoEffect	KTH, Sverige
EcoProfile	NBI, Norge
LEED	U.S Green Building Council, USA

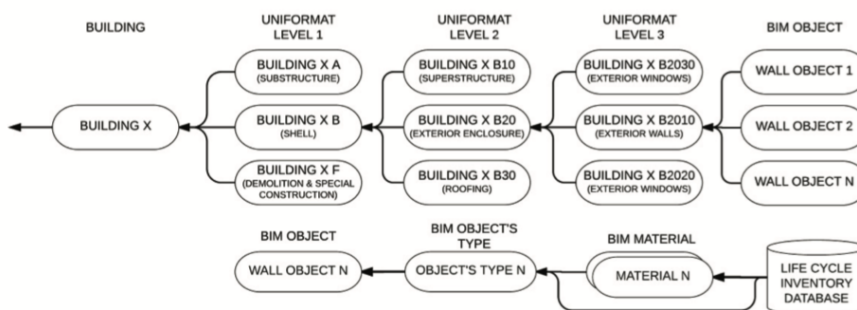
2.5 Integrering av BIM og LCA

Det er som nevnt tidligere et økende fokus på miljøsertifisering og evaluering av bygg. Dette kommer som følge av en etterspørsel i markedet etter en endring i arbeidsmetodene i byggebransjen, hvor bærekraft og miljø skal settes i fokus. Dette igjen har røtter i samfunnets, og verdens, økende erkjennelse av klimaendringer og hvilke konsekvenser disse kan ha. En integrasjon av BIM og LCA kan da sees på som et kraftig verktøy for å bidra til å redusere miljøavtrykket til byggebransjen.

Den tilgjengelige litteraturen erkjenner fordelene med en BIM-LCA integrasjon, noe Soust-Verdaguer et al. (2017) påpeker gjennom sin brede litteraturstudie. Tidbesparelse ved LCA, informasjonstilgjengelighet og forbedret miljøprestasjoner til bygg er blant de viktigste fordelene. Tidsbesparelse kommer som en følge av at man slipper manuell datainnhenting, og ved en tidlig integrasjon mellom BIM og LCA vil interessenter og aktører ha større datagrunnlag for å evaluere og implementere miljøtiltak. Selv om en slik integrasjon viser seg å ha flere positive aspekter, står den ikke foruten utfordringer. Lee et al. (2015) poengterer flere metodiske utfordringer ved en slik integrasjon, hvor interoperabilitet mellom forskjellige verktøy er en av de store. Manglende interoperabilitet kan blant annet føre til at datautveksling mellom forskjellige verktøy må gjøres manuelt, noe som er tidkrevende. Jalaei and Jrade (2014) poengterer for eksempel i sitt arbeid om BIM-basert sollyssimulering utfordringer ved bruk av Revit sammen med Green Building Studio.

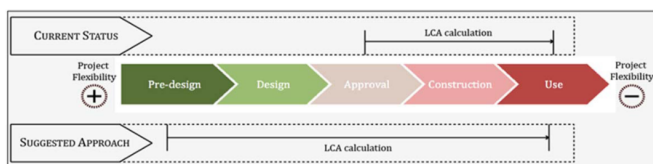
Dupuis et al. (2017) foreslår en metode for å integrere LCA og BIM med størst mulig grad av automasjon. De har som overordnet mål å kunne gjennomføre LCAen tidlig (ved lav LOD), for så å kunne oppdatere kalkulasjonen i tråd med modenhetsgraden til BIM-modellen. Minimalt med manuell input, lett forståelig og lett modifiserbar er identifisert som suksesskriterier. For å oppnå dette foreslår Dupuis et al. (2017) å dele LCA-modellen i to deler:

1. Generer prosessstreet nødvendig for å gjennomføre LCA-kalkulasjoner. Se Figur 2.8 for det foreslåtte prosessstreet.
2. Fylle datamangelen for å fullføre LCA-kalkulasjonen.

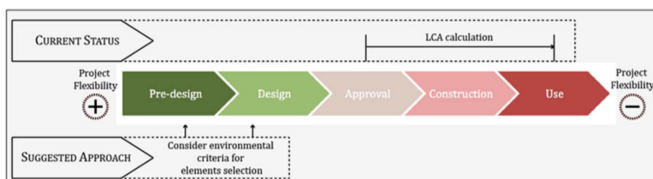


Figur 2.8: Modifisert versjon av prosessstreet presentert av (Dupuis et al., 2017)

(Antón and Díaz, 2014) presenterer to andre tilnærminger for å integrere LCA og BIM. Den første metoden går ut på å hente ut mengdedata fra BIM-modellen direkte for å bruke videre til LCA-analyse. Denne metoden unngår å måtte manuelt hente ut data til LCI-databasen, og kan evaluere hele livsløpet til et bygg, men en negativ konsekvens av denne metoden er at man må manuelt oppdatere databasen ettersom BIM-modellen endrer seg. Den andre metoden går ut på å inkludere miljøegenskaper i selve BIM-objektene. Man kan på denne måten vurdere i sanntid hvilke objekter man ønsker å inkludere, basert på deres miljøegenskaper. De to forskjellige metodene er presenter i Figur 2.9 og 2.10.



Figur 2.9: Metode 1 (Antón and Díaz, 2014)



Figur 2.10: Metode 2 (Antón and Díaz, 2014)

Antón and Díaz (2014) anser metode en som den beste løsningen ettersom den tilbyr høyere presisjon til tross for at den er mer kompleks, og videre arbeid behøves. Metode nummer to kan heller brukes som et utgangspunkt å jobbe videre fra når det gjelder inkluderingen av miljøkriterier i designfasen.

Disse to forskjellige tilnærmingene korrelerer godt med tre nivåer Soust-Verdaguer et al. (2017) mener en integrasjon av BIM og LCA kan oppnå. Disse tre nivåene øker i kompleksitet, hvor det første nivået bruker BIM til å gi data til LCI-steget av LCA-analysen, det andre nivået vil i tillegg inkludere miljøegenskaper i BIM-objektene i modellen og det tredje nivået kombinerer forskjellige data og verktøy med økt interoperabilitet. Antón and Díaz (2014) sin første metode går under nivå 1, mens metode nummer 2 går under nivå 2 og 3. En mulig begrensning for de to siste nivåene vil være datamengden en slik BIM-modell må inneholde som vil føre til veldig store filer.

2.5.1 Etablerte rammeverk og metoder

En av de viktigste elementene i en suksessiv implementasjon av BIM-basert LCA er datautvekslingene mellom de to forskjellige verktøyene. BIM-modellen blir i all hovedsak brukt for å oppnå materialmengden med tilhørende egenskaper under LCA applikasjonen. Microsoft Excel blir brukt av blant annet Ajayi et al. (2015),

Basbagill et al. (2013) og Peng (2016) som et mellomsteg hvor dataen fra BIM-modellen blir manuelt organisert og beriket før LCA-analysen kan gjennomføres.

Shin and Cho (2015) automatiserte uthenting av informasjon for hvert materiale fra BIM-modellen, blant annet vekt, volume, og lengder. Shin and Cho (2015) brukte så et Excelark til å kunne utføre LCA- og LCAA-analyser simultant. Rammeverket som ble etablert ble brukt til å gjennomføre LCA og LCAA av et ekte byggeprosjekt i Korea for å evaluere ulike fasadeløsninger. Metoden viste seg å gi gode økonomiske og miljømessige innblikk i de tre forskjellige alternativene, og ga et godt grunnlag for en beslutning.

(Cavalliere et al., 2019) avdekker i sitt litteratursøk at dagens integrasjon av BIM og LCA hovedsakelig gjøres på to forskjellige metoder. Den første metoden skjer for sent i prosjektfasene til at noen endringer er økonomisk gjennomførbare og gjøres på modeller av høy kompleksitet og detaljnivå. Metode nummer to gjennomføres tidlig i prosjektfasen hvor endringer fremdeles er gjennomførbare, men gjøres på en modell av for lite detaljnivå så resultatene blir veldig usikre. Cavalliere et al. (2019) kommer så med en egen metode for å gjennomføre BIM-basert LCA gjennom hele designfasen til et prosjekt ved å følge en LOD-plan som knyttes til ulike LCA-databaser.

Peng (2016) utviklet en metode for å beregne karbondioksidutslipp av et bygg ved hjelp av Autodesk Revit og Autodesk Ecotect. Det totale CO₂-utslippet ble funnet ved å summere utslippene fra konstruksjons-, bruks- og rivningsfasen ved hjelp av Ecotect. Peng (2016) poengeter at metoden byr på visse begrensninger. Blant annet påpekes det at Ecotect bruker veldig lang tid å kjøre når filstørrelsene blir store.

Basbagill et al. (2013) presenterer en metode for å implementere LCA i tidligfase av et byggeprosjekt for å kunne identifisere hvilke miljøfaktorer som er kritiske, og hvilke som ikke er det. Dette gjøres for å hjelpe designerene og de prosjekterende av bygget med å ta miljøbeviste material- og dimensjonsvalg av byggekomponenter. Rammeverket for metoden består av utvikle en konsekvensfordelingsordning som viser fordelingen av legemliggjorte påvirkninger mellom forskjellige bygningselementer, og en konsekvensredueringsplan som viser hvilke material- og dimensjonsbeslutninger som oppnår høyest konsekvensreduksjon. Resultatene

viser at metoden kan bidra til å fremheve de beslutningene i tidligfase som oppnår de mest betydningsfulle reduksjonene i karbonfotavtrykket (Basbagill et al., 2013).

2.5.2 BIM-LCA Verktøy

Bueno and Fabricio (2018) har laget en liste over LCA-verktøyer som har et visst nivå av BIM-integrasjon i sitt sammenligningsstudiet av generiske LCA-verktøy og BIM-integrerte LCA-verktøy. Tre av de meste gjenkjente er “One Click LCA”, “ETool LCA” og “Tally”. Bueno and Fabricio (2018) sammenligner konsekvensene av å forenkle data og metode i LCA-verktøyet på veien mot en komplett integrasjon av LCA og BIM. Programmene som er valgt å sammenligne resultatene fra er det integrerte programtillegget Tally, og det komplette LCA-verktøyet GaBi 6. Tally er et plug-in program til Autodesk Revit (Tally, 2019), og er i stand til å utføre både fullstendige og komparative livssyklusvurderinger. Bueno and Fabricio (2018) påpeker at Tally har noen begrensninger når det gjelder tilgjengelighet og manuell oppdatering av data som fører til bruk av antagelser og forenklinger. Resultatet fra de to forskjellige verktøyene ble noe ulikt, og det antas at dette skyldtes forenklinger og antagelser gjort i Tally.

2.5.3 LCA og LOD

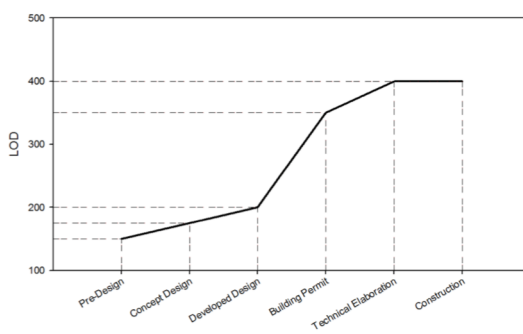
For å sikre et mest mulig nøyaktig LCA-resultat ville en ideell BIM-modell ha elementer med minst LOD-nivå 350 (Dupuis et al., 2017). Dette er gjerne ikke realiteten ettersom en BIM-modell har elementer som har en stor variasjon i detaljnivå. Dette gjelder spesielt i de tidlige designfasene, men det gjelder også senere utover konstruksjonsfasen. Lavt detaljnivå fører til høyere usikkerhet knyttet til LCA-resultatene (Lee et al., 2015). Dette setter begrensninger for LCA-gjennomføring i de tidligste fasene av et prosjekt, selv om det er her de kunne hatt størst påvirkning på miljøpåvirkningene til prosjektet. Modenhetsnivået til BIM-elementene, eller LOD-nivået, kan dermed regnes som svært avgjørende for en BIM-LCA integrasjon, ettersom den vil bestemme graden av nøyaktigheten til LCAen (Dupuis et al., 2017). Tabell 2.5 presenterer noe av den manglende informasjonen i LOD-nivåene under 350.

Tabell 2.5: Nødvendig informasjon for nøyaktig LCA

LOD-Nivå	Manglende informasjon
100	All informasjon bortsett fra global informasjon om bygget
200	Spesifikke objekttegenskaper og Monteringsdetaljer
300	Monteringsdetaljer

Dupuis et al. (2017) kommer frem til at et detaljnivå på LOD100 ikke egnet seg for standard LCA-berginger, men at det kan brukes for å gjøre estimater ved å supplere med generiske data fra lignende bygg. Ajayi et al. (2015) gjennomførte sin LCA basert på et detaljnivå LOD200, hvor omtrentlig mengder, størrelser og plasseringer ble brukt til å gjennomføre energianalyse og mengdeestimering. Lee et al. (2015) derimot spesifiserte i sin rapport “Den grønne mal” at deres studie krevde ett LOD-nivå på minimum 300.

Det som kommer sikkert frem i disse studiene er at ulike LOD-nivåer fører med seg ulike usikkerheter. Ved lav LOD er det lite informasjon tilgjengelig om material- og designvalg, og en estimering av miljøpåvirkninger ved for eksempel bruk av LCA vil være upresis. Ved et høyere LOD-nivå vil det derimot være flere valgte materialer og mengder som kan føre til et større totalt miljøpåvirkningsresultat ettersom flere materialer/elementer/mengder er inkludert i modellen, men med en lavere usikkerhet. Nilsen and Bohne (2019) kommer med en konseptuell fremstilling av hvordan LOD-nivå bør/kan utvikle seg igjennom de ulike designfasene av et byggeprosjekt i sitt casestudie omhandlende LCA i tidlig designfase. Denne fremstillingen vises i Figur 2.11.



Figur 2.11: Designfaseutvikling med tanke på LOD (Nilsen and Bohne, 2019)

2.5.4 LCC og BIM

Det er ikke bare LCA som kan la seg kombinere med BIM. Man kan på samme måte kombinere livssyklus kostnad (LCC) med BIM, og ved å implementere dette i tidlig fase danne seg et økonomisk beslutningsgrunnlag. Ett eksempel på en slik kombinasjon er programmet ISY Calcus som er utviklet av Norsconsult. One Click LCA har også en LCC plug-in til programmet Revit. Livssyklus kostnad kan defineres som den totale nedsatte kostnaden av å eie, operere, vedlikeholde og kvitte seg med en bygning eller et bygningssystem over en gitt tidsperiode (Cabeza et al., 2014). LCC er en analyse som tar for seg den totale økonomiske kostnaden av å eie og drifte ett anlegg over en periode.

Kapittel 3

Metode

I dette kapittelet vil valg av metode og begrunnelse til valg presenteres. Deler av metodekapittelet baserer seg på tidligere innleveringer i faget «TBA 4128 Prosjektledelse». Metodekapittelet tar for seg teori rundt metode generelt, valg av metode, begrunnelse for valgt metode og en refleksjon rundt styrker og svakheter ved valgt metode. Her presenteres en analyse av problemstillingen, forskningen gjort, forskningsprosess for datainnhenting og -reduksjon, samt fremgangsmetode for å sørge for pålitelige, valdige og objektive resultater.

3.1 Analyse av problemstilling

Problemstillingen er utgangspunktet for både forskningsdesignet og -metoden, hvor de bestemmes for å best mulig kunne svare på problemstillingen (Olsson, 2015). Typiske kvaliteter ved en god problemstilling er blant annet at den skal være forklarende, beskrivende, utforskende, kartleggende, i tillegg til å være noe konkretiserende (Engbo, 2019). Valgt problemstilling er beskrivende for byggebransjen og dens utfordringer når det gjelder dens miljøaspekter, og utforskende for forbedringspotensialet. Den er noe generell på et overordnet plan, men konkretiseres og avgrenses ved forskningsspørsmålene. Det inngår verdier, enheter og variabler i forskningsspørsmålene, og med en underbyggende case ligger det til rette for både en kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode (Engbo, 2019). Forskningsprosessens mål som å danne beslutningsgrunnlag, forståelse, evaluere og predikere defineres av problemstillingen (Engbo, 2019). Problemstillingen forteller om

et overordnet mål om å gjøre byggebransjen mer miljøvennlig, hvor forskningsspørsmålenes mål er å utforske utfordringer og muligheter for hvordan dette kan oppnås ved bruk av BIM og LCA.

3.2 Forskningen generelt

Generelt sett består forskning av naturvitenskapelige- og samfunnsvitenskapeligemetode (Olsson, 2015). Da problemstillingen forsøker å beskrive en sosial virkelighet ligger det til rette for en samfunnsvitenskapelig metode for å oppnå reliabilitet, validitet og objektivitet gjennom en systematisk, grundig og åpen fremgangsmetode (Tjora, 2017). Forskningen forsøker å beskrive et fenomen (miljøpåvirkningen, BIM-LCA integrasjonen og tilknyttede utfordringer) ved å tilegne kunnskap om temaet med en metodisk forskning som omfatter prosess, design og metode.

3.3 Forskningsprosessen

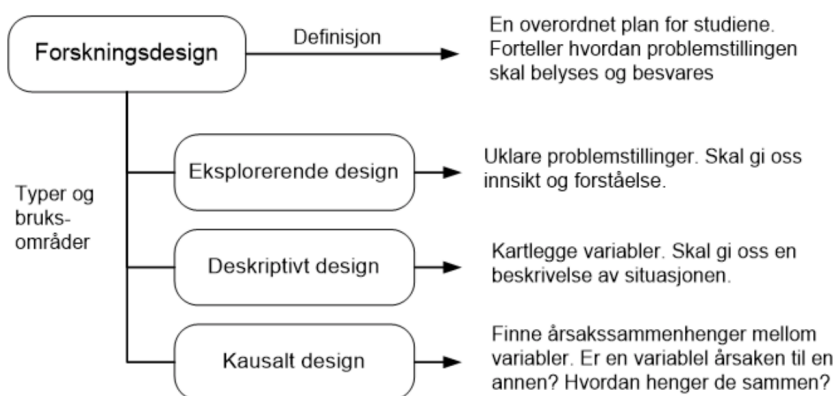
Forskningsprosessen beskriver oppgavens forskning og utvikling på et overordnet plan, og består av de følgende stegene (Olsson, 2015):

- Innledning: Kartlegge mulige problemer/temaer, litteratursøk, valg av tema, formulere og konkretisere problemet.
- Forberedelse: Problemstilling, mål med oppgave, forskningsspørsmål, analyse av problemstilling.
- Utforming: Forskningen, prosessen, -designet og -metoden.
- Bearbeiding: Datafiltrering, -tolking, -evaluering, -analyse.
- Rapportering: Lese, skrive, korrektur, formatere.

Innledning og forberedelsesdelen med problemstilling, forskningsspørsmål og mål med oppgave tas for seg i Kapittel 1. Deler av rapporteringen går under Kapittel 2. Teori, mens de resterende stegene følger videre i oppgaven.

3.4 Forskningsdesign

Forskningsdesignet kan oppsummeres som kartet som viser veien til målet (Busch, 2018). Det fungerer som en overordnet plan for hvordan problemstilling skal besvares og belyses. Valg av riktig forskningsdesign er viktig for å identifisere suksessfaktorer, relevant teori, og hvilke konklusjoner man kan trekke ut i fra resultatene oppgaven oppnår (Busch, 2018). Figur 3.1 viser en grovsortering av ulike forskningsdesign.



Figur 3.1: Ulike forskningsdesign

I oppgaven benyttes det en kombinasjon av eksplorerende- og kausalt design. Problemstillingen er ganske generell i det den spør om hvordan man kan redusere miljøavtrykket til byggebransjen, og ett eksplorerende design i form av data-innsamling og litteraturstudie vil gi innsikt og forståelse rundt problemstillingen. Videre vil en kausal tilnærming ved å se på effekten av en integrasjon mellom BIM og LCA gi ett innblikk i effekten dette kan ha på å gjøre byggebransjen mer miljøvennlig.

3.5 Forskningsmetode

Forskningsmetode er den metoden man iverksetter for å produsere eller tilegne seg kunnskap (Olsson, 2015). Man skiller gjerne mellom to hovedtyper, nemlig Kvalitativ og Kvantitativ metode (Olsson, 2015). I en kvantitativ metode har man

som mål å kunne tallfeste noe med tall som måleenhet. Dette gjøres for å teste en hypotese og gi ett svar på en problemstilling i form av statistikk hvor forskeren bak har en distansert forhold til datane brukt (Engbo, 2019). Ved Kvalitativ tar man gjerne for seg informasjon som ikke lett lar seg tallfeste eller med andre ord kvantifiseres (Engbo, 2019). Kvalitativ metode kan sies å ha ord som måleenhet med en målsetning om å skape teori hvor hvor forskeren har en nærhet tilknyttet problemstillingen og dataene (Engbo, 2019). Valg av metode baserer seg på hva man ønsker å undersøke, og de forskjellige metodene har forskjellige styrker og svakheter (Engbo, 2019). Kvalitativ forskningsmetode brukes ofte til å oppnå en dypere forståelse av ett fenomen, hvorav kvantitativ forskningsmetode heller brukes til å teste noe kjent, som for eksempel hypotesetesting (Engbo, 2019). Det er ikke nødvendig å kun begrense seg til en forskningsmetode, da man med fordel kan bruke begge ved en større oppgave (Olsson, 2015). En slagkraftig taktikk vil kunne være å bruke en kvalitativ metode for å oppnå forståelse rundt et tema, deretter en kvantitativ metode for å dobbeltsjekke og kontrollere nevnt forståelse for så å avslutte med en kvalitativ tilnærning for å avdekke svakheter og skape større dybdeforståelse hos forskeren (Olsson, 2015).

For at dataen man bruker, uavhengig av metode, skal ha en verdi og relevans for forskningen som skal utøves settes det krav til informasjonens validitet og reliabilitet (Levac et al., 2010). Validitet beskriver dataens relevans, som kort sagt vil si at det er sammenheng mellom virkeligheten og tolkning av dataene. Reliabilitet setter krav til at dataen skal kunne etterprøves og/eller gjenskapes av andre forskere og andre metoder (Levac et al., 2010). For å oppnå god gyldighet av metodene i denne oppgaven er det fokus på en klar sammenheng mellom forskningsspørsmålene, litteraturstudie og tolkningen av dataen avdekket i litteraturstudiet.

3.6 Valg av metode

Valg av metode kan tas på grunnlag av hva man selv har best erfaring med, hva man tenker er mest hensiktsmessig for å besvare problemstillingen og det er mulig å kombinere flere enn metoder sammen (Engbo, 2019). Det kan likevel være hensiktsmessig å reflektere over forskjellige metoder, selv om man kun har valgt en, for å avdekke eventuelle svakheter eller styrker ved valgt metode kontra andre (Olsson, 2015). Oppgaven har ett meget bregrenset tidsrom, omfang og mengde,

og metodevalget ender i en avgjørelse tatt ved å vurdere den mest ideelle metoden opp mot den mest praktiske og gjennomførbare metoden med hensyn på tilgjengelig tid og midler. De underlistede punktene gir en oversikt over definerte forskningsspørsmål og en kort beskrivelse av hvordan de skal besvares.

1. Hvilke begrensninger finnes i dag for en automatisert LCA ved hjelp bruk BIM?
 - Undersøke hvilke teknologiske og praktiske hindringer, om noen, det ligger til grunn for at LCA ikke kan automatiseres per dags dato. Dette undersøkes ved hjelp av litteraturstudie, og eventuelt erfaringer tilegnet av eget case-studie.
2. Hva slags metoder og verktøy finnes i dag for en BIM-basert LCA?
 - Skaffe en oversikt over tilgjengelige metoder og verktøy for en BIM-LCA integrasjon, presentere disse, samt gi en oversikt over hvilke fordeler og ulemper de forskjellige løsningene byr på.
3. Til hvilken grad påvirkes muligheten til å gjennomføre en automatisert LCA ved bruk av BIM av BIM-modellens LOD-nivå?
 - Undersøke hvor detaljerte BIM-elementene må være for å kunne gjennomføre LCA, og til hvilken grad – eller hvor treffsikker en slik LCA vil være på de forskjellige LOD-nivåene. Dette avdekkes ved hjelp av teori funnet i litteraturstudiet og en praktisk tilnærming fra caseoppgaven.
4. Hvilke fordeler og ulemper bringer en BIM-basert LCA med seg?
 - Analysere ulike sider ved integrert BIM og LCA basert på litteratur funnet i litteraturstudiet samt erfaringer fra en praktisk caseoppgave.

Basert på de overnevnte forskningsspørsmålene, vil denne oppgavens forskningsmetode tilstrebe å være kvalitativ da oppgavens måleenhet er ord. Det skal utvikles/avdekkes teori (beskrive dagens situasjon, utfordringer og LOD-relasjonen til en BIM-LCA integrasjon) i tillegg til å se problemstillingen i en større sammenheng. Forfatteren bak denne oppgaven har også en nær tilknytning til problemstillingen og er alene bak datainnsamlingen. Oppgavens problemstilling beskriver

ett fenomen (byggebransjen har en stor miljøpåvirkning). I tillegg forsøker den å utforske og beskrive muligheter (hvordan LCA og BIM kan virke positivt på miljøpåvirkningen), og en kvalitativ forskningsmetode virker derav mest hensiktsmessige for å beskrive et fenomen ved bruk av tekst. Den kvalitative forskningsmetoden utelukker derimot ikke en kvantitativ metode (Olsson, 2015), noe som blir tatt i bruk i de to siste forskningsspørsmålene hvor en praktisk caseoppgave blir tatt i bruk for å gjennomføre datainnsamling og beregning.

3.7 Innsamling av data

Datainnsamling er en anskaffelse av empiri i form av primær- og sekundærdata (Tjora, 2017). Denne anskaffelsen må fåretas på et representativt utvalg av populasjonen man ønsker å undersøke, og gjennomføres ved bruk av ulike datainnsamlingsmetoder. Utvalget avhenger av hvilken strategi man velger, og strategien samt dens størrelser avhenger av den valgte problemstillingen (Tjora, 2017). Typiske utvalgsstrategier er gitt i Tabell 3.1 (Tjora, 2017).

Tabell 3.1: Ulike utvalgsstrategier med tilhørende kort forklaring.

Utvalgsstrategi	Kort forklaring
Utvalg med maksimal variasjon	Utvalg med maksimal variasjon ut i fra sentrale kjennetegn.
Ekstreme/avvikende utvalg	Tilfeller, personer eller hendelser som sett ut i fra normalen er ekstreme, spesielle eller sterkt avvikende.
Typiske tilfeller	Utvalg hvor en egenskapsprofil for det gjennomsnittlige tilfellet brukes til å avdekke tilfeller som passer med denne profilen.
Kritiske tilfeller	Utvalg av kritiske tilfeller som kan benyttes til å understreke eller poengtere sentrale poenger.
Snøballmetoden	Utvalg hvor ressurspersoner blir brukt til å vise videre til andre viktige aktører eller viktig informasjon/data.
Intensive utvalg	Tilfeller som er preget av et kjennetegn, men ikke nødvendigvis ekstreme.
Homogent utvalg	Utvalg med lav eller svært lav variasjon ut i fra sentrale kjennetegn.
Kriteriebasert utvelgelse	Utvalg av tilfeller som tilfredsstillter spesifikke kriterier.
Teoribasert utvelgelse	Utvalg på bakgrunn av tilfeller knyttet til etablert teori.
Typologibasert utvelgelse	Utvelgelse basert på sentrale typologier.
Bekreftede / avkreftede utvalg	Utvalg hvor man ser etter tilfeller som enten vil kunne avkrefte eller bekrefte oppstående hypoteser.
Tilfeldig utvalg	Utvalg av tilfeldig tilfeller, data, caser innen for en gitt ramme.

Oppgaven tar for seg flere utvalgsstrategier for å oppnå ett representativt, dekkende og relevant datagrunnlag:

-
- Snøballmetoden: Finne ressurspersoner og data som kan bidra med dypere innsikt og peke mot annen viktig data.
 - Intensive utvalg: Finne data med sammenligningsgrunnlag.
 - Kriteriebasert: Finne data med ulike perspektiver.

3.7.1 Datainnsamlingsmetoder

Valg av datainnsamlingsmetoder baserer seg hovedsakelig på forskningsdesignet og til en viss grad det vitenskapsteoretiske ståstedet til forfatteren (Engbo, 2019). Ved en kvalitativ metode finnes det flere datainnsamlingsmetoder hvor observasjon, individuelle intervjuer, gruppeintervjuer, litteraturstudie og fokusgruppe er blant de viktigste (Busch, 2018). De valgte metodene for datainnsamling i denne oppgaven vil være i utførende rekkefølge litteraturstudie og caseoppgave. Disse metodene velges for å skape et komplett datagrunnlag som er adekvat i både dybde og bredde, og metodene egner seg den gitte tidsbegrensningen for bearbeiding og analyse av dataene. Litteraturstudie er et utmerket redskap for å skape god oversikt over tema, problemstilling og forskningsspørsmål ved å dekke store datamengder på kort tid (Olsson, 2015). Dette er essensielt gitt den brede og litt generelle problemstillingen som skal besvares over en kortere tidsperiode. En annen god egenskap ved litteraturstudie er at det dekker litteratur fra hele kunnskapspyramiden som sørger for at ulike perspektiver, forskningspraksiser og studier kommer frem, som igjen vil sørge for tilstrekkelig dybde og bredde i forhold til problemstillingens tema (Busch, 2018). I tillegg vil et litteraturstudie gi et godt grunnlag for oppgavens videre utførelse med caseoppgave, hvor resultat og teori avdekket i studiet vil kunne knyttes opp mot funn gjort i den praktiske casen. Litteraturstudiet utdypes videre i neste delkapittel, mens metoden for caseoppgaven utdypes i kapittel 3.9.

3.8 Litteraturstudie

i dette delkapittelet gjennomgås den trinnvise metodikken for datainnsamlingsmetoden litteraturstudie. Her presenteres søkeprosess, strategi, filtrering, kartlegging av funn, evaluering og en overordnet oppsummering er beskrevet for hvordan metoden skal oppnå best mulig litteraturgrunnlag for å besvare problemstillingen.

Metoden foregår trinnvis, og er grafisk representert i figur 3.2. Avslutningsvis reflekteres det over styrker og svakheter ved metoden, evalueringskriterier og feilkilder.



Figur 3.2: Søkeprosessen.

3.8.1 Søkeprosessen

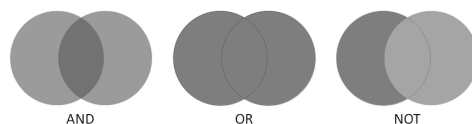
Søkeprosessen har i hovedsak foregått etter “Snøballmetoden”, hvor ressurspersoner og litteratur har lagt fundamentet for videre søk og kildefunn. Metodikken bak snøballmetoden består av en søkeprosessen, to ulike søkestrategier og gjennomføres i rekkefølgen: søk, filtrer, beskriv og evaluer (Engbo, 2019). Selve søkeprosessen er kontinuerlig og stegene gjøres suksessivt for å produsere oppgavens litterat grunnlag. Stegene i søkeprosessen er:

- **Søke:** Søke etter litteratur i henhold til søkestrategien for å finne relevant litteratur og kilder til oppgaven.
- **Referanser:** Systematisk registrering av litteraturens opprinnelse.
- **Referanser:** Reliabilitet, validitet, objektivitet til forfattere bak litteraturen evalueres og registreres fortløpende under hele søkeprosessen.
- **Lesing:** Abstrakt, konklusjon og innledning leses igjennom først for å vurdere relevans til oppgaven.
- **Loggføring:** Det blir fortløpende ført en søkelogg i Excel for litteraturen.

Ved å følge denne søkeprosessen får man redusert mengden litteratur fra alt til relevant. Selv smale søk som filtreres på blant annet tittel og nøkkelord medfører ikke komplett overlapp med relevant litteratur, og må dermed filtreres og evalueres (Olsson, 2015). Det er som nevnt benyttet to ulike søkestrategier. Den første følger referanser i litteratur som allerede er funnet og vurdert som veldig relevant, eller ved å utforske hva annet forfatteren(e) har publisert. Den andre strategien er temasøk der søkene følger den trinnvise tilnærmingen gitt under:

1. Definere relevante og treffende søketermer i forhold til problemstillingen.

-
2. Bruke de boolske operatørene AND, OR og NOT i kombinasjon med søketermene for å avgrense litteratursøkets output. Figur 3.3 illustrerer operatørenes funksjon.



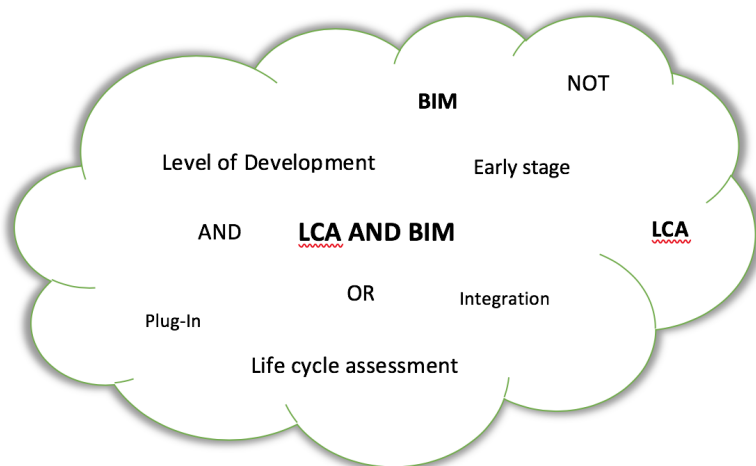
Figur 3.3: Boolske operatører

3. Etter at de boolske operatørene er kombinert med søketermene gjennomføres søket og resultatene vurderes følgende:
- Dersom noen av søketermene resulterer i store mengder irrelevant eller ubrukbar litteratur evalueres det om søketermet burde droppes eller eventuelt reformuleres/spesifiseres.
 - Dersom søketermet resulterer i for store mengder resultater forsøkes det å innsnevre søkenedslaget ved bruk av filtrerende kriterier som for eksempel nøkkelord, antall siteringer og publikasjonsår.
4. Skulle søket resultere i ingen eller svært få treff kontrolleres søket for skrivefeil, vurdere synonymer til søketermet i tillegg til å gjennomføre søket i andre søkemotorer.

3.8.2 Litteratursøket

Utførelsen av litteratursøket er i stor grad basert på det allerede eksisterende litteratursøket som ble foretatt semesteret i forkant av denne masteroppgaven i forbindelse med faget “TBA 4127 Prosjektledelse”. Litteratur som ble funnet i TBA 4127 Prosjektledelse som ansees for å holde god relevans og kvalitet har blitt videreført til denne oppgaven. Litteratursøket ble deretter fornyet i starten av semesteret vår 2020 for å avdekke ny og relevant informasjon rundt temaet, samt å utvide det allerede etablerte litteraturgrunnlaget oppgaven baserer seg på. Litteratursøket som ble foretatt vår 2020 baserte seg på de to nevnte strategiene i Kapittel 3.8.1 Søkeprosess; nemlig referanseoppfølging (snøballmetode) og temasøk (søketermer med boolske operatører).

I faget TBA4127 Prosjektledelse ble det identifisert flere nøkkeltkilder og -personer som fungerte som utgangspunkt for søkemetoden Snowballing. En liste med ressurspersoner og kilder ble etablert i Excel, og ble brukt til å finne ytterlige kilder. Disse kildene ble valgt ved å følge referanselisten i de publiserte verkene eller ved å utforske forfatterenes andre publikasjoner rundt temaet. En utfordring ved metoden Snowballing er at man ved å følge referanser bakover kan ende med gammel og utdatert litteratur (Tjora, 2017). Dette ble kontrett ved å evaluere publikasjonsåret, og om det viste seg å være for gammelt/utdatert litteratur ble nyere sitering av litteraturen fulgt for å finne den oppdaterte og nyere litteraturen som omhandlet det samme. Søkefrasene som er tatt i bruk er presentert i Figur 3.4.



Figur 3.4: Søkeord brukt under litteratursøket.

Litteraturfunnene gjort med strategien Snowballing dekket omtrent hele problemstillingen, men for å få en komplett dekning ble strategien Temasøk også inkorporert. Hovedfunksjonen til temasøket var å tette eventuelle hull i litteraturen, kontrollere at funnene som allerede var gjort holdt en tilstrekkelig høy kvalitet i forhold til litteratur avdekket av temasøk og for å utvide bredden av litteratursøket. Resultatene av søkefrasene i de ulike søkemotorene er presentert i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Oversikt over søkeord og databaser

Søkeord	Filter	Databaser					
		Oria	Web of Science	ASCE	Scopus	Science Direct	Google Scholar
Bim Maturity	Alle felt	1899	76	313	134	514	13000
AND Level of Development”	Alle felt	504	19	75	23	87	5400
AND LCA”	Alle felt	104	7	23	9	23	908
BIM LCA	Tittel	639	75	61	125	407	5190
AND ”Integration”	Alle felt	540	60	54	83	285	3855
AND Early Stage”	Alle felt	333	49	37	69	197	2456

3.8.3 Filtreringsprosessen

Et litteraturstudie omfatter store mengder litteratur, og for å redusere funnene til håndterlige mengder er det viktig med en metode for å filtrere funnene gjort (Olsson, 2015). Metoden for filtrering er en stegvis prosess hvor første trinnet er identifisering etterfulgt av utvelgelse (Olsson, 2015). På denne måten blir funnene fra de to overnevnte søkestrategiene (Snowballing og Temasøk) redusert til funn som er relevante for problemstillingen og de tilhørende forskningsspørsmålene. Litteratur som denne oppgaven oppgaven har valgt å inkludere er av lik eller større tyngde som en masteroppgave eller en forskningsartikkel. Dette valget er gjort for å oppnå tilstrekkelig bredde, dybde og perspektivvariasjon i oppgaven. For å oppnå både kunnskapsbaserte og praksisbaserte perspektiver tas både forskningsbasert- og erfaringsbasert litteratur i bruk (Olsson, 2015). De ulike datakildene samt deres bidrag er gitt i Tabell 3.1.

Tabell 3.3: Datakilder og deres bidrag.

Datakilde	Bidrag
Bøker	Etablert bredde og oversikt.
Artikler	Ny forskning, ny kunnskap, videreformidling av etablert kunnskap, dybde informasjon.
Masteroppgaver	Raskt oversikt over tema og følge referanseliste.
Doktoravhandlinger	Dybde eller bredde informasjon.
Forskningsrapporter	Dybde eller bredde informasjon.
Statistikk	Data til å støtte opp argumenter og bakgrunn.

For å skaffe en oversikt, og for å danne et bilde av den tilgjengelige litteraturen er det først fokusert på tittel, nøkkelord og abstrakt. Litteraturen som virket mest relevant i forhold til problemstillingen og forskningsspørsmålene ble så lagret i en ny matrise, valgt litteratur. Dette for å gjøre det enklere å finne tilbake til og holde oversikt over fortløpende dokumentering. Et utklipp av denne matrisen er å finne i Vedlegg B. Publiseringsdato og anerkjente publikasjoner spilte også en rolle inn i identifiseringen av litteraturen.

Etter identifiseringen av litteraturen ble introduksjon og sammendrag lest nøyer for å determinere om litteraturen var relevant for problemstillingen, dersom den ikke var det ble den forkastet. Litteraturen som passerte filtreringsprosessen utvelgelse ble videreført og inkludert i litteraturstudien.

3.8.4 Litteraturevaluering

For å evaluere litteraturen er TONE-prinsippet tatt i bruk (Engbo, 2019). Dette ble gjort for å evaluere litteraturens reliabilitet og validitet. Vurderingskriteriene til TONE-prinsippet er gitt i Tabell 3.4.

Tabell 3.4: TONE-kriterier

Troverdighet	Forfatterens utdanning, kompetanseområde og antall siteringer er sjekket for å vurdere troverdighet.
Objektivitet	Litteraturen blir ansett som troverdig dersom den er presentert på en måte som ikke forsøker å overbevise, men presenterer fakta på en nøytral og agendafri måte.
Nøyaktighet	Nøyaktigheten til litteraturen vurderes ut ifra hvorvidt metodebeskrivelsen er detaljert presentert og at metoden er ryddig, forståelig og eventuell etterprøvable.
Egnethet	Litteraturen vurderes ut i fra relevans i forhold til egen problemstilling og forskningsspørsmål.

Den litteraturen som fremdeles virker relevant etter å ha blitt vurdert ut i fra TONE-prinsippet er tatt med videre i litteraturbeskrivelsen i Kapittel 3. Eksempler på TONE-vurderinger som ble gjennomført er å finne i Vedlegg A1-A2. Den utvalgte litteraturen ble også brukt til å finne nye nøkkelord og relevante kilder ved å se gjennom referanselistene ved Snowballing-strategien.

3.8.5 Styrker og svakhet

Litteraturstudier er i seg selv en type forskning, og er en sterk metode for å oppsummere og presentere tilgjengelig litteratur om et emne (Tjora, 2017). En av styrkene ved et litteraturstudie er at det kan gjøre ett stort eller komplisert tema lettere tilgjengelig for almenheten (Levac et al., 2010). Det kan også forandre forskerens forståelse av emnet, og gjøre oppmerksom på flere sider eller perspektiver rundt temaet (Engbo, 2019). Man vil da unngå at man for eksempel kun får visse synspunkter rundt emnet, og unngå bias og fordommer.

Integrasjon av BIM og LCA er et ganske nytt forskningsområde, noe som kan by på både utfordringer og fordeler ved bruk av litteraturstudie. Relevant og ny informasjon om emnet kan ennå ikke ha blitt tilgjengelig litteratur og vil dermed ikke avdekkes av et litteraturstudie. Det kan derimot være en fordel i forhold til intervjuer ved at informasjonen fagkyndige sitter på kan være utdatert og foredlet, eller at det generelt er vanskelig å finne intervjuobjekter med tilstrekkelig kunnskap.

Litteraturen er evaluert etter tydelig definerte kriterier, og databasene de er funnet i er gjenkjent som troverdige. Flere av databasene tillater også filtrering ut i fra om litteraturen er fagfellevurderte, ut i fra forfatter og på tittel for å nevne noen. BIM- og LCA-litteraturen som er evaluert er publisert av mange anerkjente utgivere som Elsevier og Taylor and Francis, noe som indikerer kvalitetskontroll av litteraturen. Det kan derimot være et problem om litteraturen stammer fra de samme utgiverene, da dette kan begrense bredden og perspektivet (Olsson, 2015).

Noe av litteraturgrunnlaget som er brukt er tidligere masteroppgaver, noe som kan være en svakhet. Disse er gjerne ikke fagfellevurderte, og kan være skrevet for et selskap med kommersielle interesser, eller som kan inneholde en agenda. Troverdigheten til informasjonen gitt i slike oppgaver vil dermed være noe redusert, men disse er hovedsakelig brukt til å lete opp andre relevante kilder som omhandler temaet ved Snowballing-strategien.

3.8.6 Feilkilder

En Systematisk feilkilde kan forekomme ettersom valget av litteratur som er tatt med må kunne vurderes som ett subjektivt valg (Busch, 2018). For å unngå upålitelig litteratur er det derfor fulgt definerte vurderingskriterier. Det er viktig i et litteraturstudie at relevant informasjon ikke faller i fra, men noe informasjon må kunne regnes med å ha gått tapt på grunn av ufullstendige søkefraser og valg av databaser.

3.9 Caseoppgave: Praktisk tilnærming for empirisk datainnsamling

Data og informasjon fra prosjektet Via Vika har blitt uthentet fra prosjektets BIM-modell som forfatteren av denne oppgaven fikk tilgang til i slutten av Februar 2020. Dataen er uthentet med to forskjellige hensikter; å sammenligne såkalt tradisjonell/manuell LCA med en automatisert en, og for å se LOD-nivåets innvirkning på LCAen. Modellene til prosjektet blir fortløpende oppdatert i tjenesten Dalux, men for at resultatene skal være sammenlignbare er det tatt utgangspunkt i modellenes tilstand slik de eksisterte 1. Mars. For å hente ut informasjon og for visualisering av modellene er programmet Solibri Office tatt i bruk.

Den automatiske LCAen utføres slik at mengdene blir hentet ut av modellen ved bruk av en mal som skal automatisk sortere og hente ut mengder tilpasset One Click LCA sin nettleserversjon. One Click LCA foreslår så EPDer til materialene lastet inn for så å kalkulere miljøpåvirkningene. For den tradisjonelle versjonen av LCA-utregningen blir derimot mengder hentet ut av Solibri og eksportert til Excel ved bruk av egne regler som går noe nøyere til verks, for så å bruke produktspesifikke EPDer der det er mulig, og ellers finne andre egnede, til å regne ut miljøpåvirkningene.

Prosjekts BIM-modeller er inndelt i flere roller nemlig RIB, ARK, Prefab, RIG, Rivning, Elektro og VVS. Alle modellene er samlet i en samlemodell. Rent teoretisk kunne alt av arbeid utføres i den ene samlemodellen, men grunnet dens kompleksitet og størrelse som bød på problemer med datakapasitet og teknisk kompetanse er det valgt å fokusere på ARK- og RIB-modellene hver for seg, og utelukke de resterende modellene. Ettersom resultatene fra caseoppgaven kun skal sammen-

lignes opp mot hverandre, og ikke opp i mot andre LCA-studier, er ikke dette ansett som et problem. ARK-modellen er delt opp i to, hvor den ene modellen tar for seg bygget, mens den andre kun inkluderer fasaden til bygget. RIB-modellen er delt inn i 9 forskjellige modeller og inneholder for det meste stål og plasstøpt betong fordelt over 9 seksjoner av bygget.

De neste delkapitlene tar for seg hvordan informasjonen i de ulike modellene har blitt håndtert, og framgangsmetoden for hvordan denne informasjonen blir brukt til å gjøre undersøkelser knyttet til BIM og LCA integrasjonen.

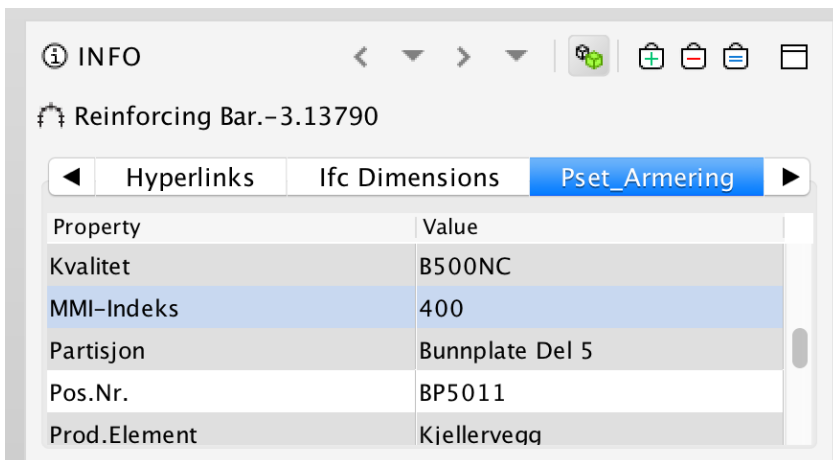
3.9.1 Definerings av modellens LOD

I BIM-modellene er det kun armeringen som har et gitt LOD-nivå (I modellen er det brukt MMI). De resterende elementene i både ARK-, RIB- og samlemodellen er udefinerte med tanke på LOD, og detaljnivået varierer fra element til element. For å avgjøre LOD-nivået til elementene som mangler dette, er det tatt i bruk retningslinjer fra BImForum (2013) i tillegg til samtaler med BIM-ansvarlig på prosjektet. I enkelte tilfeller har det vært vanskelig å gi et bestemt LOD-nivå, og det har da blitt gjort egne noen antagelser. Før datamengder skulle hentes ut av modellen ble objektene klassifisert til ulike LOD-nivå for deretter å bli sortert etter LOD-nivå.

LOD i RIB

RIB-modellen er som nevnt delt opp i 9 ulike BIM-filer. Hver fil har først blitt gått igjennom for seg, før resultatene fra hver fil er lagt sammen til slutt i ett eget Excelark. Modellene er fordelt slik at noen inneholder all armering og stål, mens de andre inneholder all den plasstøpte betongen. I modellene som inneholder armeringen så er allerede armeringen gitt en materialmodenhetsindeks (MMI) på 400 som går for det samme som LOD-nivå, mens de resterende elementene er udefinerte med tanke på LOD. Figur 3.5 viser hvordan denne klassifisering er gitt. For å klassifisere de resterende elementene ble det satt opp egne klassifiseringsregler i Solibri som sorterte elementer ut ifra hvor detaljerte de var. Det ble tatt i bruk 4 LOD-nivåer: 100, 200, 300 og 400. Regler som ble satt opp er eksempelvis dersom er element kun har navn som informasjon som “vegg” eller “innervegg” er det gitt nivå 100. Nivå 200 ble gitt til materialer med kun ett oppgitt material som

for eksempel Betong 100 mm. Elementer hvor flere materialer var oppgitt samt definert orientering og mengder ble gitt nivå 300. Nivå 400 ble gitt som maks til de elementene som også inneholdt samme informasjonsgrad som de allerede ferdigdefinerte MMI400 elementene (fabrikasjon i tillegg til det nevnt i 300). Hvert nivå ble deretter gitt sin egen farge for å kunne grafisk fremstilles. Nivå 100=rosa, nivå 200=grønn, nivå 300=gul, nivå 400=rødt. Klassifiseringsregler samt oppsett for RIB-modellene er gitt i Vedlegg C1.



Property	Value
Kvalitet	B500NC
MMI-Indeks	400
Partisjon	Bunnplate Del 5
Pos.Nr.	BP5011
Prod.Element	Kjellervegg

Figur 3.5: LOD-nivå allerede gitt på armering.

For å hente ut mengder fra Solibri til Excel er funksjonen Information Takeoff (ITO) tatt i bruk sammen med rollen Building Information Quantities. Dette er gjort for å ekskludere åpninger og mellomrom fra mengdene. En manuell sjekk ble gjennomført for å unngå at utsparringer for dører og vinduer ikke ble tatt med. Det ble opprettet en ny kolonne i Information Takeoff fanen for egen LOD-klassifisering som sorterte elementene etter LOD-nivå før de ble eksportert til Excel. Dette ble gjort på samtlige av BIM-filene før de ble lagt sammen i en Excel-fil for å kartlegge LOD-nivået på den fullstendige RIB-modellen på det tidspunktet modellene ble lastet ned. Vedlegg D viser eksempel på en Excel-fil for en av modellene.

LOD i ARK

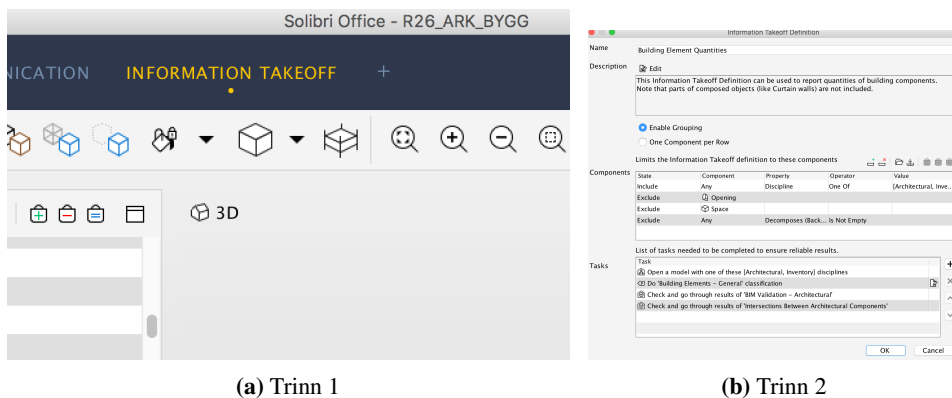
I ARK-modellen er det tatt i bruk de samme LOD-klassifiseringene som i RIB-modellen. Det var nødvendig å justere noen av klassifiseringsreglene riktignok, men kriteriene for LOD-nivå er de samme. For å se reglene for klassifiseringen

av ARK-modellen vises det til Vedlegg C2. Det er få om noen elementer i ARK-modellen som er av nivå 400, så det er hovedsakelig brukt nivå 100, 200 og 300.

ARK-modellen er delt i to filer hvor den ene dekker kun fasaden, mens den andre tar for seg selve bygget med innervegger, gulv, tak osv. Det er valgt samme fremgangsmåte som i RIB-modellen hvor hver av modellene er tatt tak i hver for seg, for så å slå sammen resultatene av hver enkelt til slutt. Fremgangsmåten for å hente ut mengder er den samme som forklart i RIB-modellen.

3.9.2 Fremgangsmåte for utehenting av materialmengder

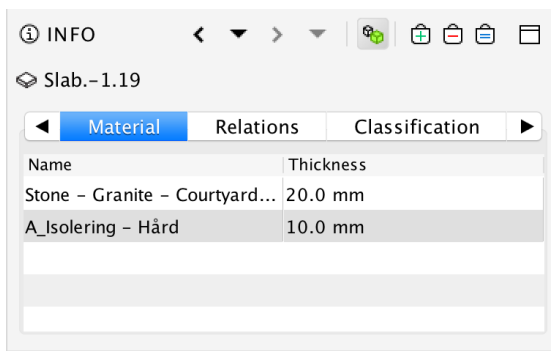
For å hente ut materialmengder er det primært tatt i bruk to forskjellige metoder. Den første er å automatisk importere mengdene fra Solibri til One Click LCA og den andre er å hente ut mengder fra Solibri manuelt for så å sortere det i Excel. One Click LCA bruker en mal som lastes inn i Solibri hvor den nødvendige mengdeinformasjonen for materialene blir satt opp på en slik måte som nettleserversjonen av One Click LCA kan lese. Selv om denne malen trekker ut datainformasjonen fra BIM-modellen og direkte importerer den i One Click LCA er det gjennomført kontrollberegninger av mengdene for å sikre at all informasjonen har blitt inkludert. Figur 3.6a og 3.6b viser fremgangsmåten for å hente ut materialmengder fra BIM-modellen ved bruk av Information Takoff (ITO) funksjonen med definerte regler for hva som skal inkluderes og ekskluderes.



Figur 3.6: Information takeoff i Solibri for mengdeuttak.

Uthenting av materialmengder for ARK-modell

One Click LCA sin mal for å hente ut mengder fra BIM-modellen sliter med å korrekt lese mengder når det kommer til komposittmaterialer. Dette vil si materialer / elementer som inneholder flere enn ett materiallag. Ett eksempel på en slik kompositt er gitt i Figur 3.7. For at materialmengdene skulle bli så korrekt som mulig måtte disse hentes ut, sorteres på material, beregne riktig mengde for hvert material for så å legges inn manuelt.



Figur 3.7: Slab i Solibri med flere definerte materialer.

Som nevnt er ARK-modellen delt opp i 2 deler, en for fasade og en for selve bygget. I fasademodellen var det hovedsakelig kun ytterveggene (fasaden), samt noe tak, dører, vinduer og dekker. Fasadeveggene hadde ikke definerte materialer og var kun navngitt som “fasade” eller “yttervegg”. For å kunne utføre noen hensiktsmessig LCA-beregninger for disse veggene ble det trekt ut antall kvadratmeter med vegger. One Click LCA sin ITO kjente ikke igjen noe av de udefinerte veggene, så de manuelt beregnende mengdene ble senere lagt inn in One Click LCA beregningen.

Dekkene og taket var heller ikke definerte med tanke på materialer så også her ble det kun trukket ut mengder av dekker og tak, men i kubikkmeter i stedet for kvadratmeter. For vinduer og dører ble antall av hver type valgt for så å finne total kvadratmeter, ettersom heller ikke disse hadde definerte materialer.

For byggdelen av ARK-modellen ble flere metoder tatt i bruk. One Click LCA sin ITO sliter som nevnt med kompositter og noen vegger og dekker måtte derfor

manuelt eksporteres til Excel for å sortere ut korrekt mengde materialer veggene og dekkene bestod av, for så å manuelt legge dette inn i One Click LCA sine beregninger. Det var også endel innervegger uten definerte materialer, her ble Solibri sin Curtain Wall ITO tatt i bruk for å trekke ut antall kvadratmeter vegg som videre kunne brukes i LCA-beregningene. For de resterende elementene ble One Click LCA sin ITO brukt for den automatiske LCAen, mens en egendefinert ITO med manuell etterprøvelse ble brukt for den manuelle LCAen.

Uthenting av materialmengder for RIB-modell

Som nevnt er RIB-modellen delt opp i filer som hovedsakelig inneholder armering, og filer som hovedsakelig inneholder betong. I RIB-modellen er det betongvegger som utgjør kompositter bestående av betong og isolasjon. Disse ble sortert i et Excel-ark hvor riktige mengder for hvert materiallag ble bestemt.

I tillegg til komposittene plukket ikke One Click LCA sin mal for ITO armeringsnett så disse måtte legges inn manuelt. Det var også noe innstøpningsgods, ett fordrøyningsbasseng og en kuldeoppbryter som ikke var klassifisert riktig som måtte legges inn manuelt.

Parkeringskjelleren fra det tidligere bygget skal restaureres og gjenbrukes i det nye bygget. Modellen inneholder denne betongkjelleren med vegger, søyler og alt annet. Dette er ikke inkludert i mengdeberegningene.

3.9.3 Framgangsmåte for LCA-kalkulasjoner

For LCA-beregningene for RIB- og ARK-modellene ble det benyttet to forskjellige metoder. For den automatiske LCAen ble One Click LCA sin studentversjon tatt i bruk. Utslippene ble i hovedsak beregnet i One Click LCA basert på materialvalg og mengder som ble lagt inn, men i noen tilfeller ble det supplert med manuelle Excel-beregninger hvor det var nødvendig.

Den tradisjonelle / manuelle LCAen ble utført i sin helhet ved bruk av Excel-regneark. Forskjellen fra den automatiske var hovedsakelig at materialmengder ikke var hentet ut av One Click LCA sin mal, men gjort litt nøyere, og at ulike EPDer ble brukt.

Både den automatiske og den tradisjonelle LCAen baserer seg på rammeverket gitt i NS-EN:14040 i tillegg til hva som ansees hensiktsmessige med tanke på de valgte forskningsspørsmålene til oppgaven. Tabell 3.5 gir de generelle retningslinjene for LCA-beregningene gjort i denne oppgaven.

Tabell 3.5: Retningslinjer for LCA-beregningene gjennomført.

Hensikt og omfang	Hensikt: Sammenligne resultatet fra automatisk og tradisjonell LCA i tillegg til å knytte det opp mot modellens LOD-nivå. Omfang: Vugge til grav (A1-A3). Funksjonell enhet (FU): Hele bygget/modellen.
Livsløpsregnskap	Generisk og produktspesifikk data. Supplere med erfaringstall fra andre prosjekter dersom nødvendig.
Vurdering av påvirkning	Global Warming Potential (GWP).
Tolkning	1. Evaluere kvaliteten til dataen samt dens påvirkning på det endelige resultatet. 2. Anbefalinger for BIM-basert LCA med tanke på modellens LOD.

3.9.4 Hensikt og omfang for LCA-beregningene

Hensikten med beregningene er å kunne sammenligne klimagassutslippet fra modellen med to ulike tilnærminger til LCA-utførelsen. Dette har blitt gjort for å se til hvilken grad en automatisert LCA ved bruk av BIM-modell vil differensiere seg fra en mer klassisk tilnærming, og hvordan LOD-nivået til modellen spiller inn.

Beregningene gjennomført i denne oppgaven er basert på en BIM-modell i utvikling, altså ikke ferdig. Da disse beregningene ble gjort befant prosjektet BIM-modellen tilhører seg midt i byggefasen, og elementer ble kontinuerlig lagt til. Denne oppgaven tar for seg modellen slik den eksisterte ved starten av Mars 2020, og vil dermed ikke være fullstendig. Dette kan kontres ved bruk av generiske verdier som baserer seg på erfaringstall fra andre prosjekter. I denne oppgaven vil kun elementer som er inkludert i modellen bli tatt i bruk derimot.

I ARK-modellen var det endel elementer som ikke lot seg definere under LOD-klassifiseringen. Eksempelvis var det endel møblering, postkasser, badersinnveitar, gelendere og trapper. Disse elementene er ikke tatt med i beregningene. I RIB-modellen var det også noen elementer som var uklassifiserte, dette var ho-

vedsakelig noen prefabrikerte stålprofiler uten noe videre informasjon og noen utstøpninger som gikk under Fixed Furniture. Disse elementene er heller ikke tatt med videre i beregningene.

Systemgrensene i denne oppgaven inkluderer utslipp fra vugge til port (A1-A3) for de definerte objektene i modellen. Valget av materialer kan knyttes opp mot detaljnivået / LOD-nivået til objektene i modellen, og dermed vil produktfasen virke mest relevant å se på. En konsekvens av dette er at fase C1-C4 ikke inkluderes, og det biogene karbonopptaket til diverse treverk i modellen inkluderes i beregningene. Som funksjonell enhet velges hele bygget / hele modellen ettersom målet er å sammenligne to ulike LCA-beregninger for samme bygg, og ikke sammenligne LCA-beregningene med andre studier. Ettersom beregningene kun tar for seg fase A1-A3 (kun innebygde utslipp fra materialene) velges det å ikke se på levetid som aspekt ved beregningene.

3.9.5 Livsløpsregnskap

Etter definisjonen på kvalitetsnivå gitt av NS:3720 holder dataene i disse beregningene nivå 1 og 2. Ved en automatiske LCAen ble utslippsfaktorer anbefalt av One Click LCA (fra egen database) brukt, men med noen justeringer dersom den anbefalte helt galt. For den manuelle LCAen ble utslippsfaktorer hentet fra EPD-Norge, anbefalinger fra One Click LCA sin database og produktspesifikke EPDer tilgjengelig på prosjektets Dalux-side brukt. One Click LCA har en stor database med flere valg av utslippsfaktorer for samme type material, og hvilke man velger kan være veldig utslagsgivende på utslippene. Det ble derfor kontrollert at utslippsfaktorene som One Click LCA brukte var korrekte med tanke på hva som er vanlig i Norge og byggebransjen generelt, selv om noe av målet med disse beregningene er å se forskjellen fra en automatisk og en tradisjonell LCA. Ett eksempel på materialer som kan variere mye ut i fra hvilke utslippsfaktorer er armeringsjern da det varierer hvor mye av stålet man antar er resirkulert.

For den automatiske LCAen ble materialmengdene importert i One Click LCA. Mange av materialene ble automatisk gjenkjent, men det var likevel ganske mye som måtte velges manuelt ut i fra databasen. For den manuelle LCAen ble materialmengdene sortert og kartlagt i et Excel-ark manuelt.

De neste delkapitlene går igjennom de ulike utslippsfaktorene brukt for de ulike materialene i ARK- og RIB-modellen. Utslippsfaktorene for den automatiske og den manuelle LCAen presenteres i Tabell 3.6 til Tabell 3.10 samt et kort begrunnelse bak hvorfor de ulike er brukt. Materialnavnene er forenklet for å en ryddigere presentasjon, men alle navnene kan sees i Vedlegg G og H.

One Click LCA opererer med en kompensasjonsfaktor som skal korrigere utslippsfaktorer basert på lokale produksjonsforhold. Dette kan føre til at utslippsfaktorene gitt under ikke nødvendigvis er nøyaktig den som er brukt i LCA-utregningene. Kompensasjonsfaktoren er ikke oppgitt i One Click LCA, og vil dermed fungere litt som en “Black Box” (skjult informasjon) ettersom det er valgt å ikke beregne denne på egenhånd.

Betong

Tabell 3.6 viser de ulike utslippsfaktorene for betong i RIB- og ARK-modellen. Dersom styrken på betongen ikke var gitt ble det brukt B35. Det var også noe betong som var definert som B75 i RIB-modellen som det ikke fantes EPDer på i databasen til One Click LCA, det ble derfor valgt B45 betong som erstatning for denne betongen.

For betong B30 ble lavkarbonbetong i klasse C valgt av One Click LCA, og var også merket som typical, så det ble stående. For den manuelle regningen ble B30 betong fra Unicon Sjursøya brukt, da Unicon er betongleverandøren til prosjektet, og det er hovedsakelig fra Sjursøya betongen i prosjektet kommer fra. For B35 og B45 valgte One Click LCA larkabon klasse A og B litt om hverandre, mens i den manuelle regningen ble den produktspesifikke EPDen til B35 betongen brukt.

For de prefabrikkerte veggene i ARK-modellen anbefalte One Click LCA generisk B30 betong med 0% gjenbrukt armering. Ettersom det er Block Berge som står for all prefabrikkerte betong i prosjektet er det valgt EPD fra dem i den manuelle utregningen.

Tabell 3.6: Utslippsfaktorer for betong

Material	EPD bruk i One Click LCA Auto (før lokal kompensasjon)	EPD brukt i manuell utregning
Betong B30	270,88 kg CO ₂ eq/m ³	218,2 kg CO ₂ eq/m ³
Betong B35	A/B : 210/270 kg CO ₂ eq/m ³	195,75 kg CO ₂ eq/m ³
Betong B45	360 kg CO ₂ eq/m ³	289,31 kg CO ₂ eq/m ³
Prefab	336,6 kg CO ₂ eq/m ³	248,1 kg CO ₂ eq/m ³

Stål

Tabell 3.7 viser de ulike utslippsfaktorene for stål i ARK- og RIB-modellen. Armeringsjernet som One Click LCA valgte var det fra Celsa, og det var også dette som ble brukt i prosjektet så dette stemte overens med det manuelle valget. EPDen til armeringsnettet foreslått av One Click LCA var også det som ble brukt i den manuelle utregningen, da ingen annen informasjon om dette nettet ble funnet og den EPDen som var foreslått virket fornuftig.

For stålprofiler og plater i RIB-modellen ble EPDer med 60% resirkulert stål valgt i One Click LCA. For den manuelle beregningen ble generiske stålprofiler og plater med 90% resirkulert stål brukt.

Tabell 3.7: Utslippsfaktorer for stål

Material	EPD bruk i One Click LCA Auto (før lokal kompensasjon)	EPD brukt i manuell utregning
Armering (rebar)	0,36 kg CO ₂ eq/m ³	0,36 kg CO ₂ eq/m ³
Armeringsnett	0,33 kg CO ₂ eq/m ³	0,33 kg CO ₂ eq/m ³
Strukturelle stålprofiler	16656,02 kg CO ₂ eq/ m ³ (60% rec)	5808,05 kg CO ₂ eq/m ³ (90% rec)
Strukturelle stålplater	19030,86 kg CO ₂ e / m ³ (60% rec)	8783,32 kg CO ₂ eq/m ³ (90% rec)

Isolasjon

Utslippsfaktorene for de ulike isolasjonsproduktene i RIB- og ARK-modellen er gitt i Tabell 3.8. I RIB-modellen var det kun isolasjon under generisk navn som fastisolasjon og glassull. One Click LCA anga EPD for generisk glassull isolasjonsplater, mens i den manuelle utregningen ble det brukt produktspesifikk EPD fra Saint-Gobain da dette var glassullisolasjonen som skulle brukes i følge BREEAM-asnvarlig på prosjektet.

I ARK-modellen var det også steinull- og EPS-isolasjon som One Click LCA anbefalte den typiske verdien for begge. I den manuelle utregning ble EPS fra EPS-gruppen brukt da denne skulle brukes i prosjektet, og steinull fra Saint-Gobain.

Tabell 3.8: Utslippsfaktorer for isolasjon

Material	EPD bruk i One Click LCA Auto (før lokal kompensasjon)	EPD brukt i manuell utregning
Glassull	53,59 kg CO ₂ eq/m ³	33,33 kg CO ₂ eq/m ³
Steinull 0.0035 W/mK	42,29 kg CO ₂ eq/m ³	116,00 kg CO ₂ eq/m ³
EPS	70,98 kg CO ₂ eq/m ³	57,09 kg CO ₂ eq/m ³

Tre, gips og andre plater

Utslippsfaktorene for de ulike produktene er gitt i Tabell 3.9. For gipskledning til vegger ble en generisk verdi anbefalt som typisk av One Click LCA brukt til både den manuelle og den automatiske LCAen. For gipskledningen til gulv ble derimot gipsplater fra Norgips brukt både i den automatiske og den manuelle da Norgips var oppgitt som produsent for endel av gipsen i prosjektet. Både den manuelle og den automatiske benyttet typisk generisk verdi for gipsvegg da ikke noe mer informasjon var gitt.

Grus, granitt, mosaikk, lettklinker leca og skillevegg med høy lydisolasjon fikk samme utslippsfaktor for både den automatiske og den manuelle LCAen da det ikke var oppgitt noen produkter for disse materialene i prosjektet. Det ble derfor fulgt anbefalte typiske verdier for disse.

For natursten ble det forskjell ettersom det var oppgitt i prosjektet at det ble brukt natursten fra Minera, og det dermed ble valgt EPD fra denne produsenten i den manuelle LCAen. I den automatiske LCAen ble ikke vinylbelegg og gulvteppe plukket opp, derfor er det ikke noe utslippsfaktor for disse. Det ble derimot lagt inn i den manuelle, og produktspesifikke EPDer fra Forbo Flooring til vinyl og Egetepper til gulvtepper ble brukt da dette var oppgitt i prosjektet.

Tabell 3.9: Utslippsfaktorer for tre, gips, plater og andre kledning / overflate

Material	EPD bruk i One Click LCA Auto (før lokal kompensasjon)	EPD brukt i manuell utregning
Gypsum plaster	133,78 kg CO ₂ eq/m ³	133,78 kg CO ₂ eq/m ³
Tre, bjørk	24,04 kg CO ₂ eq/m ³	240,04 kg CO ₂ eq/m ³
Natursten til dekke	446,01 kg CO ₂ eq/m ³	353,0 kg CO ₂ eq/m ³
Grus, dry bulk	6,35 kg CO ₂ eq/m ³	6,35 kg CO ₂ eq/m ³
Granittplate	267,24 kg CO ₂ eq/m ³	267,24 kg CO ₂ eq/m ³
Mosaikkfliser	2551,18 kg CO ₂ eq/m ³	2551,18 kg CO ₂ eq/m ³
Gipsplate 12,5mm	168,08 kg CO ₂ eq/m ³	168,08 kg CO ₂ eq/m ³
Gipsvegg	250,24 kg CO ₂ eq/m ³	250,24 kg CO ₂ eq/m ³
Skillevegg med økt lydisolasjon	169,31 kg CO ₂ eq/m ³	169,31 kg CO ₂ eq/m ³
Lettklinker, Leca	200,8 kg CO ₂ eq/m ³	200,8 kg CO ₂ eq/m ³
Vinyl tile flooring	-	7,47 kg CO ₂ eq/m ²
Gulveteppe	-	24,2 kg CO ₂ eq/m ²

Vinduer og dører

Utslippsfaktorer for de ulike dørene og vinduene er gitt i Tabell 3.10. For vinduer ble det i den automatiske LCAen brukt generisk planglass 10kg/m², mens i den manuelle er det brukt planglass fra Euroglass da disse er oppgitt som produsent i prosjektet.

Ettersom det ikke var oppgitt noe spesifikke produsenter eller produkter for de ulike dørene ble det valgt å bruke samme verdier både for den manuelle og den automatiske LCAen.

Tabell 3.10: Utslippsfaktorer for dører og vinduer

Material	EPD bruk i One Click LCA Auto (før lokal kompensasjon)	EPD brukt i manuell utregning
Kimadør	57,92 kg CO ₂ eq/m ²	57,92 kg CO ₂ eq/m ²
Skyvedør, glass	156,49 kg CO ₂ eq/m ²	156,49 kg CO ₂ eq/m ²
Planglass, vindu	3061,95 kg CO ₂ eq/m ³	2595 kg CO ₂ eq/m ³
Ståldør, multifunksjonell	127,0 kg CO ₂ eq/m ²	127,0 kg CO ₂ eq/m ²

Udefinerte materialer

I ARK-modellen var det endel elementer med udefinerte materialer, særlig i fasadedelen. For å regne ut utslippene for disse elementene ble det tatt i bruk utslippsfaktorer gitt av Solem (2018). De ulike utslippsfaktorene som er tatt i bruk i er gitt i Tabell 3.11, og de er gjelder per kvadratmeter.

De udefinerte elementene det dreide seg om var ytter- og innervegger, tak, dekker, kledning til vegger og isolasjon. For hver type ble det valgt 3 ulike verdier; minimum, median / mest sannsynlig og maksimum. De ulike utslippsverdiene ble valgt ved å sammenligne erfaringstallene fra Solem (2018) og andre EPDer for tilsvarende konstruksjonsdeler i databasen til One Click LCA. Det er kun den mest sannsynlige verdien som det er valgt å inkludere i det totale LCA-regnskapet for ARK-modellen, men minimums og maksimumsverdiene er også regnet ut for å vise hvor stort usikkerhetsspennet var for de ulike konstruksjonsdelene. Utslippsfaktorene er gitt i Vedlegg E1-E7.

Ettersom One Click LCA ikke klarer å gjenkjenne udefinerte materialer er det valgt å inkludere verdiene som blir manuelt utregnet ved bruk av Tabell 3.11 i både den automatiske og den manuelle LCA-beregningen. For disse elementene vil altså både den automatiske og den manuelle LCAen ha like EPDer / utslippsfaktorer.

Tabell 3.11: Utslippsfaktorer for udefinerte materialer basert på Solem (2018)

Konstruksjonselement	Min	Median	Max	Hentet fra
Yttervegger + vegg	21	43	81	Vedlegg E1
Kledning til yttervegger	1	10	46	Vedlegg E3
Innervegger	7,6	13,8	23,1	Vedlegg E2
Kledning til innervegger	1	5	23	Vedlegg E4
Dekker	35	61	71	Vedlegg E5
Isolasjon	4,22	9,13	31,7	Vedlegg E7
Tak	24	30	73	Vedlegg E6

3.9.6 Vurdrering av miljøpåvirkning

For å vurdere miljøpåvirkningene for resultatet av LCA-analysen blir effektkategorien Global Warming Potential (GWP) tatt i bruk. Andre effektkategorier som ozonuttømming, forsuring av jord og vann og luftforurensning finnes også, og er noe One Click LCA tilbyr, men for å holde det enkelt er det valgt GWP som er mest intuitiv for materialer. Det avdekkes fordommer mot LCA i byggeindustrien i litteraturen grunnet dens kompleksitet, så med tanke på dette og en vurdering om at en effektkategori er tilstrekkelig for å sammenligne de ulike LCA-metodene er

det derfor kun valgt en.

3.9.7 Tolkning

Til forskjell fra andre mer tradisjonelle LCAer som ofte har for mål å identifisere de store bidragsyterne til klimautslipp i et prosjekt, fokuserer denne oppgaven på resultatforskjellen mellom en manuell klassisk LCA og en automatisert en. Denne LCAen fokuserer på integrasjonen av BIM og LCA, og hvordan BIM-modellens LOD påvirker LCAen. Tolkningen av resultatet vil dermed ha en litt annen fokus. Materialene som hadde en betydeig rolle i utslippene ble identifisert for å kontrollere at mengdene var korrekte, men ansees ikke for å være innenfor fokusområdet til oppgaven og tas ikke videre med i resultatdelen.

LCAen har ikke for hensikt å ta for seg prosjektets totale klimautslipp fra krybbe til død, men for de aktuelle modellene som var tilgjengelige og deres tilstand på det gitte tidspunktet. På denne måten kan det aktuelle LOD-nivået til modellen knyttes opp mot LCA-resultatet, samt gi innblikk til hvor detaljert modellen var i den aktuelle fasen av prosjektet. Resultatet fra de ulike LCAene gjennomført og deres sensitivitet, kvalitet og fullstendighet har stått i fokus. For å sammenligne resultatene fra de ulike LCAene blir det tatt i bruk grafer og diagrammer for å tydeliggjøre og fremheve poeng og slutninger i resultatdelen.

Konklusjoner og forslag til videre arbeid bruker resultatene som retningslinjer for hvordan en BIM-basert LCA kan gjennomføres, også med hensyn på modellens LOD-nivå, og hvilke fordeler og ulemper en slik LCA byr på i forhold til en mer klassisk tilnærming med manuell utregning.

3.9.8 Styrker og svakheter

Før man skal hente ut mengder fra Solibri via ITO-funksjonen anbefales det av Solibri å gjennomføre en Model-Check ved hjelp av Checker-verkøyet. Dette skal gjennomføres for blant annet å sjekke at alle elementene er med i filen. Ettersom dette ikke er gjort for noen av filene, kan dette ha noe innvirkning på resultatene.

En svakhet ved sammenligningen av LOD-nivået til RIB- og ARK-modellene er at LOD-definisjonen fulgt av denne oppgaven ikke nødvendigvis korresponderer med

definisjonen som er fulgt ved de allerede definerte elementene i RIB-modellen. Dette kan føre til en gal representasjon av antall elementer i de ulike LOD-nivåene.

For den automatiserte LCAen er beregningsverktøyet One Click LCA valgt. En stor styrke ved dette programmet er at den har en stor database både for produktspesifikke og generelle materialer. En av grunnen til at det kan kalles en “automatiser” LCA er at programmet kan kjenne igjen materialer og dermed slipper man å manuelt finne frem riktige EPDer for de ulike materialene, og dette er definitivt en styrke ved One Click LCA. One Click LCA har også en lokal kompensjonsfaktor for utslipp som er en styrke med tanke på å ta hensyn til landet man befinner seg i når man ser på utslippsverdiene til materialene. Det kan derimot være en svakhet ettersom resultatet (utslippsverdien) inneholder enda en faktor som kan gjøre det vanskelig å etterprøve eller eventuelt for utenforstående å forstå hvordan man har kommet frem til den tallverdien.

En utfordring knyttet til en integrasjon av BIM og LCA er interoperabilitet. Soust-Verdaguer et al. (2017) påpeker nødvendigheten for at ulike verktøy og programmer snakker samme språk, noe som viste seg å være aktuelt i denne oppgaven også. One Click LCA sitt program slet med å lese komposittlementer, noe som bød på utfordringer i forhold til tidsbruk hvor det krevde betydelige manuelle operasjoner for at det skulle bli korrekt. Det kunne også noen ganger være vanskelig å vite hvilke utslipp som var knytte til hvilke elementer i BIM-modellen.

3.9.9 Feilkilder

En potensiell feilkilde knyttet til beregning og uthenting av mengder er at det ble gjennomført på flere ulike metoder grunnet informasjonsmengden knyttet til modellene, og det kan dermed ha blitt gjort feil i opptelling (noe kan ha blitt utelatt, noe kan ha blitt telt flere ganger) og utregning av verdier.

En annen feil som kan ha blitt gjort er definering av LOD-nivåer i modellen. For eksempel ved vegger bestående av flere lag kan hvert av lagene ha blitt definert til en lav LOD-klasse, mens de ulike lagene lagt sammen kunne ha utgjort en høyere klasse dersom det ble samlet under ett. Elementer som allerede hadde en LOD-klassifisering (armeringen) er antatt som riktig, og har ikke blitt undersøkt videre

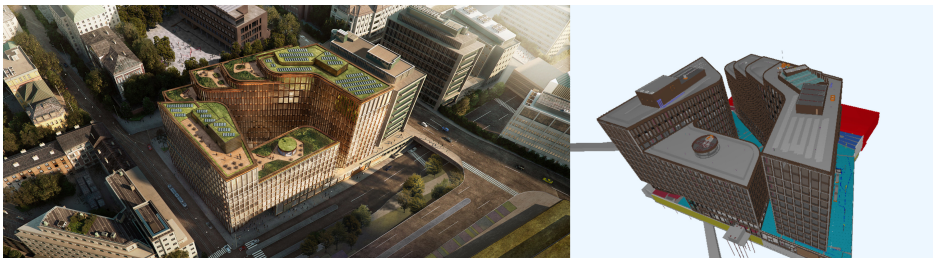
for å verifisere at den tilsvarer det gitte nivået så dette kan være en annen feilkilde. Det vil ikke påvirke LCA-beregningene, men kan gi feil inntrykk av modellens helhetlige LOD-nivå.

Til slutt bør det også nevnes at forfatteren av denne oppgaven har liten erfaring fra før innen bruk av Solibri og One Click LCA. Solibri har vært brukt i ett fag tidligere i 3. året for mengdeberegninger, mens One Click LCA aldri har vært rørt av forfatteren før denne oppgaven. Enkle LCA utregning har blitt foretatt i ett fag i 4. året, men lite utover det. Det er er med andre ord “Learning by doing” som har gjeldt ved utførelsen av LCA-beregninger, og modell-behandling for materialmengder og LOD-bestemmelser.

Kapittel 4

Caseoppgave: Via Vika

Veidekke Entreprenør jobber med prosjektet Via Vika som bygges i Ruseløkkveien 26 i Oslo, og skal ferdigstilles i 2021. Bygget skal fungere som et kombinert kontor- og næringsbygg hvor første planet skal bestå av restauranter, kaffebarer og matboder, andre planet skal fungere som et grønt torg for opphold og trening mens de resterende etasjene blir kontorer. Totalt vil bygget være på ca 62.500 kvadratmeter der kontorer står for 41.500 kvadratmeter mens handel og servering står for 9.500 kvadratmeter. Det er ett samarbeidsprosjekt mellom Asplan Viak, Storebrand og Veidekke hvor veidekke er totalentreprenør og Asplan Viak og Storebrand er byggherrer. Via erstatter gamle House of Oslo som stod på tomten tidligere, hvor hele det gamle bygget har blitt revet bortsett fra det eksisterende parkeringshuset som skal rehabiliteres. Prosjektet består av to bygg på 14 etasjer som utføres i plasstøpt og prefabrikkert betong. De to forskjellige byggene er fra høyere bygg Nord og Syd i Figur 4.1.



Figur 4.1: Prosjekt Via Vika

I forbindelse med masteroppgaven delte Veidekke tilgang til prosjektets Dalux profil, hvor alle modeller som ARK, RIB, PREFAB osv var tilgjengelige. Det er også en samlemodell for prosjektet som oppdateres ukentlig for samtlige fag. Både ARK- og RIB-modellene er delt opp i flere filer, noe som kompliserer materialuthenting noe. Alle modellene oppdateres fortløpende, så for at resultatene skal være sammenlignbare er modellene som blir brukt lastet ned 01.03.2020, og brukes som de var den datoen uten videre oppdaterte data utover semesteret.

Kapittel 5

Resultat og diskusjon

I dette kapittelet vil resultatene for den teoretiske og den praktiske tilnærmingen til oppgavens problemstilling presenteres og diskuteres. Kapitlet er delt opp sånn at den teoretiske tilnærmingen presenteres først etterfulgt av den praktiske før så de knyttes opp mot hverandre i en oppsummerende og avsluttende del.

5.1 Teoretisk tilnærming

5.1.1 BIM-basert LCA: Dagens situasjon

BIM-basert LCA kan forventes å øke ettersom bruken av BIM blir mer og mer vanlig i byggeindustrien. Det kan antas at datainputen er den mest tidskrevende delen av LCA når det kommer til bygninger. I LCI-fasen er datainput regnet som veldig komplekst og tidskrevende, og dette setter begrensninger på LCA-applikasjoner i bygningssektoren (Cabeza et al., 2014). Jardim-Goncalves and Grilo (2010) og Rahmani Asl et al. (2015) poengterer nødvendigheten av å effektivisere datainput i LCA-programmer, og adressere problemet med datainteroperabilitet. Det er derimot gjenkjent at bruken av BIM i LCA-analyser kan betydelig redusere manuell datainput (Antón and Díaz, 2014).

Ett nøkkelaspekt når det kommer til integrasjonen av BIM og LCA er interoperabilitet. Det er det som tillater ulike interessenter og aktører å jobbe sammen, og ulike dataprogram å snakke sammen. Det kan dermed ansees som en utfordring

at individuelle programvareselskap utvikler egne BIM-verktøy som nødvendigvis ikke er kompable eller tilgjengelige for andre. Selv om bruken av BIM øker og er ett ønsket resultat i blant annet Europa ved økt fokus på standardisering som påpekte i Kapittel 2, kan dårlig interoperabilitet ramme mindre selskaper som ikke nødvendigvis har resursene til å utvikle eller tilegne seg BIM-programvare. For eksempel har de fleste studier gjennomgått i Kapittel 2 tatt i bruk Revit for sine BIM-modeller noe som poengterer nødvendigheten for åpne IFC modeller som BuildingSmart (2019) jobber mot.

NS-EN:15978 definerer fire stadier i ett byggeprosjekt som LCA kan gjennomføres i; produktfasen, byggefasen, bruksfasen og sluttfasen. Likevel er de aller fleste LCA-studiene avdekket i teorien utført i produkt- og bruksfasen, og ikke tatt hensyn til konstruksjons- og sluttfasen. Levetid er heller ikke inkludert i de aller fleste av studiene, noe som reflekterer en mangel på inklusjonen av sluttfasen til et bygg. Peng (2016) og Lee et al. (2015) derimot inkluderer alle 4 fasene i sine studier. En annen fellesnevner for de fleste studier er bruken av CO₂-utslipp som miljøpåvirkningsfaktor.

Metoder og verktøy for BIM-basert LCA

Flere metodiske tilnærminger til en integrasjon mellom BIM- og LCA-verktøy har kommet frem. Antón and Díaz (2014) poengterer integrasjon av nødvendig programvare som essensielt for å kunne implementere BIM-basert LCA på et tidlig stadiet av et byggeprosjekt. En fullstendig integrasjonen av de ulike verktøyene kan drastisk redusere den nødvendige arbeidsbelastningen og tiden som kreves for å utføre en LCA, som igjen vil senke baren for implementering av BIM-basert LCA i prosjekteringsfasen av bygninger. Det vil også fungere som et beslutnings-verktøy, da det vil kunne være lettere for ikke-eksperter å gjennomføre.

Utvexling av data mellom BIM og LCA er en viktig faktor i en integrasjon av disse verktøyene. I de gjennomgåtte studiene i teorikapittelet har en av de viktigste funksjonene til BIM-modellen vært å produsere materialmengdene til LCAen. Hovedsakelig er materialmengdene blitt automatisk generert fra BIM-modellen for så å blitt eksportert til Excel hvor materialene har blitt redigert og sortert så de klare for LCA. Eksempler på dette kan sees både i Basbagill et al. (2013) og Peng

(2016).

En annen metode er plug-ins (programtillegg) som kan installeres direkte i BIM-programmer. Eksempelvis Tally (Tally, 2019) som kan brukes sammen med Revit. Plug-ins byr på både fordeler og ulemper. En klar fordel er umiddelbare resultater mens både det faktum at plug-ins er programspesifikke og inkluderer ofte få livs-syklusstadier kan være en ulempe. Plug-ins kan på den måten være en fordel å ta i bruk i designfasen da valg av materialer skal tas og man kan få raske resultater ut ifra ulike materialvalg, men mindre egnet til fullstendige LCAer. Dårlig interoperabilitet kan det være verdt å merke seg som en utfordring ettersom plug-ins er programspesifikke.

5.1.2 LCA og LOD

Utviklingsgraden (LOD) til en BIM-modells objekter kan regnes som et nøkkelpunkt både når det kommer til når det er mulig å gjennomføre en LCA, men også til hvilken usikkerhetsgrad. LOD-nivået setter en begrensning på hvilke data man kan automatisk hente ut i fra en BIM-modell, og til hvilken grad denne dataen kan stoles på. Ikke alle studier som er gjennomgått har definert et LOD-nivå på modellen som er brukt, men premissene forblir de samme selv om et nivå ikke er definert da det er hva disse nivåene forteller om modellen som er viktig. Under følger en gjennomgang av LOD-nivå 100 til 500 og hvordan det påvirker en mulig BIM-basert LCA.

LOD-nivå 100-200

Ved de to laveste LOD-nivåene er detaljnivået på elementene veldig lave. Ved nivå 100 er er ofte elementer kun generiske representasjoner uten definerte materialer, mengder eller dimensjoner og for å kunne utføre LCA på dette nivået må det bli tatt i bruk representative verdier som gjennomsnitts- eller generiskeverdier for elementtype. Dupuis et al. (2017) understreker nødvendigheten av bruk av generiske verdier på dette LOD-nivået, men løser noe av usikkerheten knyttet til LCA-resultatet på dette nivået ved bruk av statiske verdier for hvilke elementtyper som blir benyttet til den gitte typen bygg. Dupuis et al. (2017) konkluderer likevel med

at LCA på dette LOD-nivået ikke er optimalt.

Ved nivå 200 er litt mer informasjon om elementene inkludert, men verdiene er fremdeles usikre og omtrentlige. Det vil derfor også her være nødvendig med bruk av generiske verdier. Cavalliere et al. (2019) poengterer at bruken av generiske verdier på dette nivået fører med seg stor usikkerhet og kan blant annet føre til en overestimering av miljøpåvirkninger.

Grunnet den store usikkerhet knyttet til LOD-nivåene og den lave tilgjengeligheten av konkret informasjon vil Screening LCA egne seg for å enkelt og raskt kunne gjøre estimater for miljøpåvirkninger. Soust-Verdaguer et al. (2017) argumenterer for at Screening LCA bør la seg gjennomføre i de tidlige fasene av et byggeprosjekt, og ettersom det er da LOD-nivået gjerne er på disse lave nivåene understreker dette poenget.

LOD-nivå 300-350

Ved dett nivået inneholder elementene informasjon om materialer, mengder, dimensjoner og orientering. Ved at majoriteten av det komplette bygget er inkludert i BIM-modellen på dette nivået kan man gå over til en Forenklet LCA metode hvor generiske verdier byttes ut med faktiske spesifikke verdier for materialer, mengder og typer som er valgt. I sin Green Template bruker Lee et al. (2015) LOD300 ved utførelse av sin LCA. Lee et al. (2015) kom frem til en feilmargin på 5% på sin materialuthenting i mot faktiske mengder, hovedsakelig grunnet at ikke all stålet hadde blitt inkludert ved LOD-nivå 300. Dette kan være et argument for at en Screening LCA også bør gjennomføres ved dette nivået ettersom den tar i bruk generiske verdier for for eksempel betongvegger som da dekker opp for alle materialene i den gitte type veggen, eventuelt at generiske verdier blir tatt i bruk for de elementene som ikke inneholder tilstrekkelig informasjon. Det er på dette LOD-nivået både Dupuis et al. (2017) og Soust-Verdaguer et al. (2017) mener en BIM-modell bør være for å gjennomføre en BIM-basert LCA.

LOD-nivå 400-500

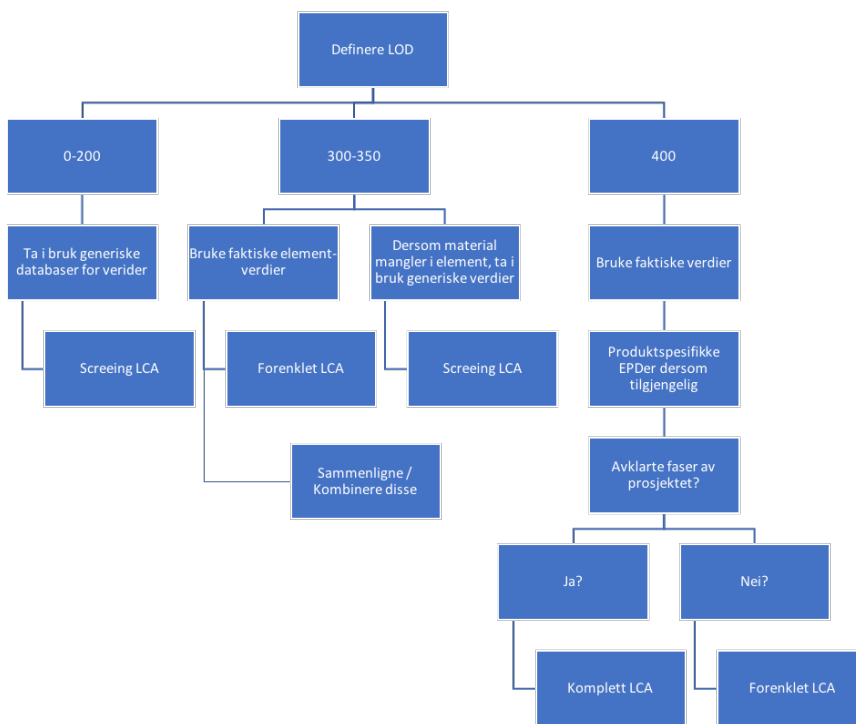
LOD-nivå 500 tilsvarer at elementene skal være som bygd, og er derfor svært lite eller aldri brukt. Et nivå på 400 skal også korrekt inkludere så og si all informa-

sjon inkludert, også data om montering- og festningsdetaljer. Det vil dermed ikke være nødvendig å bruke generiske verdier, og en Screening LCA vil dermed være lite egnet. I motsetning til LOD-nivå 300-350 skal det ikke være fare for at visse materialmengder mangler som det ble observert i studiet til Lee et al. (2015). De spesifikke produktene bør også være kjent på dette nivået og EPDer tilknyttet produktene bør brukes her for å oppnå minst mulig usikkerhet.

Om en bør velge en Forenklet eller Komplet LCA på dette nivået avhenger litt av hva som skal oppnås. Den Komplette LCAen setter strengere krav til dokumentasjon enn den forenklete, skal helst inkludere hele livsløpet, og utvide systemgrensene til å inkludere oppimot 100% av utslippene. Denne metoden vil være mer egnet i fasene av et byggeprosjekt som er ganske avklarte, mens den Forenklete metoden med fordel kan implementeres ved en tidligere fase hvor endel beslutninger ennå skal tas.

Oppsummering av bruk av LOD i BIM-modeller med tanke på LCA

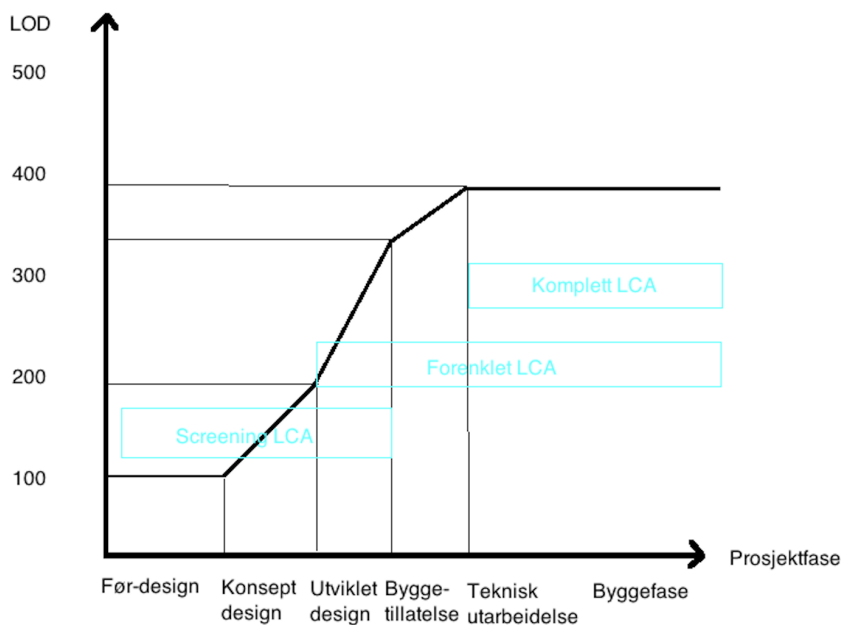
LOD-nivået til en BIM-modell har mye å si for hvilken LCA type som kan gjennomføres, og til hvilken nøyaktighet. Kort oppsummert vil graden av nøyaktighet øke i takt med et økende nivå av LOD. Om det øker lineart, proporsjonalt eller annet er ikke undersøkt i denne rapporten, men kunne vært interessant å se videre på. Figur 5.1 oppsummerer hvilken LCA metode som kan benyttes ved de ulike LOD-nivåene basert på diskusjonen i den teoretiske tilnærmingen.



Figur 5.1: Forslag til beslutningsplan for LCA basert på BIM-modellens LOD-nivå

Det er nødvendigvis ikke sånn at en hel BIM-modell overholder samme LOD-nivå, men heller at det vil variere ut i fra de ulike fagene i modellen. Det blir dermed feil å klassifisere en hel modell som BIM-modell med LOD-nivå X. LOD-nivået samsvarer heller ikke alltid med hvilken fase av prosjektet man befinner seg i, altså man kan ha en modell med lavt LOD-nivå selv om man befinner seg i konstruksjonsfasen for eksempel. Figur 5.2 illustrerer hvordan LOD-nivået til en

BIM-modell bør utvikle seg, og hvilke LCA-metoder som kan tas i bruk.



Figur 5.2: LCA-metoder basert på prosjektets LOD-nivå og fase

5.1.3 Styrker og svakheter ved bruk av BIM-basert LCA

For å peke ut noen av styrkene og svakheten ved bruken av en BIM-basert LCA er det utført en SWOT (Strength, Weaknesses, Opportunities, Threats) analyse. Analysen tar utgangspunkt i det teoretiske rammeverket som er etablert i Kapittel 2, med en BIM-basert LCA i tidligfase.

Interne forhold (Styrker og svakheter)

Styrker

- Utbedret bruk av miljøkriterier av forskjellige interessenter.
- Økt effektivitet med tanke på miljøevaluering, gjør oppgaven lettere og mindre tidkrevende.

-
- Unngå manuell gjentagelse av data. Når informasjonen først er lagt inn i BIM-modellen vil det ikke være nødvendig å repetere dataen i LCA-analysen.
 - Mer tilgjengelig informasjon tidlig i prosjektetfasene som fører til raskere og bedre avgjørelser.
 - Mulig å sammenligne ulike miljøløsninger i sanntid.

Svakheter

Integrasjonen av BIM og LCA har også noen mindre positive sider som trengs å forbedres gjennom videre arbeid.

- De forskjellige interessentene i prosjektet må være kompetente og teknologisk verbale nok til å forstå nytten av å inkludere LCA tidlig i ett prosjekt.
- Manglende standardisering av prosess og presentasjon av data i LCA-analyser.
- Ved lave LOD-nivåer må antagelser tas for LCA-analysen som medfører usikkerheter i vurderingen.
- Videre arbeid trengs for å sikre bedre interoperabilitet mellom BIM- og LCA-programmer.

Eksterne forhold (Muligheter og trusler)

Muligheter

- Det blir mer og mer obligatorisk å ta hensyn til miljøkriterier i byggebransjen, og kriteriene blir strengere og mer definerte.
- Det er økende behov for bærekraftige løsninger i byggebransjen.
- Det eksisterer allerede mange verktøy, de må bare synergere bedre.
- Det er et ekte behov for et verktøy som tillater dette.
- BIM blir mer og mer akseptert som beste praksis i markedet, og med en BIM-basert LCA vil det kunne øke aksepten ytterligere.

Trusler

-
- Ikke alle aktører er klar for viktigheten av å vurdere miljøaspektet til et bygg tidlig i prosjektet.
 - Noen aktører vil kunne nekte å implementere en BIM-basert LCA i tidlige fase på grunn av tiden og ressursene det vil kreve.
 - Det finnes mange forskjellige interessenter i byggebransjen med forskjellige prioriteringer, som kan gjør det vanskelig å standardisere og implementere endringer i bransjen.
 - Det er mangel på interoperabilitet mellom de forskjellige dataprogrammene.

5.2 Praktisk tilnærming: Case: ViaVika

Resultater med utgangspunkt i informasjon gjort tilgjengelig fra prosjektet ViaVika presenteres hver for seg videre i oppgaven. Resultater fra LOD- og LCA-arbeid presenteres hovedsakelig separat, men noe av diskusjonen foregår på tvers av temaene. Det er valgt å bruke grafer og diagrammer for å presentere resultater hvor selve utregningene er lagt ved som vedlegg som refereres til fortløpende. I tillegg til grafer og diagrammer følger det også forklarende tekst for å tydeliggjøre og for å få frem poeng.

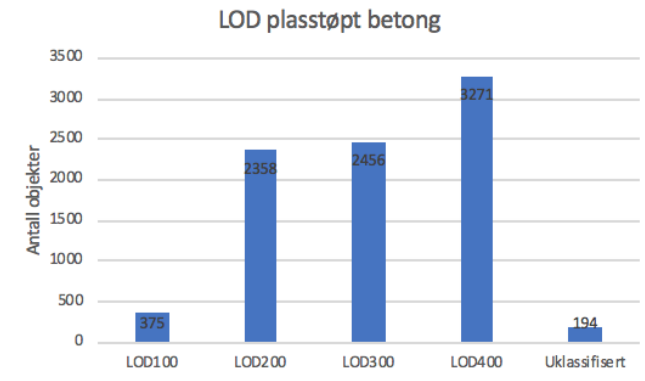
5.2.1 LOD

Under følger resultatene for RIB- og ARK-modellene i nevnt rekkefølge. Avslutningsvis sammenlignes og diskuteres resultatene opp mot hverandre og den avdekte teorien rundt temaet.

LOD i RIB-modell

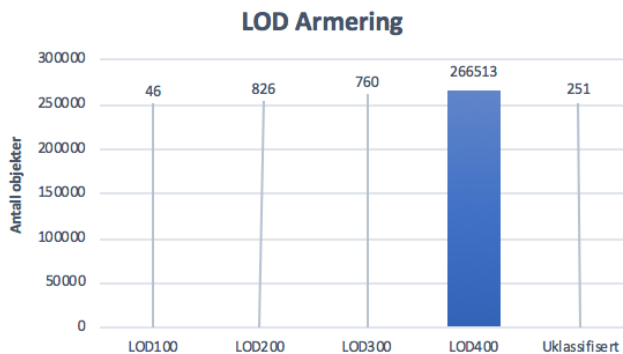
RIB-modellen består av 9 delfiler hvor 3 inneholder hovedsakelig plasstøpt betong og de resterende inneholder hovedsakelig armering. Figur 5.3 viser LOD-fordeling for de 3 modellene som tar for seg betongen. Som det kommer fram i figuren så holder LOD-nivået seg ganske jevnt fordel over LOD200, 300 og 400. LOD100 står for omtrent 4.3% av alle objektene, mens de uklassifiserte elementene kun står for ca 2.2%. Med tanke på det relativt stabilt høye LOD-nivået vil en BIM-basert

LCA analyse kunne gjennomføres med nokså stor sikkerhet, selv om den store andelen LOD200 medfører en viss usikkerhet.



Figur 5.3: LOD-fordeling for den plasstøpte betongen-delen av RIB-modellen

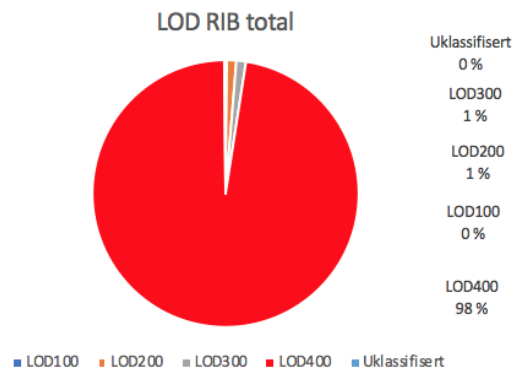
Figur 5.4 viser LOD-fordeling for armerings-delen av RIB-modellen. Her er det allerede gitt ett LOD-nivå (MMI) av RIB på det meste av armeringen, og grunnet den store mengden armering blir det så godt som 100% LOD400. Dette burde medføre en stor sikkerhet i BIM-basert LCA ettersom alle elementene er såpass godt definerte.



Figur 5.4: LOD-fordeling for armeringsdelen av RIB-modellen

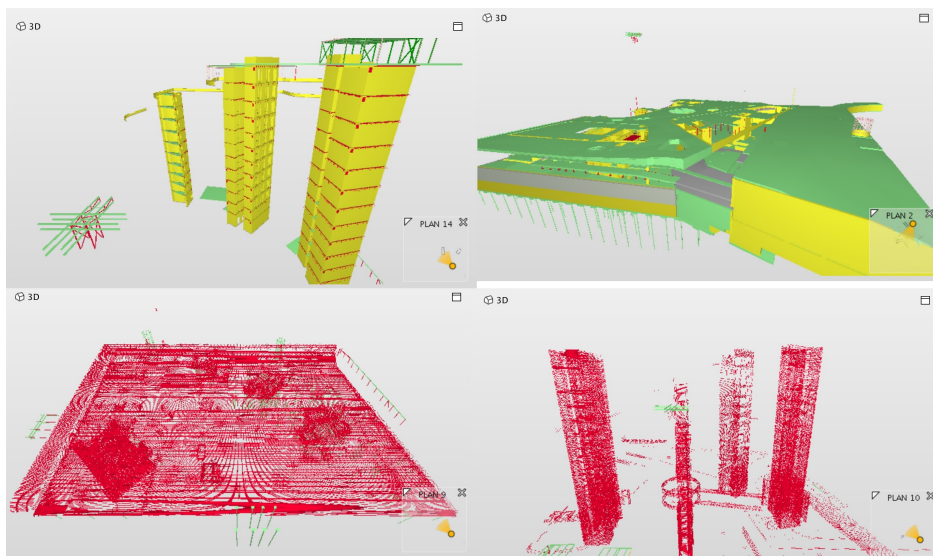
Figur 5.5 viser den totale fordelingen for LOD-nivået på den sammenlagte RIB-modellen. Ettersom så stor andel av denne består av armering med ferdigdefinert LOD-nivå på 400 overskygger dette de resterende nivåene. LOD-definering for RIB-modellen utgjør utviklingsnivået til modellen og ikke kun detaljnivået, og

det kan derfor antas at de prosjekterende har inkludert en usikkerhetsvurdering. Grunnet den høye andelen armering som fører til en veldig høy andel LOD400 bør det kunne gjennomføres en BIM-basert LCA på RIB-modellen med ganske stor treffsikkerhet totalt sett. Feilkildene nevnt i metoden knyttet til LOD-vurderingen av RIB-modellen bør derimot gjentas da det likevel er knyttet en stor usikkerhet til resultatet av LOD-klassifiseringen.



Figur 5.5: LOD-fordeling for den samlede RIB-modellen

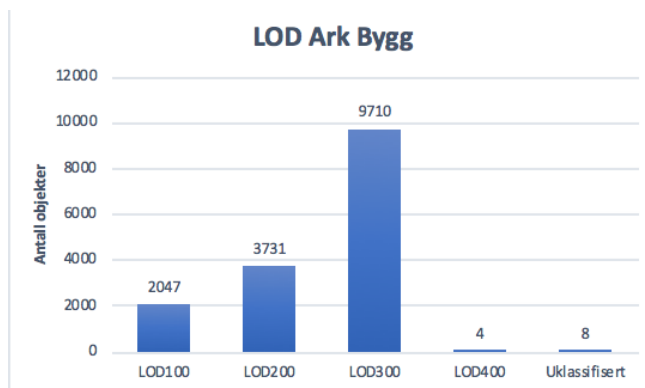
Figur 5.6 gir en visuell fremstilling av LOD-nivået for RIB-modellen, her representert av 2 filer fra armeringen og 2 filer fra betongen. Fargene er de samme som angitt i Metodekapitlet altså rød=400, gul=300, grønn=200, rosa=100 og uklassifiserte elementer beholder sin objektfarge som den eksisterer i modellen fra før. I forhold til Figur 5.5 kommer det tydeligere frem i Figur 5.6 hvordan RIB-modellen sitt LOD-nivå er fordelt. Det er ett resultat av den enorme mengden armeringselementer som får RIB-modellen til å fremstå som omtrent 100% LOD400, men det kommer synlig frem at sjakttårn og dekker ikke holder samme nivå.



Figur 5.6: Visuell fremstilling av LOD-fordelingen for den samlede RIB-modellen

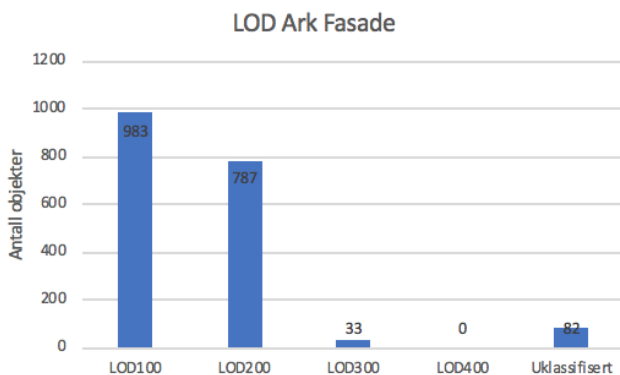
LOD i ARK-modell

ARK-modellen er delt i to mellom ARK:Bygg, og ARK:Fasade. Den ene filen innholdt altså kun fasaden, mens den andre inneholdt de resterende elementene av ARK-BIMen. Figur 5.7 viser fordelingen av LOD-nivå for Bygg-modellen. Modellen består hovedsakelig av LOD300-elementer (62.6%), mens de resterende er av nivå 100 (13.2%) og 200 (24.1%). Elementer med Nivå 400 eller uklassifisert er såpass få at man kan se bort fra de. LOD100-elementene er hovedsakelig dører, vinduer og noen innervegger som ikke har definert materiale, men bare er generiske.



Figur 5.7: LOD-fordeling for bygg-modellen for ARK-BIMen.

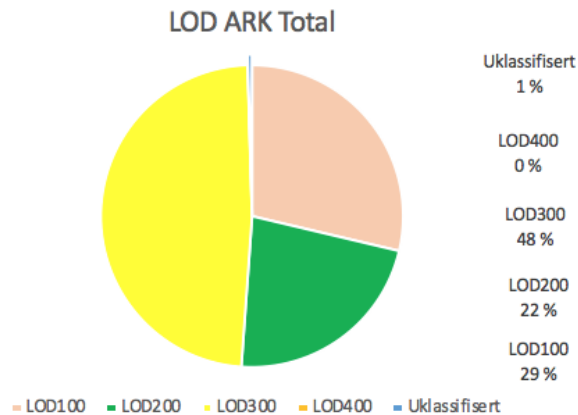
Figur 5.8 viser fordelingen av LOD-nivået til fasadedelen av ARK-BIMen. I forhold til BYGG-modellen så består denne av en mye større andel elementer med lav LOD-nivå. Grunnen til det høye antallet elementer med lav LOD er at veggene i modellen er lite definerte og mange ikke inneholdt materialvalg, men ofte bare var klassifisert som typ “yttervegg”. En BIM-basert LCA på denne modellen ville medbringe stor usikkerhet grunnet det lave detaljnivået. Denne usikkerheten knyttet til valg av materialer og produkttype vil kunne kontres ved bruk av generiske verdier derimot, som poengtert i teoridelen.



Figur 5.8: LOD-fordeling for fasade-modellen for ARK-BIMen.

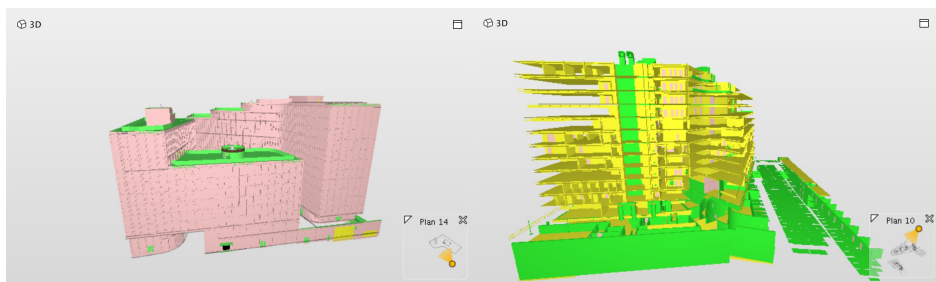
Dersom man ser på ARK-BIMen sin helhet, altså slår sammen bygg og fasade, ser man at nesten halvparten av elementene holder ett LOD-nivå på 300. Figur 5.9 viser denne fordeling, samt at mengden elementer med LOD100 og LOD200 er

nokså lik. Det som også er tydelig er mangelen på elementer med LOD400, men også at det er relativt få objekter som ikke har latt seg klassifisere.



Figur 5.9: LOD-fordeling for hele ARK-BIMen.

Figur 5.10 visualiserer LOD-nivået til ARK-BIMen hvor venstre side er fasademodellen, og byggmodellen er den til høyere. Fargene følger de samme klassifiseringene som nevnt i RIB-modellen. Man kan tydelige se hvordan veggene på fasademodellen holder ett lavt LOD-nivå i forhold til byggmodellen. Dersom man ser litt nøye på byggmodellen ser man at dørene er farget rosa, og det er disse som holder lavest LOD-nivå i den modellen. Etterom det er så få elementer med LOD400 eller som er uklassifiserte kommer de ikke til syne i den visuelle framstillingen med mindre man zoomer inn på akkurat de gjeldende elementene, men det er ikke vurdert som nødvendig her da det er mer helhetsinntrykket som skal presenteres.



Figur 5.10: Visuell presentasjon av LOD-nivå for ARK-BIM.

Sammenligning av LOD i RIB- og ARK-modell

Når man sammenligner den fullstendige RIB-modellen og ARK-modellen kommer det tydelig frem at RIB-modellen holder et overordnet høyere LOD-nivå. En stor grunn til dette er jo det store antallet armeringselementer som alle har LOD400. Hvis man ser bort i fra armering og kun fokuserer på betongdelen av RIB-modellen så holder den likevel et større LOD-nivå enn det ARK-modellen gjør. ARK-modellen består av mange generiske vegger blant annet, noe som fører til et generelt lavt LOD-nivå med en større tilknyttet usikkerhet. Cavalliere et al. (2019) skriver at RIB-relaterte byggelementer ofte oppnår ett høyere detaljnivå tidlig ettersom for eksempel bæresystem må bestemmes tidlig for å kunne utføre kalkulasjoner på det, noe som da kan se ut til å stemme basert på denne caseoppgaven.

Å få en eksakt definisjon av LOD-nivåene på de ulike modellene er vanskelig, spesielt med tanke på at armeringen allerede er gitt et LOD-nivå (MMI) som muligens har tatt i bruk andre retningslinjer enn det som er fulgt i denne oppgaven. At kun armingen var gitt et LOD-nivå belyser også påstanden til blant annet Cavalliere et al. (2019) Yang et al. (2018) og (Soust-Verdaguer et al., 2017) om at LOD er lite tatt i bruk både i bransjen i tillegg til i studier. Denne oppgaven har definert LOD-nivå til BIM-elementene etter tilgjengelig informasjon om elementene som for eksempel materialvalg, dimensjoner og plassering og den tilhørende sikkerheten knyttet til informasjonen. Både BIM-modellen til ARK og RIB inneholder et relativt høyt detaljnivå som kommer frem ved bruk av flere lag, produktinfo og referanser til produktet som skal brukes, og det er dette som informasjonssikkerheten baserer seg på. Ettersom de prosjekterende har tatt seg tiden til å legge inn detaljene kan de regnes som kan sikre, selv om detaljnivå og informasjonssikkerhet ikke har en direkte korrelasjon.

Som Yang et al. (2018) og Ajayi et al. (2015) viser kan LOD kan være et sterkt hjelpemiddel til å ta design- og materialbeslutninger, dersom det brukes riktig. Dette gjelder også i denne oppgaven, selv om usikkerheten knyttet til LOD-nivået definert i oppgaven, og nivået på 400 som var ferdigdefinert, gjør at man ikke nødvendigvis kan sette sin fulle lit til dette som beslutningsgrunnlag. Som nevnt var det kun armeringen i RIB-modellen som hadde ett gitt LOD-nivå. Dette nivået

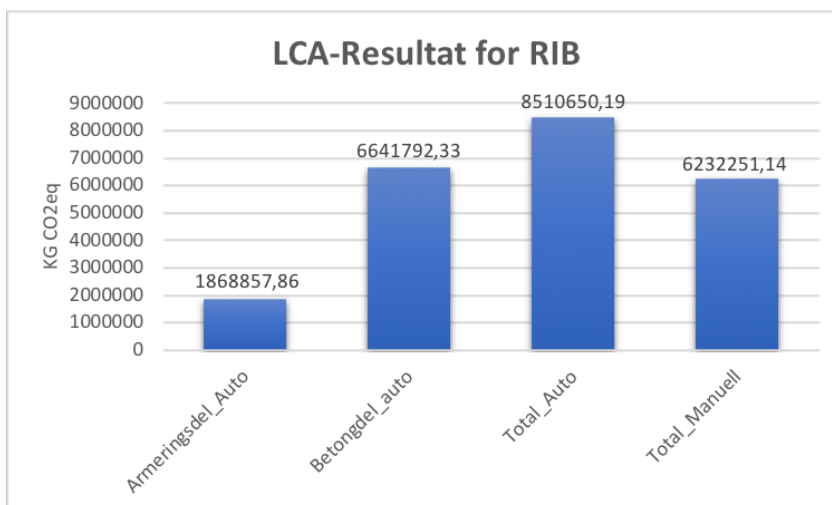
var det samme selv om detaljnivået varierte noe ved en nøyere inspeksjon av de forskjellige armeringselementene, noe som kan tyde på at ansvarlig prosjekterende bare hadde gitt all armering ett nivå, selv om alle elementene ikke tilsvarte det gitte nivået. Det kan dermed trygt konstanteres at LOD ikke er fullt utnyttet og brukt som et hjelpemiddel i dette prosjektet med tanke på at kun armeringen hadde ett gitt nivå, og dette ikke nødvendigvis var konsekvent med nivået gitt. Dersom prosjektet, eller i alle fall BIM-modellen, hadde fulgt en strukturert LOD-plan ala den presentert av Grytting et al. (2017) kunne det gjort det lettere å ta beslutninger om materialvalg, og LCA-beregninger gjort basert på modellen ville vært mer presise.

5.2.2 LCA

De neste delkapitlene tar for seg resultatene fra den automatiske og den manuelle LCAen for RIB- og ARK-modellene i nevnt rekkefølge. Resultatene forklares og diskuteres fortløpende før resultatene avslutningsvis sammenlignes med hverandre og knyttes opp mot litteraturen.

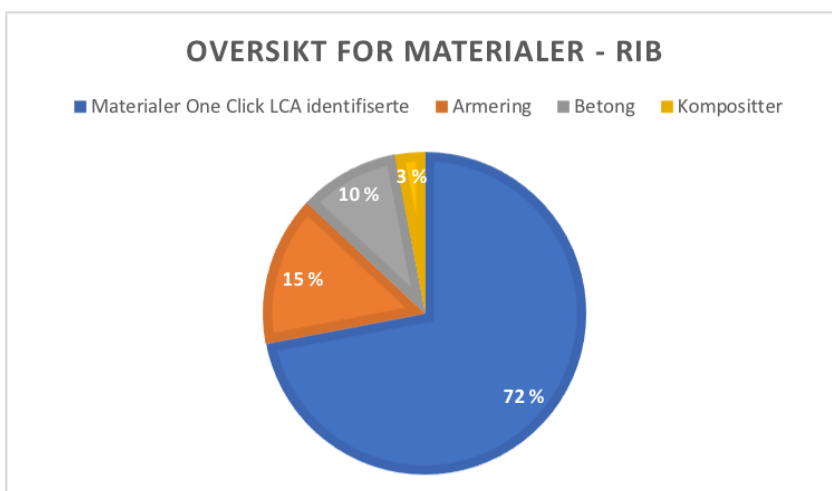
RIB-modell

Klimagassutslippene for den samlede RIB-modellen er gitt i Figur 5.11. Den automatiske versjonen er delt opp i armerings- og betongdel fordi dette ble lettest i One Click LCA, mens den manuelle er kun den samlede. For de fullstendige beregningene se Veldegg G1-G2. Det totale utslippet for den manuelle beregningen er vesentlig lavere enn den automatiske, til tross for at den totale mengden material er større i den manuelle (hovedsakelig litt mer armering i den manuelle utregningen). Dette skyldes hovedsakelig forskjellen i valg av EPDer. En av de største forskjellene kommer av valget av betong hvor One Click LCA hovedsakelig hadde anbefalt / valgt betong med lavkarbonklasse B, mens i den manuelle er det valgt produktspesifikk EPD fra Unicon Sjursøya. Eksempelvis så har Unicons B35 fra Sjursøya en $\text{CO}_2\text{eq}/\text{m}^3$ på 195.75 kg mens B35 klasse B valgt av One Click LCA har 270.00 kg $\text{CO}_2\text{eq}/\text{m}^3$. Ett annet bidrag til forskjellen kommer av valget av stålprofiler hvor One Click LCA hadde valgt 60% resirkulert stål, mens i den manuelle er valgt å bruke 90%.



Figur 5.11: Klimagassutslipp for den samlede RIB-modellen.

Ved den automatiske LCAen var det ikke alle materialer som ble gjenkjent av One Click LCA ved import. Endel av materialene var ikke definert riktig, ved for eksempel at materialtypen ikke var gitt i materialfanen, men i navnfanen, noe som førte til at det ikke ble riktig gjenkjent. Figur 5.12 viser hvor mye som ble automatisk gjenkjent av av One Click LCA, og hva som måtte bestemmes manuelt. Dette illustrerer godt hvor sårbar en BIM-basert LCA er med tanke på feil bruk.

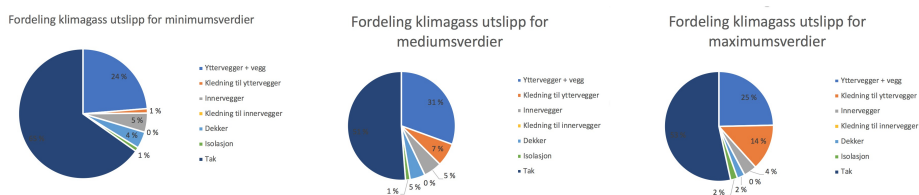


Figur 5.12: Oversikt over andel materialer One Click LCA gjenkjente.

Hadde ikke de manuelle bidragene i den automatiske LCAen blitt lagt med ville dette gi store utslag på det totale klimagassutslippet, men det er valgt å inkludere de for å være mer sammenlignbar med den manuelle LCAen. Poenget ved at ikke alle materialer blir plukket opp kommer likevel frem. Komposittene som er inkludert i den automatiske LCAen er også lagt med manuelt etter å ha blitt sortert i Excel.

ARK-modell

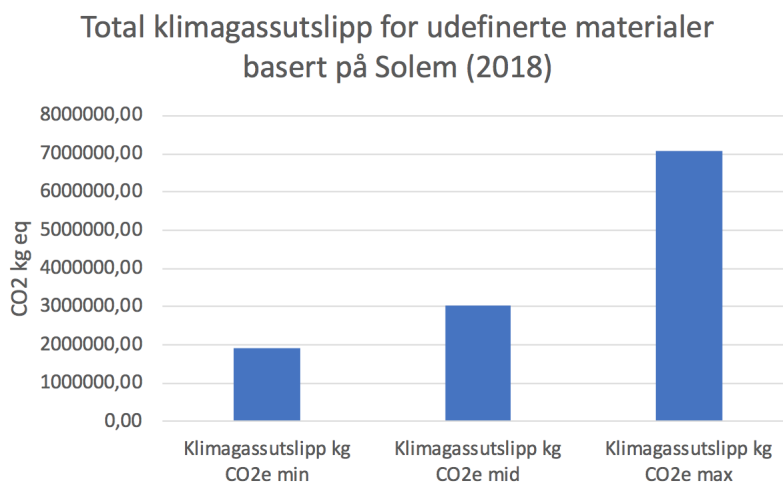
Under følger resultatene for den automatiske og den manuelle LCA-beregningen. ARK-modellen er som nevnt tidligere delt opp i to deler: fasade og bygg. Fasadedelen bestod hovedsakelig av vegger og tak som ikke hadde definerte materialer mens i byggdelen var det noen vegger, dekker, isolasjon, tak og kledninger som ikke hadde definerte materialer. For å beregne klimagassutslippene for disse udefinerte materialene ble erfaringstall og EPDer fra (Solem, 2018) brukt. Det er valgt å bruke 3 verdier for hver konstruksjonsdel; en minimum, en median og en maksimum. Figur 5.13 viser hvordan de ulike delene bidro til det totale klimagassutslippet for de udefinerte materialene. Som man ser så er det ganske utslagsgivende på det videre resultatet hvilke utslippsfaktorer man bruker. For de udefinerte materialene er det taket som utgjør størstedelen av det totale utslippet i alle de 3 variantene, etterfulgt av yttervegger og kledning. Hvor stor andel de forskjellige utgjør avhenger av hvilke av de 3 man velger å bruke i den totale LCAen for ARK-modellen. For de fullstendige utregningene av de udefinerte materialene se Vedlegg F.



Figur 5.13: Oversikt over klimagassutslipp for min, med og maksverdier for de udefinerte materialene.

Figur 5.14 viser hvordan det totale utslippet varierer for min-, median- og maksverdier for utslippsfaktorene brukt. Som man ser i Figur 5.14 er usikkerhetsspennet til klimagassutslippet for de udefinerte materialene veldig stort. Økningen fra min til maks er på hele 371%, og illustrerer godt usikkerhetsmomentet knyttet

til lave LOD-nivåer diskutert i den teoretiske tilnærmingen. For de videre LCA-utregningene for ARK-modellen velges det i denne oppgaven å bruke medianverdien da denne regnes som mest sannsynlig / representativ og det ansees heller ikke så kritisk hvilken som blir brukt ettersom LCA-resultatene i oppgaven hovedsakelig sammenlignes internt og ikke er ment for annen sammenligning.



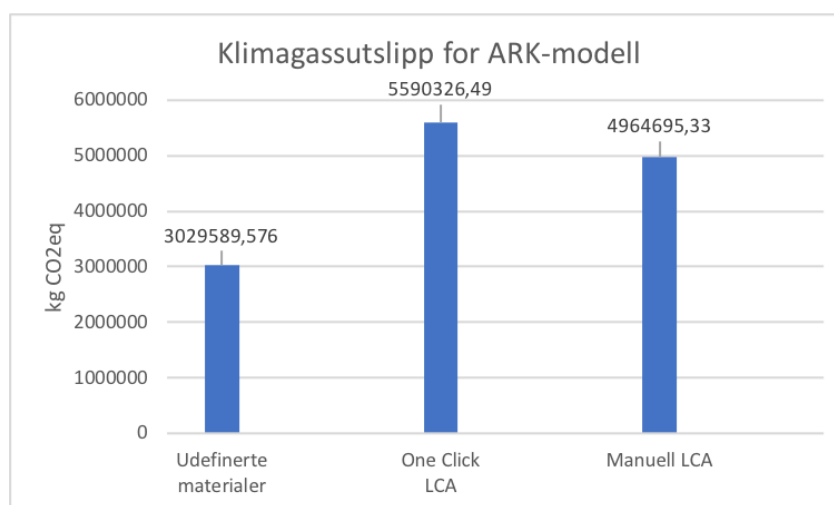
Figur 5.14: Oversikt over det totale klimagassutslippet for min, med og maksverdier for de udefinerte materialene.

Det er ikke bare usikkerhetsmomentet knyttet til lave LOD-nivå som illustreres i Figur 5.13 og 5.14, men også muligheten for å bruke generiske verdier / erfaringstall for å dekke informasjonsgapet tilknyttet elementer med disse lave LOD-nivåene. På denne måten blir mer av det faktiske bygget inkludert, selv om materialene også videre ikke er lagt inn i modellen ennå.

One Click LCA gjenkjente naturlig nok ikke igjen de overnevnte elementene ettersom de ikke hadde noen definerte materialer, men hovedsakelig bare var beskrevet med navn som “innervegg” eller “yttervegg”. Det er derfor valgt å legge til de manuelle utregningene av de udefinerte materialene i den automatiske LCAen i tillegg til den manuelle LCAen. Dette gjøres for å få bedre sammenligningsgrunnlag, og fordi det ansees at poenget ved at automatisk BIM-basert LCA ikke fungerer for udefinerte materialer kommer godt frem, selv om de generiske utslippene for udefinerte materialer inkluderes. Figur 5.16 illustrerer dette godt.

Figur 5.15 viser det totale klimagassutslippet for automatisk og manuell LCA, i tillegg til verdien for de udefinerte materialene. For den fullstendige utregning se Vedlegg H1-H2. Dersom man ser bort i fra de utslippene manuelt beregnet for de udefinerte materialene er utslippet for den automatiske LCAen 12,6% større enn for den manuelle til tross for at den manuelle inneholder totalt mer materialevolum enn den automatiske. Dette skyldes primært at utslippsfaktorene for betongen One Click LCA har valgt som typisk er høyere enn de produktspesifikke faktorene fra Unicon (plasstøpt) og Block Berge (prefab). Dersom betongelementene i ARK-modellen hadde vært like detaljerte som for eksempel armeringen i RIB-modellen (produkt og produsent oppgitt) ville denne forskjellen utlignes betraktelig ved at korrekt EPD hadde blitt gjenkjent av One Click LCA.

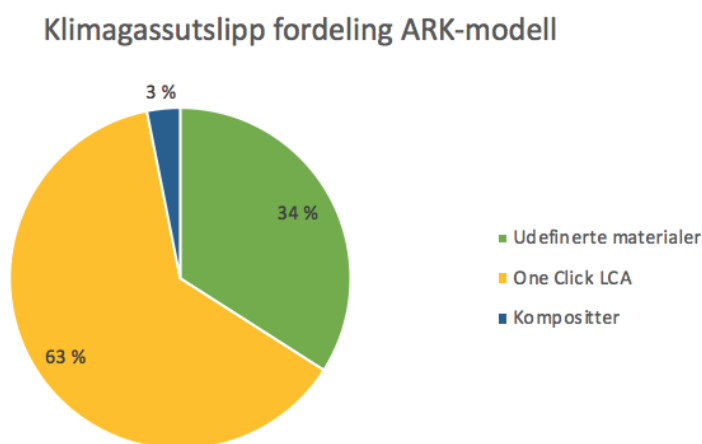
Resultatet av de udefinerte materialene inngår egentlig kun i den manuelle beregningen, og dersom dette hadde vært tilfellet ville den manuelle beregningen være over 30% så stor som den automatiske. BIM-basert automatisk LCA på dette LOD-nivået kan dermed regnes som svært usikkert, og nødvendigheten for generiske verdier for å dekke for informasjonsgapet er tydelig.



Figur 5.15: Klimagassutslipp for ARK-modell

Figur 5.16 viser fordelingen av hvor mye av det totale klimagassutslippet som ble beregnet av One Click LCA, hva som ble lagt inn fra de udefinerte mate-

rialene og hvor mye som ble lagt inn fra komposittmaterialer. Her tydeliggjøres nødvendigheten for interoperabilitet mellom de ulike programmene dersom man skal få pålitelige resultater. Dersom man bare skulle tatt i bruk klimagassutslippene One Click LCA klarte å gjenkjenne og regne ut ville man på dette stadiet av byggeprosjektet underslå det totale utslippet med 37%, og man ville hatt et veldig upålitelig vurderingsgrunnlag. De udefinerte materialene utgjør hele 34% av det totale utslippet for ARK-modellen ved den automatiske beregningen, og det er trygt å si at automatisering av LCA ved bruk av BIM ved så lave LOD-nivåer som var gjennomgående i ARK-modellen er problematisk.



Figur 5.16: Fordeling av klimagassutslipp fra One Click LCA, manuelle utregninger og kompositter.

Sammenligning av RIB- og ARK-modell

I RIB-modellen ser man en forskjell på automatisk og manuell LCA på ca 27%. Dette skyldes hovedsakelig valg av EPDer for betongen og stålet. For ARK-modellen, dersom man ser bort i fra de manuelt utregnede verdiene for udefinerte materialer, er det forskjell på ca 11%. Det kan derfor virke som ARK-modellen egner seg bedre for automatisk LCA ved først øyekast, men dersom man inkluderer verdiene for de udefinerte materialene i den manuelle og ikke i den automatiske blir forskjellen ca 31% andre vegen (manuell blir større enn automatisk). Det kan dermed heller virke som RIB-modellen er best egnet for BIM-basert LCA, noe som også stem-

mer godt overens med det faktum at RIB-modellen hadde et høyere LOD-nivå enn ARK-modellen.

Soust-Verdaguer et al. (2017) nevner 3 nivåer for å kombinere BIM og LCA, hvor det første nivået er å bruke BIM-modellen som et verktøy for å oppnå bill of quantities (mengdeberegning). Det er på mange måter på dette nivået denne oppgaven har integrert BIM og LCA, og det ligner den første metoden til BIM-integrert LCA presentert av Antón and Díaz (2014). For å oppnå en høyere integrasjonsgrad foreslår Soust-Verdaguer et al. (2017) å inkludere miljøegenskaper til materialer og objekter i selve BIM-modellen i sitt andre integrasjonsnivå, og i sitt tredje og siste nivå det å kombinere data og verktøy med høy interoperabilitet. I denne oppgaven kunne et høyere integrasjonsnivå potensielt oppnås ved å bruke en tilstrekkelig sofistikert plug-in som kunne gi tilbakemeldinger på ulike materialvalg i sanntid. One Lcick LCA tilbyr noe lignende dette til Revit, men for LCC og ikke LCA.

En svakhet ved det første integrasjonsnivået til Soust-Verdaguer et al. (2017) og den første metoden til Antón and Díaz (2014) kommer tydelig frem i denne oppgaven ettersom det dreier seg om et prosjekt i utvikling, og BIM-modellene kontinuerlig oppdateres. I denne oppgaven er det valgt å ta i bruk BIM-modellene for LCA slik de eksisterte på ett gitt tidspunkt, men dersom dette skulle gjøres i et faktisk byggeprosjekt måtte man oppdatert mengdeberegningene for hver gang modellen ble oppdatert. Dette ville være både ressurs- og tidskrevende. En måte man kunne redusere tids- og ressursbruken ved BIM-basert LCA i ett prosjekt i utvikling ville da vært å øke integrasjonsgraden til nivå 2 eller 3. Resultatene fra den teoretiske og praktiske tilnærmingen viser ikke hvordan man kunne økt integrasjonsgraden, men understreker heller behovet for det.

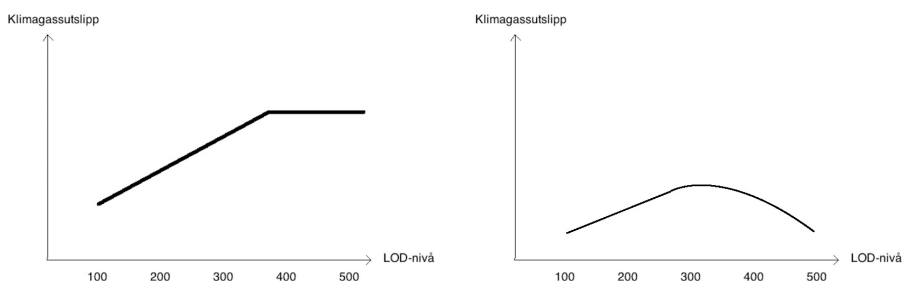
5.3 Oppsummerende diskusjon fra praktisk og teoretisk tilnærming

Under følger en oppsummerende diskusjon om hvordan miljøpåvirkningen til et byggeprosjekt utvikler seg, og hvordan man kan positivt påvirke denne utviklingen ved bruken av BIM-basert LCA i tillegg til hvordan LOD-nivået spiller inn i det hele. Den oppsummerende diskusjonen baserer seg på litteraturen, den teore-

tiske tilnærmingen og den praktiske tilnærmingen.

Ettersom en BIM-modell utvikles og LOD-nivået øker vil også flere og flere elementer legges til i modellen. Ved et økende antall elementer vil en naturlig følge være en økende mengde klimagassutslipp ettersom mer av det faktiske bygget blir inkludert i modellen. Dette er ikke ønskelig ettersom man allerede tidlig i designfasene ønsker å gi korrekte estimater for miljøpåvirkninger. Dette er ønskelig fordi en BIM-basert LCA skal ha for hensikt å kunne brukes til å optimalisere materialvalg fortløpende, og dette kan kun gjøres dersom resultatene fra LCAen er til å stole på.

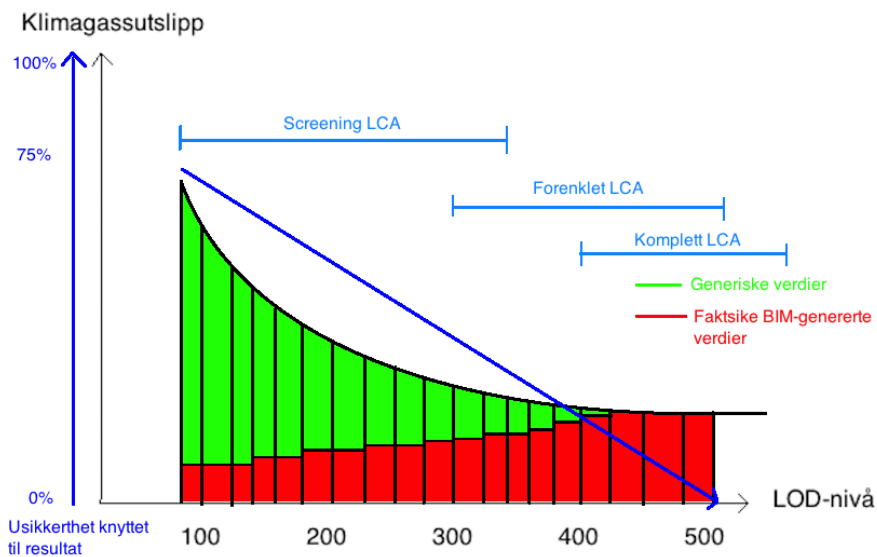
Figur 5.17 viser hvordan en uønsket sammenheng mellom økende LOD-nivå og miljøpåvirkning, og en ønsket utvikling ved å optimalisere materialvalget. I den uønskede er det en linear sammenheng mellom klimagassutslipp og LOD-nivå ettersom flere elementer blir lagt inn i modellen desto høyere blir utslippene. For versjonen hvor materialvalg blir optimalisert antas dette, basert på teorien, å ta effekt ved LOD-nivå 300 ettersom dette er nivået hvor elementene er definerte med tanke på materialvalg. For den uønskede utviklingen regnes det ikke med at det vil være en økning av klimagassutslipp mellom LOD-nivå 400 og 500 ettersom ved nivå 400 vil modellen være såpass detaljert at så og si alle elementer vil være lagt inn.



Figur 5.17: Uønsket og ønsket utvikling av miljøpåvirkninger ved økende LOD-nivå

I en ideell situasjon vil det totale utslippet til et bygg kunne kartlegges med en gang for så å bruke hele designfasen og de videre fasene på å redusere utslipp ved optimalisering av materialvalg, byggeteknikk og lignende. I praktisk er dette lite realiserbart slik situasjonen er nå ettersom det er knyttet for stor usikkerhet til

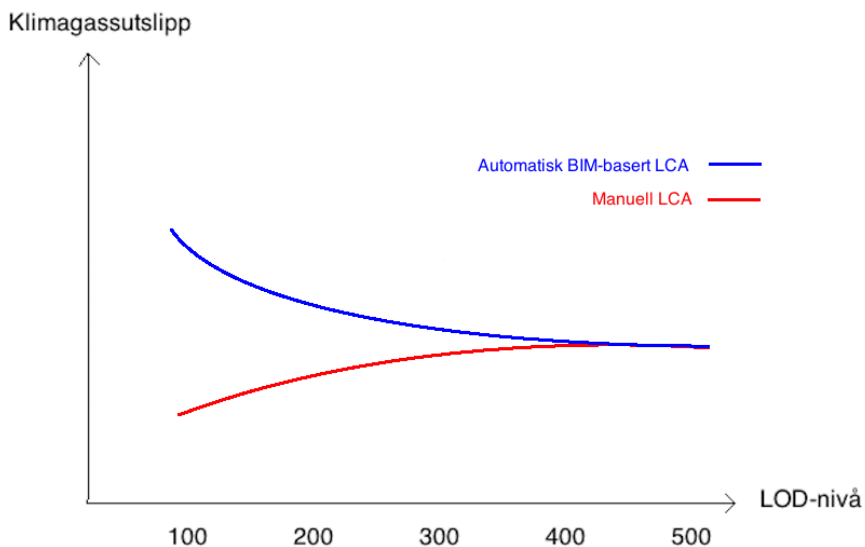
design- og materialvalg tidlig i prosjektet, altså ved lav LOD. I følge teorien vil man ved disse lave LOD-nivåene kunne ta i bruk screening LCA for å identifiserer de største bidragsyterne til klimagassregnskapet, dersom man har tilgang til generiske verdier som er egnet for bygget som skal bygges. Ved å bruke tidligere erfaringstall fra lignende prosjekter og egne databaser for generiske verdier man kan ta i bruk ved lave LOD-nivåer, vil man etterhvert kunne følge en utvikling som er vist i Figur 5.18. Som vist i figuren går usikkerheten tilnyttet resultatet av LCAen ned i takt med økende LOD-nivå. I tillegg vil mer og mer av det totale klimagassutslippet bli beregnet av de faktiske verdiene fra BIM-modellen, mens nødvendigheten for supplerende generiske verdier går ned. De faktiske forholdene og den faktiske usikkerheten er riktignok kun konseptuell, og viser ikke til noen utregnet realitet.



Figur 5.18: Ideell utvikling av klimagassutslipp som følge av økende LOD-nivå og mer presise beslutninger med synkende usikkerhet tilknyttet til resultatene.

Som det kommer frem i den praktiske tilnærmingen er det klar sammenheng mellom LOD-nivået til BIM-modellen og nøyaktigheten til resultatet av LCAen utført basert på denne modellen. I RIB-modellen var det et jevnt høyere LOD-nivå enn i ARK-modellen og det var ingen behov for å bruke generiske verdier for å

dekke opp for udefinerte materialer. Materialene lot seg også lettere gjenkjenne ved at blant annet produktnavn og flere spesifikasjoner var oppgitt i elementene i RIB-modellen. Dette førte til at One Click LCA kunne gi mer korrekte utslippsfaktorer. Ønskelig vil forskjellen mellom en automatisk LCA og en manuell LCA utvikle seg i takt med LOD-nivået som illustrert i Figur 5.19. Den automatiske LCAen må nødvendigvis ikke ha en høyere startverdi enn den manuelle, det er heller forskjellen mellom de to som viktig.



Figur 5.19: Forskjellen mellom manuell og automatisk LCA.

Både Figur 5.17, 5.18 og 5.19 for hvordan miljøpåvirkning kan utfolde seg igjennom et prosjekt i takt med et økende LOD-nivå er kun konseptuelle, og viser en tilnærming til sannheten da ingen av grafene baserer seg på virkelige tall og statistikk, men heller på det som kommer frem i litteraturen samt den teoretiske- og den praktiske tilnærmingen til problemstillingen. Figurene 5.17 til 5.19 er noe missvisende derimot ved at de antar ett LOD-nivå for hele BIM-modellen. Det kommer frem både i den teoretiske og den praktiske tilnærmingen at dette ikke er tilfellet i realiteten, men at elementer knyttet til ulike disipliner utvikler seg forskjellig fra hverandre. Grytting et al. (2017) presenterer en mulig oppdeling på hvordan de ulike elementene bør utvikle seg i sin LOD-plan. Man bør derfor se

på de ulike fagene og lage egne LOD-planer for hvert enkelt fag som forsøker å oppnå noe lignende det presentert i Figur 5.18

Konklusjon

Byggesektoren står globalt for en stor andel av verdens totale klimagassutslipp og energiforbruk. Det er en bransje i vekst, men med stort potensiale for forbedring når det kommer til bærekraftighet og klimapåvirkning. Mye av dette potensialet ligger i bruken av digitale verktøy, hvor det her er satt fokus på BIM og LCA, og en integrasjon av disse. Det er en økende interesse for en kombinerings av BIM og LCA, men litteraturen tilgjengelig er fremdels noe mangelfull.

Etter flere år med energieffektivisering i bruksfase gjennom statelige insentiver og diverse miljøsertifiseringer nærmer man seg et punkt hvor det totale klimagassutslippet fra bruksfasen ikke lenger lar seg nevneverdig redusere. Det er i ferd med å oppstå en likevekt mellom utslippene fra bruksfasen og produksjonsfasen sammen med avhandlingsfasen. Dette vil si at materialer og produksjon står for en veldig stor andel av det totale utslippet til ett bygg igjennom sitt livsløp. For å effektivt kunne redusere disse utslippene utforsker denne oppgaven det relativt nye konseptet integrert BIM og LCA.

6.1 LCA og BIM: Dagens situasjon

Oppgaven viser at en integrert løsning på BIM og LCA kan fungere som et beslutningsverktøy i tidlige faser av byggeprosjekter hvor de som skal prosjektere og designe bygget kan dra stor nytte av et slikt verktøy. Et slikt integrert verktøy er ikke foruten sine utfordringer derimot, og oppgavene viser at det er fremdeles et

godt stykke igjen før en slik løsning kan fullstendig automatiseres.

BIM-LCA kan utvikles til tre nivåer. Første nivået bruker BIM som et verktøy under LCI-steget for å hente ut datamengder og bygningselementer. Nivå to tar i tillegg å legger til miljøkriterier og egenskaper i selve BIM-modellen. Nivå tre går ut på en automatisert prosess ved kombinasjon av ulike data og programmer med høy interoperabilitet.

Det finnes i dag flere verktøy som kombinerer BIM og LCA hvor Tally og One Click LCA er blant de største. En av fordelene ved disse verktøyene er potensialet for å redusere ressurskrevende datainput-arbeid og manuelle operasjoner. En av utfordringene derimot med integrering av BIM og LCA verktøy er lav interoperabilitet. Det bør jobbes videre mot åpne filformat, i stedet for programtillegg til enkelte programmer for å gjøre det tilgjengelig for flest mulig.

6.2 LOD-nivå og LCA

I forhold til LOD-nivå vises det at LCA kan la seg gjennomføre tidlig i prosjektfasene, men desto lavere LOD-nivå desto mer usikre blir resultatene til LCAen. Ved de laveste LOD-nivåene anbefales Screening LCA og Forenklet LCA, mens for de midtre og høyere nivåene anbefales Forenklet eller Komplet LCA. Ettersom prosjektet som denne oppgaven tar for seg gikk fremover utviklet ganske naturligvis også BIM-modellene tilknyttet prosjektet seg, men modellene ble kun benyttet i den tilstanden de befant seg i 1. Mars. På dette tidspunktet hadde RIB-modellen et jevnt høyere LOD-nivå enn ARK-modellen, noe som samsvarer med funn gjort i litteraturen.

Noe som kom tydelig frem i den praktiske caseoppgaven var utfordringene udefinerte elementer og materialer bød på ved den automatiske LCAen. Det krevde svært flere enn "One Click" for å blant annet få med de totale utslippene fra tak, kompositter og udefinerte vegger.

6.3 BIM+LCA: Fordeler og utfordringer

En integrasjon av BIM og LCA byr på flere klare fordeler når det kommer til å redusere byggeprosjekters miljøpåvirkning. Ved å bruke BIM-modeller til å utføre LCA i tidligfase får beslutningstagere et større og bedre vurderingsgrunnlag når det kommer til design- og materialvalg med tanke på miljø. En slik integrasjon kan også redusere kompetansebehovet nødvendig for å gjennomføre en LCA, noe som fører til en utbredt bruk av LCA. LCA ved bruk av BIM vil også effektivisere selve analysen ved å kutte ut tidkrevende manuelle operasjoner som kan senke terskelen for å gjennomføre LCAer i startfasene av et byggeprosjekt.

BIM-basert LCA kommer ikke uten sine utfordringer riktignok. En fullstendig automatisert løsning setter store krav til teknologiens interoperabilitet. De forskjellige programmene må kunne snakke godt sammen, men det samme gjelder også teknologien som blir tatt i bruk og de som tar den i bruk. Teknologien er bare så god som de som tar den i bruk, og en integrasjon av LCA og BIM vil kunne stille krav til den teknologiske kompetasen til de potensielle brukerne. En annen utfordring er usikkerheten knyttet til resultatene en BIM-basert LCA gir dersom BIM-modellen er umoden (lav LOD).

6.4 Reduksjon av byggebransjens miljøpåvirkninger ved å integrere BIM og LCA

Som det kommer frem i både den teoretiske og den praktiske delen av oppgaven kan ulike LCA-metoder tas i bruk underveis i et byggeprosjekt for å bevisstgjøre interessenter og beslutningstakere på miljøpåvirkninger av blant annet materialvalg. I tidligfase vil en forenklet LCA-metode med fokus på materialvalg og komplette generiske utslippsverdier som dekker for den manglende informasjonen i denne fasen være kritisk. De generiske utslippsverdiene kan dekke for udefinerte bygningselementer og deler av BIM-modellen som ennå ikke er lagt inn. Dette kan føre til høye utslippsverdier i starten, men med en synkende trend utover designfasen ettersom flere og flere elementer blir definert. Når man tar i bruk generiske utslippsverdier er det viktig å inkludere usikkerheten tilknyttet disse verdiene. Dette kan hovedsakelig gjøres på to forskjellige måter; Man kan sette opp en sannsynlighetsmatrise for de ulike byggvalgene som vektet sannsynligheten for at det

blir bygd på den ene eller andre måten, eller så kan man oppgi en sannsynlighetsfordeling med minimum- og maksimumverdier for utslippsverdiene til materialer og/eller elementer. Ved å bruke BIM-modellen på denne måten i tidligfasen til å utføre en forenklet LCA kan man få en oversikt over bygningers utslippsnivåer, usikkerheten knyttet til disse nivåene avhengig av modellens LOD-nivå, identifisere de store bidragsyterne og dermed kunne redusere miljøpåvirkningen til bygg gjennom integrasjon av BIM og LCA.

Resultatene fra den praktiske caseoppgaven viser hvor stor påvirkning de ulike metodene for mengdeuthenting hadde på de forventede utslippene. De ulike forenklingene og metodene for de udefinerte elementene ga ulike incitament for å redusere miljøpåvirkningene. Det er derfor viktig å være bevisst på, og reflektere rundt, hvilke metoder man tar i bruk for mengdeuthenting når man gjennomfører en BIM-basert LCA da resultatet av dette vil variere.

For å avgjøre hvilken LCA som kan og bør gjøres igjennom de tidlige fasene av et byggeprosjekt kan det lønne seg å følge en LOD-plan. I BIM-modellene som ble undersøkt i denne oppgaven var det kun armeringen som hadde et gitt LOD-nivå, noe som gjorde det tid- og ressurskrevende å kartlegge og sortere de resterende elementene i modellene ut i fra hvor detaljerte de var. Dersom de andre elementgruppene fulgte en planlagt LOD-utvikling som gjorde det lettere å sortere de, ville det vært enklere å vurdere miljøpåvirkningene tidligere med mindre tilknyttet usikkerhet. Det er allikevel vist at forenklete framgangsmåter for LCA som benytter seg av den teknologiske utviklingen som BIM representerer kan bidra til å vurdere miljøpåvirkninger i tidligfase og utover i designfasen, før så en komplett LCA kan gjennomføres når bygget er ferdig designet og klart for å bli bygget.

Forslag til videre arbeid

Som videre arbeid bør det videreforskes hvordan man kan få til en fullstendig automatisert integrasjon av BIM og LCA. En måte vil være å sette opp et eget rammeverk for hvordan dette kan løses, eller evaluere de som allerede eksisterer for så å finne ut hvilket som har størst potensial og vil kunne regnes som “best practice”. Det kunne vært spennende å utvide tidshorisonten på den praktiske tilnærmingen, sånn at man kunne følge LOD-nivået fra prosjektets start til slutt, og ikke bare ta utgangspunkt i en fase av byggeprosjektet. På denne måten kunne man få et mer komplett resultat fra caseoppgaven som ville vært lettere å sammenligne med den teoretiske litteraturen med tanke på LOD-nivåets innvirkning på muligheten til å gjennomføre en LCA. I tillegg ville det vært spennende å sammenligne to prosjekter hvor det ene prosjektet følger en strukturert og planlagt LOD-plan, mens det andre ikke gjorde det for så å se på forskjellen i klimagassutslipp hos de to prosjektene. Dette kunne bidratt til ett tydeligere bilde over hvilke beslutninger som er miljømessig kritiske.

Et annet forslag til videre arbeid ville vært å utvide systemgrensene for LCAen. Dette kunne vært å inkludere flere elementer i LCIen, se på flere effektkategorier, inkludere flere faser av livsløpet til bygget og se på arbeidet om å rive det eksisterende bygget som allerede stod der. Ved å utvide grensene til å inkludere flere faser av byggets livsløp ville man danne et mer komplett bilde på materialvalgets innvirkning på blant annet bruks- og rivningsfase.

I denne oppgaven ble programvaren One Click LCA tatt i bruk for å utføre LCAen. En naturlig veg videre ville vært å se på andre programmer som feks Tally, ISY Calcus eller andre programmer som dekker de samme behovene for så å sammenligne resultatene disse gir. Man kunne også ta for seg ett eller fler av programmene for så å se på mulighetene for å øke den allerede eksisterende integrasjonsgraden mellom BIM og LCA i programmene.

Med stort fokus på å implementere metoder og verktøy i designfasen for å redusere et byggs totale klimagassutslipp vil det sette store kunnskapskrav til de som arbeider i denne fasen. Arkitekter, prosjekterende og andre interessenter ville måtte ha både LCA- og programvareekspertise for å kunne få fullt utbytte av BIM-LCA verktøy. Noe som da burde jobbes videre med er hvordan man kan forenkle dette og forbedre kommunikasjonen både mellom fagpersoner, men også mellom fagpersoner og programvare. Implementering av integrert BIM og LCA i tidlige faser av et byggeprosjekt vil også sette organisatoriske krav til dem som skal gjennomføre prosjektet. Et større krav til design- og prosjekteringsfasen vil kunne medfører strukturelle endringer for både entreprenør og byggherre, og hvordan dette best kan optimaliseres hadde også vært interessant å se videre på.

Bibliografi

- Ajayi, S.O., Oyedele, L.O., Ceranic, B., Gallanagh, M., Kadiri, K.O., 2015. Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* 6. doi:10.1080/2093761X.2015.1006708.
- Akbarnezhad Ali, Ong Khim Chye Gary, Chandra Lado Riannevo, Lin Zhisheng, . Economic and Environmental Assessment of Deconstruction Strategies Using Building Information Modeling. *Construction Research Congress 2012* , 1730–1739doi:10.1061/9780784412329.174.
- Alwan, Z., Jones, P., Holgate, P., 2017. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. *Journal of Cleaner Production* 140, 349–358. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.085.
- Antón, L., Díaz, J., 2014. Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. *Procedia Engineering* 85, 26–32. doi:10.1016/j.proeng.2014.10.525.
- Ballard, G., 2000. Positive Vs. Negative Iteration in Design, in: 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighthelm, UK. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/95>.
- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., Fischer, M., 2013. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental

-
- impacts. *Building and Environment* 60, 81–92. doi:10.1016/j.buildenv.2012.11.009.
- BIMForum, 2013. Miami BIMForum: The Human Side of BIM | BIMForum. URL: <https://bimforum.org/events/65/miami-bimforum/>.
- Bueno, C., Fabricio, M.M., 2018. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in Construction* 90, 188–200. doi:10.1016/j.autcon.2018.02.028.
- BuildingSmart, 2019. Industry foundation classes URL: <https://www.buildingsmart.org>.
- Busch, T., 2018. Akademisk skiving for bachelor- og masterstuder. 4 ed.
- Buyle, M., Braet, J., Audenaert, A., 2013. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 379–388. doi:10.1016/j.rser.2013.05.001.
- Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A., 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29. doi:10.1016/j.rser.2013.08.037.
- Cavalliere, C., Habert, G., Dell’Osso, G.R., Hollberg, A., 2019. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *Journal of Cleaner Production* 211, 941–952. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618336485>, doi:10.1016/j.jclepro.2018.11.247.
- Copenhagen Resource Institute, 2014. Resource efficiency in the building sector. URL: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf>.
- Dupuis, M., April, A., Lesage, P., Forgues, D., 2017. Method to Enable LCA Analysis through Each Level of Development of a BIM Model. *Procedia Engineering* 196. doi:10.1016/j.proeng.2017.08.017.

-
- Ecetoc, 2016. Technical report 127: Life cycle assesment - principles. URL: http://www.ecetoc.org/report_27/assessing-ecotoxicity-impact-comparison-ra-lca/life-cycle-assessment-principles/.
- EeBguide, 2012. EeBGuide | Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative. URL: <https://www.eebguide.eu/eeblog/>.
- Engbo, A., 2019. Intro til metode, in: Forskningsmetode, Trondheim, Norge.
- Erlandsson, M., Borg, M., 2003. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services - today practice and development needs. *Building and Environment* 38, 919–938. doi:10.1016/S0360-1323(03)00031-3.
- EUBIM Taskgroup, 2020. Handbook for the introduction of building information modelling by the european public sector. URL: <http://www.eubim.eu/handbook-selection/>.
- European Comission, 2014. Energy performance of buildings. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>.
- European Comission, 2020. Standards: Home - bim URL: <https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/home/bim>.
- European Commission, 2011. Service contract on management of construction and demolition waste URL: https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/2011_CDW_Report.pdf.
- European Union, 2010. General guide for Life Cycle Assessment : provisions and action steps. URL: <https://op.europa.eu/443/en/publication-detail/-/publication/a47e524c-acc4-4a27-98d7-78211e6aa59b/language-en>.
- Gervásio, H., Santos, P., Martins, R., Simões da Silva, L., 2014. A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design. *Building and Environment* 73, 256–270. doi:10.1016/j.buildenv.2013.12.015.

-
- Global Alliance, 2016. Towards low-hgh and resilient buildings URL: <https://www.globalabc.org/uploads/media/default/0001/02/9ab4984b5d2e006ad533bca08257a43bdf974fa9.pdf>.
- Grytting, I., Svalestuen, F., Lohne, J., Sommerseth, H., Augdal, S., Lædre, O., 2017. Use of LoD Decision Plan in BIM-projects. *Procedia Engineering* 196, 407–414. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817330898>, doi:10.1016/j.proeng.2017.07.217.
- Haapio, A., Viitaniemi, P., 2008. A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review* 28, 469–482. doi:10.1016/j.eiar.2008.01.002.
- Habert, G., Arribe, D., Dehove, T., Espinasse, L., Le Roy, R., 2012. Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: quantification of the improvement to concrete bridges. *Journal of Cleaner Production* 35, 250–262. doi:10.1016/j.jclepro.2012.05.028.
- Hardin, B., McCool, D., 2015. *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. John Wiley & Sons. Google-Books-ID: BSOsB-wAAQBAJ.
- Hope, A., Alwan, Z., 2012. *Building the future: integrating building information management and environmental assessment methodologies*, Northumbria University. URL: <http://nrl.northumbria.ac.uk/8098/>.
- IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5 °C. Summary for Policymakers*. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>.
- Irizarry, J., Karan, E.P., Jalaei, F., 2013. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction* 31, 241–254. doi:10.1016/j.autcon.2012.12.005.
- ISO, . *ISO 29481-1:2016*. URL: <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/05/60553.html>.
- ISO, 2020. *Enabling use of environmental product declarations (epd) at construction works level using building information modelling (bim)*. URL: <https://www.iso.org/standard/72463.html>.
-

-
- Jalaei, F., Jrade, A., 2014. An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyze, Simulate, and Assess Sustainable Building Projects. doi:10.1155/2014/672896.
- Jardim-Goncalves, R., Grilo, A., 2010. Building information modeling and interoperability. *Automation in Construction* 19, 387. doi:10.1016/j.autcon.2009.11.008.
- Kohler, N., König, H., Kreissig, J., Lützkendorf, T., 2012. A life cycle approach to buildings: Principles - Calculations - Design tools. Walter de Gruyter. Google-Books-ID: 2TDTAAAAQBAJ.
- Kota, S., Haberl, J.S., Clayton, M.J., Yan, W., 2014. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. *Energy and Buildings* 81, 391–403. doi:10.1016/j.enbuild.2014.06.043.
- Lee, S., Tae, S., Roh, S., Kim, T., 2015. Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact. *Sustainability* 7, 16498–16512. doi:10.3390/su71215830.
- Levac, D., Colquhoun, H., O'Brien, K.K., 2010. Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation Science* 5, 69. doi:10.1186/1748-5908-5-69.
- Liu, Z., Osmani, M., Demian, P., Baldwin, A., 2015. A BIM-aided construction waste minimisation framework. *Automation in Construction* 59, 1–23. doi:10.1016/j.autcon.2015.07.020.
- Nadeem, D.A., Wong, D.A., 2009. COMPARATIVE ROLES OF MAJOR STAKEHOLDERS FOR THE IMPLEMENTATION OF BIM IN VARIOUS COUNTRIES URL: https://www.researchgate.net/publication/228743459_Comparative_Roles_of_Major_Stakeholders_for_the_Implementation_of_BIM_in_Various_Countries.
- Nilsen, M., Bohne, R.A., 2019. Evaluation of BIM based LCA in early design phase (low LOD) of buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 323, 012119. URL: <https://iopscience>.
-

iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012119, doi:10.1088/1755-1315/323/1/012119.

Olsson, N., 2015. *Praktisk rapportskrivning*. 2 ed., Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.

Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G., 2009. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials* 23, 28–39. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012.

Peng, C., 2016. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production* 112, 453–465. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.078.

Pérez, G., Castell, A., 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, 394–416. doi:10.1016/j.rser.2013.08.037.

Rahmani Asl, M., Zarrinmehr, S., Bergin, M., Yan, W., 2015. BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. *Energy and Buildings* 108. doi:10.1016/j.enbuild.2015.09.011.

Shin, Y.s., Cho, K., 2015. BIM Application to Select Appropriate Design Alternative with Consideration of LCA and LCCA. *Mathematical Problems in Engineering* 2015, 1–14. doi:10.1155/2015/281640.

Smith, P., 2014. BIM Implementation – Global Strategies. *Procedia Engineering* 85, 482–492. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814019419>, doi:10.1016/j.proeng.2014.10.575.

Solem, B., 2018. BÆREKRAFTIGE MATERIALVALG , 94URL: <http://innovativeanskaffelser.no/wp-content/uploads/2018/10/181023-baerekraftig-materialvalg-bard-solem-eggen-arktitekter.pdf>.

-
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., García-Martínez, A., 2016. Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. *Building and Environment* 103, 215–227. doi:10.1016/j.buildenv.2016.04.014.
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., García-Martínez, A., 2017. Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings* 136, 110–120. doi:10.1016/j.enbuild.2016.12.009.
- Standard Norge, 2006a. NS-EN ISO 14040 Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og Rammeverk.
- Standard Norge, 2006b. NS-EN ISO 14044 Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og Retningslinjer.
- Tally, 2019. Tally. URL: <https://choosetally.com/>.
- Tjora, A., 2017. Kvalitative Forskningsmetoder. 3 ed., Gyldendal Akademisk.
- United Nations, 2015. Sustainable development goals URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.
- Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F., 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction* 38, 109–127. doi:10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- Walasek, D., Barszcz, A., 2017. Analysis of the Adoption Rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI]. *Procedia Engineering* 172, 1227–1234. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817306501>, doi:10.1016/j.proeng.2017.02.144.
- Whitlock, K., Abanda, F.H., Manjia, M.B., Pettang, C., Nkeng, G.E., 2018. BIM for Construction Site Logistics Management. *Journal of Engineering*, 9 URL: http://www.ppml.url.tw/EPPM_Journal/volumns/08_01_January_2018/ID_174_8_1_47_55.pdf.
-

-
- Wong, J.K.W., Zhou, J., 2015. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction* 57, 156–165. doi:10.1016/j.autcon.2015.06.003.
- Yang, X., Hu, M., Wu, J., Zhao, B., 2018. Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China. *Journal of Cleaner Production* 183, 729–743. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618303767>, doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.070.
- Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., Sadiq, R., 2013. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy* 15, 81–91. doi:10.1007/s10098-012-0481-6.
- Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A., Scarpellini, S., 2009. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 44, 2510–2520. doi:10.1016/j.buildenv.2009.05.001.
- Zanni, M.A., Soetanto, R., Ruikar, K., 2017. Towards a BIM-enabled sustainable building design process: roles, responsibilities, and requirements. *Architectural Engineering and Design Management* 13. doi:10.1080/17452007.2016.1213153.

Vedlegg

Vedlegg A - TONE-vurderinger for utvalgte litteraturkilder

A1 - TONE 1

A2 - TONE 2

Vedlegg B - Utklipp fra resultatmatrise

Vedlegg C - LOD-klassifisering i Solibri

C1 - LOD i RIB-Modell

C2 - LOD i ARK-Modell

Vedlegg D - LOD-sortering i Excel

Vedlegg E - Utslippsfaktorer for udefinerte materialer

E1 - Yttervegger

E2 - Innervegger

E3 - Kledning til yttervegger

E4 - Kledning til innervegger

E5 - Dekkekonstruksjoner

E6 - Tak

E7 - Isolasjon

Vedlegg F - Fullstendig utregning for klimagassutslipp for de udefinerte materia-
lene

Vedlegg G - LCA-beregninger for RIB-modell

G1 - Manuell utregning av LCA

G2 - Automatisk / One Click LCA utregning av LCA

Vedlegg H - LCA-beregninger for ARK-modell

H1 - Automatisk / One Click LCA utregning av LCA

H2 - Manuell utregning av LCA

Vedlegg A: Tonevurderinger

Vedlegg A1: Tonevurdering 1

Tittel	Integration of LCA and BIM for sustainable construction
Publikasjonsår	2014
Forfattere	Laura Álvarez Antón Joaquín Díaz
Land	Germany
Opphav/Utgever	Technische Hochschule Mittelhessen
Publiseringsplass	International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering Vol:8, No:5
Nøkkelord	BIM, LCA, Sustainability
Siteringer	37
Nedlastninger	-
Link	https://pdfs.semanticscholar.org/2d0e/32cbeeefa1b3b4961ccb48072303e4a0ae91.pdf

Troverdighet:

Litteraturen fremstår som veldig troverdig da begge forfatterne er professorer innen feltet. Artikkelen er sitert nok ganger til at den virker troverdig.

Objektivitet:

Litteraturen fremstår som objektiv da den i all hovedsak presenterer fakta som underbygger forfatternes påstander. Den kan virke litt overbevisende i sitt forsøk på å begrunne viktigheten av bærekraftighet, men det er også litt av poenget bak så det er naturlig. Ingen politisk eller personlig agenda kommer frem i teksten.

Nøyaktighet:

Litteraturen fremstår som meget nøyaktig. Det er en klar og ryddig metodikk med ett konsist språkbruk.

Egnethet:

Litteraturen fremstår som veldig relevant i forhold til egen problemstilling og forskningsspørsmål. Da med særlig vekt på integrasjonen av LCA og BIM i en tidlig fase.

Vedlegg A2: Tonevurdering 2

Tittel	Building the future: integrating building information management and environmental assessment methodologies
Publikasjonsår	2012
Forfattere	Alexander Hope Zaid Alwan
Land	England
Opphav/Utgiver	Northumbria University
Publiseringsplass	First UK Academic Conference on BIM, 5 -7 September 2012, Northumbria University
Nøkkelord	BIM, Environmental Assessment Methodologies, Sustainable development, Environmental Management
Siteringer	14
Nedlastninger	360
Link	http://nrl.northumbria.ac.uk/8098/

Troverdighet:

Litteraturen fremstår troverdig med tanke på at begge forfatterne er professorer ved universitet som står bak publikasjonen. Med ett siterings antall på 14 så øker dette også antatt kredibilitet.

Objektivitet:

Litteraturen er presentert på en objektiv måte. Ingen klare agendaer eller forsøk på overbevisning, annet enn å belyse problemet mellom avgjørelser tatt i designfasen som ikke blir gjennomført i byggefasen grunnet kostnader eller andre hinder.

Nøyaktighet:

Ryddig og detaljert metodikk. Språket fremstår presist og litteraturen som helhet fremstår som nøyaktig.

Egnethet:

Litteraturen vurderes som relevant i forhold til egen problemstilling og forskningsspørsmål da den tar opp hvordan BIM kan brukes i tidlig fase av et prosjekt til å sørge for enklere bærekraftige løsninger som lar seg utføre.

Vedlegg B: Utklipp fra resultatmatrise for søk

Funnnet i	Tittel	Publikasjonsår	Hovedtema	Land	Forfatter(e)	Opphav	Siteringer	Nøkkelord	Mål med studie	Type metode	Nøkkefunn
Eksempel	Tidlig involvering	2018	EC	Norge	Tom Olsen			EC, Veidekke, 2 byggherre	Når vil entreprenør kontraheres	Kvalitativ	Kontrahering etter skisseprosjekt
SØK I DATABASER:											
Oria Web of science Scopus	MMI - Model modernhets Indeks	2017	MMI	Norge	Håkon Fløisbom Gunnar Skeie Bjørn Uppstad Bjørnar Markusen Steen Sunesen	EBA	-	MMI	Gi en brukermanual for bruken av MMI i BIM	Kvalitativ	Bruksmanual for BIM MMI
Oria Web of science Scopus	Investigation of requirements for use of BIM-based LCA in early stages of building design	2018	BIM	Norge	Anders Lilleheim Rolf Andre Bohne	NTNU	-	BIM, LCA	Se på muligheten for å utføre LCA i tidligfase ved bruk av BIM	Kvantitativ	Mullig å gjøre LCA i tidligfase ved bruk av BIM?
Oria Web of science Scopus	Integration of LCA and BIM for sustainable construction	2014	BIM/LCA	Germany	Laura Álvarez Antón Joaquín Díaz	Technische Hochschule Mittelhessen		37 BIM, LCA, Design Phase	Se på muligheten til å integrere BIM og LCA	Kvantitativ	BIM + LCA = Bærekraft
Oria Web of science Scopus	Building the future: Integrating building information management and environmental assessment methodologies	2012	BIM and environmental assessment methods	England	Alexander Hope Zaid Alwan	Northumbria University		14 BIM, Environmental Assessment Methodologies, Sustainable development, Environmental Management	It introduces a conceptual framework that seeks to define the relationship between BIM and EAMs	Kvantitativ	
Oria Web of science Scopus	Critical review of BIM-based LCA method to buildings	2016	BIM/LCA	Spain	Bernadette Sout-Verdagueur	University of Seville		84 BIM, LCA	This review summarizes and organizes the literature on life cycle assessment (LCA), life cycle energy analysis (LCEA) and life cycle cost analysis (LCCA) studies carried out for environmental evaluation of buildings and building related industry and sector.	Kvantitativ	The review shows that most LCA and LCEA are carried out in what is shown as "exemplary buildings"; that is, buildings that have been designed and constructed as low energy buildings, but there are very few studies on "traditional buildings", that is, buildings such as those mostly found in our cities.

Vedlegg C: LOD-klassifisering i Solibri

C1: LOD i RIB-modell

The screenshot shows the 'Classification Settings' dialog box in Solibri, specifically the 'Classification Rules' tab. The dialog is titled 'Classification Settings (LOD RIB.classificati...)' and has four tabs: 'Settings', 'Classification Rules', 'Unclassified Components', and 'Classified Components'. The 'Classification Rules' tab is active, displaying a table of classification rules and a 'Default Classification Names' table.

Classification Rules Table:

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Discipline	One Of	[Architectu...
Exclude	Space			
Exclude	Opening			

Default Classification Names Table:

Classification Name	Color
Unclassified	Component's Color
400	Red
300	Yellow
200	Green
100	Pink

Classification Method:

Classification Method: First Match Best Match

Buttons: Save, Save As..., OK, Cancel

Vedlegg C2: LOD i ARK-Modell

Classification Settings (LOD ARK BYGG.classif...)

Settings | Classification Rules | Unclassified Components | Classified Components

Name: LOD ARK BYGG

Description: Enter the description here

Components

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any			
Exclude	Opening			
Exclude	Space			

Locked
 Allow Multiple Classification Names
 Use Dates as Classification Names
 Show Unclassified
 Use for Model Colors

Default Classification Names

Classification Name	Color
100	
200	
300	
400	
Unclassified	Component's Color

Classification Settings (LOD ARK Fullstendig...)

Settings | Classification Rules | Unclassified Components | Classified Components

Component	Type	Layer	Name	Classification Name
Curtain Wall	(21) Retail 240 mm	*	*	100
Curtain Wall	(21) Retail 250 mm	*	*	100
Curtain Wall	(21) Retail 320 mm Cur...	*	*	100
Curtain Wall	(22) Partition glass wall ...	*	*	200
Curtain Wall	*Office Courtyard*	*	*	100
Curtain Wall	*Office Street*	*	*	100
Curtain Wall	*Retail Courtyard*	*	*	100
Curtain Wall	*Retail Street*	*	*	100
Curtain Wall	Sketch Glass 50	*	*	200
Curtain Wall	Trappe ved skole	*	*	100
Door		*	*	300
Flow Terminal		*	*	200
Furniture		*	*	200
Light Fixture		*	*	200
Member	*Silicone*	*	*	200
Member	50 x 50 mm Center Alu ...	*	*	200
Member	*	*	*	100
Suspended Ceiling	*	*	*	300

Classification Method

First Match Best Match

Vedlegg D: LOD-sortering i Excel

3	LOD Bygg	Building Element Type	Type	Net Area	Length	Volume	Count	Color	
4	200	Beams	HEA180		6416,25832	0,02773	4	Light Green	
5	200	Beams	HEB100		2410,96112	0,00596	6		
6	200	Beams	HEB160		7254,06167	0,03794	2		
7	200	Beams	HEB180		85745,7196	0,54166	24		
8	200	Beams	HEB200		24800,035	0,18629	7		
9	200	Beams	HEB220		18818,0528	0,16583	5		
10	200	Beams	HEB240		7154,06409	0,07307	2		
11	200	Beams	IPE100		2077,9304	0,00206	2		
12	200	Beams	IPE160		2460,00522	0,00477	1		
13	200	Beams	RHS150x100x4		64282,6082	0,12481	8		
14	200	Beams	SHS60x4		1235,64045	0,00113	1		
15	200	Beams	UPE 200		26162,2639	0,07393	10		
16	200	Unclassified	Not defined	0		0,04107	0		
17	300	Beams	VL 100x100x10		6479,99741	0,01231	2		Yellow
18	300	Unclassified	Anchor Bolt			5,6E-05	1		
19	300	Unclassified	Bolt			0,00738	251		
20	300	Unclassified	Headed Anchor Coupler NO:HAC20			0,00035	12		
21	300	Unclassified	Headed Anchor Coupler NO:HAC32			0,0013	20		
22	300	Unclassified	None			4,1E-05	2		
23	400	Columns	SHS100x5		39466,998	0,07586	18	Red	
24	400	Columns	SHS150x5		38674,9857	0,11316	13		
25	400	Columns	SHS180x5		11899,9963	0,04197	4		
26	400	Columns	SHS60x5		2280	0,00257	4		
27	400	Columns	SHS80x5		12400	0,01895	8		
28	400	Unclassified	Rebar Bar:ø10			1,86563	7470		
29	400	Unclassified	Rebar Bar:ø12			16,4363	81054		
30	400	Unclassified	Rebar Bar:ø16			23,0882	50655		
31	400	Unclassified	Rebar Bar:ø16 galvanisert			0	193		
32	400	Unclassified	Rebar Bar:ø20			18,0979	13813		
33	400	Unclassified	Rebar Bar:ø25			0,5572	496		
34	400	Unclassified	Rebar Bar:ø32			10,0864	2147		
35	400	Unclassified	Rebar Bar:ø40			2,61265	272		
36	400	Unclassified	SHS60x4			0,01912	12		
37	400	Unclassified	SHS80x4			0,00329	1		
38	400	Unclassified	UPE 200			0,01815	2		
39	Unclassified	Columns			1260	0,00206	160		
40							156682		

Vedlegg E: Utslippsfaktorer for udefinerte verdier

Alle figurer hentet fra Solem (2018). For bedre oppløsning se originalfilen.

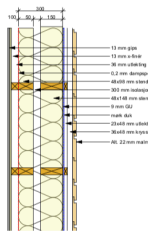
Vedlegg E1: Yttervegger

BÆREKRAFTIGE MATERIALVALG - YTTERVEGGER

Ulike ytterveggprinsipper med u-verdi 0,15 kWh/m²K

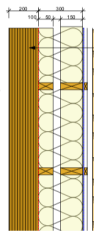
BINDINGSVERK TRE
PLATEKLEDNING

21 kg CO₂eq/m²



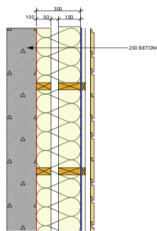
BINDINGSVERK TRE
MASSIVTRE SKIVE

24 kg CO₂eq/m²



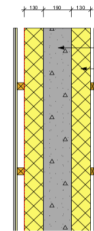
BINDINGSVERK TRE
LAVKARBON BETONG C

75 kg CO₂eq/m²



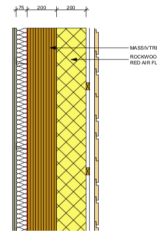
ESP ISOLASJON
BETONGKJERNE

81 kg CO₂eq/m²



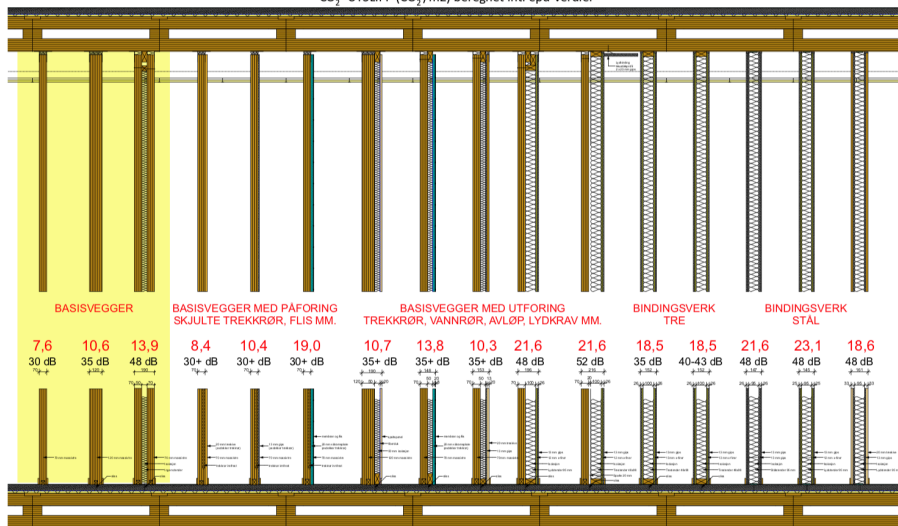
PÅFORING/MASSIVTRE
TUNG ISOLASJON

43 kg CO₂eq/m²

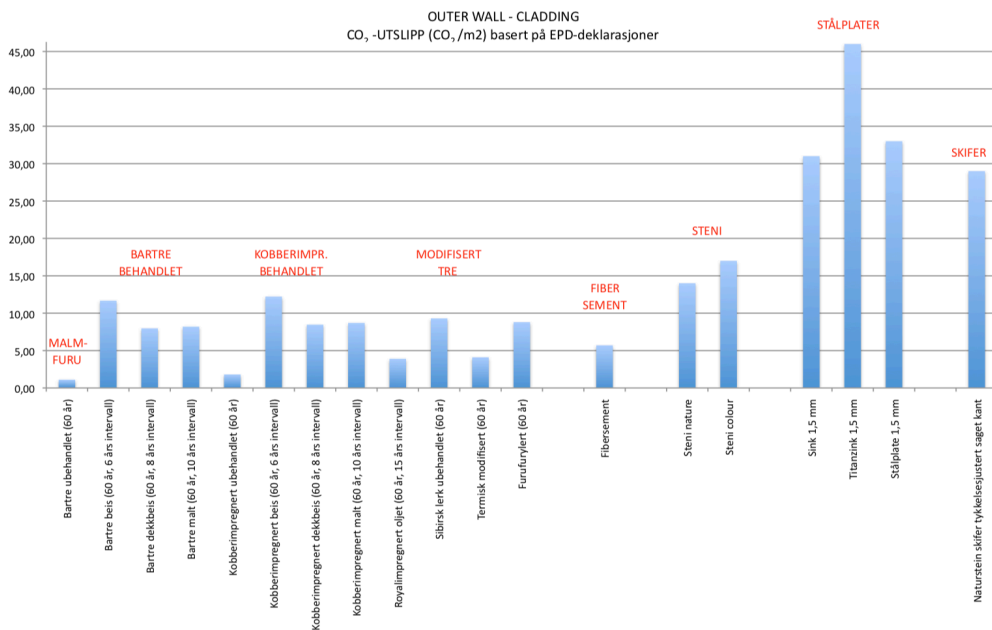


Vedlegg E2: Innervegger

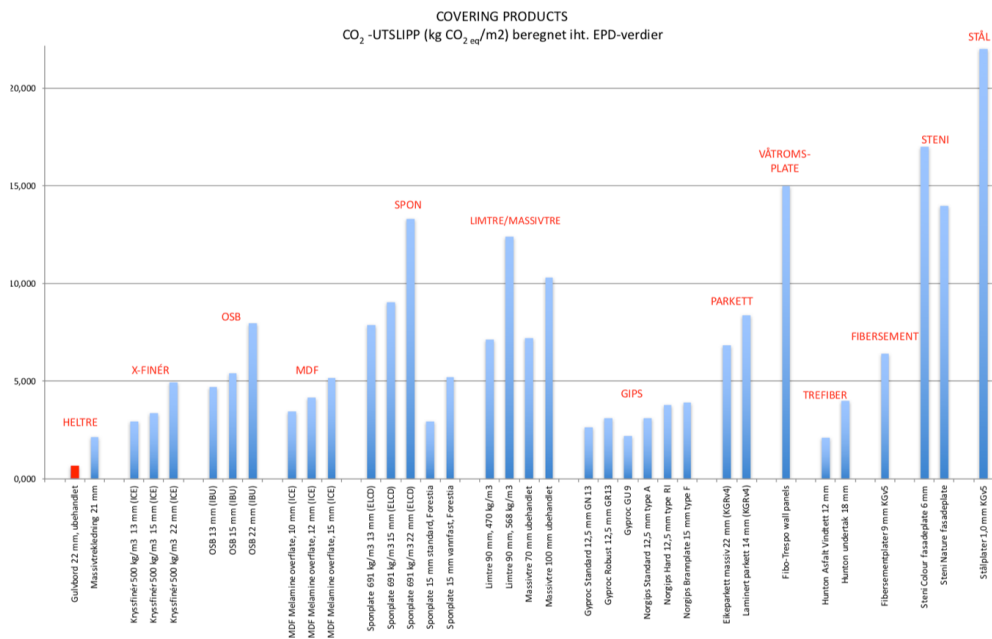
CO₂ -UTSLIPP (CO₂/m²) beregnet iht. epd-verdier



Vedlegg E3: Kledning til yttervegg



Vedlegg E4: Kledning til innervegg



Vedlegg F: Beregning av klimagassutslipp for udefinerte materialer

Manuelle generiske verider

Project name		Indicator name					
ViaVika		5 - ARK_Fasade		Life-cycle assessm ent, EN-15978			
Avsnitt	Ressurs	Brukerinngang	Enhet	CO2 kg eq faktor / EPD per m2	Klimagassutslipp kg CO2e min	Klimagassutslipp kg CO2e mid	Klimagassutslipp kg CO2e max
Yttervegger	Basert på vedlegg X	20894,68	m2	21/43/81	438788,19	898471,06	1692468,74
Kledning til yttervegg	Basert på vedlegg X	20894,68	m2	1,0/10,0/46,0	20894,68	208946,76	961155,09
Vegg	Basert på vedlegg X	597,09	m2	21/43/81	12538,82	25674,73	48364,02
Dekker	Basert på vedlegg X	201,78	m2	35/61/71	5044,51	12308,61	14326,42
Isolasjon	Basert på vedlegg X	4573,32	m2	4,22/9,13/31,70	19299,43	41754,45	144974,38

Project name		Indicator name					
ViaVika		5 - ARK_Bygg		Life-cycle assessm ent, EN-15978			
Avsnitt	Ressurs	Brukerinngang	Enhet	CO2 kg eq faktor / EPD per m2	Klimagassutslipp kg CO2e min	Klimagassutslipp kg CO2e mid	Klimagassutslipp kg CO2e max
Floor Slabs	Default 200.0 mm	57,27	m2	35/61/71	2004,45	3493,47	4066,17
Floor Slabs	Default 30.0mm Retail 255.XXX Floor Finish Technical Rooms 30mm	2048,28	m2				
Partition Walls	Core walls 450.0 mm	11964,8	m2	7,6/13,8/23,1	90932,48	165114,24	276386,88
Ceiling	(35) Interior ceiling	51731,49	m2	24/30/73	1241555,76	1551944,7	3776398,77
Partition Walls	246.XXX beklædning White 60.0 mm	85,99	m2	1,0/5,0/23,0	85,99	429,95	1977,77

Project name		Indicator name					
ViaVika		5 - ARK_Total		Life-cycle assessm ent, EN-15978			
Avsnitt	Ressurs	Brukerinngang	Enhet	CO2 kg eq faktor / EPD per m2	Klimagassutslipp kg CO2e min	Klimagassutslipp kg CO2e mid	Klimagassutslipp kg CO2e max
Yttervegger + vegg	Basert på vedlegg X	21491,76	m2	21/43/81	451327,01	924145,79	1740832,76
Kledning til yttervegger	Basert på vedlegg X	20894,68	m2	1,0/10,0/46,0	20894,67582	208946,7582	961155,0877
Innervegger	Basert på vedlegg X	11964,80	m2	7,6/13,8/23,1	90932,48	165114,24	276386,88
Kledning til innervegger	Basert på vedlegg X	85,99	m2	1,0/5,0/23,0	85,99	429,95	1977,77
Dekker	Basert på vedlegg X	2250,06	m2	35/61/71	78752,1175	137253,6905	159754,2955
Isolasjon	Basert på vedlegg X	4573,32	m2	4,22/9,13/31,70	19299,43	41754,45	144974,38
Tak	Basert på vedlegg X	51731,49	m2	24/30/73	1241555,76	1551944,7	3776398,77
				sum	1902847,46	3029589,58	7061479,95

Vedlegg G: LCA-beregning for RIB

Vedlegg G1: Manuell LCA-beregning for RIB

Project name		Indicator name					
ViaVika		Life-cycle assessment nt_EN-15978					
5 - Rib_Total							
Avsnitt	Resurs	Brukerinnngang	Enhet	Klimagassutslipp per kg CO2e	Spørsmål	Kommentar	Datakilde
A1-A3	Aluminium cladding, for facade, 6.8 kg/m2, Metawall A2 (Metawall GmbH)	0.01	m3	22,86	Utvendige vegger og fasade (23)	Stainless Steel, 8 rows	EPD Metawall A2 Metawall GmbH
A1-A3	Armert stål, NS 3576 (Celsa Steel Service)	428,46	m3	1210830,79	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	B500NC	EPD Steel reinforcement products for concrete Celsa Steel Service AS
A1-A3	Ferdigbetong B30M60 - UN53A-B000 - Sjursøya, C30/37 (B30 M60), B30M60 - UN53A-B000 (Unicon AS (Sjursøya))	816,49	m3	196411,41	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	Betong Plasstept - B30	EPD B30M60 - UN53A-B000 - Sjursøya
A1-A3	Ferdigbetong B35M40 UN57A-B000 Sjursøya, C35/45 (B35 M40), B35M40 - UN57A-B000 (Unicon AS)	5053,72	m3	1462091,72	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstept - B75 + B35	EPD B35M40 - UN57A-B000 - Sjursøya
A1-A3	Ferdigbetong B35M45LA - UL55AB000 - Sjursøya, C35/45 (B35 M45) (Unicon AS)	10139,72	m3	1975666,25	Utvendige vegger og fasade (23)	VEGGER Betong B35	EPD LVB30M60 - UL53AB000 - Sjursøya
A1-A3	Glassull-isolasjon, 33 mm, 0.033 W/mK, 693 g/m2, 21 kg/m3, ISOVER KL-33 Multi-Pack (Saint-Gobain)	1297,49	m3	20811,81	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Fastisolasjon 50	EPD ISOVER KL-33 Multi-Pack Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy ISOVER
A1-A3	Lavkarbon ferdigbetong, Lavkarbonklasse B - B30 M60, 22 mm - 200 mm sync, 4.2 % Fly ash in cem content (Vestfold Betong)	1,93	m3	421,74	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstept - B30, 2 rows	EPD Betong B30 M60 22mm 200mm synk, lavkarbon kl. B
A1-A3	Lavkarbon ferdigbetong, Lavkarbonklasse B - B30 M60, 22 mm - 200 mm sync, 4.2 % Fly ash in cem content (Vestfold Betong)	227,64	m3	49743,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstept - B30, 5 rows	EPD Betong B30 M60 22mm 200mm synk, lavkarbon kl. B
A1-A3	Steel stud per m2 of wall area (air gap included), 42 mm, 400 mm spacing	0,02	m3	0,76	Utvendige vegger og fasade (23)	Steel, 3 rows	Oekobau dat
A1-A3	Steel, stainless, hot rolled, 7900 kg/m3 (Outokumpu Oy)	0,05	m3	995,65	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	RO219.1x8	EPD Hot Rolled Stainless Steel Outokumpu Oy)
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	3,02	m3	19277	Utvendige vegger og fasade (23)	Stål - S355, 30 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålmøring, nett, 7850kg/m3, scrap - 100%, Wire Mesh Reinforcement Steel (Norsk Stal)	28,39	m3	73767,16	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	B500NC, 3 rows	Wire Mesh Reinforcement Steel, NEPD-348-237-EN, Norsk Stal
A1-A3	Ståplater, generisk, 90% recycled content (typical)	131,24	m3	1105844,63	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stål - S355, 39 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålstøper, gjenget, 7850kg/m3, Recycled content - 81%, Threaded steel core piles (Ferrometall)	11,95	m3	116321,3	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stål - S355, 66 rows	Threaded steel core piles, NEPD-360-250-EN, Ferrometall

Vedlegg G2: One Click LCA RB

Project name VaVika		Design name 5 - Rib Fullstendig		Indicator name Life-cycle assessment, EN-15978		Klimagassutslipp			
Avsnitt	Resurs	Brukerinnngang	Enhet	kg CO2e	Spørsmål	Kommentar	Datkilde		
Betongdel av Rib-Modell									
A1-A3	Steel, stainless, hot rolled, 7900 kg/m ³ (Outokumpu Oyj)		0.05	m ³	995.95	Søyler og bærende vertikale strukturer (2)	RO219 1x8	EPD Hot Rolled Stainless Steel Outokumpu Oyj	
A1-A3	Steel hot rolled, J, H, U, L, T and wide flats, S235-S960 (bauforumstahl)		1.15	m ³	16251.94	Søyler og bærende vertikale strukturer (2)	Stål - S355, 26 rows	Oekobau dat 2017.4, Structural Steel: Sections and Plates - bauforumstahl e.V.	
A1-A3	Ferdigbetong, ekkololett armeringsstål, C35/45 (B35 M60) (Sandnes Betong)		45.32	m ³	8148.08	Søyler og bærende vertikale strukturer (2)	Betong Plasstøpt - B35, 7 rows	B35 M40 D22 Cem III B Synt 200, Sandnes Betong AS	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		114.04	m ³	35352.4	Søyler og bærende vertikale strukturer (2)	Betong Plasstøpt - B75, 12 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Hot dip galvanized steel, 0.73 mm, 5.72 kg/m ²		0	m ³	44.44	Utvendige vegger og fasade (23)	Steel, Galvanized, 3 rows	Oekobau dat 2017.4	
A1-A3	Aluminium cladding, for facade, 8.8 kg/m ² , Metawall A2 (Metawall GmbH)		0.01	m ³	22.86	Utvendige vegger og fasade (23)	Stainless Steel, 8 rows	EPD Metawall A2 Metawall GmbH	
A1-A3	Steel stud per m ² of wall area (air gap included), 42 mm, 400 mm spacing		0.02	m ³	0.76	Utvendige vegger og fasade (23)	Steel, 3 rows	Oekobau dat	
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 15% recycled content (only virgin materials), J, H, U, L, and T sections		0.53	m ³	11294.84	Utvendige vegger og fasade (23)	Stål - S355, 30 rows	One Click LCA	
A1-A3	Lavkarbon ferdigbetong, Lavkarbonklasse B - B30 M60, 22 mm -200 mm synt, 4.2 % Fly ash in cem content (Vestfold Betong)		1.93	m ³	421.74	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B30, 2 rows	EPD Betong B30 M60 22mm 200mm synt, lavkarbon kl. B	
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lb/ft ³), applicable for densities: 25-60 kg/m ³ (1.56-3.12 lb/ft ³), Lambda=0.032 W/mK		26.05	m ³	379.94	Utvendige vegger og fasade (23)	YV - 300 mm betong + 2 lag etrafom	One Click LCA	
A1-A3	Ferdigbetong, B45 M40 <200mm, 2300 - 2600 kg/m ³ (Vedde Betong)		56.48	m ³	14224.3	Utvendige vegger og fasade (23)	Walls 19	B45 M40 <200mm, NEPD-333-217-NO, Vedde	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		58.2	m ³	18042	Utvendige vegger og fasade (23)	EKS_BJELKE OK SØYLER	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		61.61	m ³	12938.1	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B35 350.0 mm, 2 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		61.89	m ³	12966.9	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B35 450.0 mm, 2 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		62.13	m ³	19260.3	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B75, 3 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklasse C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lb/ft ³)		80.98	m ³	18698.63	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B30 300.0 mm, 2 rows	One Click LCA	
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lb/ft ³), applicable for densities: 25-60 kg/m ³ (1.56-3.12 lb/ft ³), Lambda=0.032 W/mK		84.33	m ³	1229.97	Utvendige vegger og fasade (23)	Inneregg Fastisolasjon 100	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		116.52	m ³	24468.2	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B35 300.0 mm, 2 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklasse C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lb/ft ³)		120.75	m ³	27881.7	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B30 200.0 mm, 5 rows	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		127.86	m ³	39636.6	Utvendige vegger og fasade (23)	VEGGER Betong 200	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklasse C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lb/ft ³)		128.06	m ³	29560.61	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B30 250.0 mm, 3 rows	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		211.77	m ³	44471.7	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B35, 11 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		221.72	m ³	68733.2	Utvendige vegger og fasade (23)	EKS_BJELKE TAK	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklasse C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lb/ft ³)		280.27	m ³	64716.56	Utvendige vegger og fasade (23)	YV - 350 mm betong	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse C (2015 NB37)		665.66	m ³	239637.9	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B75 400.0 mm, 2 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		665.81	m ³	206401.1	Utvendige vegger og fasade (23)	VEGGER Betong 300	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		1249.32	m ³	337316.4	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B35 400.0 mm, 3 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		1550.7	m ³	419689	Utvendige vegger og fasade (23)	Betong Plasstøpt - B35 250.0 mm, 3 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 60% recycled content, J, H, U, L, and T sections		0.21	m ³	3487.95	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	HEM 1000	One Click LCA	
A1-A3	Ståltøpner, gjenget, 7850 kg/m ³ , Recycled content - 15%, Threaded steel cone piles (Fornemetal)		9.1	m ³	88579.4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stål - S355, 66 rows	Threaded steel cone piles, NEPD-360-250-EN, Fornemetal	
A1-A3	Stenull isolasjonsplater, generisk, 200 kg/m ³ (12.49 lb/ft ³) applicable for densities: 150-200 kg/m ³ (9.36-12.49 lb/ft ³), Lambda=0.039 W/mK		26.92	m ³	6995.1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Fastisolasjon, 2 rows	One Click LCA	
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lb/ft ³), applicable for densities: 25-60 kg/m ³ (1.56-3.12 lb/ft ³), Lambda=0.032 W/mK		33.39	m ³	487	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Fastisolasjon 80	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		60.62	m ³	12730.2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	FUNDAMENT TIL ø50 Tr=3100	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content		66.9	m ³	1249266.19	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stål - S355, 39 rows	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		68.66	m ³	14418.6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	3200 KRAN FUNDAMENT	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		73.5	m ³	15435	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35 950.0 mm, 6 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		76.79	m ³	18125.9	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong 300	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lb/ft ³), applicable for densities: 25-60 kg/m ³ (1.56-3.12 lb/ft ³), Lambda=0.032 W/mK		84.81	m ³	1236.97	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	ETAFOUM 20mm	One Click LCA	
A1-A3	Fosterkerling stål (amering), generisk, 97% recycled content (typical)		113.82	m ³	402194.71	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Rondfell 60000	One Click LCA	
A1-A3	Fosterkerling stål (amering), generisk, 97% recycled content (typical)		124.36	m ³	439438.89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Rondfell 60000	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		140.54	m ³	29513.4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35 600.0 mm, 3 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lb/ft ³), applicable for densities: 25-60 kg/m ³ (1.56-3.12 lb/ft ³), Lambda=0.032 W/mK		145.66	m ³	2124.46	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Fastisolasjon 100	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		161.11	m ³	45110.6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35, 11 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong, 2019	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		172.58	m ³	36241.3	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35 400.0 mm, 3 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		173.24	m ³	36380.4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35 500.0 mm, 2 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		200.79	m ³	42165.9	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Gulv på grunn retulide	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		206.15	m ³	45291.5	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35 200.0 mm, 2 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)		221.27	m ³	68593.7	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B75, 10 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Lavkarbon ferdigbetong, Lavkarbonklasse B - B30 M60, 22 mm -200 mm synt, 4.2 % Fly ash in cem content (Vestfold Betong)		227.64	m ³	49743.89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B30, 5 rows	EPD Betong B30 M60 22mm 200mm synt, lavkarbon kl. B	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)		245.2	m ³	51489	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plasstøpt - B35 100.0 mm, 4 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	

A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)	262,43	m ³	55110,3	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plassstøpt - B35 1.000,0	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
	Classsuul isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lbs/ft ³), applicable for densities: 25-50 kg/m ³ (1.56, 3.12 lbs/ft ³), Lambda=0.032 (W/mK)	341,25	m ³	4877,19	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Fastisolasjon 200	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)	373,46	m ³	78428,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	MAGER 150mm	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
	Classsuul isolasjonsplater, generisk, 50 kg/m ³ (3.12 lbs/ft ³), applicable for densities: 25-50 kg/m ³ (1.56, 3.12 lbs/ft ³), Lambda=0.032 (W/mK)	459,47	m ³	6701,45	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Fastisolasjon 50	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse A (2015 NB37)	833,51	m ³	175037,1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong 150	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	837,52	m ³	259631,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plassstøpt - B75 300,0	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	1306,11	m ³	404894,1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plassstøpt - B75, 8 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	1439,21	m ³	449155,1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plassstøpt - B75, 8 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	3277,7	m ³	984879	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Betong Plassstøpt - B35, 10 rows	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
				Total:			
				6641792,33			
Amringsdel av RIB-møll							
A1-A3	Stee hot rolled, I, H, U, L, T and wide flats, S235-S960 (bauformstahl)	0,25	m ³	3355,43	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	Stal - S355, 5 rows	Oekobau dat 2017.4, Structural Steel: Sections and Plated - bauformstahl e.V.
A1-A3	Stee hot rolled, I, H, U, L, T and wide flats, S235-S960 (bauformstahl)	0,78	m ³	10358,06	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	Stal - S355, 13 rows	Oekobau dat 2017.4, Structural Steel: Sections and Plated - bauformstahl e.V.
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 15% recycled content (only virgin materials), I, H, U, L, and T sections	0,06	m ³	1335,04	Utvendige vegger og fasade (23)	Stal - S355, 4 rows	One Click LCA
A1-A3	Armeret stål, NS 3576 (Cetex Steel Service)	31,56	m ³	89188,56	Utvendige vegger og fasade (23)	B500NC, 5 rows	EPD Steel reinforcement products for concrete Cetex Steel Service AS
A1-A3	Armeret stål, NS 3576 (Cetex Steel Service)	41,19	m ³	116402,94	Utvendige vegger og fasade (23)	B500NC, 2 rows	EPD Steel reinforcement products for concrete Cetex Steel Service AS
A1-A3	Armeret stål, NS 3576 (Cetex Steel Service)	0,01	m ³	31,09	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	Not defined	EPD Steel reinforcement products for concrete Cetex Steel Service AS
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 60% recycled content, I, H, U, L, and T sections	0,04	m ³	635,65	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	Stal - S355, 3 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålammering, nett, 7850kg/m ³ , scrap - 100%, Wire Mesh Reinforcement Steel (Norsk Stal)	24,39	m ³	63373,79	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	B500NC, 3 rows	Wire Mesh Reinforcement Steel, NEPD-348-237-EN, Norsk Stal
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0	m ³	37,35	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Not defined	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,02	m ³	336,13	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	UPE 200	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,02	m ³	354,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	SHR80x4	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,07	m ³	1325,83	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D120T (TYPE27)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,17	m ³	3137,18	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180S (TYPE 63)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,25	m ³	4743,11	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D150T	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,44	m ³	8141,72	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D120S (TYPE 12)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,52	m ³	9654,26	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D200T (TYPE 17)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,87	m ³	12596,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stal - S355, 2 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,88	m ³	12698,09	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D120S (TYPE 62)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,73	m ³	13557,06	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D120S (TYPE 42)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	0,96	m ³	18020,09	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D150S (TYPE 23)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,2	m ³	22408,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D2020 (TYPE 11)	One Click LCA
A1-A3	Stålstolper, gjenget, 7850kg/m ³ , Recycled content - 81%, Threaded steel core piles (Ferrometal)	1,25	m ³	12167,5	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stal - S355, 12 rows	Threaded steel core piles, NEPD-360-250-EN, Ferrometal
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,28	m ³	23802,29	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stal - S355, 2 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,29	m ³	24098,03	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180S (TYPE 24)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,41	m ³	26329,87	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stal - S355, 3 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,57	m ³	29317,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D150S KRAN	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,6	m ³	29677,86	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220S (TYPE 46)	One Click LCA
A1-A3	Stålstolper, gjenget, 7850kg/m ³ , Recycled content - 81%, Threaded steel core piles (Ferrometal)	1,6	m ³	15574,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stal - S355, 21 rows	Threaded steel core piles, NEPD-360-250-EN, Ferrometal
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	1,96	m ³	36600,38	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180S (TYPE 14)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	2,17	m ³	40521,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220T (TYPE 10)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	2,26	m ³	42202,48	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220S (TYPE 56)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	2,5	m ³	46684,16	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180S (TYPE 15)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	2,74	m ³	51165,84	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180S KRAN	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	3,41	m ³	63677,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220S (TYPE 36)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	3,55	m ³	66291,51	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180S (TYPE 25)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	3,85	m ³	71893,81	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Stal - S355, 2 rows	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	5,44	m ³	101584,74	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220S (TYPE 28)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	7,46	m ³	139305,54	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220T (TYPE 21)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	7,81	m ³	145841,32	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D180T	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 60% recycled content	8,31	m ³	155176,16	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	D220S (TYPE 16)	One Click LCA
A1-A3	Armeret stål, NS 3576 (Cetex Steel Service)	97,51	m ³	275563,26	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	B500NC, 7 rows	EPD Steel reinforcement products for concrete Cetex Steel Service AS
A1-A3	Hørdig galvanisert steefframing, for gipsusbeband, 7850 kg/m ³ , Rippprofil ULTRA (Ripps Saint Gobain)	0	m ³	0	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	M18	EPD Rippprofil ULTRA Metal Profile
A1-A3	Profiled steel sheet cladding/cover, 1.15 - mm GYMNOCAT NATIONAL, DU PROFILAGE ET DES PRODUITS PLATS, EN ACIER	0,01	m ³	112,89	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Stainless Steel, 3 rows	FDES
A1-A3	Stål i varmetåle, I, H, U, L, T og vide flater (Contigna)	0,01	m ³	82,9	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Steel, 2 rows	I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections, Contigna
A1-A3	Armeret stål, NS 3576 (Cetex Steel Service)	2,49	m ³	7036,74	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	B500NC, Stal - S355, 31 rows	EPD Steel reinforcement products for concrete Cetex Steel Service AS
A1-A3	Armeret stål, NS 3576 (Cetex Steel Service)	25,54	m ³	72170,04	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	B500NC, 7 rows	EPD Steel reinforcement products for concrete Cetex Steel Service AS
				Total:			
				8516859,19			

Vedlegg H: LCA beregninger for ARK-modell

Vedlegg H1: One Click LCA ARK

Project name	Design name	Indicator name						
ViaVika		5 - ARK - Total	Life-cycle assessment, EN:15978					
Avsnitt	Resurs	Brukeringsang	Enhet	Klimagassutslipp kg CO2e	Spørsmål	Kommentar	Dataskilde	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³)		1.76	m ³	406.39	Søyler og bærende vertikale strukturer (Z)	Concrete, B35, 2 rows	One Click LCA
A1-A3	Sawn timber, planed, biogenic CO2 not subtracted, 489 kg/m ³ , Sägewerk Brilon (Fritz EGGER)		5.74	m ³	18.46	Kledning og beleg	- 246.XXX Bekledning Sauna 122	Okobau dat 2017-4, EPD EGGER Schnittholz gehobelt EGGER Sägewerk Brilon GmbH
A1-A3	Stålpater, generisk, 90% recycled content (typical)		54.54	m ³	459560.85	Kledning og beleg	1010x2110	One Click LCA
A1-A3	Mosaic tile, Monterrey, 0.25in, 2x2in, 2.38 lb/ft ² , American Ocean, Mohawk (Dall-Tile)		56.76	m ³	5956	Kledning og beleg	- 255.007, Mosa Fliser, flisegulv	EPD Dal-Tile Corporation American Ocean Mosaic-Monterrey EPD Ceramic Tile
A1-A3	Sawn timber, planed, biogenic CO2 not subtracted, 489 kg/m ³ , Sägewerk Brilon (Fritz EGGER)		68.75	m ³	2211	Kledning og beleg	Retail 255.XXX Retail wood 50 mm	Okobau dat 2017-4, EPD EGGER Schnittholz gehobelt EGGER Sägewerk Brilon GmbH
A1-A3	Sawn timber, planed, biogenic CO2 not subtracted, 489 kg/m ³ , Sägewerk Brilon (Fritz EGGER)		1401.36	m ³	4506.77	Kledning og beleg	- 255.005 22 mm eggetrappesgulv	Okobau dat 2017-4, EPD EGGER Schnittholz gehobelt EGGER Sägewerk Brilon GmbH
A1-A3	Prefabrikerte vegglementer av betong (fast, usislet), generisk, B30, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³), incl. reinforcement		313.8	m ³	95881.85	Utvendige vegger og fasade (Z3)	ING_Kjeldervægge mod terren 500+100 mm	One Click LCA
A1-A3	Prefabrikerte vegglementer av betong (fast, usislet), generisk, B30, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³), incl. reinforcement		1531.7	m ³	468012.22	Utvendige vegger og fasade (Z3)	ING_Isolert innervegg 400 mm	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³)		1.32	m ³	304.79	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	253 T-soroff	One Click LCA
A1-A3	Sawn timber, planed, biogenic CO2 not subtracted, 489 kg/m ³ , Sägewerk Brilon (Fritz EGGER)		8.87	m ³	28.53	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	Retail 255.009 Retail wood 30 mm	Okobau dat 2017-4, EPD EGGER Schnittholz gehobelt EGGER Sägewerk Brilon GmbH
A1-A3	Hvit granitplate, til fasade eller gulv, 3 cm, 78.6 kg/m ² , 2620 kg/m ³ (Naturstein Montering)		52.27	m ³	-2180	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	Retail 255.XXX Stone Elevator Partum 50 mm	EPD Granitt (G-358) fasade- og gulvstein fra Shandong provinsen i Kina Naturstein Montering AS
A1-A3	Hvit granitplate, til fasade eller gulv, 3 cm, 78.6 kg/m ² , 2620 kg/m ³ (Naturstein Montering)		57.22	m ³	-2393	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	Retail 255.XXX Floor Finish By Tenant 30mm	EPD Granitt (G-358) fasade- og gulvstein fra Shandong provinsen i Kina Naturstein Montering AS
A1-A3	Lettklinkerblokker, LECA, generisk, 650 kg/m ³ (40.6 lbs/ft ³), 18 kg/block (39.7 lbs/block), 0.5x0.3x0.185 mm (0.019x0.012x0.007 in)		69.24	m ³	21932	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)		One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass B (2015 NB37)		76.22	m ³	20579.4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	- 255.001 Giltet og støvbunden betong, tekniske rum	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass B (2015 NB37)		124.68	m ³	33663.8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	ING_Floor new loading dock 300 mm	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Hvit granitplate, til fasade eller gulv, 3 cm, 78.6 kg/m ² , 2620 kg/m ³ (Naturstein Montering)		193.76	m ³	-7890	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	Retail 255.XXX Floor Finish By Tenant 50mm	EPD Granitt (G-358) fasade- og gulvstein fra Shandong provinsen i Kina Naturstein Montering AS
A1-A3	Gravel, dry bulk density, 1680 kg/m ³		1233.34	m ³	7832.2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	ING_Betonunderlag og oppbygning - 640 mm	LCA inventory for gravel production, Ecoinvent 2016
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³)		2861.22	m ³	680668.89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (Z5, Z6)	ING_Floor 500 mm concrete	One Click LCA

A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (vår: lavkarbonklass C) C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³)	5219.74	m ³	1205260.85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker osv tak. (25, 26)	ING. Betonunderlag og opbygning - 870 mm	One Click LCA
A1-A3	Gypsum plaster (gypsum - lime plaster), gross density: 900 kg/m ³	0.68	m ³	62.29	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Retal 242.XXX Gipsindtøking ved dækforanker	Oekobau dat 2017-I
A1-A3	Natural stone slab, flexible facade, 40 mm, 104.0 kg/m ² , 2600 kg/m ³	2.87	m ³	537.99	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-246.004 Gamlittensbekledning	Oekobau dat 2017-I
A1-A3	Sawn timber, planed, biogenic CO2 not subtracted, 489 kg/m ³ , Sägewerk Brilon (Fritz EGGER)	5.25	m ³	16.88	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	X 242.xxx Innesbekledning elevatordoor	Oekobau dat 2017-I, EPD EGGER Schnittholz gehobelt EGGER Sägewerk Brilon GmbH
A1-A3	Gypsum plaster (gypsum - lime plaster), gross density: 900 kg/m ³	9.51	m ³	1149.18	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Retal 242.010 Gipsindtøking ved dækforanker	Oekobau dat 2017-I
A1-A3	Uni Wall systemegg med doble gipsplater, 98 mm, 3600x2700 mm, 9.72 m ² , 343kg, UniWall 98/122mm dp (Moelven Modus)	23	m ³	5755.62	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-242.014 Gipsvæg 250mm ydervæg med fiberarmet/plade udv.	NEPD-298-164-EN Uni Wall room partition system (UniWall 98/122 mm dp), Moelven Modus AS
A1-A3	Uni Wall systemegg med doble gipsplater, 98 mm, 3600x2700 mm, 9.72 m ² , 343kg, UniWall 98/122mm dp (Moelven Modus)	78.3	m ³	19594.14	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	X 245.001 Gipsvæg skørt ved nedhængte løfter	NEPD-298-164-EN Uni Wall room partition system (UniWall 98/122 mm dp), Moelven Modus AS
A1-A3	Stålpåler, generisk, 90% recycled content (bystål)	87.29	m ³	735516.44	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-246.001 Farget rustfritt stålbekledning	One Click LCA
A1-A3	Letklinkerblokker, LECA, generisk, 650 kg/m ³ (40.6 lbs/ft ³), 16 kg/block (36.7 lbs/block), 0.5x0.3x0.185 mm (0.019x0.012x0.007 in)	108.39	m ³	3433.29	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	ING. Beton sokkel 200mm	One Click LCA
A1-A3	Internal wall with improved sound insulation with steel studs, glass wool core and double panel gypsum board double siding, 45mm+13mm, 26.98kg/m ² , 465kg/m ³ , R=1.1 m ² .K'W, Lambda=0.04090909 09090909 W/(m.K), Systeme d'isolation acoustique Z248 PAR PHONIC 45 mm et Plac@B Phonique BA 13 (SANT GOBAIN ISOVER)	250.41	m ³	39723.89	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-242.050 Glasvæg umhøjde	FDES
A1-A3	Steinull-isolasjon, 0.035 W/mK, R = 1, 1.22 kg/m ² , 70kg/m ³ , average for product group 35kg/m ³ (Planc)	329.62	m ³	13660.69	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Paroc 100.0 mm, 2 rows	NEPD00265E Paroc Insulation, product group with density <70 kg/m ³
A1-A3	Sawn timber, planed, biogenic CO2 not subtracted, 489 kg/m ³ , Sägewerk Brilon (Fritz EGGER)	380.01	m ³	1222.11	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Wood + Birch 60.0 mm, 2 rows	Oekobau dat 2017-I, EPD EGGER Schnittholz gehobelt EGGER Sägewerk Brilon GmbH
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (vår: lavkarbonklass C) C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³)	1180.86	m ³	272665.89	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-242.030 Lettkinkervæg 70 mm	One Click LCA
A1-A3	Uni Wall systemegg med doble gipsplater, 98 mm, 3600x2700 mm, 9.72 m ² , 343kg, UniWall 98/122mm dp (Moelven Modus)	4240.79	m ³	1061234	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Gipsvæg 120mm	NEPD-298-164-EN Uni Wall room partition system (UniWall 98/122 mm dp), Moelven Modus AS
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk, 25 kg/m ³ (1.56 lbs/ft ³), (applicable for densities: 0.25 kg/m ³ (0-1.56 lbs/ft ³)), Lambda=0.031 W/(m.K)	26.33	m ³	117.02	Vinduer og dører	X 242.xxx wall elevatordoor	One Click LCA
A1-A3	Multifunctional doors from steel (Teckentup GmbH & Co. KG)	90	m ²	11234.42	Vinduer og dører		Oekobau dat 2017-I, EPD Multifunktionsüren aus Stahl
A1-A3	Plannglass, enkeltglaset, generisk, 3-12 mm (0.12-0.47 in), 19 kg/m ² (2.05 lbs/ft ²) (for 4 mm/0.16 in), 2500 kg/m ³ (156 lbs/ft ³)	93	m ³	186524.84	Vinduer og dører		One Click LCA
A1-A3	Skyvedør, tre-alu ramme, U: 0.76 W/m ² K, 1.89x2.09 m, 168.83 kg/lunit, eXtra (Gjle Tre)	901	m ²	140995.73	Vinduer og dører		EPD Gjle Skyvedør eXtra Gjle Tre AS
A1-A3	Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)	2485.61	m ²	143989.69	Vinduer og dører		EPD Climate door / interior door Nordic Dørfabrikk AS

Vedlegg H2: Manuell LCA ARK-modell

Life-cycle
assessment
nr. 24
15978

Avsnitt	Resurs	Brukerings- mengde	Enhet	Kilogramutslipp å kg CO2e	Sporsmål	Kommentar	Datkilde
A1-A3	Ferdigbetong B30M60LA - UL53AB000 - Sursaya, C30/37 (B30 M60), B30M60LA - UL53A-8000 (Enicon AS)	1,76	m3	317,47	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	Concrete, B35, 2 rows	EPD B30M60LA UL53AB000 Sursaya Union AS
A1-A3	Plywood, birch, uncoated (Metis Wood)	5,74	m3	297,84	Kledning og belleg	*246.XXX Betædning Struktur 122	Metis Wood Birch Plywood Uncoated
A1-A3	Stålpåler, generisk, 90% recycled content (Typical)	54,04	m3	459560,85	Kledning og belleg	1010x2110	One Click LCA
A1-A3	Mosaic tile, Monterey, 0,2m, 2x2in, 2,38 lb/ft2, American Clean, Mohawk (Mohawk)	56,76	m2	5,956	Kledning og belleg	-255,007, Mosa Fiser, fasetgulv	EPD Dal-Tile Corporation American Clean Mosaic - Monterey EPD Ceramic Tile
A1-A3	Såven tømmer, planert, biogenisk CO2 not subtracted, 489 kg/m3, Sägawek Birton (Fitz EGGER)	69,74	m3	221,1	Kledning og belleg	Retail 255.XXX Retail wood 50 mm	Ökobau dat 2017, EPD EGGER Schnittholz gehobert EGGER Sägawek Birton GmbH
A1-A3	Såven tømmer, planert, biogenisk CO2 not subtracted, 489 kg/m3, Sägawek Birton (Fitz EGGER)	1401,36	m3	4506,77	Kledning og belleg	-255,005 22 mm egebrannparketgulv	Ökobau dat 2017, EPD EGGER Schnittholz gehobert EGGER Sägawek Birton GmbH
A1-A3	Kompaktvegg, C30/37 (B30 M60), 200-300 mm, low carbon class B (Block Berge Bygg)	343,8	m3	85296,79	Utvendige vegger og fasade (2)	ING_Kaeldervægge mod terræn 500+100 mm	EPD Kompaktvegg lavkarbon Blok Berge Bygg AS
A1-A3	Kompaktvegg, C30/37 (B30 M60), 200-300 mm, low carbon class B (Block Berge Bygg)	1531,17	m3	380014,77	Utvendige vegger og fasade (2)	ING_Isolert innervæg 400 mm	EPD Kompaktvegg lavkarbon Blok Berge Bygg AS
A1-A3	Ferdigbetong B30M60LA - UL53AB000 - Sursaya, C30/37 (B30 M60), B30M60LA - UL53A-8000 (Enicon AS)	1,32	m3	238,1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	253 T profil	EPD B30M60LA UL53AB000 Sursaya Union AS
A1-A3	Plywood, birch, uncoated (Metis Wood)	8,87	m3	444,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	Retail 255.009 Retail wood 30 mm	Metis Wood Birch Plywood Uncoated
A1-A3	Høtt granplåte, 18 fasade eller gulv, 3 cm, 78,6 kg/m2, 2620 kg/m3 (Naturstein Monterne)	52,27	m2	2,100	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	Retail 255.XXX Stone Elevator Pattern 50 mm	EPD Granitt (G-38) fasade- og gulvsten fra Shandong provinsen i Kina Naturstein Monterne AS
A1-A3	Høtt granplåte, 18 fasade eller gulv, 3 cm, 78,6 kg/m2, 2620 kg/m3 (Naturstein Monterne)	87,20	m2	2,300	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	Retail 255.XXX Floor Finish By Tenant 30mm	EPD Granitt (G-38) fasade- og gulvsten fra Shandong provinsen i Kina Naturstein Monterne AS
A1-A3	Leitningskabel, Leca, generisk, 650 kg/m3 (40.6 BxR3), 18 kg/blokk (39.7 bedrock), 0.5x0.3x0.185 mm (0.019x0.012x0.007 m)	69,24	m3	2193,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)		One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45M45, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	76,22	m3	20579,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	-255,001 Gitter og støvunden betong, tekniske 400 mm	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B35 M45M45, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	124,68	m3	33663,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	ING_Floor new loading dock 300 mm	One Click LCA / Norsk betongforening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Høtt granplåte, 18 fasade eller gulv, 3 cm, 78,6 kg/m2, 2620 kg/m3 (Naturstein Monterne)	193,76	m2	7,800	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	Retail 255.XXX Floor Finish By Tenant 50mm	EPD Granitt (G-38) fasade- og gulvsten fra Shandong provinsen i Kina Naturstein Monterne AS
A1-A3	Tufted wall-to-wall carpet, 15,7 mm, 3,6 kg/m2, pile weight 1.9-2.0 kg/m2, 220 kg/m3, PAK, Epicor oak pile WT (eggetepper AS)	976	m2	23569	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)		EPD Epicor oak pile WT tufted wall-to-wall carpet pile material 1900-2000 g/m2 polyamide 6-furte fabric backings
A1-A3	Gravel, dry bulk density, 1680 kg/m3	1233,34	m3	7832,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	ING_Betondunderlag og oppbygning - 640 mm	LCA inventory for gravel production, Ecoinvent 2016
A1-A3	Ferdigbetong B30M60LA - UL53AB000 - Sursaya, C30/37 (B30 M60), B30M60LA - UL53A-8000 (Enicon AS)	2861,22	m3	516106,86	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	ING_Floor 500 mm concrete	EPD B30M60LA UL53AB000 Sursaya Union AS
A1-A3	Ferdigbetong B30M60LA - UL53AB000 - Sursaya, C30/37 (B30 M60), B30M60LA - UL53A-8000 (Enicon AS)	5219,74	m3	941539,7	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)	ING_Betondunderlag og oppbygning - 870 mm	EPD B30M60LA UL53AB000 Sursaya Union AS
A1-A3	Vinyllite flooring, 2.0 mm, 2.8 kg/m2, Etanex (Etnex Flooring)	5900	m2	3541,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bælter og tak (25, 26)		EPD Etanex Vinyllite Flooring Resilient
A1-A3	Dipplåte, 12,5 mm (Norgips)	0,48	m3	114,41	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Retail 242.XXX Gipsinndekning ved caisforfester	Norgips Standard type A (STD), Norgips Norge AS
A1-A3	Naturstein kvartstittskifer, naturlig spaltet overflate med sagete kanten, 30 mm, 2700 kg/m3 (Minera Skifer)	2,87	m3	1016,12	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	*246.004 Granittstensbekledning	NEPD-315-162-EN Natural stone quartzite polish, natural dell surface, with broken or sawn edges, Minera
A1-A3	Plywood, birch, uncoated (Metis Wood)	5,21	m3	263,27	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	X 242.xxx treskoldbetong støttestøtter	Metis Wood Birch Plywood Uncoated
A1-A3	Dipplåte, 12,5 mm (Norgips)	9,41	m3	1997,68	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Retail 242.010 Gipsinndekning ved caisforfester	Norgips Standard type A (STD), Norgips Norge AS
A1-A3	Uhi Wall systemvegg med doble gipsplater, 98 mm, 3600x2700 mm, 9.72 m2, 343kg, UhiWall 98/122mm dp. (Moelven Modus)	20	m2	5756,62	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-242.014 Gipsvæg, 250mm yelervæg med festeremmenplåter udv.	NEPD-298-164-EN Uhi Wall room partition yelervæg med Moelven Modus AS
A1-A3	Uhi Wall systemvegg med doble gipsplater, 98 mm, 3600x2700 mm, 9.72 m2, 343kg, UhiWall 98/122mm dp. (Moelven Modus)	78,3	m2	19594,14	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	X 245.001 Gipsvæg skart ved mellomste skifer	NEPD-298-164-EN Uhi Wall room partition system (UhiWall 98/122 mm dp), Moelven Modus AS
A1-A3	Stålpåler, generisk, 90% recycled content (Typical)	87,20	m3	73516,44	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	-246.001 Farget rustfritt stålbekledning	One Click LCA
A1-A3	Leitningskabel, Leca, generisk, 650 kg/m3 (40.6 BxR3), 18 kg/blokk (39.7 bedrock), 0.5x0.3x0.185 mm (0.019x0.012x0.007 m)	109,36	m3	3433,29	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	ING_Beton sokkel 200mm	One Click LCA
A1-A3	Internal wall with improved sound insulation with steel studs, glass wool core and double panel gypsum board double siding, 45mm+12mm, 26.88kg/m2, 466kg/m3, R=1.1 m2.K/W, Lantidno 0409090909090909 Wim.K1 Systeme cloison acoustique 7248 PAF PHONIC 46 mm et Placo® Phonoc® BA 13 (SAINT-GOBAIN ISOVER)	250,41	m3	39723,69	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	*242.050 Glasvæg rumhulde	FINES
A1-A3	Hard ceiling tiles from rock wool insulation, L= 0.025 Wim.K, 2.28 m2xW, 80 mm, 5.79 kg/m2, 72.375 kg/m3, Lantidno 025 Wim.K1, ACCOUSTISHED Aurat A 80 mm (SAINT-GOBAIN EUROCOUSTIC)	329,60	m3	37827,72	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Paroc 100.0 mm, 2 rows	FINES
A1-A3	Plywood, birch, uncoated (Metis Wood)	380,03	m3	19056,4	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Wood - Birch 60.0 mm, 2 rows	Metis Wood Birch Plywood Uncoated
A1-A3	Ferdigbetong B30M60LA - UL53AB000 - Sursaya, C30/37 (B30 M60), B30M60LA - UL53A-8000 (Enicon AS)	1280,86	m3	231041,53	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Betong lettevegg	EPD B30M60LA UL53AB000 Sursaya Union AS
A1-A3	Uhi Wall systemvegg med doble gipsplater, 98 mm, 3600x2700 mm, 9.72 m2, 343kg, UhiWall 98/122mm dp. (Moelven Modus)	4240,79	m2	1061234	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	Gipsvæg 120mm	NEPD-298-164-EN Uhi Wall room partition system (UhiWall 98/122 mm dp), Moelven Modus AS
A1-A3	MultiFunctional doors from steel (Teckentrup GmbH & Co. KG)	96	m2	11234,42	Vinduer og dører		Ökobau dat 2017, EPD Multifunktionsdøren aus Stahl
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gipsen)	98,33	m3	5692,79	Vinduer og dører	X 242.xxx wall elevatordoor	NEPD-322-180-NO EPS-isolasjon trykkfasthet: R0 fra June 2015 OK
A1-A3	Euroflott (Eurogips)	109	m3	32936,9	Vinduer og dører		EPD Euroflott
A1-A3	Skjuffer, tre-ukl. ramme, L= 0,76 WimZK, 1.89x2.09 m, 900	900	m2	140995,73	Vinduer og dører		EPD Gile Skjuffer eXtra Gile Tre AS
A1-A3	Concrete door, 800x2000 mm 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)	2486,61	m2	143895,33	Vinduer og dører		EPD Climate door / interior door Nordic Dørfabrikk AS
		sum:		4964695,33			

