Sophie Ness Thøgersen

Hvordan redusere bygningers miljøpåvirkning med LCA og BIM

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Rolf André Bohne
Juni 2019

Masteroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Sophie Ness Thøgersen

Hvordan redusere bygningers miljøpåvirkning med LCA og BIM

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Rolf André Bohne
Juni 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

I nye bygninger med lavere energibehov, utgjør byggematerialer en stor prosentandel av byggets totale utslipp, og dermed er det et stort potensial for reduksjon av miljøpåvirkninger fra byggematerialer. Denne rapporten vil forsøke å svare på hvordan integrasjonen av BIM og LCA i tidligfase kan redusere bygningers miljøpåvirkning. Oppgavens fokus har vært på kombinasjonen av BIM og LCA i *tidligfase*, fordi det er i denne fasen beslutninger har størst innvirkning. En ulempe med tidligfasen er at objektene i en BIM har mindre data tilgjengelig, med høyere usikkerhet. Derfor anses metodiske forenklinger av en bygnings LCA nødvendig for å gjøre analysen mer egnet for bruk i tidligfase.

For å besvare oppgavens problemstilling er det blant annet brukt litteraturstudie for å etablere det teoretiske rammeverket. I tillegg er det undersøkt hvilke LCA-typer som kan benyttes ved de ulike utviklingsnivåene (LOD) til en BIM. Dette er undersøkt med en teoretisk tilnærming, hvor det er gjort beregninger for en enkel betongvegg. De to LCA-typene som er undersøkt er Screening og Forenklet LCA, og metodene krever ulik definisjon av systemgrensene. Videre er det gjort en praktisk tilnærming med mengdeberegninger og LCA, basert på RIB- og ARK-modeller fra Prosjekt Nærbyen. Utslippene fra definerte elementer i BIMene ble beregnet i One Click LCA. For å inkludere utslipp fra elementer som ikke hadde definerte materialer i BIMene, ble generiske utslippsverdier basert på erfaringstall benyttet. De respektive usikkerhetene knyttet til de generiske verdiene er også presentert.

Basert på undersøkelsene i den teoretiske tilnærmingen vurderes det at Screening LCA er best egnet ved de to første LODene, men at den også kan brukes for LOD300. Videre vurderes det at Forenklet kan brukes ved LOD300 og for de videre LODene. Basert på den praktiske tilnærmingen, kan LOD-utviklingen påvirke BIM-baserte LCA-beregninger, og utslippene fra de definerte materialene har en tendens til å øke med økende LOD. Resultatene viser også at utslipp kan utebli både ved bruk av BIM-objekter med «for lav» og «for høy» LOD. Uansett viser undersøkelsene at det å inkludere utslipp fra udefinerte materialer gjør at informasjonsgapet ved de lave LODene kan fylles, og utslippene, samt usikkerheten knyttet til dem, kan reduseres med økende LOD. Den praktiske tilnærmingen viser også at en BIM gjerne består av komponenter med flere ulike LODer. Dermed er det ikke like lett å sette et skille for når de ulike metodene kan brukes for en hel BIM, slik som den teoretiske tilnærmingen anslår. Fremgangsmåten burde variere for de ulike elementene dersom de har ulik LOD.

For å håndtere elementer med ulik LOD i en BIM kan designbeslutninger struktureres gjennom en LOD-beslutningsplan. Dersom et bygg deles inn i ulike elementgrupper som antas å følge samme LOD-utvikling, og deres utvikling kartlegges hver for seg, kan objektene lettere sorteres. Dette kan videre brukes til å velge den mest egnede fremgangsmåten for LCA-beregninger for de ulike elementgruppene, hvor metodens kompleksitet og dataenes kvalitet følger elementenes utvikling. Inspirert av metoder for kostnadsberegninger og LCC, kan standardiserte bygningsmaler supplere en uferdig BIM ved at deler som er vanlige i en bygning, men som ikke er modellert i tidligfase, inkluderes. Dersom det brukes samme fremgangsmåte for LCC og LCA i kombinasjon med BIM, kan det tas hensyn til både kostnader og miljø fra start. De kan brukes sammen for å utvikle design som er både miljøvennlige og økonomisk bærekraftige. Ved at BIM og LCA integreres tidlig i beslutningsprosessen, vil det kunne gi bedre oversikt over byggets utslipp fra start og dermed et bedre utgangspunkt for å redusere dem. Det videre arbeidet bør blant annet ta for seg BIM-basert LCA med utvidede systemgrenser og økt integrasjonsgrad, utforske kombinasjonen med en LOD-beslutningsplan i praksis, samt undersøke om det kan trekkes flere paralleller til hvordan LCC kombineres med BIM.

Abstract

In new buildings with lower energy requirements, building materials make up a large percentage of a building's total emissions, and thus there is a great potential for reducing the environmental impacts from building materials. This report will attempt to answer how the integration of BIM and LCA can reduce the environmental impact of buildings. The focus has been on the combination of BIM and LCA in the early stages of a construction project, because decisions have greater impact early on. One disadvantage of the early phase is that the objects in a BIM have less available data, with higher uncertainty. Therefore, methodological simplifications of a building's LCA are considered necessary to make the assessment more suitable for use in the early stages.

In order to answer the defined research questions, a literature review was conducted to establish the theoretical framework. Furthermore, it has been investigated which LCA types can be used at the various LODs in a BIM. This has been investigated with a theoretical approach, based on calculations on a simple concrete wall. The two LCA types examined are Screening and Simplified LCA. In addition, a practical approach has been performed with quantity calculations and LCA, based on RIB and ARK models from Prosjekt Nærbyen. The emissions from defined elements in the BIMs were calculated in One Click LCA. To include emissions from elements without defined materials, generic emission values based on experience numbers were used. The respective uncertainties associated with the generic values are also presented.

Based on the studies in the theoretical approach, the results show that Screening LCA is best suited for the first two LODs, but it can also be used at LOD300. Furthermore, it is considered that Simplified can be used at LOD300, and for the higher LODs. Based on the results of the practical approach, LOD developments can affect BIM-based LCA calculations, and emissions from the defined materials tend to increase with increasing LOD. The results show that emissions can be excluded both when using objects with "too low" and "too high" LOD. Regardless, the calculations show that including emissions from undefined materials can fill the information gap at the low LODs, and emissions, as well as their uncertainty, can be reduced when the LOD is increasing. The practical approach demonstrates that a BIM usually consists of components with several different LODs. Thus, it is not as easy to set a distinction for the various methods for an entire BIM in practice. Yhe procedure should vary for the different elements if they have different LODs.

To handle elements with different LODs in a BIM, design decisions can be structured through a LOD decision plan. If a building is divided into different element groups that are assumed to follow the same LOD development, and their development is mapped separately, the objects can be more easily sorted. This can be used to select the most suitable method for LCA calculations for the various element groups, where the complexity of the method and the quality of the data follow the development of the elements. Inspired by cost calculation and LCC, standardized building templates can supplement an unfinished BIM by including parts that has not been modeled but are common to include in a building. If the same procedure is used for LCC and LCA in combination with BIM, both costs and environmental considerations can be taken into account from the start. They can be used together to develop designs that are both environmentally friendly and economically sustainable. By integrating BIM and LCA into the decision-making process at an early stage, it can provide a better overview of the building's environmental impacts from the start and thus provide a better starting point for reducing them. Further work should, among other things, address BIM-based LCA with extended system boundaries and increased degree of integration, explore the combination with a LOD decision plan in practice, and investigate whether more parallels can be drawn to how LCC is combined with BIM.

Forord

Denne masteroppgaven utgjør det endelige arbeidet for den ingeniørfaglige utdanningen Bygg- og Miljøteknikk, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, våren 2019. Mastergraden er gjort ved Institutt for bygg og anlegg, innenfor studieområdet Bygnings- og materialteknikk. Emnet for oppgaven er kombinasjonen av LCA og BIM, med Rolf Andre Bohne som profesjonell veileder. Oppgaven har blitt utført i samarbeid med Veidekke Entreprenør, som har gitt tilgang til å bruke Prosjekt Nærbyen i Trondheim som case.

Oppgaven er utformet som en tradisjonell masteroppgave. Rolf Andre Bohne har utøvd god veiledning og fortjener en takk for alle gode tilbakemeldinger, innsats og interesse i arbeidet. I tillegg vil jeg takke Henning Frøysa i Veidekke for tilgang til bygningsinformasjonsmodeller, samt veiledning og forslag til hvordan modellene kunne brukes. Jeg vil også takke Jostein Solberg fra Bygganalyse AS som har svart på spørsmål angående LCC og klimagassberegninger, samt kommet med gode innspill til hvordan dette kan kombineres med BIM i praksis.

Trondheim, 11.06.2019

Sophie N. Thøgersen.....

Sophie Ness Thøgersen

Innhold

Figurer xiii
Tabeller xiv
1 Introduksjon 1
1.1 Bakgrunn 1
1.3 Forskningsspørsmål 2
1.4 Avgrensninger 2
1.5 Oppgavens struktur 3
2 Teoretisk rammeverk 5
2.1 Energi- og materialbruk i byggebransjen 5
2.2 Designprosessen i et byggeprosjekt 6
2.3 BIM 7
2.3.1 Utviklingsnivå (LOD) 8
2.4 LCC 10
2.4.1 Verktøy for LCC og kombinasjon med BIM 11
2.5 LCA 12
2.5.1 Standarder for LCA 13
2.5.2 Rammeverket for LCA 13
2.5.3 LCA av bygninger 15
2.5.4 Ulike typer LCA 16
2.5.5 LCA-verktøy 17
2.6 Integrasjon av BIM og LCA 18
2.6.1 Eksisterende metoder og rammeverk 19
2.6.2 LCA og LOD 20
2.6.3 Eksempler på BIM-LCA verktøy 21
3 Metode 23
3.1 Forskningsmetode 23
3.2 Valg av metode 23
3.3 Litteraturstudie 24
3.3.1 Fremgangsmåte for litteratursøket 24
3.3.2 Evalueringskriterier 25
3.3.3 Styrker og svakheter 25
3.3.4 Feilkilder 26
3.4 Teoretisk tilnærming for empirisk datainnsamling– Case 1 26
3.4.1 Fremgangsmåte for definering av LOD og beregning av materialmengder 26
3.4.2 Fremgangsmåte for LCA-beregninger 27
3.4.3 Styrker og svakheter 29
3.4.4 Feilkilder 30

3.5 Praktisk tilnærming for empirisk datainnsamling – Case 2 30
3.5.1 Fremgangsmåte for definering av LOD 30
3.5.2 Fremgangsmåte for beregning av materialmengder 31
3.5.3 Fremgangsmåte for LCA-beregninger 32
3.5.4 Styrker og svakheter 39
3.5.5 Feilkilder 40
4 Case 43
4.1 Case 1 - Betongvegg 43
4.1.1 Materialmengder 43
4.2 Case 2 – NærByen 45
4.2.1 Materialmengder 46
5 Resultat og Diskusjon 49
5.1 Teoretisk tilnærming - Når kan de ulike LCAene brukes 49
5.1.1 LOD100 og LOD200 50
5.1.2 LOD300 og LOD350 50
5.1.3 LOD400 51
5.1.4 Oppsummering av diskusjonen for Screening og Forenklet LCA 52
5.2 Praktisk tilnærming – basert på Prosjekt Nærbyen 53
5.2.1 LOD 53
5.2.2 LCA 57
5.3 Oppsummering av diskusjon fra teoretisk og praktisk tilnærming 64
6 Konklusjon 69
6.1 Hva slags LCA som kan utføres på de ulike utviklingsnivåene 69
6.2 LOD-utvikling og dens påvirkning på LCA 69
6.3 Hvordan integrasjonen av BIM og LCA kan redusere byggebransjens miljøpåvirkning 70
7 Videre arbeid 71
Referanser 73
Vedlegg 81

Figurer

Figur 2.1 Forhold mellom bruksfasen og produksjon/EOL for en 10-20 år gammel bygning sammenlignet med et nytt passivhus (EeBGuide 2012a) 6
Figur 2.2 Gjensidig avhengighet i designprosessen (Bell & Kozlowski (2002) og Knotten et al. (2015)) 6
Figur 2.3 MacLeamy kurven (Overbey 2018) 7
Figur 2.4 Level of development (LOD) (BIMForum 2013b) 9
Figur 2.5 LOD-beslutningsplan (Svalestuen et al. 2018) 10
Figur 2.6 Presisjon av kostnadsestimat som funksjon av utviklingsnivå (modifisert figur fra Stassen 2016) 11
Figur 2.7 LCA som en iterativ prosess (Joint Research Centre 2010). 12
Figur 2.8 Stegene som gjøres i en LCA (Standard Norge 2006a) 14
Figur 2.9 Livssykluseffektvurdering. Skjematiske steg fra livsløpsregnskap til endepunkt (Joint Research Centre 2010). 14
Figur 2.10 Forholdet mellom designfaser og forenklinger av LCA (Meex et al. 2018) 17
Figur 2.11 Designprosessen og LOD for ulike bygningskomponenter. PP = project planning, P = project, BPA = Building permit application, T = Tendering, C = Construction (Cavalliere et al. 2019) 21
Figur 3.1 Eksempel på materialfane for en vegg i Solibri 31
Figur 3.2 Utsnitt av beregninger av utslippsfaktor for aluminiumprofil for vinduer 34
Figur 3.3 Vegg med flere lag definert med ulike LODer 41
Figur 4.1 Yttervegg, dimensjoner i m. Oppbygning gitt i mm, hentet fra Solem (2017) . 43
Figur 4.2 Prosjekt Nærbyen 45
Figur 5.1 Resultat Screening LCA 49
Figur 5.2 GWP Resultater Forenklet LCA, fordelt på A1-A3 og B4 50
Figur 5.3 Illustrert oppsummering av resultat og diskusjon for teoretisk tilnærming 52
Figur 5.4 Totalt antall objekter i RIB-modellene 53
Figur 5.5 LOD-utvikling for alle fire RIB-modellene 54
Figur 5.6 LOD-utvikling for alle vegger ARK 55
Figur 5.7 LOD-utvikling for hele ARK 55
Figur 5.8 LOD-utvikling i ARK-modell fra juni 2018 til april 2019 56
Figur 5.9 Totalt klimagassutslipp for de fire RIB-modellene 57
Figur 5.10 Klimagassutslipp fra RIB-modellene 06_18 og 04_19. Diagrammet viser hva som ble lagt inn automatisk og hva som måtte legges inn manuelt 58
Figur 5.11 Totale klimagassutslipp for alle vegger i ARK-modellene. (a) for m3, (b) for m2 59
Figur 5.12 Konseptuell fremvisning av påvirkningen mengde-enhet har på utslipp 60
Figur 5.13 Utslipp fordelt på om materialene kunne legges inn direkte i One Click LCA eller ikke for udefinerte vegger i m3 60
Figur 5.14 Utslipp fordelt på om materialene kunne legges inn direkte i One Click LCA eller ikke for udefinerte vegger i m2 61
Figur 5.15 Totale klimagassutslipp for de fire ARK-modellene. (a) er for m3, (b) er for m2 61
Figur 5.16 Forbedring av materialer fra 06_18 til 10_18 62
Figur 5.17 Utslipp fordelt på om materialene kunne legges inn direkte i One Click LCA eller ikke 63
Figur 5.18 Uønsket utvikling for miljøpåvirkningen 64
Figur 5.19 Optimalisering av materialvalg basert på teoretiske tilnærming 65
Figur 5.20 Ideell utvikling for miljøpåvirkningen 66
Figur 5.21 Konseptuell fremstilling av diskusjon 67

Tabeller

Tabell 2.1 Grunnleggende definisjon av LOD-nivåer (BIMForum 2013b) 9
Tabell 3.1 Forskningsspørsmål og fremgangsmåte..... 23
Tabell 3.2 Oversikt over søkeprosessen I de ulike databasene 24
Tabell 3.3 Overordnede retningslinjer for fremgangsmåtene ved Screening og Forenklet LCA 27
Tabell 3.4 Overordnede retningslinjer for LCA-beregninger for case 2 33
Tabell 3.5 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for betong og sement 35
Tabell 3.6 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for stål 36
Tabell 3.7 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for isolasjon 37
Tabell 3.8 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for tre, gips og andre plater 37
Tabell 3.9 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for vinduer og dører..... 38
Tabell 3.10 Utslippsfaktorer for udefinerte materialer..... 39
Tabell 4.1 Inputs for de to LCA-typene ved LOD100..... 43
Tabell 4.2 Inputs for de to LCA-typene ved LOD 300..... 44
Tabell 4.3 Inputs for de to LCA-typene ved LOD 350..... 44
Tabell 4.4 Arealer for bygninger i prosjekt Nærbyen (Frøysa 2019) 45
Tabell 4.5 Materialemengder i RIB-modellene..... 46
Tabell 4.6 Materialmengder i ARK-modellene..... 46
Tabell 4.7 Mengder for udefinerte materialer i ARK-modellene..... 47
Tabell 4.8 Mengder for vinduer og dører i ARK-modellene..... 47
Tabell 5.1 Forbedring av materialer fra 06_18 til 10_18 62

1 Introduksjon

Oppgavens tema ble valgt på bakgrunn av en interesse for miljø og bærekraftig bygging, samt hvordan digitaliseringen av byggebransjen kan utnyttes for å redusere bygningers miljøpåvirkning. I dette kapittelet, vil bakgrunnen for oppgaven bli utdypet basert på dagens utfordringer knyttet til miljøpåvirkninger og bærekraft. Deretter vil oppgavens hensikt og omfang presenteres, som inneholder den valgte problemstillingen, forskningsspørsmål og oppgavens generelle avgrensinger. Avslutningsvis forklares oppgavens videre struktur.

1.1 Bakgrunn

Gjennom Parisavtalen har politiske ledere i de fleste verdenslandene forpliktet sine land til å redusere klimagassutslipp, for å overholde FNs togradersmål (UNFCCC 2015). Den nyeste rapporten fra FNs klimaendringspanel viser at en grense på 1,5 grader i økning av global oppvarming i forhold til preindustriell tid, bør være målet (IPCC 2018). Denne rapporten stadfester at det er nødvendig med en reduksjon i globale netto menneskeskapte CO_2-utslipp på om lag 45 % fra 2010-nivå innen 2030. Det å redusere klimagassutslippene vil kreve raske og utstrakte endringer i flere sektorer, og spesielt i sektorer for energi, industri, bygg og transport. Ifølge IPCCs siste rapport, kan det ved første øyekast se ut til at det bebygde miljøet i seg selv ikke bidrar så mye til utslippene. Ved å se nærmere på sektorer som er nært knyttet til det bebygde miljøet, som for eksempel industri, transport, arealbruk og energisektoren selv, er det klart at det bebygde miljøet har stor innvirkning. Ifølge en tidligere rapport fra klimapanelet stod bygninger i 2010 for 32 % av det samlede globale energiforbruket og 19 % av klimagassutslippene, når elektrisitetsrelaterte utslipp inkluderes (IPCC 2014). Dette viser at byggebransjen har stort potensiale når det kommer til å bidra i reduksjonen av de globale menneskeskapte CO_2-utslippene.

Grunnet de høye miljøbelastningene fra byggesektoren, er livssyklusanalyse (LCA) av bygninger et forskningsområde som har blitt grundig studert i løpet av det siste tiåret (Anand & Amor 2017). Forskning foregår på ulike områder av feltet i et forsøk på å analysere og redusere bygningers miljøpåvirkning, og LCA muliggjør en vitenskapelig vurdering for å forbedre en bygnings miljøprofil. Selv om bruken av LCA stadig øker i bransjen, søker fagfolk fortsatt nye måter å integrere metoden i byggdesign og byggeprosesser så sømløst som mulig (Bueno & Fabricio 2018). Flere aktører innen forskningsfeltet er enige om at kombinasjonen av BIM og LCA er et skritt i retning av en mer bærekraftig byggebransje (Röck et al. 2018; Kreiner et al. 2015). LCA er en egnet metode for å vurdere miljøprestasjon, og BIM forbedrer informasjonsstyring og samarbeid mellom ulike interessenter gjennom de ulike fasene i et prosjekt.

Medformann Debra Roberts i FNs klimapanel poengterer, med tanke på beslutningstaking for å takle klimaendringene, at: «The next few years are probably the most important in our history» (Roberts 2018). Dette sitatet understreker viktigheten av utfordringene som vil prege den videre utviklingen, også i bygg- og anleggsbransjen. For å sikre global bærekraft må det brukes tid og ressurser på å redusere bygningers miljøprestasjon, og det å kombinere BIM og LCA er en av mange måter som kan bidra til å nå de globale målene.

1.3 Forskningsspørsmål

Oppgavens formål er å undersøke hvordan BIM og LCA kan kombineres og på hvilken måte denne kombinasjonen kan brukes til å redusere miljøpåvirkninger fra bygninger. For å gjøre dette er følgende problemstilling valgt:

> *Hvordan kan integrasjonen av BIM og LCA i tidligfase redusere byggebransjens miljøpåvirkninger?*

Tre forskningsspørsmål er formulert for å tydeliggjøre og understøtte den valgte problemstillingen:

- Hva slags LCA kan utføres på de ulike utviklingsnivåene?
- Hvordan er LOD-utviklingen for de ulike fagene i en BIM gjennom designprosessen?
- Hvordan påvirker LOD-utviklingen i en BIM LCA-beregninger?

Det første forskningsspørsmålet skal belyse hvordan to ulike typer LCA blir påvirket av tilgjengeligheten av informasjon ved de ulike utviklingsnivåene objekter i en BIM kan ha. Ved hjelp av undersøkelser basert på en teoretisk tilnærming, er hensikten å koble utviklingsnivå opp mot ulike typer forenklinger av LCA-beregninger. Dette gjøres for å kunne si noe om hvordan en LCA kan gjøres, spesielt med fokus på tidligfase. De to neste forskningsspørsmålene er basert på en praktisk tilnærming, som tar utgangspunkt i et byggeprosjekt i Trondheim: Prosjekt Nærbyen. Beregninger med informasjon fra dette prosjektet skal brukes til å illustrere en BIMs utvikling med tanke på LOD-nivå og videre hvordan dette kan påvirke LCA. Ved å vise hvordan ulike fag representert i en BIM utvikler seg med tanke på LOD-nivå, kan det gi en indikasjon på når de ulike fagene bør være i fokus. Avslutningsvis vil de to tilnærmingene kunne sammenlignes for å se om antagelser gjort i teorien gjenspeiler virkeligheten. Sammenligningen vil kunne si noe om hvilke teoretiske metoder og fremgangsmåter som fungerer og hvilke utfordringer som oppstår i kombinasjonen av BIM og LCA i praksis.

Oppgavens overordnede problemstilling er nokså generell, men målet er at svarene på de tre forskningsspørsmålene, i kombinasjon med litteraturen, vil gi nok innsikt til å kunne si noe om hvordan integrasjonen av BIM og LCA kan redusere byggebransjens miljøpåvirkninger.

1.4 Avgrensninger

Med tanke på avgrensinger knyttet til tema og litteratur vil oppgaven presentere teori om LCA generelt, men også for bygninger spesielt. Etter den første generelle introduksjonen av LCA vil resten av rapporten fokusere på bygningsspesifikk LCA. Oppgaven tar for seg fordeler og bruksområder for både LCA og BIM hver for seg, men hovedfokus er å belyse hvordan disse kan brukes sammen. For å gjøre dette har også inspirasjon fra beregninger av LCC blitt brukt. Det er ikke gjort noen egne beregninger av LCC, men noe teori og forslag til kombinasjon med BIM er presentert og diskutert.

I løpet av våren ga Veidekke modeller fra arkitekt (ARK) og rådgivende ingeniør bygg (RIB) fra juni 2018, oktober 2018, februar 2019 og april 2019. For februar og april 2019 ble det også gitt modeller for ventilasjon og rådgivende ingeniør elektro (RIE), men det ble valgt å avgrense undersøkelsene i den praktiske tilnærmingen til kun å håndtere informasjon fra ARK- og RIB-modellene. De resterende modellene ble ikke brukt i beregningene grunnet mangel på utslippsverdier for tekniske komponenter, samt begrensninger i tid. Det ble vurdert at undersøkelser av ARK- og RIB-modellene var tilstrekkelig for å besvare

oppgavens forskningsspørsmål og at de ga nok eksempler for å illustrere utvikling og sammenhenger.

1.5 Oppgavens struktur

I kapittel 2 presenteres et teoretisk rammeverk som legger grunnlaget for rapporten, og kapittelet forklarer begrep og metoder som diskuteres videre i oppgaven. Det er i dette kapittelet at funnene fra den utførte litteraturstudien gjengis. Deretter forklares metodene som er brukt til å fremskaffe og håndtere informasjon, samt utførte beregninger. Dette inkluderer fremgangsmåte og vurdering av litteraturstudie som metode, i tillegg til presentasjon av metodene brukt i den teoretiske og praktiske tilnærmingen. Følgelig presenteres de to casene som er benyttet, og deretter resultater og diskusjon. Diskusjonen skal knytte teorien og resultatene sammen, og det er valgt å kombinere diskusjon og resultat for å gi diskusjonen en god flyt. Videre oppsummeres drøftingen av teorien og resultatene i konklusjonen som inkluderer svar på forskningsspørsmålene og den overordnede problemstillingen. Avslutningsvis gis det forslag til videre arbeid.

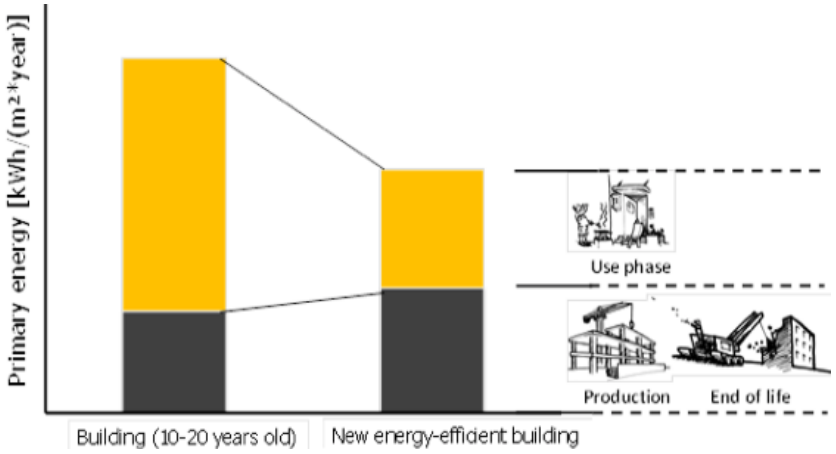
2 Teoretisk rammeverk

Dette kapittelet utgjør det teoretiske rammeverket for oppgaven. Rammeverket er grunnlaget for oppgavens resultater og diskusjon. Hensikten er å presentere informasjon, kunnskap og modeller som er relevante for rapporten videre. Samtidig vil rammene skape en vitenskapelig gyldighet og etablere konteksten for oppgaven.

2.1 Energi- og materialbruk i byggebransjen

Klimaendringene er en av de største utfordringene verden står overfor med ukjente konsekvenser for menneskeheten og miljøet. Det er behov for samfunnsmessige endringer som vil redusere utslippene, samt forbedre tilpasningen til det fremtidige klimaet (IPCC 2014). Skiftet mot en mer miljøvennlig og bærekraftig byggepraksis er en vesentlig del av denne utviklingen.

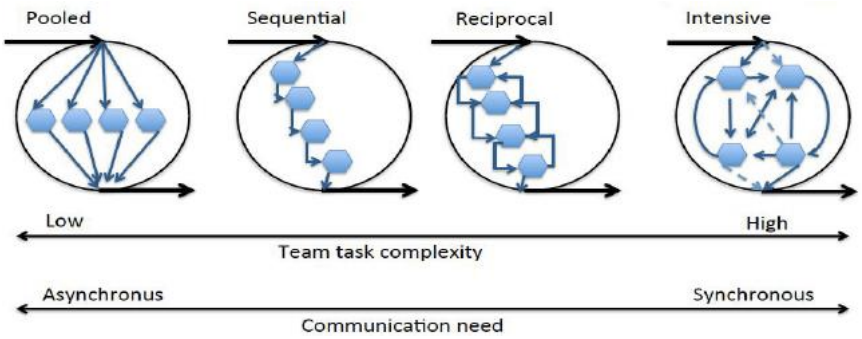
Det å konstruere bygninger er svært ressurskrevende og omtrent 50 % av Europas prosesserte råmaterialer er brukt av byggebransjen, i tillegg til at bransjen står for om lag 30 % av alt generert avfall gjennom bygging og riving (Herczeg et al. 2014). Bygninger står for en betydelig del av det globale energiforbruket, og for eldre bygninger er det energibruken i bruksfasen som dominerer alle andre livssyklusfaser med tanke på miljøpåvirkninger (EeBGuide 2012a). For å oppnå mer energieffektive bygninger har fokuset for mange nasjonale forskrifter og insentiver siden 1980-årene, vært å senke det operative energibehovet til bygninger (Meex et al. 2018). I dag kan nye bygninger bruke mindre enn 15 kWh endelig energi for oppvarming per m² per år dersom de overholder Passivhus-standarden. For nybygninger med såpass lavt energibehov, er forholdet mellom operasjonelle utslipp i bruksfasen og utslippene fra produksjon og håndtering av produkter etter endt levetid (EoL), mer eller mindre balansert (Basbagill et al. 2013). Dette er illustrert i Figur 2.1 som viser forholdet mellom driftsenergi i bruksfasen og den innebygde energien fra produksjon av byggevarer og EoL (EebGuide 2012a). Ifølge Passer et al. (2012) har energieffektiviseringstiltak, som er implementert for bygninger med lavt energibruk, nådd grensen for hva som kan oppnås. Når forholdet mellom de nevnte fasene er slik som Figur 2.1 viser, kan produksjonsfasen og avhendingsfasen utgjøre halvparten av utslippet som en ny energieffektiv bygning har gjennom hele levetiden (Kristjansdottir et al. 2014). Dette innebærer at byggematerialene utgjør en stor prosentandel av de totale utslippene fra hele byggets levetid, og det er estimert at bygningsmaterialer alene representerer 5-10 % av de globale klimagassutslippene (Habert et al. 2012).



Figur 2.1 Forhold mellom bruksfasen og produksjon/EOL for en 10-20 år gammel bygning sammenlignet med et nytt passivhus (EeBGuide 2012a)

2.2 Designprosessen i et byggeprosjekt

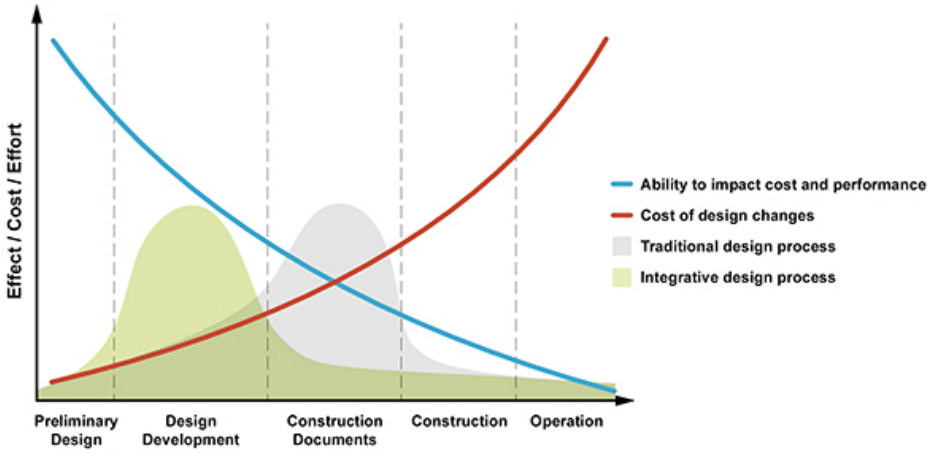
For å gripe an utfordringene knyttet til bygningsmaterialers miljøpåvirkning er designprosessen i et byggeprosjekt aktuell, fordi det er i denne prosessen beslutninger tas med tanke på design og materialer (Häkkinen et al. 2015). Den naturlige rekkefølgen for utførelse av et bygg er å starte med fundament, deretter bærekonstruksjonen, fasade og til slutt innvendig arbeid (Svalestuen et al. 2018). Designprosessen er derimot ikke like rett frem. Med tanke på bygningsdeler og materialer, vil beslutninger i tidligfase legge føringer for videre alternativer. En annen måte å si dette på er at designprosessen består av mange aktiviteter og beslutninger med forskjellig grad av avhengighet. De gjensidige avhengighetene som kan opptre i en designprosess er samlet (pooled), sekvensiell (sequential), felles (reciprocal) og intensiv gjensidig avhengighet (Knotten et al. 2015). Kompleksiteten ved designprosessen øker når flere aktiviteter har de to høyeste gradene av gjensidig avhengighet som vist på Figur 2.2. Dette fordi høyere grad av gjensidig avhengighet gjør at endringer gir større ringvirkninger på andre designvalg.



Figur 2.2 Gjensidig avhengighet i designprosessen (Bell & Kozlowski (2002) og Knotten et al. (2015))

Dersom det gjøres endringer i designet, viser Figur 2.3 hvordan endringskostnader og effektiviteten av endringer varierer gjennom et prosjekts utvikling, fra pre-design til bruksfasen. Figuren viser forskjellen på når den tradisjonelle designprosessen forekommer og når det er ønskelig at den finner sted. I den tradisjonelle designprosessen gjøres mange endringer når effekten er lavere og endringskostnadene høyere. I en såkalt integrerende designprosess gjøres flere endringer når effekten av endringene er høyere og kostnadene

lavere, og dette er derfor en mer foretrukket designprosess (Carbonari et al. 2015). For at designprosessen skal kunne representeres av den grønne kurven, kreves et samarbeidsmiljø mellom de ulike fagene slik at mer informasjon kan være tilgjengelig tidligere (AIA 2007).



Figur 2.3 MacLeamy kurven (Overbey 2018)

Designprosessen er en iterativ prosess, uten en klar retning og fremgangsmåte ved oppstart. Hadde designet vært klart fra begynnelsen av, ville ikke designprosessen vært en verdigenererende prosess (Ballard 2000). Derfor anses designiterasjoner ikke bare å være uunngåelige, men også høyst nødvendige for å øke verdien i et prosjekt (Abou-Ibrahim & Hamzeh 2016). Designprosessens iterative natur, sammen med høy grad av gjensidig avhengighet, gjør at den blir komplisert å styre. Dette gjelder uansett om det brukes tradisjonelle designmetoder eller BIM (Abou-Ibrahim & Hamzeh 2016).

2.3 BIM

En bygningsinformasjonsmodell (BIM) kan beskrives som en digital representasjon av fysiske og funksjonelle egenskaper ved et byggeprosjekt (Luth et al. 2013). Begrepet omfatter ikke bare selve 3D-modellen, men også hvordan informasjon håndteres gjennom hele byggeprosessen og formidles til flere aktører (Eastman et al. 2011). BIM handler om bruk av digitale verktøy, men også om sosiologi (Mossman et al. 2010). Dette forklares av at en BIM-implementering kun er så god som evnen og kompetansen til menneskene som implementerer den, samt at BIM er mer vellykket når de ulike aktørene samarbeider (BIMForum 2013a). Fra et teknisk perspektiv, kan BIM beskrives som en prosjektsimulering med informasjon relatert til prosjektplanlegging, design, utførelse eller drift (Kymmell 2008). BIM oppfordrer til å integrere alle interessenter i prosjektet, i tillegg til å gjøre betydelige endringer i tradisjonell arbeidsflyt og kjente prosesser for prosjektleveranse (Azhar et al. 2012; Hardin 2009).

En BIM kan være en felles ressurs for informasjon og gir et pålitelig grunnlag for beslutninger i et prosjekt (McGraw-Hill Construction 2010). I tillegg kan en modell være omfattende og inkludere flere aspekter av et byggeprosjekt, som design, økonomi og tid. Krygiel & Nies (2008) oppsummerer flere måter BIM kan supplere designprosessen med tanke på bærekraftig bygging. I den sammenheng nevnes blant annet undersøkelse av byggets optimale orientering, bærekraften til materialer og dagslysanalyser.

Manuell gjeninntasting av data er et problem i byggebransjen, og det har blitt anslått at de samme dataene kan bli skrevet inn inntil syv ganger (Sjøgren 2011). Bruk av BIM kan

redusere dette ved at designet kommuniseres på en effektiv måte (Sacks et al. 2010). Imidlertid påpeker Luth et al. (2013) at en BIM bare er et effektivt verktøy dersom det blir brukt, og jo flere som bruker det, jo mer verdi kan det generere for prosjektet. Andre verdifulle egenskaper ved en BIM-modell er definert som lagring, utveksling og tilrettelegging av tverrfaglig prosjekt- og objektdata (Ghaffarianhoseini et al. 2017). Designere og ingeniører kan få bedre kontroll over prosjektet, slik at en mer nøyaktig beslutningsprosess kan oppnås mot slutten. Denne interaksjonen mellom tverrfaglige data gjøres mulig via interoperabilitet (Grilo & Jardim-Goncalves 2010), og gjør BIM til en avgjørende faktor i det teknologiske skiftet som vil fortsette å påvirke byggebransjen.

2.3.1 Utviklingsnivå (LOD)

I designprosessen vil byggesystemer og komponenter gå fra å være vage konseptuelle ideer til å bli presise beskrivelser (BimForum 2013b). For å utnytte verdien av et BIM-verktøy er modellens utviklingsnivå (LOD) av betydning (Luth et al. 2013). LOD er et teoretisk konsept som støtter modellutvikling. På hvert av de definerte nivåene måles informasjon knyttet til egenskaper og geometri som modellen inneholder (Hooper 2015) og derfor kan det med større sikkerhet garanteres en viss informasjonskvalitet i modellen. En BIMs LOD varierer etter hva modellen har til hensikt å vise og når den skal brukes (Eastman et al. 2011). I et samarbeidsmiljø er designplanen viktig, fordi andre enn den som lager BIMen er avhengig av informasjon fra modellen for å gå videre med sitt arbeid. Det er nødvendig for modellbrukerne å vite når informasjon vil bli tilgjengelig for å planlegge eget arbeid, og LOD-rammeverket fasiliterer dette (BimForum 2013b).

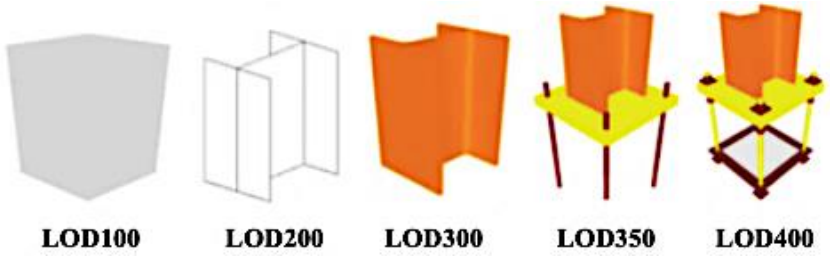
Konseptet og mulig anvendelse av LOD ble først presentert av Vico og Weber i 2005 og etter dette er det kommet mange versjoner av konseptet rundt om i verden (Hooper 2015). Det amerikanske instituttet for arkitekter (AIA) utarbeidet de første definisjonene for LOD, som inneholder fem nivåer fra LOD100 til 500. I senere tid har en arbeidsgruppe fra BIMForum utviklet det videre og utarbeidet en LOD-spesifikasjon (BimForum 2013b). BIMForums spesifikasjon definerer to tolkninger av LOD-begrepet: detaljnivå og utviklingsnivå. Detaljnivå kan beskrives som hvor mye av detaljene som er inkludert i et modellobjekt. Utviklingsnivå er i hvilken grad objektets geometri og tilhørende informasjon har vært gjennomtenkt, og dette forteller i hvilken grad informasjonen er til å stole på (BimForum 2013b). Abou-Ibrahim & Hamzeh (2016) presenterer en noe annen definisjon som kobler LODen for et objekt til den faktiske designkonteksten. Istedenfor å gi begrepet to betydninger, deler forfatterne definisjonen av LOD i tre variabler: grafisk detaljnivå, informasjonsrikhet og konfidensindeks, hvor hver variabel har ulike kriterier som må oppfylles.

LOD skiller mellom geometri og egenskaper. En modell kan være godt utviklet gjennom geometri uten å ha mye informasjon om egenskapene til modellen. I et slikt tilfelle har modellen et lavt nivå av egenskaper og høyt nivå av geometri (BimForum 2013b). De forskjellige versjonene rundt om i verden definerer nivåene på forskjellige måter. Tabell 2.1 viser en av de grunnleggende definisjonene for de ulike utviklingsnivåene, gitt av BIMForum (2013b).

Tabell 2.1 Grunnleggende definisjon av LOD-nivåer (BIMForum 2013b)

LOD	Definisjon	Tilgjengelig data
100	Modellelementet kan være grafisk representert i modellen med et symbol eller en annen generisk representasjon	Bygningens omtrentlige størrelse og volum
200	Modellelementet er grafisk representert i modellen som et generisk system eller objekt	omtrentlige mengder, størrelse, form, plassering og orientering.
300	Modellelementet er grafisk representert i modellen som et bestemt system eller objekt	mengde, størrelse, form, plassering og orientering
350	Modellelementet er grafisk representert i modellen som et bestemt system eller objekt, med en spesifisert montering	Størrelse, form, plassering, kvantitet og monteringsdetaljer
400	Modellelementet er grafisk representert i modellen som et bestemt system eller objekt med detaljering, fabrikasjon, montering og installasjonsinformasjon.	størrelse, form, plassering, kvantitet og orientering, montering- og installasjonsinformasjon.
500	Modellelementet er en feltverifisert representasjon	Størrelse, form, plassering, kvantitet, orientering, montering- og installasjonsinformasjon.

Figur 2.4 viser en grafisk representasjon av en søyle ved de ulike utviklingsnivåene som er generelt forklart i Tabell 2.1. LOD500 er ikke illustrert i Figur 2.4, ettersom den vil være tilnærmet lik LOD400.



Figur 2.4 Level of development (LOD) (BIMForum 2013b)

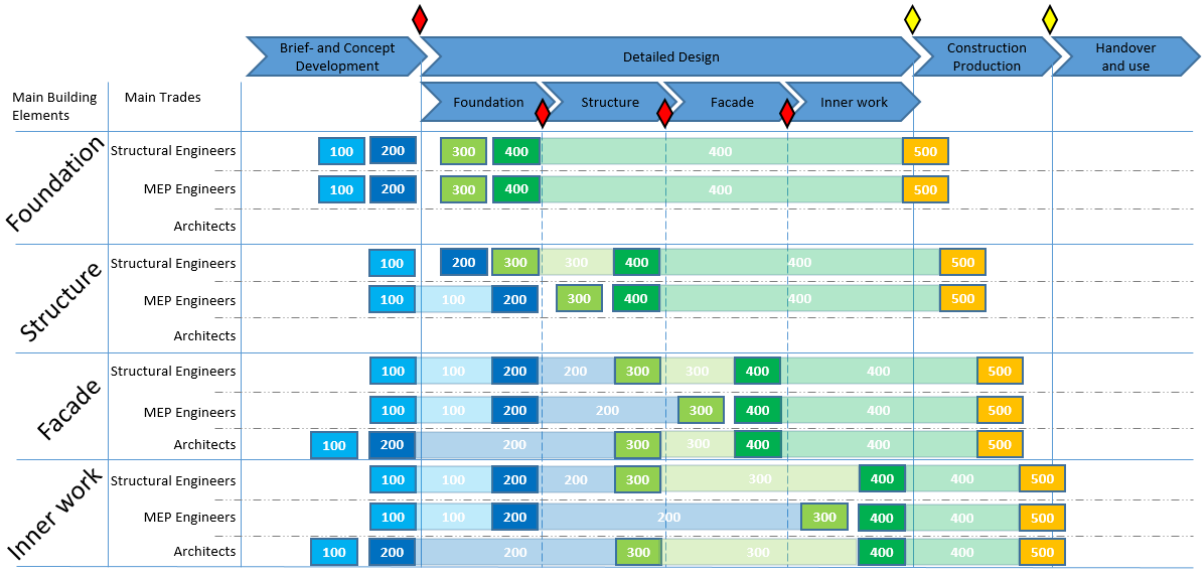
Det er ingen tydelig sammenheng mellom LODene og et prosjekts designfaser (Adams d.u.). LODene for de ulike elementene utvikler seg ikke alltid samtidig, men er avhengig av målet med de spesifikke designfasene (Cavalliere et al. 2019). Dette betyr at en BIM til ethvert tidspunkt vil kunne inneholde elementer og sammenstillinger med ulike utviklingsnivåer, og det vil derfor ikke være hensiktsmessig å etterspørre en «LOD xxx modell» i en av designfasene (Adams d.u.).

2.3.1.1 Bruken av LOD i designprosessen

Selv om LOD-rammeverket skaper struktur og gir en standardisert utvikling for modeller, er bruken av LOD begrenset i bransjen (Hooper 2015). Observasjoner gjort av (Hooper 2015) tilsier at manglende forståelse og utnyttelse av LOD er utbredt, i tillegg til at det ble oppfattet en viss skepsis angående LODs nytteverdi og rammeverkets utfordringer. Grytting et al. (2017) identifiserer flere utfordringer ved bruk av LOD til beslutningstaking i designprosessen. Blant disse er dårlig kommunikasjon mellom fag, utvikling av modeller med feil LOD-nivå og svekket tillit til modellen fordi objekter blir gitt feil nivå. En annen grunn til underutnyttelsen kan være at forutbestemte definisjoner ikke passer for alle prosjekter, fordi vært prosjekt til en viss grad er unikt (Borrmann et al. 2014). Hva som

forventes ved hver LOD bør defineres for hvert prosjekt, i tillegg til at det bør utarbeides en plan for BIMens utvikling (Svalestuen et al. 2018).

Et forslag fra Svalestuen et al. (2018), for å strukturere den komplekse designprosessen og bruken av LOD for beslutningstaking, er dermed å utvikle en LOD-beslutningsplan som er vist konseptuelt i Figur 2.5. LOD-verdiene i figuren viser arbeidsflytens fremdrift for ulike elementgrupper og fag, basert på den naturlige rekkefølgen å konstruere et bygg. En LOD-beslutningsplan vil kunne hjelpe ingeniører å gjøre designiterasjonene i riktig rekkefølge. Det å bruke en LOD-beslutningsplan åpner for nye måter å fremstille en tidsplan på, samtidig som avhengighetene blant disiplinene involvert i et prosjekt tydeliggjøres (Svalestuen et al. 2018).



Figur 2.5 LOD-beslutningsplan (Svalestuen et al. 2018)

2.4 LCC

Under planlegging, prosjektering og bygging av en bygning, har kostnadsstyring tradisjonelt blitt anerkjent som en av de viktigste beslutningsprosessene for aktører i byggebransjen (Shin & Cho 2015). Kostnadsplanlegging i Planleggings- og designfasen av et prosjekt, samt overvåking og kontrollering i byggefasen anses som svært viktige aktiviteter som kan være avgjørende for et byggeprosjekts suksess. I løpet av de siste 10 årene, har vurdering av livssykluskostnader (LCC) for å analysere økonomisk gjennomførbarhet vært en av de største endringene innen prosjektkostnadsstyring (Karan & Irizarry 2015).

Livssykluskostnader (LCC) er summen av investeringskostnader og alle kostnader til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling i bruksfasen av et bygg, fratrukket restverdi ved avhending (Difi 2013). LCC gir grunnlag for å sammenligne investeringer med fremtidige kostnader over en spesifisert tidsperiode. Driftskostnadene diskonteres tilbake i tid for å gjøre økonomiske sammenligninger mellom ulike alternativer (Cole & Sterner 2000). Det å fokusere på LCC er ikke nødvendigvis bare for å oppnå lave livssykluskostander, men også for at byggherre og brukere skal bli konfrontert med konsekvensene av sine valg (Nordisk Industrifond 2001).

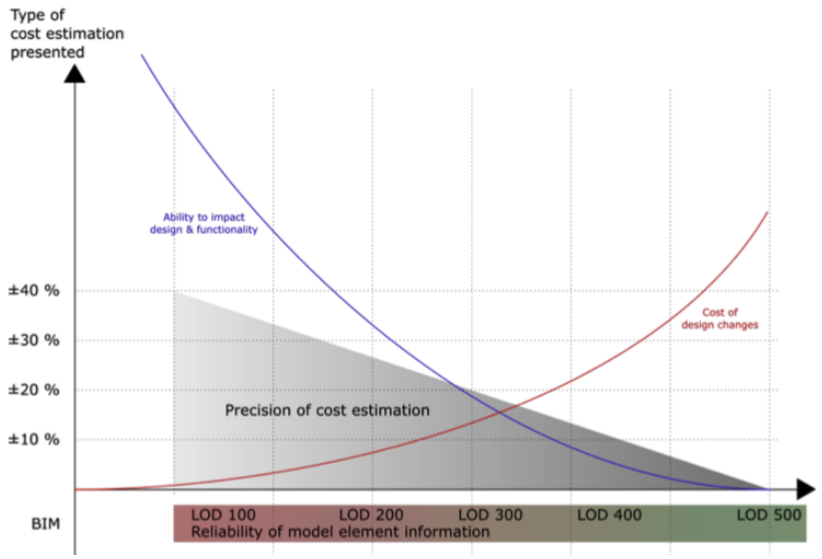
LCC har en rekke relevante bruksområder, blant annet ved anskaffelse og anbud, prosjektvurdering og som et middel for å evaluere bærekraftig bygging. Selv om disse

fordelene er velkjent og LCC har en lang historie, er prosessen underutnyttet på grunn av en rekke dokumenterte hindringer. Disse hindringene inkluderer blant annet mangel på nøyaktige historiske databaser, en standard LCC-metodikk og at klienter ikke ber om LCC (Kehily & Underwood 2017). Angående hvorvidt det faktisk brukes i bransjen, har Norge blitt vurdert å ligge i det fremre sjiktet med tanke på å utviklingen av dette feltet. Ifølge Nordisk Industrifond (2001) var Norge det nordiske landet som i 2001 hadde kommet lengst i å utnytte den teoretiske kunnskapen til et samlet verktøy for LCC av byggverk. På dette tidspunktet var Norge det eneste av de fem nordiske landene hvor byggebransjen hadde samlet seg om en standardisert metode for beregninger og prosjektforutsetninger for LCC.

Den standardiserte metoden som tar for seg livssykluskostnader er gitt i NS 3454. Denne standarden omfatter kalkulasjonsmetodikk og kostnadsoppstilling for beregning av livssykluskostnader for bygningsdeler og byggverk. Den definerer begreper og kostnadsposter, og forklarer sammenhengen mellom disse (Norsk Standard 2013). Den praktiske bruken av standarden kan deles inn i tre steg, hvor det første steget handler om å avdekke målsetningen med beregningen ved å bestemme beregningsnivå for nøkkeltall og bygningsdeler (Harridsleff d.u.). Det neste steget er oppstilling av alternativene som sammenligner prosjektkostnad, FDVU-kostnader, brukstid, levetid og intervaller for vedlikehold. Det siste steget er analyse og beslutning.

2.4.1 Verktøy for LCC og kombinasjon med BIM

LCC er mest effektiv når det utføres i tidligfase av et prosjekt (Shin og Cho 2015), og grunnen til dette kan forklares av Figur 2.6. På samme måte som MacLeamy kurven i Figur 2.3, viser denne figuren hvordan endringskostnadene øker utover i prosjektet, samtidig som påvirkningsmulighetene for endring i designet reduseres. Figuren viser også hvordan estimering av kostnader henger sammen med LOD dersom LCC kombineres med BIM. Det grå området i Figur 2.6 viser presisjon i kostnadsestimering som en funksjon av LOD. Ved lav LOD er usikkerheten for kostnadsestimatet høyt, men usikkerheten synker når LOD stiger. Dette forklares av at objekter med lav LOD har mindre tilgjengelig data og usikkerheten i designet er høyere, og som Figur 2.6 viser er usikkerheten høyere i starten grunnet høy påvirkningsmulighet for endring i designet og lave endringskostnader.



Figur 2.6 Presisjon av kostnadsestimat som funksjon av utviklingsnivå (modifisert figur fra Stassen 2016)

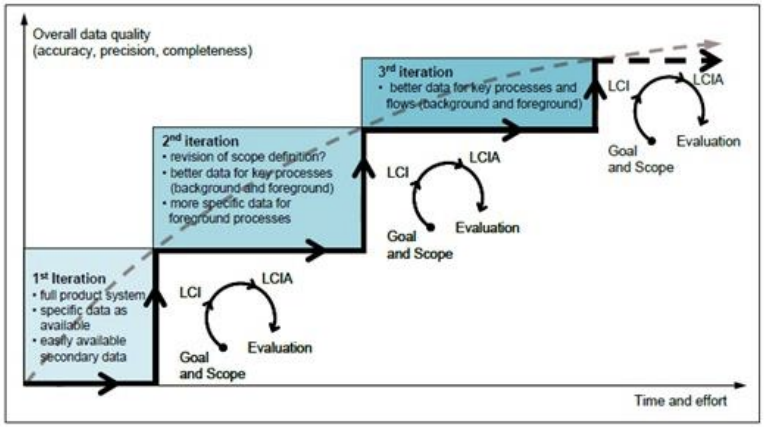
Det finnes flere programmer og verktøy som brukes til å beregne livssykluskostander. Et eksempel på et program brukt i Norge er ISY Calcus, laget av Norconsult informasjonssystemer AS. Dette programmet kan brukes til å gjøre både kostnadskalkyler og LCC, i tillegg til estimering av karbonfotavtrykk (Norconsult informasjonssystemer AS d.u.). Ettersom programmet er tiltenkt å kunne brukes i tidligfase, brukes maler som gir kostnader og karbonavtrykk for standardiserte bygninger. Disse malene er bygd opp på samme måte som NS3451 Bygningsdelstabellen, og en slik standardisert oppbygning gir gode sammenligningsmuligheter (Solberg 2019). Databasen som programmet baserer seg på er Norsk Prisbok utarbeidet av Bygganalyse AS, og denne databasen kan brukes som et oppslagsverk for bygninger og elementer i den norske byggebransje (Solberg 2019).

ISY Calcus er et program som kombinerer LCC og BIM, ved å bruke informasjon fra en BIM til beregning av kostnader, men også karbonavtrykk. For å gjøre beregninger i tidligfase kan informasjonsgapet fylles blant annet ved å bruke grove tall fra bygningsmaler som programmet har tilgjengelig, i tillegg til å supplere med informasjon fra 2D tegninger (Solberg 2019). Disse malene som i utgangspunktet brukes til kostnadsberegninger, blir mer aktuelle for miljøhensyn ettersom databasen i programmet skal forbedres med tanke på karbonavtrykk, nå som NS3720 har kommet (Solberg 2019). Denne kombinasjonen av BIM og LCC baserer seg på at mesteparten av informasjonen i tidligfase kan være basert på maler, og utover i prosjektet kan mer av informasjonen fra BIMen utgjøre grunnlaget for beregningene, når de er mer nøyaktige. Det å heller modellere BIMene mer nøyaktige fra start for å kunne bruke de i tidligfase, anses som sløsing med tid ettersom designet vil gjennomgå endringer (Solberg 2019).

2.5 LCA

En livsløpsvurdering (LCA) er en strukturert, omfattende og internasjonalt standardisert metode som kvantifiserer alle relevante utslipp og ressursforbruk, samt relaterte miljø- og helseeffekter som er knyttet til en vare eller tjeneste (Joint Research Centre 2010). Målet er å utføre konsistente sammenligninger av systemer med hensyn til deres innvirkning på miljøet (Strømman 2010). En LCA kan ta for seg alle fasene i et produkts eller systems livsløp, som er produksjon, bruk, vedlikehold og sluttbehandling.

En LCA er en iterativ prosess, slik Figur 2.7 illustrerer. Dette er tilfellet fordi det underveis i analysen vil være behov for å endre noe på mål og rammer etter hva som er tilgjengelig av data (Joint Research Centre 2010). I tillegg vil det ved hver iterasjon kunne identifiseres hvilke komponenter som er de største bidragsyterne i systemet, for da å gå tilbake og prøve å redusere disse.



Figur 2.7 LCA som en iterativ prosess (Joint Research Centre 2010).

2.5.1 Standarder for LCA

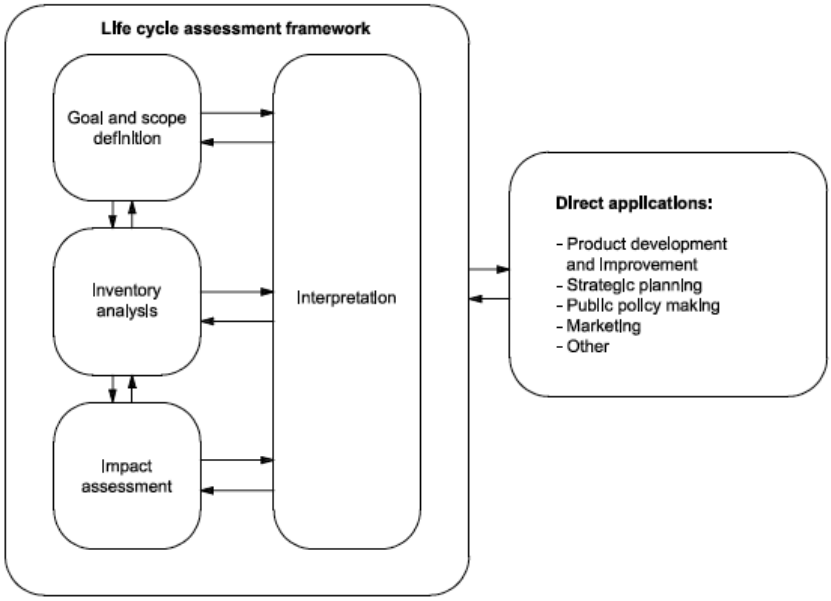
LCA er standardisert gjennom ISO14040 og ISO14044 (Standard Norge 2006a; Standard Norge 2006b). ISO14040 inneholder prinsipp og rammeverk for en LCA, mens kravene og retningslinjene for å utføre en LCA er spesifisert i ISO14044. Disse to danner grunnlaget for andre standarder, som blant annet ISO 21930 og ISO 14025. Disse standardene introduserer to konsepter: Produktkategoriregler (PDR) og miljødeklarasjoner (EPD). ISO 14025 bestemmer prinsipp og spesifiserer prosedyrene for utarbeidelse av et program for miljødeklarasjon type III (Standard Norge 2010a). Denne typen miljødeklarasjon gir kvantifiserte miljødata ved hjelp av forhåndsbestemte parametere og ytterligere miljøinformasjon. ISO 21930 gir prinsippene, spesifikasjonene og kravene for å utvikle en EPD for byggeprodukter og -tjenester, og er laget for å komplimentere ISO 14025 (Standard Norge 2011a). NS-EN 15804 er også en standard som oppgir grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer, og gir en struktur for utforming av EPDer for byggevarer.

NS-EN 15978 er en standard som gir generelle kalkuleringsregler for LCA av bygninger (Standard Norge 2011b). I September 2018, ble en ny norsk standard, NS 3720, publisert for å gi en metode for klimagassberegninger for bygninger. Standarden er basert på NS-EN 15978, men er begrenset til vurdering av klimagasser (Standard Norge 2018). Denne standarden opererer med to kvalitetsnivåer for LCA-data, hvor nivå 1 betegner spesifikke data, mens nivå 2 betegner generiske. For nivå 1 skal datagrunnlaget reflektere det reelle produktet/tjenesten innenfor et gitt tidsrom. For at en EPD skal tilfredsstille kvalitetsnivå 1, må datasettet verifiseres av en tredjepart iht. NS-EN 15804. Data på nivå 2 er data som ikke tilfredsstiller kravet til datakvalitet på nivå 1 (Standard Norge 2018).

2.5.2 Rammeverket for LCA

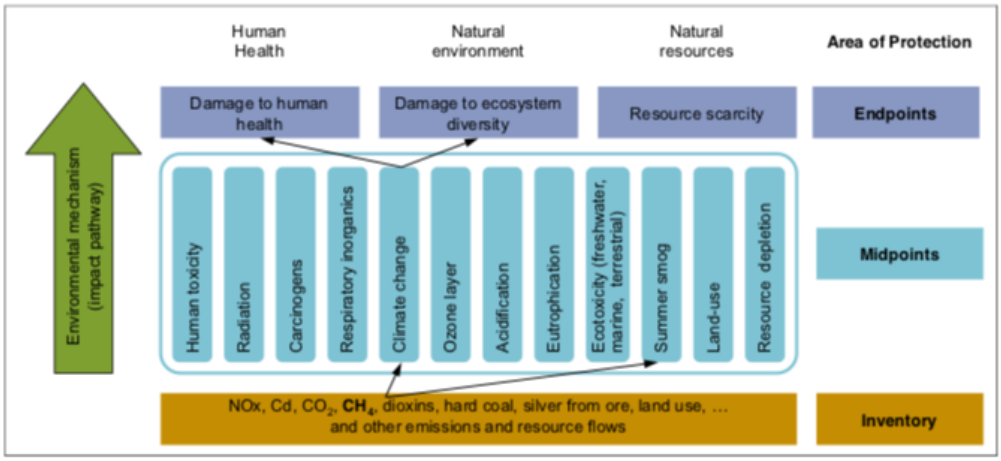
De ulike stegene for å gjennomføre en LCA er vist i Figur 2.8. I det første steget, gjøres en definisjon av LCAens hensikt, i tillegg til at systemgrensene og detaljnivået bestemmes. Systemgrensene definerer hvilke faser av livssyklusen, samt hvilke prosesser i disse fasene, som vil bli inkludert i analysen. I enkelte tilfeller er kun utvinning og produksjon viktig, mens det ved andre omstendigheter vil være nødvendig å inkludere utslipp fra bruksfasen eller transport fra fabrikk. Valg av funksjonell enhet gjøres også i dette steget. Den funksjonelle enheten er et mål for funksjonen til det studerte systemet, og det gir en referanse som inputs og outputs kan knyttes til (Ecoil d.u.). Dette muliggjør sammenligning av forskjellige systemer. Definisjonen bør være presis og sammenlignbar slik at enheten kan brukes som referanse gjennom hele studien (Joint Research Centre 2010).

Det neste steget er livsløsregnskapet, hvor data knyttet til inputs og outputs (for eksempel energi, materialer eller utslipp) samles inn. Her må det defineres grensekriterier for hvor mye som skal inkluderes. NS15804 setter krav til grensekriterier som sier at 1% av masse eller energi kan ekskluderes for enhetsprosesser, og totalt kan maksimalt 5 % av masse eller energi ekskluderes per modul (for eksempel A1-A3). NS-EN 14044 nevner dog at også miljømessig betydning bør tas i betraktning, for eksempel som en bestemt prosentandel av det totale utslippet. Det tilsynelatende paradoks er dermed at det endelige resultatet av LCAen må være kjent, for å kunne si noe om hvor stor prosentandel det aktuelle utslippet utgjør (Joint Research Centre 2010). Dette paradokset løses gjennom den iterative prosessen som beskrevet av Figur 2.7 tidligere.



Figur 2.8 Stegene som gjøres i en LCA (Standard Norge 2006a)

Det tredje steget inneholder selve livsløpseffektvurderingen, også kalt konsekvensanalysen (LCIA). I dette steget vurderes miljøpåvirkningen fra inputene og outputene knyttet til systemet eller produktet. I konsekvensanalysen fordeles utslipp og ressursstrømmer som gjøres klar for tolkning. De deles inn etter hvordan de påvirker miljøet og hvilke påvirkningskategorier de faller innunder. Dette kan gjøres ved hjelp av aggregering av utslippene, og Figur 2.9 viser hvordan denne sorteringen kan gjøres.



Figur 2.9 Livssykluseffektvurdering. Skjematiske steg fra livsløpsregnskap til endepunkt (Joint Research Centre 2010).

De ulike effektkategoriene kan beskrives med midtpunkt eller endepunkt, hvor flere av midtpunktene deles inn og påvirker de definerte endepunktene. Endepunktene og midtpunktene skal dekke tre «områder for beskyttelse», som vist på Figur 2.9. Det finnes flere metoder for konsekvensanalyse, hvor ReCiPe, TRACI og CML 2002 er eksempler på noen. Antallet effektkategorier som inkluderes i de ulike metodene varierer. Den mest omtalte effektkategorien er klimaendringer som karakteriseres av det globale oppvarmingspotensialet (GWP). Det er utslipp av drivhusgasser som påvirker denne kategorien og ettersom karbondioksid (CO_2) er den dominerende klimagassen, benyttes CO_2-ekvivalenter (CO_2eq) som indikator (Fufa et al. 2016). Normalisering og vekting av

de ulike utslippene er valgfrie steg i en LCIA (etter ISO14044:2016) og er noe som gjøres for å lettere sammenligne påvirkninger fra ulike effektkategorier. Ved normalisering vil resultatene for de ulike effektkategoriene bli uttrykt i forhold til en felles referanse ved å dividere indikatorresultatene med en respektiv referanseverdi (Joint Research Centre 2010). For å kunne legge sammen innvirkningene fra de ulike effektkategoriene må de normaliserte verdiene vektes. Ved vekting multipliseres resultatene for de ulike effektkategorier med en bestemt vektingsfaktor, som skal reflektere den relative relevansen av de ulike effektkategoriene i forhold til hverandre (Joint Research Centre 2010).

Det siste steget i LCA-rammeverket er tolkning av resultatene som skal brukes for å oppfylle LCAens hensikt, og tolkningen kan deles inn i tre aktiviteter. Først identifiseres de største bidragsyterne og disse vurderes i henhold til sensitivitet og innflytelse på det endelige resultatet. Dette innebærer blant annet å vurdere resultatenes fullstendighet og kvalitet. Til slutt formes resultatene til konklusjoner og, om aktuelt, kan det gis anbefalinger (Joint Research Centre 2010).

2.5.3 LCA av bygninger

Ved bruk av LCA kan hele systemet som produserer, bruker og avhender et byggeprodukt eller -materiale, inkluderes. LCA er en objektiv metode for å vurdere miljøbelastninger av bygninger, og metoden gjør det mulig å sammenligne miljøbelastninger mellom ulike byggeelementer. Bygninger har lang levetid og dette krever at det gjøres flere forutsetninger og antagelser, som følge av lav forutsigbarhet for enkelte variabler (Cavalliere et al. 2018). Dette, samt at et bygg er et unikt produkt satt sammen av mange deler med hver sin livssyklus, gjør LCA av bygninger utfordrende.

For LCA av bygninger, samles data fra byggebransjen, databaser eller EPDer. Det har blitt rapportert om variasjoner i generiske data for produkter og EPDer, og alder, innsamlingsmetode og kilden til dataene, er grunner til disse variasjonene (Anand & Amor 2017). Spesielt kan mangelen på en standardisert datainnsamlingsmetode for bygninger ha stor betydning (Lasvaux et al. 2015; Anand & Amor 2017). Variasjoner i dataene har vist seg å være betydelige nok til å påvirke beslutninger basert på resultater fra en LCA (Anand & Amor 2017).

Mange LCA-verktøy er utviklet for å beskrive bygningens miljøpåvirkning etter at konstruksjonen er ferdig. Disse verktøyene brukes ofte kun i vitenskapelig forskning (Olinzock et al. 2015; Weißenberger et al. 2014), og bruken i designfasen er derfor begrenset (Meex et al. 2018). For at LCA skal kunne inkluderes tidligere, poengterer Meex et al. (2018) at en single-score indikator for eksempel for Europa, som viser en bygnings totale miljøpåvirkning, burde finnes. En indikator hvor de ulike effektkategoriene er vektet og samlet i en enkel score, vil gjøre det enklere for ikke-LCA-eksperter å vurdere en bygnings samlede miljøpåvirkning. Dette bekreftes gjennom intervjuer og spørreundersøkelser gjort av Bruce-Hyrkäs et al. (2018), hvor over 90% av deltakerne mener en baseline er nødvendig for å kunne bruke LCA i beslutningstaking.

For valg av effektkategori i LCA av bygninger, er det vanlig å bruke energi og klimagassutslipp som de mest populære parameterne å kommunisere, selv om de ikke nødvendigvis har størst effekt i alle studier (Anand & Amor 2017). Valget av effektkategori er i stor grad avhengig av tilgjengelig informasjon om de ulike produktene, som må oppgis av produsenter. En svakhet ved en LCA som bare vurderer noen få påvirkningskategorier, er at betydelige miljøpåvirkninger kan forbli uoppdaget og resultatene kan gi et villedende

bilde av byggets faktiske miljøpåvirkning. En pådriver for å bruke LCA i designprosessen er at det skapes et insentiv for produsenter for å utvikle produkter med bedre miljøprestasjon (Bruce-Hyrkäs et al. 2018).

I en studie gjort av Meex et al. (2018), blir det foreslått krav til hvordan LCA-baserte miljøvurderingsverktøy kan gjøres brukervennlige for arkitekter, ettersom de har stor innflytelse i de tidlige fasene av et byggeprosjekt. Denne artikkelen fremhever kompleksitet, samt tid og arbeidsintensitet i en LCA, som eksempler på brukerrelaterte utfordringer for ikke-LCA-eksperter. Bruce-Hyrkäs et al. (2018) påpeker også at tidsbruken er en utfordring. Basert på spørreundersøkelser og intervjuer fastslår forfatterne at mer enn 40 % av deltakerne trenger 1-4 uker på å gjennomføre en LCA og 13% bruker mer enn en måned. I tillegg er mangelen på detaljert kunnskap om utslipp fra byggematerialer og de ulike LCA-metodikkene andre utfordringer for ikke-LCA-eksperter (Saunders et al. 2013).

En annen utfordring knyttet til det å aktivt inkludere LCA i byggebransjen, er mangel på eksterne triggere som statlige insentiver, en type regulatorisk forpliktelse og etterspørsel fra kunden (Meex et al. 2018). I noen av de mest brukte sertifiseringsordningene som LEED og BREEAM, kan et prosjekt motta ekstra poeng for å utføre en LCA, men det er ikke obligatorisk (USGBC 2015; bre group 2015). Det finnes andre, mindre kjente sertifiseringsordninger, som har LCA-basert konsekvensvurdering som en obligatorisk del. Et eksempel er DGNB, som er et av de nyeste sertifiseringssystemene, utviklet i Tyskland (DGNB-system d.u.). På tross av at noen sertifiseringer inkluderer LCA, defineres krav og rammer ulikt. Dette er noe som gjør det utfordrende å opprette standard praksis og gir dårligere sammenligningsmuligheter (Bruce-Hyrkäs et al. 2018).

2.5.4 Ulike typer LCA

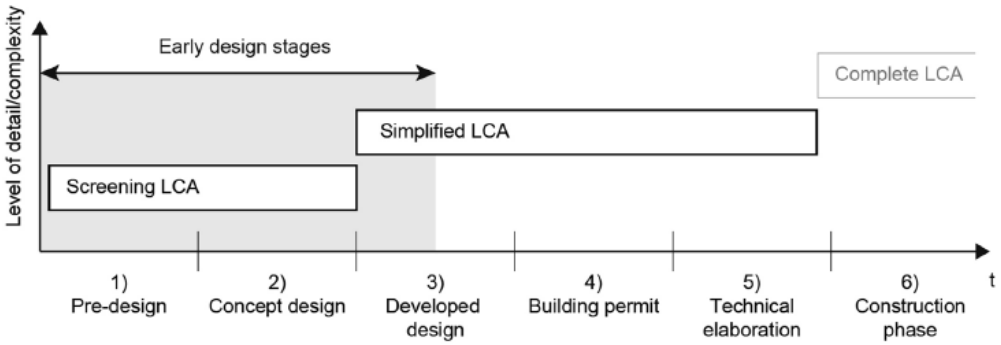
EeBGuide-håndboken anerkjenner at LCA som metode i bygg- og anleggsbransjen, ikke kan utvikles med samme detaljnivå som i andre sektorer (EeBGuide 2012b). Med utgangspunkt i LCA som en iterativ prosess, definerer EeBGuide-håndboken tre typer LCA: Screening, Forenklet og Komplett LCA. Hvor detaljert metoden er, påvirker vurderingens fullstendighet. De ulike typene krever ulik definisjon av systemgrensene, som innebærer valg av livssyklusfaser, bygningskomponenter og type data (generiske eller spesifikke). De har også ulike kalkuleringsregler, for eksempel for energi- og vannbruk. Valg av effektkategorier i konsekvensanalysen vil variere, i tillegg til tolkningen og måten resultatene bør dokumenteres og kommuniseres. Det at de tre typene har ulike systemgrenser, reduserer muligheten for å sammenligne resultatene (EeBGuide 2012b). Tabellen gitt i Vedlegg A viser en mer detaljert oversikt over de tre LCA-typene.

Screening LCA er ment å kun gi et raskt overslag på utslipp og påvirkninger, og er i mange tilfeller ikke gjort i henhold til ISO 14044 (Joint Research Centre 2010). Med tanke på valg av faser, anbefaler EeBGuiden at fasene A1 til A3, B6 og B7 inkluderes. Dersom det er ønskelig å sammenligne en Screening LCA med den Forenklede, anbefales det derimot å inkludere de samme fasene som i den Forenklede, slik at grensene er like (EeBGuiden 2012c). Denne typen LCA vil i hovedsak bruke generiske data og overslag, samt fokusere på de største bidragsyterne i systemet. For energibruk, kan det gjerne brukes indikatorer som for eksempel U-verdier for å holde varmetapet og dermed energibruken innenfor noen gitte nivåer. For konsekvensanalysen, kan denne metoden holde seg til én eller noen få indikatorer, og det anbefales at studiene inneholder det totale bruk av ikke-fornybare og fornybare energikilder, samt utslipp til GWP hvis det er aktuelt for studien (EeBGuide 2012c). I tidligfase eller ved utarbeidelse av tilbud, kan det være nyttig for arkitekten eller

de prosjekterende å gjennomføre en Screening LCA. Denne typen korresponderer til det første iterasjonssteget gitt i Figur 2.7.

Den forenklede LCAen skal ta det et steg videre fra Screening, men den er også ment å være en rask vurdering av et produkt eller en bygning. Hovedfokus er på materialene med mest påvirkning, i tillegg til vann- og energibruk (EeBGuide 2012d). EeBGuiden anbefaler at den forenklede LCAen inneholder bygningskroppen, med tak, gulv, utvendige vegger, vinduer og bærekonstruksjonen, som i gjennomsnitt utgjør 76% av det innebygde utslippet til en bygning. I denne LCAen bør det gjøres sammenligninger på et generelt nivå, ved å teste ut ulike materialer. For konsekvensanalysen bør det inkluderes flere indikatorer enn ved Screening LCA. Resultatene kan publiseres både internt og eksternt, men behøver en vurdering av en nøytral tredjepart før ekstern publikasjon (EeBGuide 2012d). Denne typen kan kobles til det andre iterasjonssteget i Figur 2.7 (EeBGuide 2012b).

Den komplette LCA-tilnærmingen er foreslått for de mer avklarte fasene av et byggeprosjekt. I dette tilfellet må nøyaktige beregningsregler følges, og omfattende systemgrenser må brukes til å utvikle en komplett LCA-studie. Den baserer seg på fremgangsmåtene gitt i ISO 14040 og 14044, og bør ta for seg hele livsløpet, samt etterstrebe å inkludere, så nærme som mulig 100 % av utslippene. Den har strengere krav til dokumentasjon, og samme krav for kommunikasjon som ved forenklet LCA (EeBGuide 2012e). Den kan kobles til det tredje steget for iterasjoner i en LCA. Avvik i resultatene for de forenklede metodene sammenlignet med den komplette metoden varierer, og det er gjort studier som viser at det maksimale avviket gjerne er mellom 30% for Screening og 20% for Forenklet LCA (Meex et al. 2018). Studien gjort av Meex et al. (2018) presenterte et forslag for når det er mest hensiktsmessig å benytte de ulike LCAene. Forholdet mellom forenklingene og fasene er oppsummert og vist i Figur 2.10.



Figur 2.10 Forholdet mellom designfaser og forenklinger av LCA (Meex et al. 2018)

2.5.5 LCA-verktøy

I dag finnes det flere ulike LCA-verktøy som er tilgjengelige for å anslå bygningers påvirkning gjennom hele livssyklusen (Anand & Amor 2017). Det finnes både generiske og bygningsspesifikke LCA-verktøy som brukes til livssyklusvurdering av bygninger. Tilgjengeligheten av de ulike effektkategoriene i en LCA-programvare er avhengig av metoden for konsekvensanalysen som er tilgjengelig for programvaren. GaBi & SimaPro er populære generiske LCA-verktøy, som tilbyr flere forskjellige metoder (Anand & Amor 2017). Enkelte andre modeller kan inneholde begrensede metoder og få effektindikatorer. For eksempel tilbyr EIO-LCA, kun «Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts» (TRACI) som metode for konsekvensanalyse.

Athena og BEES er eksempler på bygningsspesifikke LCA-verktøy (Anand & Amor 2017), som gjerne brukes i Nord-Amerika til evaluering av bygninger. De bygningsspesifikke LCA-verktøyene tilbyr et begrenset antall konsekvensanalyser, selv om de rapporterer effekter som ligner de generelle LCA-verktøyene (Kholer et al. 2005). En fordel ved noen av de bygningsspesifikke LCA-verktøyene, er at de kan importere data fra andre verktøy som brukes i byggebransjen. Generiske LCA-verktøy som ikke er integrert med designverktøy, kan dra nytte av denne funksjonen. På den andre siden, kan bygningsspesifikke LCA-verktøy dra nytte av å inkludere flere alternativer for effektkategorier, som tilbys av generiske LCA-verktøy (Anand & Amor 2017).

2.6 Integrasjon av BIM og LCA

Ettersom det stadig blir vanligere i byggebransjen å vurdere miljøkriterier (Difi 2018), kan kombinasjonen av BIM og LCA anses som en mulighet til å utvikle dette videre. Denne utviklingen skjer på grunn av økt behov for bærekraftig bygging og behovet for å endre arbeidsformen i byggebransjen (Antón & Díaz 2014).

Basert på en omfattende litteraturstudie av BIM-baserte LCA metoder, bemerker Soust-Verdaguer et al. (2017) at fordelene ved BIM-LCA integrasjon er anerkjent blant den eksisterende litteraturen. BIM-LCA metoder kan redusere tidsbruk ved utførelse av en LCA og forbedre miljøprestasjonen til bygninger. Integrasjonen kan gi utvidet bruk av miljøkriterier for interessenter, samt gjøre at mer informasjon kan bli tilgjengelig i tidligfase (Antón & Díaz 2014). Samlet sett kan integrasjonen gi muligheten til å sammenligne reell ytelse med forventet miljøprestasjon (Antón & Díaz 2014). I litteraturen fremkommer det også at det finnes flere metodiske utfordringer ved integrasjonen, blant annet knyttet til interoperabilitet (Soust-Verdaguer et al. 2017; Jalaei & Jrade 2015). Mangelen på interoperabilitet mellom design- og analyseverktøy reduserer nøyaktigheten av LCA-prosessen og kan generere merarbeid etter hvert som designet i BIMen utvikler seg (Jalaei & Jrade 2015; Antón & Díaz 2014).

Antón & Díaz (2014) beskriver to tilnærminger for å integrere BIM og LCA. Overordnet går den første tilnærmingen ut på å ha direkte tilgang til informasjonen i BIMen, ta ut mengdeinformasjon (BOQ) og bruke den til å utføre LCA-beregninger. Disse beregningene kan gjøres som en del av en LCA for hele bygningens livssyklus. En svakhet ved denne tilnærmingen er at designeren kontinuerlig må endre dataene i LCAen manuelt, ettersom det gjøres endringer i BIMen når designet utvikles. Den andre tilnærmingen Antón & Díaz (2014) presenterer handler om å inkludere miljøegenskaper i BIM-objektene på effektive og automatiske måter. Brukerne kan velge BIM-objekter basert på vurderinger av deres miljøegenskaper, noe som gjør at miljøvurderingen inkluderes som en naturlig del av beslutningsprosessen gjennom designfasen. Av de to tilnærmingene mener Antón & Díaz (2014) at den første tilnærmingen er mest korrekt da den er mer omfattende og tillater evaluering av den komplette konstruksjonen gjennom hele livssyklusen. Den andre tilnærmingen er hovedsakelig materialorientert, men kan likevel ses som et utgangspunkt og en begynnelse for det å inkludere miljøkriterier i de tidlige designstadiene (Antón & Díaz 2014).

Soust-Verdaguer et al. (2017) mener at integrasjonen av BIM og LCA kan gjøres på tre nivåer, med økende grad av kompleksitet. Ved det første nivået brukes BIM som et verktøy for å kvantifisere data i LCI-steget av livsløpsanalysen. Denne metoden korresponderer med den første tilnærmingen til Antón & Díaz (2014). Det neste nivået vil, i tillegg til å bruke BIMen til å hente ut mengdedata, inkludere miljøegenskaper i selve BIM-verktøyet. Det tredje nivået involverer utvikling av prosesser for å kombinere ulike data og verktøy

med økt interoperabilitet. De to sistnevnte nivåene er versjoner av den andre tilnærmingen til Antón & Díaz (2014). Som tidligere antydet, kan denne tilnærmingen muligens bare være en begynnelse for hva integrasjonen kan utvikles til i fremtiden. Stassen (2016) hevder imidlertid at det er usannsynlig at BIMen noensinne vil fult integrere de samlede miljøpåvirkningene til hver bygningskomponent. Dette begrunnes med at det å inkludere så mye informasjon i en modell vil gjøre filen veldig tung.

2.6.1 Eksisterende metoder og rammeverk

For å muliggjøre bedre tidligstadiumsbeslutninger for miljøpåvirkninger utviklet Basbagill et al. (2013) et rammeverk som viser distribusjon av innebygde utslipp blant bygningselementer. I tillegg presenterer forfatterne et utslippsreduksjonsskjema som viser hvilke material- og tykkelsesbeslutninger som oppnår de største implisitte utslippsreduksjonene.

Jrade and Jalaei (2013) introduserer en metode for integrasjon av BIM og LCA verktøy med en ekstern database for bruk til designing av bærekraftige byggeprosjekter. Den «automatiserte metoden» knytter den eksterne materialedatabasen med et BIM-verktøy, og kan brukes til å gjøre energi- og lysanalyse, LCA, vurdere LEED-poeng og kostnader. Med tanke på LCA, består databasen av miljøpåvirkningsinformasjon fra generiske materialer og komponenter, som gjennom likhet i navngivning kan identifisere objektene brukt i BIMen. Miljøpåvirkningsinformasjonen i den utviklede databasen må videre bli overført til et LCA-verktøy for å gjøre en fullverdig LCA. Ved hjelp av metoden kan designeren bedre forstå konsekvensene av beslutninger om miljøpåvirkninger i sanntid. Svakheter ved metoden er at noen opplysninger likevel må skrives manuelt av brukeren etter overføringsprosessen, i tillegg til at databasen kun gjelder for generiske materialer og komponenter.

Bueno et al. (2018) utviklet et integrasjonsgrensesnitt for produsentbasert LCA-data og en BIM-plattform, ved å kombinere bruk av eksisterende verktøy (Autodesk Revit, Dynamo og Microsoft Excel), for å lage miljøprofiler for beslutningsprosesser som kan brukes i tidligfase. Artikkelens resultater viste at beregningene kunne gjøres, uten at designeren trengte å gjøre endringer i programvaren eller grensesnittene. Det ble imidlertid identifisert noen utfordringer som blant annet omhandlet mangel på tilgjengelig LCA-data fra produsenter, komplekse prosesser for importering, programmering og utvinning av resultater. I tillegg har LCA-analysen en viss kompleksitet som gjør at resultatene kan bli misforstått av ikke-LCA-eksperter (Bueno et al. 2018).

Muligheten for å visualisere miljøkonsekvensene er vektlagt av flere artikler som en styrke, og er noe som gjerne etterspørres av designere eller de prosjekterende (AIA 2012; Attia et al. 2013). Röck et al. (2018) presenterer en metode for å identifisere og visuelt kommunisere miljøpotensialet til en rekke konstruksjonstyper. Forfatterne presenterer metoden som går ut på å kombinere en LCI-database i Excel, med en navngivning som må stemme overens med navngivning i BIMen. BIMen som presenteres er modellert i Revit, og et skript i Dynamo trekker ut informasjon fra både Excel og Revit, og beregner miljøpåvirkningene og visualiserer resultatene. Forfatterne viser hvordan visualisering gjør at det raskt kan identifiseres hvilke element som har størst potensial for forbedring, og dermed hvor fokuset bør rettes i den konstruktive designfasen for å redusere miljøpåvirkningene (Röck et al. 2018).

Cavalliere et al. (2019) mener dagens metoder for BIM-LCA integrasjon generelt kan oppsummeres i to trender. Den første av disse går ut på å benytte komplekse modeller i

de detaljerte designfasene, hvor designet er såpass utviklet at endringer ikke kan gjøres eller i så fall vil bli veldig kostbare (Hollberg & Ruth 2016). Den andre trenden går ut på å bruke forenklede metoder for bruk i tidligfase. Cavalliere et al. (2019) introduserer dermed en ny metode som muliggjør bruk av LCA kontinuerlig gjennom hele bygningens designfase. Dette oppnås ved å kombinere LOD-utvikling for ulike kategorier av bygningselementer i BIM med ulike LCA databaser for bygningselementer.

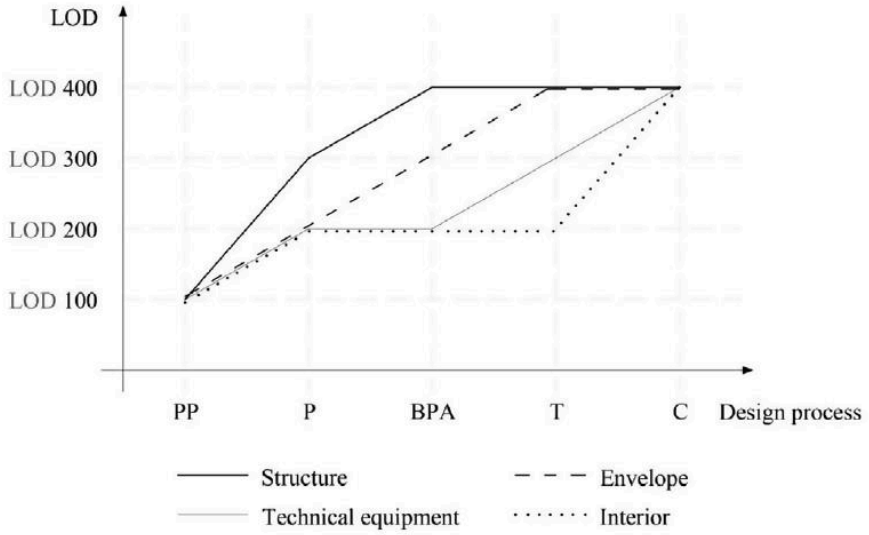
2.6.2 LCA og LOD

I de tidlige designstadiene er ikke BIM-informasjonen spesielt nøyaktig, da modellen gjennomgår flere endringer i de påfølgende designstadiene (Knotten et al. 2015). Betydningen av å vurdere potensielle forbedringer av bygningens miljøpåvirkning i tidlige designfaser er allment anerkjent, men bruken av LCA i tidligfase er imidlertid begrenset grunnet den store usikkerheten i design- og materialbeslutninger (Röck et al. 2018). LCA gjennomføres i størst grad etter at designet er ferdig, noe som fører til en ineffektiv prosess med retroaktiv modifisering av designet for å oppnå et sett med ytelseskriterier (Schueter & Thessling 2008). BIM-objektenes utviklingsnivå anses dermed å være en viktig parameter for integrasjonen av BIM og LCA, fordi den påvirker LCAens nøyaktighet. Dette fordi den integrerte LCA-prosessen blant annet kan gå ut på å automatisk ta ut data fra den virtuelle 3D-modellen (Soust-Verdaguer et al. 2017).

Ulike utviklingsnivåer vil gi varierende usikkerhet. For å bedre forklare sammenhengen mellom presisjonen av LCA-beregninger og de ulike utviklingsnivåene, kan det trekkes paralleller til kombinasjonen av BIM og LCC. På samme måte som Figur 2.6 viste at en lav LOD gir høy usikkerhet for kostnadsestimatet og usikkerheten synker når LOD stiger, vil dette også gjelde for miljøpåvirkninger. Ved en lav LOD er færre materialer inkludert og usikkerheten i designet er høy. Ettersom informasjonsmengden som er tilgjengelig øker med økende LOD vil selve verdien for miljøpåvirkningene, i motsetning til usikkerheten, øke med økende LOD. Dermed vil en slik kurve stige og altså være motsatt av presisjonskurven som vises i Figur 2.6. I tidligfase er tilgjengeligheten og sikkerheten til dataene lav, samtidig som beslutninger basert på LCA har størst innvirkning (Röck et al. 2018; Azhar & Brown 2009). Dermed oppstår det et dilemma, når en vil inkludere LCA så tidlig som mulig, men det blir vanskeligere å gjennomføre beregningene med færre data tilgjengelig, samtidig som usikkerheten øker.

Soust-Verdaguer et al. (2017) kommenterer at integrasjonen av LCA i tidligfase bør gjøres ved en LOD som muliggjør enkle og korrekte beregninger for konsekvensanalyse. Hva dette betyr i praksis tolkes på ulike måter. Litteraturstudien (Soust-Verdaguer et al. 2017) konkluderer med at BIM-LCA verktøy i det minste kan brukes for å gjøre en Screening LCA i tidligfase, som en mindre dataintensiv metode. I 2015 publiserte Lee et al. sin «grønne mal» for å evaluere den innebygde miljøpåvirkningen fra en bygning ved bruk av et BIM-designverktøy. Artikkelen presiserer viktigheten av BIMens utviklingsnivå og basert på definisjoner fra BIMForum (2013b), velger forfatterne å benytte seg av LOD300, som de hevder er det laveste utviklingsnivået som en LCA kan utføres på. Denne påstanden blir derimot prøvd motbevist av Dupuis et al. (2017), som presenterer en metode for å utføre LCA så tidlig som LOD100. Forfatterne definerer dog at LOD350 er det ønskede utviklingsnivået for å utføre en LCA, og forsøker å fylle informasjonsgapet mellom dette nivået og LOD100. Dette gjør de ved å bruke generiske data for den manglende informasjonen, basert på tall og oppbygninger fra lignende bygninger. I tillegg presenteres en oversikt over sannsynligheten for at de ulike oppbygningene og designvalgene blir valgt. Dermed kan usikkerheten reflekteres i beregningene og resultatene kan estimeres med et visst presisjonsnivå (Dupuis et al. 2017).

Metoden presentert av Cavalliere et al. (2019) har en lignende tilnærming for å fylle informasjonsgapet ved de lavere LODene, men metoden er utarbeidet for å kunne brukes gjennom hele designfasen og ikke bare i tidligfase. Som illustrert i Figur 2.11 deler Cavalliere et al. (2019) en bygning opp i fire kategorier: Bæresystem, skall, teknisk utstyr og innvendig. Det er gjort en antagelse om at alle bygningselementer som tilhører samme bygningskategori utvikler seg likt med tanke på LOD. Basert på utviklingen vist i Figur 2.11, er det brukt ulike databaser som er koblet mot de ulike LODene. Informasjonsgapet for elementer ved LOD100 fylles ved at gjennomsnittlige verdier på element-nivå brukes fra en bestemt database. Mer spesifikke databaser brukes ved økende LOD.



Figur 2.11 Designprosessen og LOD for ulike bygningskomponenter. PP = project planning, P = project, BPA = Building permit application, T = Tendering, C = Construction (Cavalliere et al. 2019)

Forfatterne argumenterer for at bæresystemet vil kunne nå LOD400 tidligere enn de andre kategoriene, fordi det må gjøres styrkeberegninger tidlig i prosessen. Valg av bæresystem kan ofte ha stor innvirkning på miljøpåvirkningene. Dersom man følger utviklingen beskrevet av Cavalliere at al. (2019), kan det tenkes at «sikker informasjon» om bæresystemet vil være tilgjengelig tidligere, sammenlignet med de andre kategoriene. Som vist på Figur 2.11 deles designprosessen opp i fem faser: Prosjektplanlegging, prosjekt, søknad om byggetillatelse, anbud og bygging. Dersom informasjonen om bæresystemet følger denne grafen, vil man allerede ved innsending av søknad for byggetillatelse kunne beregne de faktiske miljøpåvirkninger fra bæresystemet. I motsetning til Dupuis et al. (2017) sin metode som inkluderer usikkerhet basert på sannsynlighet, inkluderer denne metoden ytterpunktene for utslippsverdiene for de valgte generiske bygningselementene.

2.6.3 Eksempler på BIM-LCA verktøy

Bueno & Fabricio (2018) presenterer en sammenligningsstudie av BIM-LCA verktøyet Tally og et generisk LCA verktøy, GaBi. Tally er et applikasjonsverktøy som kan brukes til å produsere miljøpåvirkningsverdier gjennom en Revit-modell, og programmet kan utføre både en komplett og komparativ livssyklusvurdering (KTInnovations 2014). Bueno & Fabricio (2018) slår fast at dette programmet har noen begrensninger, og spesielt med tanke på tilgjengelighet av miljødata og valgalternativer for bygningsdeler. Dermed må det gjøres antagelser og forenklinger. Resultatene fra Tally, sammenlignet med det komplette

LCA verktøyet, var noe avvikende. Det fastslås at det mest sannsynlig er forenklingene og antagelsene som blir gjort i det BIM-baserte verktøyet som er årsaken til å resultatene avviker. På tross av dette, påpeker artikkelen at visse forenklinger derimot vil være nødvendig, da programmene skal kunne brukes av ikke-LCA-eksperter. Dette gjør at programmet har et annet brukersegment og en annen hensikt, sammenlignet med et generisk LCA-verktøy (Bueno & Fabricio 2018). Derfor kan det antas at resultatene fra BIM-LCA-verktøy, på tross av de påviste avvikene, kan være gode nok for å bevisstgjøre beslutningstakere med tanke på miljøpåvirkninger i tidligfase.

Et annet BIM-LCA verktøy er One Click LCA, som baserer seg på en automatisk LCA-prosess over et webgrensesnitt og kan brukes som et plugin-verktøy i en programvare, som for eksempel Revit eller Solibri (Bionova 2015). One Click LCA er et automatisert LCA verktøy utviklet av Bionova Ltd., som har flere funksjoner enn bare LCA. Det inkluderer livssykluskostnader, EPD-opprettelse og tjenester for visse sertifiseringsprosesser som BREEAM, DGNB og LEED. I tillegg er det utviklet en modellsjekker, som kan brukes på BIMen før det gjennomføres LCA-beregninger. Dermed kan modellen sjekkes om hvorvidt den har god nok standard, samt hvilke objektdefinisjoner som er nødvendige. Med hensyn til interoperabilitet, gir One Click LCA et bredt spekter av integrasjonsalternativer for programvare og filformater (Bionova 2015). En svakhet ved dette verktøyet som er identifisert gjennom undersøkelser gjort av Köseci (2018), er at verktøyet ikke visualiserer objektene til sine respektive miljøpåvirkninger. For å identifisere objektet i modellen, oppgis kun navnet som dermed må finnes i modellen manuelt.

3 Metode

Dette kapittelet presenterer valg av metode og begrunnelse, samt hvordan de valgte forskningsspørsmålene skal besvares. I tillegg er styrker og svakheter til de valgte metodene fremhevet. Deler av metodekapittelet er basert på tidligere innleveringer i faget «TBA 4128 Prosjektledelse», samt prosjektoppgaven.

3.1 Forskningsmetode

Forskningsmetodene er de midler som brukes til å produsere kunnskap eller verifisere krav. Ulike metoder brukes til å undersøke ulike aspekter ved et fenomen, og det skilles ofte mellom kvalitative og kvantitative metoder. En kvalitativ metode går i dybden og er rettet mot å fange opp mening og erfaringer som ikke kan kvantifiseres (Dalland 2000). Når forskeren har samlet informasjon ved hjelp av en kvalitativ metode, vil tolkningen til en viss grad bli påvirket av erfaring og synspunkt (Silverman 2006). En kvantitativ metode er basert på numeriske data og utøves ved å finne en liten mengde informasjon om mange enheter. Resultatet av en kvantitativ metode kan være lettere å verifisere, ettersom prosessen kan være mer strukturert (Samset 2014). Til tross for dette vil det også være anledninger hvor kvantitative metoder ikke er fullstendig objektive. Det kan for eksempel være utfordrende å verifisere om deltakerne i en spørreundersøkelse har oppfattet spørsmålene korrekt. Samset (2014) understreker at det ikke er et spørsmål om å velge den ene eller den andre metoden, men heller begge i fellesskap.

På hvilken måte data kan brukes og verdien den har for forskningen, er beskrevet gjennom reliabilitet og validitet av informasjonen (Dalland 2000). Reliabilitet angår hvorvidt ulike metoder eller forskere oppnår samme resultat, og hvor verifiserbar forskningen er (Keller & Casadevall-Keller 2010; Samset 2014). Validitet eller gyldighet, gjelder informasjonens relevans, noe som betyr at virkelighet og tolkning skal samsvare (Samset 2014). Gyldigheten av metodene i denne oppgaven er forsøkt løst ved å ha en klar sammenheng mellom forskningsspørsmål, innsamling av data og tolkning.

3.2 Valg av metode

Metodevalg omfatter en overveielse mellom den ideelle metoden og den mest praktiske og realistiske metoden, når tilgjengelige midler og tid tas i betraktning (Dalland 2000). Tabell 3.1 viser en oversikt over de definerte forskningsspørsmålene, samt en kort redegjørelse for hvordan de kan besvares.

Tabell 3.1 Forskningsspørsmål og fremgangsmåte

Forskningsspørsmål - Hva	**Fremgangsmåte - Hvordan**
Hva slags LCA kan utføres på de ulike utviklingsnivåene?	Undersøke hvor detaljert et BIM-objekt er ved de ulike utviklingsnivåene med utgangspunkt i teorien og bruke disse opplysningene til å gjennomføre LCA-beregninger på de ulike nivåene
Hvordan er LOD-utviklingen for de ulike fagene i en BIM gjennom designprosessen?	Bruke informasjon fra et praktisk case til å kartlegge LOD-utvikling for ulike fag
Hvordan påvirker LOD-utviklingen i en BIM LCA-beregninger?	Bruke informasjon fra et praktisk case til å beregne LCA, og videre sammenligne dette med resultatene fra forrige forskningsspørsmål

Basert på forskningsspørsmålene, vil denne rapporten bruke litteraturstudie som metode for å få oversikt og identifisere kunnskapshull i eksisterende litteratur om integrasjon av BIM og LCA. Med utgangspunkt i informasjon fra litteraturen, er det gjennomført en teoretisk tilnærming for å besvare første forskningsspørsmål. Dalland (2000) poengterer imidlertid at man ikke finner all informasjonen i litteraturen, og i mange tilfeller vil det være nødvendig å anvende en praktisk tilnærming. Derfor er det også gjort datainnsamling og beregninger på et faktisk byggeprosjekt for å besvare de to siste forskningsspørsmålene. Innsamling av data angående LOD og utvikling for flere BIM-modeller har vært i fokus. I tillegg har det blitt utført LCA-beregninger, som kan gi grunnlaget for en kvalitativ og kvantitativ vurdering av planlagte miljøpåvirkninger. De valgte metodene og fremgangsmåter er beskrevet i de neste underkapitlene.

3.3 Litteraturstudie

Litteraturstudien legger grunnlaget for diskusjonen og bør betraktes som mer enn bare en oppsummering av eksisterende forskning (Blumberg et al. 2011). For å etablere det teoretiske rammeverket for oppgaven, har litteratur og teori om blant annet BIM og LCA blitt funnet, i tillegg til ulike måter å integrere BIM og LCA. Litteraturstudie som metode er hensiktsmessig fordi den gir anledning til å drøfte forskning og litteratur fra hele verden. Dermed kan det være større sannsynlighet for at flere forskjellige metoder kartlegges, i forhold til kun å betrakte ett enkelt byggeprosjekt. Litteratur fra fagfelt med liknende metodikker, som LCC og hvordan dette kombineres med BIM, er også vurdert å være relevant for å undersøke hvordan BIM og LCA kan brukes for å redusere miljøpåvirkninger fra bygg.

3.3.1 Fremgangsmåte for litteratursøket

Tabell 3.2 viser en oversikt over hvordan litteratursøket ble gjort, samt et utdrag av søkeord. Basert på forskningsspørsmålene, har det blitt søkt i Oria, Google Scholar, Scopus og ScienceDirect. Spesifikke databaser har blitt brukt for å sikre at litteraturen er troverdig og kvalitetssikret. Søkeordene som ble brukt sammen, er markert med like bakgrunnsfarger i tabellen. Eksempelvis startet det første søket med søkeordene "lca AND bim", så ble søkeordet "early stage" lagt til, og til slutt "level of development".

Tabell 3.2 Oversikt over søkeprosessen I de ulike databasene

		Database			
Søketråd	**Filter**	**Oria**	**Google Scholar**	**Scopus**	**Science Direct**
lca AND bim	Alle felt	538	4260	343	308
AND "early stage"	Alle felt	105	789	87	113
AND "level of development"	Alle felt	-	42	6	8
lca AND bim	Alle felt	538	4260	343	308
AND plug-in	Alle felt	7	232	4	57
lca AND bim	I tittel	19	18	13	29
AND integration	I tittel	3	6	3	11
«Life cycle assessment»	I tittel	11 438	24 400	6401	9876
AND bim	Alle felt	62	-	-	-
AND bim	I tittel	7	9	4	37

For å avgjøre hvilke funn som var relevante og kunne vurderes videre, ble tittel, nøkkelord og sammendrag evaluert. For noen av de utvalgte artiklene ble bibliografien utforsket. Denne metoden for å finne litteratur kalles «Snowballing» og ble brukt blant annet når litteraturstudier om BIM og LCA ble funnet. Fordelen med denne teknikken er at man lett

kan finne annen relevant litteratur hvis man først har funnet én god artikkel. Ulempen med metoden er at man går tilbake i tid, noe som kan påvirke litteraturens aktualitet. Derfor ble også «forward snowballing» brukt til å finne nyere publikasjoner som hadde henvisning til de utvalgte artiklene.

Det meste av litteraturen i denne oppgaven ble funnet gjennom arbeidet med prosjektoppgaven høsten 2018, men ved oppstart av masteroppgaven ble det igjen gjort et litteratursøk for å finne nylig publisert litteratur om de aktuelle temaene. I dette søket ble det funnet et par nylige publiserte artikler ved å bruke mange av de samme søkeordene, men søket ble avgrenset til artikler som var publisert etter 2018. Det ble også funnet noen artikler som var tilgjengelige ved forrige litteratursøk, men som ikke ble funnet den gangen. Det ble videre gjort jevnlige søk etter ny litteratur gjennom hele våren, for å sikre at den nyeste litteraturen ble plukket opp.

3.3.2 Evalueringskriterier

Litteraturens reliabilitet og validitet er avhengig av om den er pålitelig, og om den vurderes å være relevant gitt de valgte forskningsspørsmålene. For å sikre dette, er litteraturen evaluert etter kriterier basert på T-O-N-E prinsippet. Litteraturen er bedømt med tanke på troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (NTNU Universitetsbibliotek, u.d.). I tillegg er det vurdert i hvilken grad publikasjonene faktisk svarer på forskningsspørsmålene de skal besvare.

En artikkels troverdighet har blitt evaluert basert på forfatterens kvalifikasjoner og bakgrunn, samt artikkelens publiseringssted og utgiver. Her har for eksempel tidsskriftet artikkelen er publisert i blitt evaluert ved hjelp av Scopus 'CiteScore, som er basert på gjennomsnittlige sitater per dokument publisert i serienummeret. Scopus gir en oversikt over alle tidsskrifter innenfor et fagfelt og rangerer de basert på CiteScore. Artiklenes objektivitet er vurdert i henhold til hvordan dataene presenteres og dermed forfatteren eller utgiverens intensjoner. Nøyaktighet er vurdert basert på implementering og forklaring av metoden, samt hvor oppdatert og omfattende informasjon er. Kriterier for egnethet handler om hvor relevant litteraturen er og om det kan bidra til å kaste nytt lys over den valgte problemstillingen. Det er også til en viss grad vurdert hvem publikasjonen er beregnet for og om det er behov for noen forkunnskaper for å benytte seg av informasjonen.

3.3.3 Styrker og svakheter

En litteraturstudie kan forandre forskerens forståelse og bidra til å belyse flere perspektiver (Dalland 2000). Det faktum at forskningsfeltet, integrasjon av BIM og LCA, er ganske nytt betyr at en litteraturstudie har både sterke og svake sider som metode. En litteraturstudie kan gi en bedre oversikt over dagens ståsted, sammenlignet med intervjuer, da det kan være utfordrende å finne intervjuobjekter med tilstrekkelig kunnskap om emnet. Litteraturstudier kan derimot ha en svakhet dersom den nyeste kunnskapen og erfaringen enda ikke har blitt litteratur.

Litteraturen har blitt vurdert i henhold til definerte evalueringskriterier og har for det meste blitt funnet i troverdige databaser. Oria gir tilgang til databaser og verktøy der man kan filtrere funn ved å inkludere felt, sitater, forfatter og journal. Google Scholar er lett å bruke og på samme måte som Oria, en søkemotor som en sender videre til mer spesifikke databaser. Scopus er en database for publikasjoner som har gjennomgått en peer review, og det oppgis en rekke tall og rangeringer som gir et sammenligningsgrunnlag. ScienceDirect er en plattform som tilbyr pålitelig tverrfaglig forskningslitteratur og artiklene de publiserer gjennomgår en peer review.

En del av den evaluerte litteraturen som direkte omhandler kombinasjonen av LCA og BIM har blitt publisert av store akademiske utgivere, som Elsevier og Taylor & Francis Group. Elsevier er verdens største utgiver av medisinsk og vitenskapelig litteratur, og publikasjoner går gjennom ulike typer peer reviews basert på hvilken journal de publiseres i. Taylor & Francis Group har også en robust og velfungerende peer review-prosess og jobber tett med «Committee on Publication Ethics» (COPE), som er en veldedig organisasjon dedikert til å fremme integriteten ved peer reviewed publikasjoner. Det at mange av artiklene er fra de samme publiseringsstedene kan også til en viss grad ses på som en svakhet. En dårlig spredning i litteraturen, selv med tanke på utgivere, kan redusere sjansen for at litteratur fra flere forskjellige perspektiver blir evaluert.

En svakhet ved noen av kildene, er at noe informasjon brukt i oppgaven er hentet fra kommersielle sider eller litteratur som ikke har gjennomgått en Peer review, som for eksempel masteroppgaver. Med tanke på bruk av studentoppgaver, er kvaliteten på den gitte oppgaven vanskelig å vurdere, da resultatet på oppgaven er ukjent. Oppgaven vil ha blitt vurdert, men ikke på samme måte som andre publiserte forskningsartikler og derfor har denne informasjonen noe redusert troverdighet. Informasjon fra kommersielle sider, kan ha en annen hensikt med publikasjonene enn det å fortelle sannheten, ettersom de gjerne vil selge sitt produkt. Dette gjelder informasjon fra nettsider hvor et program eller en metode blir solgt og markedsført. Objektiviteten til denne informasjonen vurderes dermed å ikke være spesielt god.

3.3.4 Feilkilder

En systematisk feilkilde kan ligge i valget av litteratur. Dette valget må betraktes som en subjektiv aktivitet, og det viktigste har vært å unngå upålitelig litteratur. Den enkleste måten å unngå å bruke upålitelig litteratur er å definere gode kriterier for å vurdere kildene og dette er noe som har blitt gjort. Det må uansett forventes at noe relevant litteratur ikke har blitt funnet gjennom litteratursøket. Dette kan skyldes utilstrekkelig bruk av søkeord eller databaser.

3.4 Teoretisk tilnærming for empirisk datainnsamling– Case 1

Valg og definering av de ulike utviklingsnivåene og LCA-typene har blitt basert på opplysninger gitt i det teoretiske rammeverket. I det teoretiske rammeverket er det definert tre ulike LCA-typer: Screening, Forenklet og Komplett LCA. For å kunne si noe om når det er mest hensiktsmessig å integrere LCA i BIM, har det blitt gjort både en Screening LCA og en Forenklet LCA av fem ulike utviklingsnivåer (LOD100, 200, 300, 350 og 400). Dette vil også kunne gi svar på hvordan utviklingsnivået kan påvirke LCA-resultatene. I litteraturstudien kom det frem at det er disse to typene som er best egnet når BIM og LCA skal kombineres, og spesielt om det skal kunne brukes av ikke-LCA eksperter i tidligfase. En komplett LCA antas å være veldig krevende for en ikke-LCA ekspert, i tillegg til at detaljerte LCA beregninger ikke vil være hensiktsmessig på et for tidlig utviklingsnivå, da parameterne er nokså usikre. For å undersøke dette har det blitt benyttet et atskillig begrenset case-objekt: en betongvegg med et vindu.

3.4.1 Fremgangsmåte for definering av LOD og beregning av materialmengder

Definisjonene for de ulike LOD-nivåene er basert på retningslinjer og eksempler gitt av BIMForums LOD-rammeverk (BIMForum 2013b). For beregning av mengdedata ble veggen ved LOD100 definert som kun ett lag betong, og en «rund» verdi for areal og tykkelse ble brukt. Mengdene for LOD200 ble beregnet på samme måte, men ved dette nivået ble

arealet spesifisert med desimaltall. Ved LOD300 ble flere materiallag i veggen inkludert, og mengder ble beregnet ved bruk av areal og dimensjoner gitt i caset. For Screening var det ikke behov for mengder på alle de ulike materialene, men ved Forenklet ble dette beregnet for hvert sjikt ved å gange tykkelser og arealet på veggen. Ved dette nivået ble også åpning for vindu inkludert og arealet for veggen ble dermed redusert. Andre komponenter, som i dette tilfellet var vinduet, ble inkludert ved LOD350 og til slutt ble armering og festemidler inkludert ved LOD400. For anslag av mengde festemidler ved Screening LCA, ble et omtrentlig tall fra et tidligere prosjekt benyttet. Se beregning i Vedlegg B. Den beregnede skruemengden i det aktuelle prosjektet ble delt på kvadratmeter vegg, og dermed ganget med 6,25 m^2 som er denne veggens areal. For Forenklet LCA ble beregning av mengder for trevirke i veggen basert på en senteravstand 600 mm. Anslag av skruer ble beregnet på en forenklet måte hvor senteravstander og antall ble antatt, basert på anbefalinger fra Sintef Byggforsk og produsenter av gipsplater og lignende. Beregninger er vist i Vedlegg C2.

3.4.2 Fremgangsmåte for LCA-beregninger

LCA-beregningene ble gjort manuelt i Excel, ved å kombinere materialmengder med både generiske og produktspesifikke utslippsfaktorer. Fremgangsmåten varierte for de to LCA-typene og dette er vist i Tabell 3.3. Denne tabellen gir en oversikt over de overordnede retningslinjene for de to LCA typene som ble gjennomført. De definerte trinnene og valgte parametere er basert på rammeverket gitt i NS EN 14040 og definisjoner samlet i Vedlegg A.

Tabell 3.3 Overordnede retningslinjer for fremgangsmåtene ved Screening og Forenklet LCA

	Screening	**Forenklet**
Fastsettelse av hensikt og omfang	Hensikt: Undersøke hvilken LCA som kan gjøres ved de ulike LODene Omfang: A1-A3 FU: hele veggen med 60 års levetid	Hensikt: Undersøke hvilken LCA som kan gjøres ved de ulike LODene Omfang: A1-A3 og B4 FU: hele veggen med 60 års levetid
Livsløpsregnskap	Generiske data, basert på erfaringstall	Spesifikke data, EPD og andre LCA databaser
Vurdering av påvirkning	GWP	GWP, EP, AP, ODP, POPC, ADPM og ADPE
Tolkning	• Fokus på fordeler og ulemper ved metoden for hver LOD • Anbefalinger om når LCAen kan brukes	• Fokus på fordeler og ulemper ved metoden for hver LOD • Anbefalinger om når LCAen kan brukes

3.4.2.1 Fastsettelse av hensikt og omfang

Hensikten med beregningene er å kunne si noe om hvilke LCA-typer som kan benyttes ved de ulike utviklingsnivåene til en BIM. For Screening LCA ble systemgrensene definert til at utslipp tilknyttet fase A1 til A3, også kalt produktfasen, skulle beregnes. For Forenklet LCA ble i tillegg utslipp i fase B4 inkludert, som er utskiftning av materialer med kortere levetid enn veggen. Ved å ta med utskiftning av materialer fås et mer representativt resultat for virkelige forhold, ettersom mange materialer har kortere levetid enn et bygg. Trevirkes biogene karbonopptak ble ikke tatt med i beregningene etter anbefaling fra NS3720, ettersom fase C1-C4 er utelatt (Standard Norge 2018).

Det ble valgt å bruke hele veggen over en levetid på 60 år som funksjonell enhet. Dette fordi hensikten er å sammenligne utviklingen og resultatene for de ulike metodene og LODene, og ikke med resultater for andre LCAer. Altså er det embodied energy over

veggens levetid som beregnes. Levetiden på 60 år ble inkludert i den funksjonelle enheten ettersom aspektet med utskiftning av materialer ble inkludert for Forenklet LCA. Begge LCA-typene har samme funksjonelle enhet, noe som også muliggjør sammenligning.

3.4.2.2 Livsløpsregnskap

Screening LCA ble gjort ved å ta utgangspunkt i generiske data og erfaringstall for utslipp fra ulike materialer. Data på dette kvalitetsnivået betegnes som data på nivå 2 etter NS 3720 (Standard Norge 2018). Ved LOD100 og 200 i Screening LCA, ble kun en omtrentlig utslippsfaktor for betong på 200 $kgCO_2eq/m^3$ brukt, ettersom betong var det eneste bestemte materialet på dette tidspunktet. For Screening LCA ble det fra LOD300, brukt en samlet verdi for hele veggens miljøpåvirkning gitt per kvadratmeter vegg. Denne verdien er på 75 $kgCO_2eq/m^2$ og er hentet fra Solem (2017). Dette ble gjort fordi det er tenkt at denne metoden skal være enkel for ikke-LCA-eksperter og de skal kunne bruke verdier tilgjengelige for dem. Det å bruke LCA-databaser for å finne generiske verdier vurderes å ikke være egnet for designere. Når databasene er ukjente kan det å finne representative verdier være vanskelig. Tall fra andre prosjekter og rapporter ble derfor brukt for å finne omtrentlige verdier for utslipp. Ved LOD350 ble utslipp fra vindu inkludert, med en utslippsfaktor på 85 $kgCO_2eq/m^2$, som er et erfaringstall fra tidligere prosjekt. Utslippsfaktoren varierer i stor grad mellom ulike typer vinduer og produsenter. Det er antatt at produktleverandør er bestemt på dette tidspunktet, og derfor vil det mest sannsynlig være et avvik mellom verdien valgt i Screening LCA og den faktiske verdien. Det er antatt at utslipp for armering, som ifølge LOD-rammeverket antas å bli inkludert ved LOD400, allerede er inkludert i den generiske verdien for hele veggen. Utslipp fra festemidler ble basert på erfaringstall fra beregninger gjort i prosjekt i «TBA4171 Bygnings- og materialteknikk, videregående kurs». Beregninger kan ses i Vedlegg B.

I den forenklede LCAen ble det brukt spesifikke utslippsfaktorer hentet fra EPDer. Datakvaliteten er da på nivå 1 etter NS 3720 (Standard Norge 2018). For å finne relevante EPDer ble EPD-Norge brukt som database, men også Ökobaudat for utslippsfaktor for skruer. Ved LOD300 ble de andre materialsjiktene i veggen lagt til. I den Forenklede LCAen ble det funnet verdier for de ulike effektkategoriene i produktspesifikke EPDer for alle de ulike materialene. For valg av materialer det ble det brukt vanlige byggematerialer og det som ble ansett å være standard i bransjen. Alle utslippsfaktorene kan ses i beregninger i Vedlegg C3-C9 og en oversikt over valgte EPDer er vist i Vedlegg C1. Ved LOD350 ble vindu og utslipp fra B4 inkludert. I den forenklede LCAen ble et spesifikt vindu, som gir en verdi for GWP på 64 $kgCO_2eq/m^2$ vindu, benyttet. Vinduet har en levetid på 40 år og levetidsfaktoren for B4 ble da 0,5. Ved LOD400 ble de samme verdiene for de ulike materiallagene som ved LOD350 brukt, i tillegg til at utslipp fra armering og festemidler ble lagt til. Utslippsfaktoren for skruer ble funnet i Ökobaudat, gjennom bruk av One Click LCA. Denne databasen ble brukt fordi det ikke ble funnet noen utslippsfaktor for skruer på EPD-Norge. Selv om Ökobaudat er en tysk database og bakgrunnsdataen kan være annerledes enn i Norge, ble utslippsfaktoren vurdert å være god nok ettersom ingen bedre tall ble funnet. Utslippsfaktoren som ble brukt er gitt til 2,91 $kgCO_2eq/kg$ for GWP.

3.4.2.3 Vurdering av påvirkning

Ved utførelse av Screening LCA ble miljøpåvirkningen med tanke på effektkategorien GWP vurdert. Det ble valgt kun én effektkategori fordi dette er den mest forenklede LCA-typen, som skal kunne gjøres helt i startfasen av ikke-LCA-eksperter.

Ettersom den Forenklede LCAen skal ta for seg mer enn Screening LCA, ble flere effektkategorier inkludert. Syv effektkategorier ble beregnet, og disse ble valgt på bakgrunn av hva som var tilgjengelig i materialenes EPDer. Litteraturen tilsier at Forenklet

bør brukes senere i designprosessen enn Screening (Meex et al. 2018), altså vil utviklingsnivået være høyere og informasjonen mer detaljert og sikker. Hvis materialene er nokså bestemt med en viss sikkerhet, kan et større utvalg effektkategorier bistå i å gjøre forbedringer med tanke på miljøpåvirkning for flere områder enn bare GWP. Det er likevel resultatene fra GWP som gir størst mulighet for tolkning, da de kan sammenlignes for de to metodene. De gjenværende effektkategoriene for Forenklet ble ikke normalisert eller vektet, noe som gjør de mer utfordrende å sammenligne. Men innenfor hver effektkategori ble utviklingen observert for de ulike LODene.

3.4.2.4 Tolkning

I vurderingen av resultatene er det ikke de beregnede utslippene eller de største bidragsyterne som er de mest interessante funnene i undersøkelsen, men heller hvordan metodene fungerer underveis i utregningene. Målet med disse undersøkelsene er å finne ut hvilken forenklet LCA som er egnet ved de ulike LODene, i tillegg til å identifisere mangler og utfordringer som kan dukke opp underveis ved å bruke begge LCA-typene.

Vurdering av resultatene og dataenes fullstendighet og kvalitet ble gjort ved sammenligning av beregningsmetode og den tilgjengelige informasjonen ved de ulike LODene. For GWP resultatene fra den Forenklede LCAen presenteres utslipp fra produksjon (A1-A3) og utskiftning av materialer (B4) hver for seg, slik at en sammenligning av produksjonsfasen for de to LCA-typene kunne gjøres mulig. Med tanke på oppsummering og anbefalinger basert på resultatene, er dette gjort i en figur som knytter de ulike LODene til Screening, Forenklet og Komplett LCA. De ulike LCAene er igjen plassert i forhold til fasene i et byggeprosjekt, basert på grafen fra Meex et al. (2018).

3.4.3 Styrker og svakheter

En styrkene ved de to valgte LCA-typene er at de er enklere å gjennomføre enn en Komplett LCA. Hensikten er som sagt å vise hvilken av de forenklede metodene som er best egnet for bruk ved de ulike utviklingsnivåene. Knyttet opp mot oppgavens overordnede problemstilling, er det beregninger i tidligfase som er mest kritisk. Det er derfor viktig at metodene er enkle, ettersom designere og andre ikke-LCA eksperter skal kunne bruke metodene i tidlig designfase. Dette gjelder både med tanke på gjennomføring og ved tolkning av resultatene. Enkelheten kan også regnes som en svakhet ettersom resultatene antakelig ikke er representative for virkelige forhold. Sammenlignet med en komplett LCA kan resultatene avvike, men i litteraturen hevdes det at de forenklede LCA-metodene er gode nok til det formål det er tiltenkt. Altså som en begynnelse for å vurdere LCA og miljøkonsekvenser i tidligfase av et byggeprosjekt (Meex et al. 2018).

En svakhet knyttet til tolkningen av resultatene, er vurderingene som er gjort for å bestemme hvilken metode som egner seg best til de ulike utviklingsnivåene. Disse vurderingene vil være subjektive og det er kunnskap og teori innhentet gjennom litteraturstudiet som ligger til grunn. Det kunne blitt utarbeidet et rammeverk på forhånd for å vurdere de ulike metodene etter spesifikke kriterier, men dette ble altså ikke gjort.

Videre kan det at kun én bygningsdel ble undersøkt vurderes som en svakhet. Det kan tenkes at resultatene fra undersøkelsene av en betongvegg ikke vil være representative for andre bygningsdeler og komponenter. I tillegg kan det at kun utslipp fra materialer ble undersøkt, være en annen svakhet. For de to LCA-typene vil det kunne være andre ulikheter, som for eksempel utregning av miljøpåvirkning fra energibruk og tekniske komponenter, som ikke plukkes opp. Tidspunktet hvor disse tingene kan bestemmes i detalj og oppgis med sikkerhet, vil også kunne variere med utviklingsnivået. For eksempel

vil antall vinduer kunne spille inn på oppvarming- og elektrisitetsbehovet, og dermed bygningens energibruk i bruksfasen.

3.4.4 Feilkilder

En feilkilde i beregningene er knyttet til innsamling av utslippsfaktorer for materialer. For den forenklede LCAen er det benyttet produktspesifikke EPDer og det ligger en feilkilde i at de innsamlede dataene kanskje ikke er representative for materialene ellers på markedet. Det ble forsøkt å finne verdier for normale og de mest brukte materialene, for at resultatene skal være representative for produktene på markedet. Det er uansett en usikkerhet knyttet til om dette faktisk har blitt oppnådd.

3.5 Praktisk tilnærming for empirisk datainnsamling – Case 2

Informasjon fra NærByens Bygningsinformasjonsmodeller er uthentet med to ulike hensikter som begge er knyttet til en BIMs utvikling. For å gjøre dette ble det avtalt at flere revisjoner fra samme modeller skulle overleveres med jevne mellomrom. Den første hensikten med å få tilgang til BIMene har vært for å kartlegge utviklingen med tanke på LOD for ulike fag og komponenter. Den andre hensikten er knyttet til materialmengder for beregning av klimagassutslipp, og her har sortering av materialer for ulike bygningsdeler vært i fokus. Det er brukt Solibri Model Checker for visualisering av modellene og for å uthente informasjon. De neste delkapitlene beskriver fremgangsmåtene for hvordan informasjonen i disse BIM-ene har blitt håndtert for å gjøre undersøkelser knyttet til kombinasjonen av BIM og LCA i praksis.

3.5.1 Fremgangsmåte for definering av LOD

Defineringen av LOD ble gjort på ulike måter for RIB- og ARK-modellene. Dette fordi objektene i RIB-modellene allerede var gitt en definisjon av LOD. I ARK-modellene er ikke dette tilfelle og LOD har blitt bestemt basert på retningslinjer fra BIM-Forums LOD spesifikasjon (BIMForum 2013b). Det har også blitt gjort visse antagelser der defineringen har vært vanskelig. For å trekke ut informasjon om mengder knyttet til de ulike utviklingsnivåene fra modellene i Solibri, ble det laget ulike klassifiseringer med regler som sorterer objektene.

3.5.1.1 RIB-modell

I RIB-modellene er de fleste av objektene gitt en Objektstatus, som etter samtale med kontaktpersonen fra Veidekke, ble bekreftet å ha samme funksjon som LOD (utviklingsnivå). Dette er identitetsdata hvor objekter er gitt enten Objektstatus 100, 200 eller 500. Noen objekter er også uklassifisert. I klassifiseringen ble hver av objektstatusene gitt en farge, slik at utviklingen kunne visualiseres i 3D-modellen. Objektstatus 100 ble markert med rødt, 200 med gult, 500 med grønt og de uklassifiserte med blått. Et utklipp fra hvordan klassifiseringen ble gjort i Solibri er vist i Vedlegg D1. For å eksportere mengdeinformasjon fra Solibri til Excel ble det i fanen «Information takeoff» i Solibri valgt «Building Information Quantities» som Rolle. Det betyr at bare bygningselementer ble trukket ut, altså ble ikke «spaces» og «openings» inkludert. Noen av utsparingene for dører var definert som objekter i modellene, men disse ble fjernet fra opptellingen. Ruten for informasjonsuttak ble modifisert slik at objektene ble sortert etter Objektstatus og deretter eksportert til et regneark i Excel. Dette ble gjort på alle fire RIB-modellene og antall objekter med de ulike LODene ble sammenlignet for å vise utviklingen.

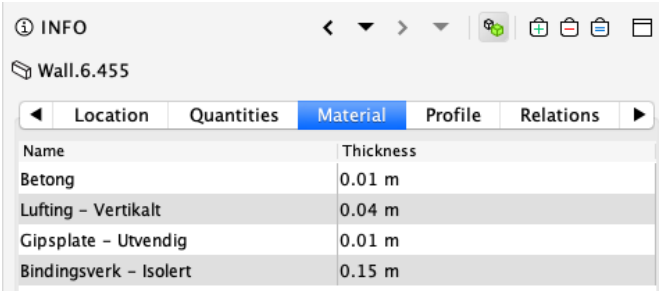
3.5.1.2 ARK-modell

For ARK-modellen ble det i utgangspunktet brukt tre ulike LODer: 100, 200 og 300. Som vist i klassifiseringsreglene i Vedlegg D2, ble det definert mange regler for å få med så mye av modellen som mulig. Likevel var det noen objekter som forble uklassifisert, fordi det var uklart hva slags objekter det var snakk om.

For å klassifisere elementene i de ulike LODene, ble de sortert etter hvor definert materialene er. De som for eksempel har «vegg», «innervegg» eller «yttervegg» som definert materiale ble klassifisert som LOD100. Elementer med kun ett materiale oppgitt, ble klassifisert som LOD200. Dette gjaldt elementer med materiale som «Betong 200 mm» eller «Isolasjon 100 mm». LOD300 ble gitt til elementer hvor flere materiallag er definert. For veggene er dette for eksempel der både innvendig og utvendig kledning er oppgitt, sammen med materiale for stenderverk og isolasjon. Det høyeste definerte LOD-nivået ble satt til 300, fordi produsenter av materialene ikke er spesifisert og objektene ble derfor vurdert å ikke tilfredsstille LOD350. Mengdene ble trukket ut på samme måte som ved RIB-modellene og eksportert til regneark i Excel for sammenligning.

3.5.2 Fremgangsmåte for beregning av materialmengder

I hovedsak ble to fremgangsmåter brukt for å beregne materialmengder: automatisk import fra Solibri til One Click LCA og manuell uthenting av mengder fra Solibri sortert i Excel. One Click LCA har en mal som lastes inn i Solibri og henter ut den nødvendige mengdeinformasjonen for materialene med et oppsett som nettversjonen av One Click LCA kan lese. Denne malen trakk ut informasjon som direkte ble importert til One Click LCA, men det ble gjort ekstra beregninger for å sikre at all informasjon fra modellene ble inkludert. One Click LCA har problemer med å lese kompositt-materialer, det vil si objekter hvor flere materiallag er definert i materialfanen, som vist på Figur 3.1. Derfor måtte disse materialene legges inn manuelt for at materiallisten skulle bli så fullstendig som mulig. Hvor mye ekstraarbeid som måtte gjøres varierte i RIB- og ARK-modellene.



Figur 3.1 Eksempel på materialfane for en vegg i Solibri

3.5.2.1 Mengdeberegninger særskilt for RIB-modell

Kompositter i RIB-modellen består av betong og isolasjon. De aktuelle elementene ble lagt inn i et Excel-ark og riktig tykkelse for hvert av materialene ble hentet fra Solibri for å beregne rett mengde m^3 av hvert materiale.

Tre av RIB-modellene har definerte objekter for kuldebrobrytere som ikke ble plukket opp av One Click LCAs eksport fra Solbri. For å definere kuldebrobryterne kalt «Egcobox» ble produktdatabladet fra produsenten Max Frank benyttet (Max Frank, d.u.). Produktdatabladet ble brukt for å finne ut hvilke materialer som var inkludert, og basert på dette ble materialene forenklet til kun å være armering og steinullisolasjon. Mengden av hvert materiale ble bestemt basert på oppbygningen fra produktdatabladet, samt dimensjoner fra Solibri. Se Vedlegg E for forutsetninger brukt i beregningene. Volumet av

stål og isolasjon ble ganget med antall kuldebrobrytere for å finne total materialmengde. Som Tabellen i Vedlegg E viser er det ingen kuldebrobrytere i modellen fra Juni 2018.

Det var i tillegg noe armering som ikke kom med i den automatiske eksporten, og det ble dermed laget en egen klassifisering i Solbri for å samle all armering. Disse mengdene ble videre eksportert til Excel og lagt sammen.

3.5.2.2 Mengdeberegninger særskilt for ARK-modell

For ARK-modellen er det en stor andel kompositttmaterialer som ikke kunne leses av One Click LCAs direkte import. Dette var tilfelle for mesteparten av veggene med LOD300. Kompositten ble samlet i et Excel-ark og utvidet slik at alle enkeltmaterialer ble lagt inn med riktige mengder. Excel-arket som kompositten ble laget i, er tilpasset en mal for å kunne importeres til One Click LCA. For å bestemme mengden stål og tre i stenderverket i kompositt-veggene ble en tabell med gjennomsnittlige materialmengder fra One Click LCAs kundesupportsenter brukt. Denne tabellen er vist i Vedlegg F, og oppgir mengder for et utvalg vegger og andre konstruksjoner. Tabellen oppgir kg av materiale per m^2 av konstruksjonen. For eksempel for vegger med stålstenderverk ble tallet for «steel stud in light wall, 80 mm» brukt. Dersom tykkelsen på veggen var noe annet enn 80 mm, ble kg-verdien delt på 80 og ganget med den aktuelle tykkelsen.

Veggene klassifisert som LOD100 består av mange udefinerte vegger i ulike tykkelser. For å samle alle de udefinerte veggene ble det trukket ut mengder i to ulike enheter. I første omgang ble det trukket ut mengdene oppgitt i m^3. Videre ble det gjort en forenkling ved å si at alle veggene definert som «innervegg» har tykkelse 100 mm, og de definert som «yttervegg» og «vegg» har tykkelse 400 mm. Volumet ble delt på denne bestemte tykkelsen for å få veggene i kvadratmeter, ettersom de generiske utslippsverdiene som skulle brukes var gitt per m^2. På denne måten ble veggenes tykkelse tatt hensyn til, ved at hele veggens volum ble tatt ut. Dersom det hadde vært kjent at veggene var definert som kun ett materiale, for eksempel betong, ville dette gitt riktig mengde. Siden noe av innerveggene i modellen er tynnere enn 100 mm, vil ikke m^2 med innervegg bli like mye, siden noe «går bort» for å gi riktig tykkelse. På samme måte får vegger som er tykkere enn den definerte mengden et større areal, fordi volumet fordeles utover med en mindre tykkelse. Metoden inkluderer på en måte tykkelse, men gir feil antall kvadratmeter vegg.

Ettersom de udefinerte veggene antas å bestå av flere ulike oppbygninger, vil ikke det å bruke kubikkmeter bli helt rett. Derfor ble det også trukket ut kvadratmeter av de udefinerte veggene. Ved denne metoden er tykkelsen på veggene sett bort i fra, og det er bare antall kvadratmeter vegg som i beregningene blir erstattet av veggene som den generiske verdien er basert på. Her er m^2 trukket ut av modellen og tykkelsen er ansett uvesentlig. Metoden inkluderer ikke tykkelse, men gir riktig antall kvadratmeter vegg. Vedlegg G viser hvordan de ulike metodene utspiller seg konseptuelt.

3.5.3 Fremgangsmåte for LCA-beregninger

I LCA-beregningene for RIB- og ARK-modellene ble One Click LCA benyttet som verktøy. Majoriteten av utslippene ble beregnet i One Click LCA basert på materialmengder og -valg som ble lagt inn, men det ble også gjort noe manuell beregning av utslipp i Excel, ved bruk av generiske utslippsverdier.

Tabell 3.4 viser en oversikt over de overordnede retningslinjene for LCA-beregningene som ble utført for dette caset. De definerte trinnene og valgte parametere er basert på rammeverket gitt i NS EN 14040, samt hva som er hensiktsmessige grenser gitt oppgavens forskningsspørsmål.

Tabell 3.4 Overordnede retningslinjer for LCA-beregninger for case 2

	LCA-beregninger
Fastsettelse av hensikt og omfang	Hensikt: Sammenligne utslipp med LOD-utvikling Omfang: A1-A3 FU: hele bygningen/modellen
Livsløpsregnskap	• Generiske data • Produktspesifikke verdier i mangel på generiske data • Erfaringstall fra andre prosjekter
Vurdering av påvirkning	GWP
Tolkning	• Vurdering av dataenes kvalitet, sensitivitet og innflytelse på endelig påvirkning, sett i sammenheng med LOD • Anbefalinger om gjennomføring av BIM-basert LCA

3.5.3.1 Fastsettelse av hensikt og omfang

Hensikten med beregningene er å kunne bestemme klimagassutslippet fra modellene på ulike tidspunkt i prosjektet. Dette har blitt gjort for å se hvordan definisjonen av LOD og BIMenes utvikling påvirker LCA-beregningene.

Som beskrevet i det teoretiske rammeverket kan generiske utslippsverdier for hele konstruksjoner basert på erfaringstall, brukes i begynnelsen av et prosjekt for å inkludere utslipp for «hele bygget» fra start. Resultatene i denne oppgaven er basert på beregninger fra modeller på fire ulike tidspunkt. Selv om de nyeste og mest oppdaterte modellene inneholder flere objekter, og dermed en større del av det ferdige bygget, ble ikke denne informasjonen inkludert i de tidligere modellene som et forsøk på å inkludere «hele bygget». Kun objektene som er inkludert i den gitte modellen ble tatt med i beregningene.

Objekter i ARK-modellene som er uklassifisert i defineringen av LOD ble ikke tatt med i beregningene. Dette gjaldt aluminiumsrekkverk på veranda, dusjdører og annen baderomsinventar, trapper, ramper og kjøkkeninnredning. For RIB-modellen er tilfellet av udefinert LOD litt annerledes, ettersom klassifiseringen er basert på definering gjort på forhånd av de prosjekterende i prosjektet. Dermed kunne de uklassifiserte objektene i RIB-modellene inkluderes, så lenge de hadde definerte materialer.

Systemgrensene ble definert til å inkludere utslipp fra vugge til port, altså fase A1 til A3, for objektene som er definert i de gitte modellene. Det ble valgt å begrense beregningene til produktfasen fordi det i hovedsak er valget av materialer som kan bli påvirket av utviklingsnivået på objektene i en BIM. Ettersom analysen ikke inkluderte fasene C1-C4, ble ikke det biogene karbonopptaket til treverk tatt med i beregningene. Den vanligste funksjonelle enheten ved vurdering av en bygning er 1 m^2 oppvarmet BRA over en levetid på 60 år (Fufa et al. 2016), men grunnet denne LCAens hensikt ble ikke denne funksjonelle enheten ansett som hensiktsmessig. Ettersom disse LCA-beregningene skulle brukes til å undersøke hvordan en BIMs utvikling kan påvirke klimagassutslipp, ble det vurdert at hele bygningen eller modellen var en mer egnet funksjonell enhet. Det interessante er å sammenligne resultatene for de ulike modellene, og ikke eventuelle sammenligninger med utslipp fra andre LCA-studier. Aspektet med levetid ble heller ikke inkludert ettersom undersøkelsen kun omhandler fasene A1-A3, altså det innebygde utslippet kun fra materialer.

3.5.3.2 Livsløpsregnskap

Dataene brukt i disse beregningene er en blanding av data med kvalitetsnivå 1 og 2 etter NS 3720. De fleste utslippsfaktorene til materialene ble hentet fra One Click LCAs database. I One Click LCA finnes det flere valg for samme type produkt, og ulike valg kan gi store utslag på utslippene. For eksempel finnes det flere valg for betong av samme kvalitet, men prosentandelen av resirkulert bindemiddel varierer. For valg av utslippsfaktorene ble det i størst grad fokusert på å bruke materialer som er vanlige i byggebransjen og i Norge. Dette ble gjort for at resultatene ikke skulle være misvisende, for eksempel ved bruk av spesialprodukter med lavere utslipp enn vanlig, og for at resultatene skulle være representative for bygninger i Norge. Ifølge One Click LCAs kundesupport er de mest vanlige materialene i bransjen markert med (typical) i deres database, som en anbefaling for generiske verdier dersom produktspesifikke materialer ikke er bestemt (Katasonova 2019). Ved noen materialvalg ble disse anbefalingene benyttet, men det ble også brukt andre kilder for å finne de mest vanlige materialene.

I importen av materialmengder til One Click LCA ble noen materialer valgt automatisk, mens andre måtte kartlegges manuelt fra databasen. De materialene som ble valgt automatisk ble dog sjekket for å sikre at riktige materialer ble valgt.

Tabellene i de neste delkapitlene viser en oversikt over utslippsfaktorene brukt i beregningene for materialene i RIB- og ARK-modellene. Utslippsfaktorene markert med grønt ble regnet ut etter totalt utslipp var beregnet, slik at utslippsfaktoren skulle inkludere den lokale kompensasjonsfaktoren som One Click LCA opererer med. One Click LCA benytter en metode i henhold til CEN/TR 15941:2010, for å justere utslipp i samsvar med lokale produksjonsforhold (Standard Norge 2010b). Det betyr at selv om det velges et materiale produsert i et annet land, vil utslippsfaktoren reguleres slik at det er som om produktet er produsert i Norge, med norsk elektrisitets-mix (Bionova 2018). Et eksempel er tyrkisk aluminium brukt i vinduene, som har en utslippsfaktor på 20,08 kg CO_2eq/kg før lokal kompensasjon. Et utsnitt av beregningene fra ARK-modellen fra oktober 2018 er vist i Figur 3.2. For å beregne hva utslippsfaktoren er etter lokal kompensasjon, ble det totale beregnede utslippet for dette elementet delt på antall kg aluminium brukt i bygningen. Dette ga en utslippsfaktor etter lokal kompensasjon på 4,83 kg CO_2eq/kg.

Konstruksjon	Ressurs	Brukerinngang	Klimagassutslipp kg CO2e
3-lags vindu med tre-aluminiumskledning	Aluminum profile for windows and doors, 2600 kg/m3, Al Profi...	654,62 kg	3 160,93

Figur 3.2 Utsnitt av beregninger av utslippsfaktor for aluminiumprofil for vinduer

Som følge av denne omregningen vil ikke utslippsfaktorene vist i kolonne fire i Tabell 3.5 til Tabell 3.9 samsvare med alle utslippsfaktorer gitt i informasjonen om hvert materiale i One Click LCAs database (kolonne to). Det er viktig å understreke at de «beregnede kompensasjonsfaktorene» er basert på egne beregninger med totale utslipp og mengder, og kan derfor avvike fra kompensasjonsfaktorene One Click LCA bruker i sine beregninger. Det ikke har vært mulighet for å sammenligne de beregnede faktorene med de One Click LCA bruker, men de beregnede faktorene ble allikevel oppgitt for å gi et klarere bilde av hvilke utslippsfaktorer som faktisk ble brukt i beregningene.

Materialnavnene i Tabell 3.5 til Tabell 3.9 er forenklet for å redusere plassbruk, men de spesifikke materialnavnene kan ses i Vedlegg I og J. Det er gitt begrunnelse for valg av de ulike materialene, og til slutt gis fremgangsmåten for valg av verdier for elementer der materialer ikke er definert i modellene. For de bygningsproduktene som ikke forklares mer utfyllende i teksten, ble produktvalgene som One Click LCA tok automatisk vurdert å være egnet.

Betong og andre sementbaserte produkter

Tabell 3.5 viser en oversikt over utslippsfaktorene for betong, sementmørtel og avrettingsmasse brukt i RIB- og ARK-modellene. Det ble valgt å bruke betong med lavkarbonklasse C for all type betong. Dette ble til en viss grad basert på tilgjengelig lavkarbonbetong i Trondheim i forhold til en oversikt over regional tilgjengelighet av lavkarbonbetong (Norsk betongforening 2015). Ettersom utslippene for de ulike modellene kun skulle sammenlignes med hverandre og ikke med andre bygg, ble det vurdert at valget ikke hadde så stor innvirkning så lenge det var likt for alle modellene i denne undersøkelsen.

I RIB-modellene er styrken på betongen i de fleste elementene definert som enten B30 eller B35. For de betongelementene hvor styrken ikke er spesifisert, ble B30 valgt. Materialvalget for begge styrkene falt på lokale generelle data, som representerer generelle verdier fra materialer i Norge. For betong med styrke B30 ble ferdigbetong med 10% resirkulert bindemiddel valgt, ettersom dette var gitt som det typiske valget av One Click LCA. Dette ble gjort ettersom det ikke ble funnet andre kilder på vanlig mengde resirkulert bindemiddel i sement. For betong med styrke B35 er det ikke oppgitt noe prosent resirkulert bindemiddel i One Click LCA. I RIB-modellen fra juni 2018, er det definert noe betong med styrke B55. Det var ikke noe alternativ i One Click LCA sin database for betong i lavkarbonklasse C med styrke B55, så dermed ble styrken B45 valgt. I ARK-modellen er det ikke spesifisert hvilken styrke betongen har, men det ble valgt de to samme som var mest brukt i RIB-modellen, B30 og B35.

Tabell 3.5 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for betong og sement

Materiale	Utslippsfaktor fra One Click LCA (før lokal kompensasjon)	Beregnet kompensasjons-faktor	Beregnet utslippsfaktor (etter lokal kompensasjon)
Betong, B35	320,00 kg CO_2eq/m^3	1,0	320,00 kgCO_2eq/m^3
Betongstein og murverk	0,0988 kgCO_2eq/kg	1,0	0,0988 kgCO_2eq/kg
Ferdigbetong, B30, 10% resirkulert	270,88 kg CO_2eq/m^3	0,852	230,90 kgCO_2eq/m^3
Ferdigbetong, B45, 10% resirkulert	355,83 kg CO_2eq/m^3	0,85	302,39 kgCO_2eq/m^3
Hulldekker, B30, inkl. Armering	0,13 kgCO_2eq/kg	0,84	0,109 kgCO_2eq/kg
Sementmørtel	375,5 kgCO_2eq/m^3	0,719	270,14 kgCO_2eq/m^3
Avrettingsmasse	0,17 kgCO_2eq/kg	1,0	0,17 kgCO_2eq/kg

Stål

Tabell 3.6 viser utslippsfaktorene for alle stålelementene brukt i RIB- og ARK-modellene. For stålplater ble det valgt å bruke det generiske materialvalget for stålplater med 15 % resirkulert stål. Det ble valgt alternativet med denne andelen resirkulert stål etter å ha undersøkt hva som ser ut å være vanlig mengde resirkulert stål i diverse EPDer for stålplater på EPD-Norge (EPD-Norge 2014a; EPD-Norge 2016). One Click LCA mener stålplater med 90 % resirkulert stål er typisk, men ettersom EPDene på EPD-Norge tilsier noe annet, ble ikke anbefalingen fra One Click LCA fulgt. I tillegg hevder Solem (2018) at

resirkulert stål er mangelvare og på bakgrunn av dette ble det valgt et alternativ med lavere innhold av resirkulert stål.

For de strukturelle stålprofilene i søyler og bjelker ble en generisk verdi med 90% resirkulert stål valgt. One Click LCA har markert dette som det typiske alternativet, og andelen resirkulert stål kunne til en viss grad bekreftes av EPDer for profiler med 85 % resirkulert materiale (EPD-Norge 2013a; EPD-Norge 2014b).

For hulprofiler i modellene ble det valgt et generelt materiale for kaldvalsede strukturelle hule stålprofiler med 15 % resirkulert stål. One Click LCA gir ikke noen indikasjon på hvilken mengde resirkulert stål som er mest vanlig, men etter å ha undersøkt andre EPDer ble det antatt at vanlig mengde er omtrent 13 % (EPD-Norge 2013b; EPD-Norge 2014c). Derfor ble hulprofilene med 15 % resirkulert stål valgt, da 13 % ikke var et alternativ.

Valget for armering falt på forsterkningsstål med 97 % resirkulert stål, som var merket typisk i One Click LCA. Andelen resirkulert materiale bekreftes av to kilder som oppgir at armering kan lages med 100 % resirkulert stål (Celca steel service AS 2015; Bygg og bevar 2019).

Tabell 3.6 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for stål

Materiale	Utslippsfaktor fra One Click LCA (før lokal kompensasjon)		Beregnet kompensasjons-faktor	Beregnet utslippsfaktor (etter lokal kompensasjon)	
Stålplater, 15% resirkulert	2,90	$kgCO_2eq/kg$	0,972	2,82	$kgCO_2eq/kg$
Strukturelle stålprofiler, 90% resirkulert	0,74	$kgCO_2eq/kg$	0,919	0,68	$kgCO_2eq/kg$
Strukturelle hule stålprofiler, 15 % resirkulert	2,90	$kgCO_2eq/kg$	1,0	2,90	$kgCO_2eq/kg$
Forsterkning stål (armering), 97% resirkulert	0,50	$kgCO_2eq/kg$	0,90	0,45	$kgCO_2eq/kg$

Isolasjon

Utslippsfaktorer for isolasjonsprodukter brukt i RIB- og ARK-modellene er vist i Tabell 3.7. Isolasjonen i RIB-modellene består i størst grad av EPS og XPS, men også noe steinullsisolasjon. Isolasjonen i kuldebrobryterne ble antatt å være steinull basert på produktdatabladet fra Max Frank (d.u.), og dermed ble steinull fra Rockwool brukt. Dette fordi Rockwool er produsent av steinullplater i Norge og har fabrikk i Trondheim (Rockwool d.u.). Med fabrikk i nærheten er produktet aktuelt for prosjektet, og derfor ble det valgt på tross av at det er produktspesifikt. One Click LCA har kun et alternativ for Rockwool steinull fra Danmark, men det antas at den lokale kompensasjonsfaktoren korrigerer for produksjonsforskjellene i Norge og Danmark.

For isolasjon i modellene som ikke er spesifisert, ble det valgt å bruke glassull fra Glava, ettersom de står for produksjonen av glassull i Norge og har fabrikk i Stjørdal (Store Norske Leksikon 2014). I ARK-modellene er det i tillegg til de overnevnte isolasjonstypene også inkludert trinnlydsplater og murplater. Det ble valgt å bruke en trinnlydsplate fra Glava, med tykkelse 20 mm.

Tabell 3.7 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for isolasjon

Materiale	Utslippsfaktor fra One Click LCA (før lokal kompensasjon)		Beregnet kompensasjons-faktor	Beregnet utslippsfaktor (etter lokal kompensasjon)	
Isolasjon, EPS 80	3,86	$kgCO_2eq/kg$	1,0	3,86	$kgCO_2eq/kg$
XPS isolasjonsplate	112,12	$kgCO_2eq/m^3$	1,0	112,12	$kgCO_2eq/m^3$
Rockwool isolasjon, steinull	34,32	$kgCO_2eq/m^3$	0,86	29,51	$kgCO_2eq/m^3$
Glava isolasjon, glassull	21,06	$kg\ CO_2eq/m^3$	1,0	21,06	$kgCO_2eq/m^3$
Glava glassull, Trinnlydplate	0,76	$kgCO_2eq/kg$	1,0	0,76	$kgCO_2eq/kg$
Glava glassull, Murplate 32	1,38	$kgCO_2eq/kg$	1,0	1,38	$kgCO_2eq/kg$

Tre, Gips og andre plater

Kryssfiner ble valgt som generisk kryssfiner fra bøk, som vist i Tabell 3.8. Utslippsfaktoren er basert på Ecoinvent, og utslippene er derfor korrigert til å være representative for produksjon i Norge. For tresøyler er det antatt limtre, og det er valgt en svensk produsent, Setra. Dette fordi det norske alternativet for limtre i One Click LCAs database kun er for limtrebjelker, og ikke søyler. For parkett brukt som overflategulv i trebygningene ble det valgt et produkt fra Tyskland. Dette er alternativet One Click LCA bruker for generisk verdi for parkettgulv i Europa. Som vist i Tabell 3.8 ble det brukt en kompensasjonsfaktor på 0,74, slik at utslippene ble representative for Norge.

I veggene ble det valgt å bruke verdier for gipsplater på 12,5 mm fra Gyroc, mens i dekke ble det valgt en gulvplate på 12,5 mm fra Norgips. Den sistnevnte har en høyere utslippsfaktor, noe som kan komme av at den er spesialutviklet for å tåle større belastninger sammenlignet med gips for vegger (Norgips byggesystemer d.u.).

Tabell 3.8 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for tre, gips og andre plater

Materiale	Utslippsfaktor fra One Click LCA (før lokal kompensasjon)		Beregnet kompensasjons-faktor	Beregnet utslippsfaktor (etter lokal kompensasjon)	
Kryssfiner fra bøk	329,4	$kgCO_2eq/m^3$	0,158	51,96	$kgCO_2eq/m^3$
Limtre	44,0	$kgCO_2eq/m^3$	0,53	23,25	$kgCO_2eq/m^3$
Massive wooden flooring/parquet	0,73	$kgCO_2eq/kg$	0,74	0,54	$kgCO_2eq/kg$
Tre til utvendig bruk, kobberimpregnert	177,9	$kgCO_2eq/m^3$	1,0	177,9	$kgCO_2eq/m^3$
Trelast, bartre	43,0	$kgCO_2eq/m^3$	1,0	43,0	$kgCO_2eq/m^3$
Sponplater	0,35	$kgCO_2eq/kg$	1,0	0,35	$kgCO_2eq/kg$
Vindsperre	0,22	$kgCO_2eq/kg$	1,0	0,22	$kgCO_2eq/kg$
Gipsplate, 12.5 mm	1,70	$kgCO_2eq/m^2$	1,0	1,7	$kgCO_2eq/m^2$
Gipsplate, gulvplate	0,26	$kgCO_2eq/kg$	1,0	0,26	$kgCO_2eq/kg$
Akustiskte himlingsplater	1,75	$kgCO_2eq/kg$	0,336	0,587	$kgCO_2eq/kg$
Bitumenpolymer membrantekking	0,65	$kgCO_2eq/kg$	0,953	0,619	$kgCO_2eq/kg$
Ceramic tiles	10,5	$kgCO_2eq/m^2$	0,144	1,51	$kgCO_2eq/m^2$
Dampsperre	2,26	$kgCO_2eq/kg$	1,0	2,26	$kgCO_2eq/kg$
Perforert murblokk, Lettklinker	118,15	$kgCO_2eq/m^3$	1,0	118,15	$kgCO_2eq/m^3$

Dører og vinduer

Tabell 3.9 viser utslippsfaktorer for materialer og produkter brukt i vinduer og dører i ARK-modellene. Valget av dører og vinduer falt på generiske verdier for innvendig dør, ekstern dør og 3-lags vindu med tre-aluminiumskledning. One Click LCA har valgt ut produkter som programmet mener er typiske for Europa. For utvendige dører ble det dermed valgt en ståldør med dimensjoner 1000x2125 mm, fra produsenten Hörmann i Tyskland. Innvendige dører ble valgt som tredører med dimensjon 809x2053 mm fra Nordic

Dørfabrikk. Vinduene består av tre lag glass med verdier basert på Ecoinvent, trebord fra Accoya Scots Pine i Nederland og aluminium fra produsenten Saray i Tyrkia.

Tabell 3.9 Utslippsfaktorer og kompensasjonsfaktorer for vinduer og dører

Materiale	Utslippsfaktor fra One Click LCA (før lokal kompensasjon)		Beregnet kompensasjons-faktor	Beregnet utslippsfaktor (etter lokal kompensasjon)	
Climate door	57,92	$kgCO_2eq/m^2$	1,0	57,92	$kgCO_2eq/m^2$
Multifunctional steel door	84,70	$kgCO_2eq/m^2$	0,974	82,53	$kgCO_2eq/m^2$
Planglass, enkeltglasert 4mm	1,22	$kgCO_2eq/kg$	0,657	0,802	$kgCO_2eq/kg$
Terrassebord, kledning vindu	258,0	$kgCO_2eq/m^3$	0,697	156,6	$kgCO2eq/m^3$
Aluminum profile for windows and doors	20,8	$kgCO_2eq/kg$	0,232	4,83	kgCO2eq/kg

Udefinerte materialer – generiske verdier for utslipp

Tabell 3.10 viser en oversikt over utslippsfaktorene som ble brukt for å beregne utslipp for de udefinerte materialene. Utslippsfaktorene som ble brukt i de manuelle beregningene er basert på erfaringstall fra Solem (2017) og sammenligninger av EPDer. Grafer og oppbygninger fra Solem (2017), samt sammenligning av EPDer er vist i Vedlegg H. Komponenter dette gjelder er yttervegger, innervegger, dekker, platekledning og gulvbelegg. Det ble brukt tre verdier for hvert element: høyest, lavest og mest sannsynlig/medium verdi. Den mest sannsynlige verdien ble valgt ved å vurdere materialene og utslippsfaktorene i grafene fra Solem (2017) og se hva som er vanlig å bruke av type bygningselement eller materiale. Det er denne verdien som ble inkludert i beregningene var utslippene, mens den høyeste og laveste verdien ble brukt til å oppgi usikkerhetsspennet for verdiene.

De ulike utslippsfaktorene brukt i beregningene for veggene er gitt per m^2 og for vegger med materiale definert som «innervegg» er utslippsverdier basert på oppbygningene markert i Vedlegg H1. For vegger med materiale definert som «yttervegg» og «vegg» er de valgte elementene markert i Vedlegg H2. De generiske verdiene for de udefinerte dekkekonstruksjonene ble basert på tre ulike oppbygninger fra Solem (2017): et massivtredekke og to hulldekker med lavkarbonklasse B og C, vist i Vedlegg H3.

For materialene som i BIMene er definert som «platekledning» og «gulvbelegg», var det usikkert nøyaktig hva slags materiale det dreide seg om, og dermed ble generiske verdier brukt. Platekledning er brukt i mange vegger i ARK-modellene og beregningene ble gjort separat for kledning på yttervegg og innervegg. De valgte verdiene gitt i Tabell 3.10 er markert i Vedlegg H4. Den høyeste og laveste verdien er basert på min- og maksverdier i oversikten i Vedlegg H4, mens den midterste verdien er basert på vurderingen om at 5,0 er omtrent gjennomsnittet for de gjenstående alternativene i oversikten.

For gulvbelegg ble det valgt å bruke utslippsfaktorene for linoleum, vinyl og teppegulv som henholdsvis minimums-, mediums- og maksimumsverdi på utslippsfaktor. Verdiene for linoleum og vinyl ble basert på grafer fra Solem (2017) markert i Vedlegg H5, mens verdien for teppegulv ble valgt basert på EPDer fra EPD-Norge. Den sistnevnte verdien ble basert på en sammenligning mellom flere produsenter for å finne en øvre verdi for gulvbelegg. Sammenligningen ble gjort mellom seks teppegulv fra tre forskjellige produsenter, som vist i tabellen i Vedlegg H5.

Tabell 3.10 Utslippsfaktorer for udefinerte materialer

	Utslippsfaktorer [$kgCO_2eq/m^2$]			
Materialer definert som	**Min**	**Med**	**Max**	**Basert på grafer og verdier gitt i:**
Innervegg	7,6	18,5	23,1	Vedlegg H1
Yttervegg og vegg	21,0	75,0	81,0	Vedlegg H2
Dekke	35	61	75	Vedlegg H3
Platekledning yttervegg	1,0	10,0	46,0	Vedlegg H4
Platekledning innervegg	0,7	5,0	22,0	Vedlegg H4
Gulvbelegg	3,8	8,5	25,0	Vedlegg H5

3.5.3.3 Vurdering av påvirkning

Miljøpåvirkningen ble vurdert basert på resultater for effektkategorien GWP. One Click LCA oppga også resultater for noen andre effektkategorier, men disse ble ikke tatt med i vurderingen. Det ble valgt kun én effektkategori på bakgrunn av at metodene skal være tiltenkt bruk i tidligfase av ikke-LCA eksperter. Meex et al. (2018) påpeker at kompleksitet i en LCA er utfordrende for ikke-LCA-eksperter. I forsøk på å følge litteraturens anbefalinger ble kun én effektkategori vurdert hensiktsmessig og det ble antatt at resultatene for denne effektkategorien er tilstrekkelig for å kartlegge utviklingen av utslippene.

3.5.3.4 Tolkning

Denne LCAens hensikt er noe annerledes enn tradisjonell LCA-metodikk, fordi den er mer knyttet til funksjonaliteten mellom BIM og LCA som metoder, altså hvordan definisjonen av LOD og BIMenes utvikling påvirker LCA-beregningene. Dette gjør at det i tolkningen av resultatene ikke nødvendigvis ble fokusert på det som er ansett som vanlige aktiviteter i dette steget. Med tanke på å identifisere betydningsfulle bidragsytere var dette noe som ble gjort underveis i den iterative prosessen for å kontrollere at store utslipp var korrekte og ikke skyldtes feil i import av materialmengder, men dette ble ikke presentert som en del av resultatene.

Vurdering av resultatenes sensitivitet og innflytelse på den endelige miljøpåvirkningen, sammen med vurdering av resultatene og dataenes fullstendighet og kvalitet er det som har vært mest i fokus. Denne aktiviteten er relevant med tanke på LCAens hensikt om å undersøke LOD-utviklingens påvirkning. LCA-beregningene ble begrenset til å vise resultater fra de faktiske modellene, og hadde ikke som hensikt å vise utslippene for «hele prosjektet» fra start til slutt. LOD-rammeverket fasiliterer dataenes kvalitet og fullstendighet, og hvordan LOD-utviklingen er i de ulike modellene er brukt i tolkningen av de endelige resultatene. For å sammenligne resultatene for modellene på de ulike tidspunktene, ble de presentert i grafer i forsøk på å fremstille slutninger og poeng på forståelige måter. For ARK-modellen har også resultatene for veggene blitt tatt ut som et delresultat for å illustrere en utvikling som var tydeligere her enn for hele ARK-modellen.

Konklusjoner og anbefalinger basert på resultatene fra undersøkelsene omfatter metoder og momenter knyttet til selve gjennomføringen av en BIM-basert LCA. Resultatene er oppsummert i anbefalinger for hvordan LCA kan knyttes til de ulike LODene og hva som anses som viktige fokusområder i den videre utviklingen av BIM-LCA-integrasjonen.

3.5.4 Styrker og svakheter

En svakhet med tanke på sammenligningen av antall objekter med de ulike LODene mellom ARK- og RIB-modellene, er at LODene representerer ulike ting i de to modellene. I det teoretiske rammeverket nevnes det at LOD kan ha to definisjoner, detaljnivå og

utviklingsnivå. I ARK-modellen er detaljnivå den best beskrivende definisjonen ettersom LOD på objektene ble bestemt ut ifra hvor detaljert materialene er definert. Objektstatusen som er gitt objektene i RIB-modellen kan defineres som utviklingsnivå, fordi statusen som de i prosjektet har satt, har et aspekt av hvor sikkert informasjonen er. Dermed er det ikke helt det samme, og dette er noe som har bydd på utfordringen i tolkningen av resultatene for LOD-utvikling.

En svakhet ved informasjonen i BIMene som er brukt, er at ingen av modellene ble sjekket av «Checker»-verktøyet til Solibri før mengdeuttak. Dette kan ha innvirkning på resultatene, da kanskje objekter mangler fra modellen. Dette er uansett ikke noe som kunne blitt fikset, da originalfilene for ARK- og RIB-modellene fra Revit ikke har blitt tilgjengeliggjort og det kunne ikke blitt gjort noen endringer i modellene.

For valget av beregningsverktøy for LCA er det at One Click LCA har en stor database, for både generelle og produktspesifikke materialer, en styrke i metodikken. Det at verktøyet kan kjenne igjen materialer kan redusere tidsbruken, ved at en for eksempel unngår å måtte lete etter riktig EPD. I tillegg til å gi tilgang på generiske materialfaktorer for det lokale området, har programmet en funksjon for lokal kompensasjon av utslipp. Denne funksjonen kan regnes som en styrke ved at en får tilgang til flere materialer, men at utslippet likevel representerer utslipp fra det aktuelle landet man bygger i. Dette kan også være en liten svakhet ved at noe av beregningene blir en smule «black box», altså at man ikke vet hvilke tall og faktorer som er brukt. Dette er noe som svekker metoden, ettersom en ikke kan forklare alle tall i beregningene nøyaktig selv om de kan regnes ut i etterkant.

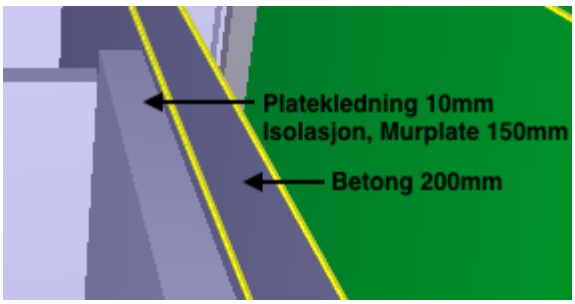
En svakhet knyttet til valg av beregningsverktøy og import av materialmengder var nødvendigheten av å dobbeltsjekke at riktig materiale ble valgt. En kan ha lett for å stole for mye på den automatiske prosessen og dermed bruke feil tall i beregningene. Det har derfor vært viktig å kontrollere at alle materialvalg og mengdeuttak har vært korrekte, og i noen tilfeller har det vært nødvendig å sammenligne med mengder fra BIMene manuelt.

I litteraturen kom det frem at en utfordring ved bruk av One Click LCAs nettversjon, er at mangelen på interoperabilitet kan gjøre det mer krevende å finne ut hvilke utslipp som kan knyttes til hvilke objekter i BIMen (Köseci 2018). Dette ble også erfart i disse beregningene, i tillegg til utfordringer ved at programmet ikke kunne lese kompositter. Dette er momenter som gjorde beregningene mer tidkrevende.

3.5.5 Feilkilder

En kilde til feil i beregningene kan være knyttet til at mengdeuttak ble gjort på ulike måter for ulike modeller, ettersom det var mye informasjon å håndtere og det kan ha blitt gjort feil i opptelling og summering av verdier.

En annen feilkilde ligger i mangelen på å klare å identifisere og «slå sammen» objekter som ligger inntil hverandre og representerer ulike lag i ARK-modellene. Et eksempel på dette er vist i Figur 3.3. I LOD-defineringen vil veggen med platekledning og isolasjon kunne ha LOD300, mens betongveggen har LOD200. Ettersom de utgjør samme vegg ville de i realiteten kunne legges sammen og da hatt LOD300. Dette kan regnes som en slags feil i antallet for LOD200, da veggen totalt sett kan klassifiseres som LOD300. Dette har ikke påvirket LCA-resultatene, men er noe som ble tatt i betraktning i tolkningen av resultatene for LOD-utviklingen.



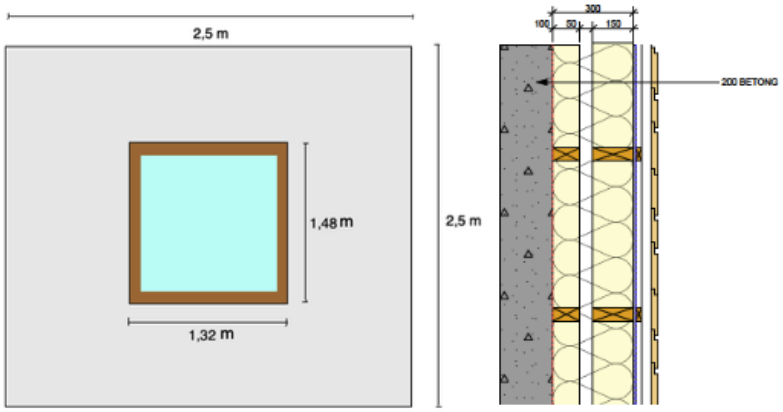
Figur 3.3 Vegg med flere lag definert med ulike LODer

4 Case

Dette kapittelet består av to case: en enkel betongvegg som ble undersøkt i prosjektoppgaven, og et byggeprosjekt i Trondheim, Prosjekt NærByen.

4.1 Case 1 - Betongvegg

For å teste ut hvilken type LCA som egner seg til hvilket utviklingsnivå, ble det brukt en vegg med dimensjoner som vist på Figur 4.1. Arealet på veggen er 6,25 m^2, mens vinduet har et areal på 1,95 m^2, og det gir veggen et netto veggareal på 4,30 m^2. Dimensjoner og antall sjikt vil variere ut ifra hvilket utviklingsnivå veggen har. Verdiene for utslipp og påvirkningsfaktorer, vil variere basert på hvilken metode som brukes, altså Screening eller Forenklet. For Screening LCA er det tatt utgangspunkt i veggoppbygningen illustrert i Figur 4.1. Den samme oppbygningen er brukt ved Forenklet LCA, med unntak av at det er lagt til en innvendig kledning av gips på 12,5 mm. Dette ble gjort fordi det antas å ville blitt inkludert på en faktisk vegg.



Figur 4.1 Yttervegg, dimensjoner i m. Oppbygning gitt i mm, hentet fra Solem (2017)

4.1.1 Materialmengder

Tabell 4.1 til Tabell 4.3 viser en oversikt over forskjellene i dimensjoner og parametere for de to LCA typene, for noen av de ulike utviklingsnivåene. Tabell 4.1 viser parametere for LOD100. Ettersom dette er det laveste nivået og prosjektets design er på det konseptuelle stadiet, ble arealet på veggen avrundet til et helt tall. Dette fordi dybder og tykkelse fortsatt vil være fleksible. Det ble definert at veggen skal være av betong, selv om dette antagelig ikke ville vært lagt inn i en eventuell BIM ved en så lav LOD. På dette tidspunktet kan BIMen representere skjematiske veggelementer som ikke skilles etter type eller materiale. På tross av at modellobjektene ikke er delt etter materiale, ble det antatt at det kan anslås grove materialvalg for å kunne utføre en LCA. Tykkelsen som er oppgitt ble kun gitt som tykkelsen for betongdelen, ettersom de andre lagene ikke er definert.

Tabell 4.1 Inputs for de to LCA-typene ved LOD100

	Screening	Forenklet
LOD100	1. Vegg med ett lag Areal: 6 m^2 Oppbygning: 200 mm betong	1. Vegg med ett lag Areal: 6 m^2 Oppbygning: 200 mm betong

For LOD200 ble samme verdier som i Tabell 4.1 brukt, med unntak av at arealet ble gjort om til 6,25 m^2. Ved dette nivået vil et objekt representere den omtrentlige veggtykkelsen. Det ble valgt å ikke ta med tykkelsen for hele veggen, ettersom veggen da ville fått et meget høyt utslipp hvis utslippsfaktoren for betong skulle brukes for den totale veggtykkelsen.

Ved LOD300 ble det lagt til andre materialsjikt i veggen, i tillegg til at utsparingen for vinduet ble inkludert, men selve vinduet ble ikke tatt med enda. Dette gjorde at arealet for veggen ble redusert. Ved Screening LCA ble veggen definert som et samlet element med oppbygning som vist i Figur 4.1, mens ved Forenklet ble alle lagene definert hver for seg. For beregning av mengde treverk i veggen for den Forenklede LCAen, ble det benyttet en senteravstand på 600 mm og dimensjoner på treverket som vist i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Inputs for de to LCA-typene ved LOD 300

	Screening	**Forenklet**
LOD300	1. Vegg i betong, med ulike materialsjikt. Areal: 4,2964 m^2 Oppbygning: Definert som samlet vegg	1. Vegg i betong, med ulike materialsjikt. Areal: 4,2964 m^2 Oppbygning: Inn. kledning 12,5 mm gips Betong 200 mm Stenderverk 48 x 98 mm, 100 mm Iso Stenderverk 48 x 148, 150 mm Iso Vindsperre 12 mm Lekt 23 x 23 mm Utvendig kledning 19 mm

Ved LOD350 ble også vinduet inkludert i veggen, som vist i Tabell 4.3. Oppbygningene på veggen er lik som ved LOD300, men det ble antatt at spesifikke produkter blir valgt på dette tidspunktet. I den Forenklede LCAen ble det brukt et spesifikt vindu, med 3-lags glass som har målene 1,23 m x 1,48 m.

Tabell 4.3 Inputs for de to LCA-typene ved LOD 350

	Screening	**Forenklet**
LOD350	1. Vegg i betong, med ulike materialsjikt Areal: 4,2964 m^2 Oppbygning: Definert som samlet vegg	1. Vegg i betong, med ulike materialsjikt Areal: 4,2964 m^2 Oppbygning: Inn. kledning 12,5 mm gips Betong 200 mm Stenderverk 48 x 98 mm, 100 mm Iso Stenderverk 48 x 148, 150 mm Iso Vindsperre 12 mm Lekt 23 x 23 mm Utvendig kledning 19 mm
	2. Vindu Areal,v: 1,9536m^2	2. Vindu Areal,v: 1,9536m^2

Ved LOD400 ble de samme inputene som vist i Tabell 4.3 brukt, men det ble inkludert armering og festemidler i tillegg. I Screening LCA ble mengdeverdier for festemidler (skruer) fra erfaringstall fra beregninger gjort i prosjekt i «TBA4171 Bygnings- og materialteknikk, videregående kurs» brukt. Tallet fra prosjektet ble delt på antall kvadratmeter vegg, og er dermed gitt per m^2 vegg. Det ble antatt at armering allerede var inkludert i den samlede veggen og dermed ble ikke dette inkludert i tillegg for Screening LCA. For armering i den Forenklede LCAen ble en omtrentlig mengde på 100 kg armering

per m^3 betong (Issuu 2013) benyttet, og antall skruer ble beregnet etter anslag per stender og senteravstand for feste av kledning og lignende. Det ble antatt 4 skruer per 48x98 stender og 8 skruer per 48x198 stender. Senteravstand for festemidler for lekt og trekledning ble antatt å være 300 mm vertikalt og 600 mm horisontalt. Totalt ga dette 0,314 kg festemidler. Se Vedlegg C2 for beregninger.

4.2 Case 2 – NærByen

Veidekke Entreprenør jobber med prosjekt NærByen som skal bygges i Sorgenfriveien 18 i Trondheim. Dette er et kombinert bolig- og næringsprosjekt hvor det skal bygges 154 leiligheter, samt næringslokaler på omtrent 3000 m^2. Det skal tilsammen bygges åtte blokker på tre til åtte etasjer, og totalt er prosjektet på omtrent 19 000 m^2. De fem blokkene mot Sorgenfriveien skal ha tre til åtte etasjer og utføres i plasstøpt betong. Disse er markert som A1, A2, B, C og D på Figur 4.2. På baksiden bygges blokkene E, F og G, som skal være lavblokker på tre etasjer. Disse blokkene skal ha svalganger i betong, men selve byggene skal bestå av treelementer. I første etasje av byggene mot Sorgenfriveien bygges næringsarealer og i underetasjen skal det være et parkeringsanlegg (Veidekke 2018).

Figur 4.2 Prosjekt Nærbyen

Tabell 4.4 viser en oversikt over antall etasjer og leiligheter, samt omtrentlig areal for alle de ulike bygningsdelene i prosjektet. Arealet for boligbyggene er gitt i BRA-S, som betyr at fellesarealer som svalganger, korridorer og trapper ikke er inkludert.

Tabell 4.4 Arealer for bygninger i prosjekt Nærbyen (Frøysa 2019)

Bygningsdel	Etasjer	Antall leiligheter	Samlet areal (Ca)
Parkering og boder	U2		5100 m^2
Næringsareal	U1	3-6 leietakere	3000 m^2
Parkering	U1		2325 m^2
A1 og A2	3	32	1345 m^2 BRA-S
B	6	22	1020 m^2 BRA-S
C	8	29	1549 m^2 BRA-S
D	7	29	1493 m^2 BRA-S
E	3	18	898 m^2 BRA-S
F	3	12	682 m^2 BRA-S
G	3	12	557 m^2 BRA-S
Totalt areal			17969 m^2

Av modellene som ble tilgjengeliggjort av Veidekke, er det som nevnt bare ARK- og RIB-modellene som har blitt brukt i beregninger. Begge fagene har fire revisjoner av BIM-ene

i perioden fra juni 2018 til april 2019, som betyr at det totalt har blitt uthentet informasjon fra åtte modeller.

4.2.1 Materialmengder

Her vises totale mengdene av materialer for henholdsvis RIB- og ARK-modellene. Mengdene inkluderer kun de materialene som er tatt med i LCA-beregningene. For noen av materialene er det ulike typer innenfor hver av materialene, som tidligere spesifisert i metode. For eksempel er mengden betong den totale mengden for betong med styrke B30 og B35.

Tabell 4.5 viser mengder av materialer i RIB-modellene. Stål består av samlet mengde for alle strukturelle stålprofiler og stålplater, men mengde for armering er gitt separat. Isolasjon omfatter den samlede mengden av EPS, XPS og steinull.

Tabell 4.5 Materialemengder i RIB-modellene

Materiale	**Antall for hver BIM**			
	06_18	**10_18**	**02_19**	**04_19**
Betong [m^3]	10120,0	10492,9	10563,0	10666,0
Hulldekker [m^3]	617,7	-	-	-
Stål [m^3]	7,7	8,5	9,1	9,1
Isolasjon [m^3]	620,3	572,7	530,1	538,1
Armering [m^3]	3,0	7,5	7,9	8,4
Belegningsstein [m^3]	134,6	-	-	-

Tabell 4.6 viser materialmengder for alle ARK-modellene, gitt i litt ulike enheter. Stål er gitt i kg, med en densitet på 7850 kg/m^3, og består både av stålplater og strukturelle stålprofiler. Isolasjon består av samlet mengde for EPS, XPS og glassull. Gips gjelder både gipsplater for vegg og gulv. Trelast gjelder mengder for vanlig konstruksjonsvirke, i tillegg til limtre som er inkludert i de tre nyeste modellene.

Tabell 4.6 Materialmengder i ARK-modellene

Materiale	**Antall for hver BIM**			
	06_18	**10_18**	**02_19**	**04_19**
Betong [m^3]	9408,7	9064,6	9168,4	9188,2
Stål [kg]	10912,3	8259,1	81610,8	81755,2
Isolasjon [m^3]	4243,3	4583,9	4738,3	4761,26
Avrettingsmasse [m^3]	508,7	571,5	571,5	646,6
Gips [m^3]	363,9	393,5	434,3	436,2
Trelast [kg]	86692,9	118782,5	117356,3	117876,9
Trekledning [m^2]	816,1	934,1	929,0	929,6
Dampsperre [m^2]	4799,7	5946,4	5770,3	5772,1
Vindsperre [m^2]	816,1	934,1	929,0	929,6
Kryssfiner [m^3]	-	1,07	1,07	1,07
Sponplater [m^3]	-	47,1	47,2	47,3
Himlingsplater [m^3]	0,62	47,8	47,8	47,9
Fliser [m^2]	-	-	440,2	440,1
Sementmørtel [m^3]	-	-	-	0,27
Membrantekking [m^2]	-	106,7	106,7	106,7
Lettklinker [m^3]	9,4	9,4	9,4	9,4

Tabell 4.7 viser mengder av elementer og materialer som består å udefinerte materialer og har blitt beregnet med de generiske utslippsverdiene. Hvilke elementer dette gjelder er forklart i metode og elementoppbygningen er gitt i Vedlegg H hvor de ulike valgene er markert. De udefinerte veggene er vegger med materialer definert som «vegg», «innervegg» og «yttervegg», og mengdene er gitt i både m^3 og m^2 som er uthentet fra BIMene.

Tabell 4.7 Mengder for udefinerte materialer i ARK-modellene

Materialer	**Mengder for hver BIM**			
	06_18	**10_18**	**02_19**	**04_19**
Gulvbelegg [m^2]	6129,9	6123,2	6123,2	6123,2
Platekledning [m^2]	14927,1	13301,4	15558,0	15772,0
Udefinerte vegger [m^3]	1030,4	861,6	610,5	616,7
Udefinerte vegger [m^2]	7309,9	7397	6127,6	6159,4
Udefinerte dekker [m^2]	334,9	323,4	323,3	323,3

Vinduer og dører er samlet i Tabell 4.8 og mengdene er gitt i kvadratmeter. Dørene er delt opp i innvendige og utvendige dører. Hvilke materialer disse komponentene består av kan ses i beregningene i Vedlegg J.

Tabell 4.8 Mengder for vinduer og dører i ARK-modellene

Elementer	**Mengder for hver BIM**			
	06_18	**10_18**	**02_19**	**04_19**
Vinduer [m^2]	1463,4	1454,7	1440,6	1444,1
Utvendige dører [m^2]	1514,7	1812,8	1862,1	1876,5
Innvendige dører [m^2]	986,9	958,3	942,9	939,6

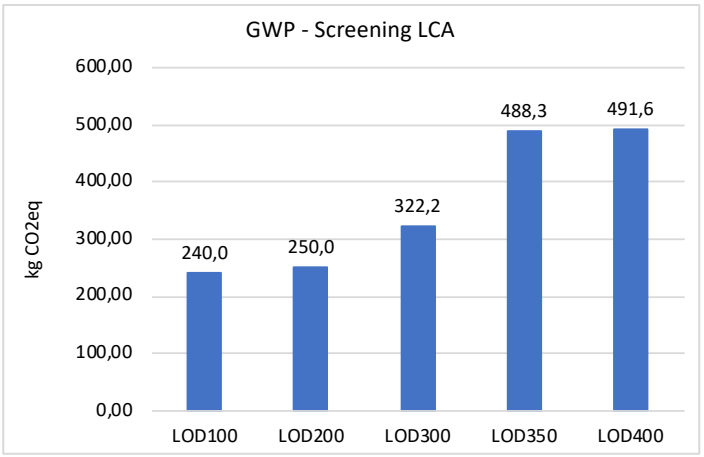
5 Resultat og Diskusjon

Dette kapittelet er delt inn slik at resultatene og noe av diskusjonen fra de to ulike casene er presentert hver for seg. Resultatene knyttet til case 1 har til hensikt å besvare spørsmålet om når de ulike LCAene kan brukes, og fremgangsmåten er en teoretisk tilnærming. Resultatene fra den praktiske tilnærmingen er basert på prosjekt Nærbyen og vil vise LOD-utvikling for BIMene, samt hvordan dette påvirker LCA-beregninger. Avslutningsvis diskuteres alle resultater mot hverandre for å si noe om hvordan LCA og BIM kan kombineres.

5.1 Teoretisk tilnærming - Når kan de ulike LCAene brukes

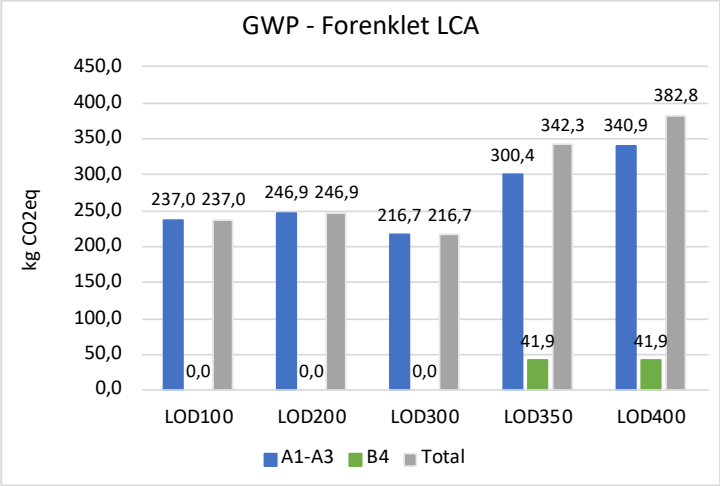
I dette delkapittelet presenteres først resultatene fra Screening LCA, og deretter resultatene fra Forenklet LCA. Fra den Forenklede LCAen er kun resultatene for GWP presentert i teksten, mens resten av resultatene vil være gitt i Vedlegg C. Resultatene viser kun utslipp fra materialer (embodied energy), over en levetid på 60 år. Videre sammenlignes begge metodene, og diskusjonen oppsummeres i en figur.

For Screening LCA er det gjort beregninger av klimagassutslipp for effektkategorien GWP, som er presentert i Figur 5.1. Beregningene er vist i Vedlegg B. Som figuren illustrerer, øker utslippene for GWP med økende LOD. Den største økningen er på 52 % fra LOD300 til 350. Den nest største økningen er på 29 % fra LOD200 til 300. Den totale forskjellen fra LOD100 til LOD400 er en økning på 105 %.



Figur 5.1 Resultat Screening LCA

Utregningene for den Forenklede LCAen er vist i detalj i Vedlegg C3-C9. Ettersom det er ulike systemgrenser for de to metodene, kan de i utgangspunktet ikke sammenlignes. For å likevel muliggjøre en sammenligning, viser Figur 5.2 utslippene fra Forenklet LCA separat for A1-A3 og B4, slik at produktfasen skal kunne sammenlignes med resultatene fra Screening LCA. Den totale økningen fra LOD100 til LOD400 for Forenklet LCA i A1-A3 er på 44 %. Inkludert B4, er økningen på 62 % fra LOD100.



Figur 5.2 GWP Resultater Forenklet LCA, fordelt på A1-A3 og B4

5.1.1 LOD100 og LOD200

Ved de to første utviklingsnivåene, er utslippene for GWP nokså like for begge metodene grunnet de forenklede dimensjonene og at kun ett materialsjikt er tatt med. Uansett om den Forenklede LCAen skal være mer detaljert, er begge begrenset av hva slags informasjon som er tilgjengelige på disse to nivåene. Den eneste forskjellen for påvirkning på GWP er nøyaktigheten i utslippsfaktoren. Den produktspesifikke verdien fra Forenklet LCA er den laveste, men det betyr ikke at denne nødvendigvis er den beste. Dette fordi all informasjonen er såpass usikker i utgangspunktet, så det å bruke en rundere, mer generisk verdi som også kan være lettere å få tak i, vurderes å være tilstrekkelig. En annen forskjell ved de to metodene er at flere effektkategorier ble inkludert ved Forenklet og dermed vurderes metoden å være mer helhetlig. Uansett kan det argumenteres for at Screening LCA er tilstrekkelig for de to laveste LODene, ettersom resultatene for begge metodene samsvarer ganske godt. Det å bruke en enkel fremgangsmåte tidlig støttes av litteraturen som antyder at miljødata i tidligfase kan brukes til å gjøre overslag angående miljøpåvirkning, og ikke til å beregne absolutte verdier (Joint Research Centre 2010; Bueno & Fabricio 2018).

5.1.2 LOD300 og LOD350

Fra LOD200 til 300 øker utslippet for Screening LCA med 29 %, som skyldes at alle sjiktene i veggen ble inkludert. Ettersom det kun ble valgt en total verdi for hele veggen, reduseres ikke utslippet selv om veggarealet reduseres grunnet utsparingen for vindu. For den Forenklede LCAen reduseres utslippet for GWP, EP og AP ved LOD300 når utsparingen ble inkludert. I tillegg ble de andre sjiktene lagt til, men ettersom betong har såpass stor innvirkning, går utslippet fortsatt ned når volumet av betong reduseres. Utslippet i de resterende fire kategoriene er derimot økende og det er et eksempel på at det å benytte flere indikatorer kan påvirke beslutningstaking. Hvor stor denne økningen faktisk er for de ulike kategoriene er vanskelig å tolke og sammenligne uten å ha normalisert resultatene. Derfor kan det argumenteres for at flere indikatorer vil kunne føre til forvirring hos ikke-LCA-eksperter, og at én indikator kan være tilstrekkelig.

Gitt utslippet til GWP, er grunnen til at Screening LCA går opp ved LOD300, mens Forenklet LCA går ned, at den generiske utslippsverdien brukt i Screening LCA inneholder flere komponenter enn de som er regnet ut ved Forenklet. For eksempel er det antatt at armeringen allerede er inkludert i den generiske verdien for hele veggen. Dette gjør at

utslipp fra armering ble inkludert i LCAen på et tidligere tidspunkt sammenlignet med når den antas å bli inkludert i modellen. Dersom dette ikke spesifiseres, kan det føre til misforståelser og feiltolking, da 3D-modellen og LCAen vil representere ulike oppbygninger på dette nivået.

Basert på disse resultatene er det gjort en vurdering om hvorvidt det er hensiktsmessig å gå over til Forenklet LCA ved LOD300 eller om overgangen bør vente til LOD350. Utslippet for LOD300 er 49 % høyere for Screening LCA sammenlignet med Forenklet, og det kan derfor argumenteres for at Forenklet er best egnet. Det kan vurderes at utslippene for de ulike materialsjiktene bør tas med hver for seg, med egne utslippsfaktorer, når de først er bestemt. Samtidig kan de spesifikke verdiene i Forenklet LCA være misvisende, da faktiske produsenter enda ikke var blitt valgt og resultatene kan avvike fra hva som velges senere. Screening LCA kan være egnet dersom de ulike materialene ikke har en EPD eller annen godkjent miljødokumentasjon, eller i tilfeller der produktspesifikke valg vurderes å kunne gi for store avvik ved at det er høy usikkerhet knyttet til fremtidige valg av produsenter.

For LOD350 er utslippet for GWP ved Screening LCA 63% høyere enn utslippet for Forenklet, og en komponent som hadde stor innvirkning ved denne LODen er inkluderingen av vinduet. For Screening LCA ble det brukt en gjennomsnittlig verdi for utslippsfaktor på vindu basert på erfaringstall, mens ved Forenklet ble tall fra en produsent brukt. Ved LOD350 ble det antatt at vindusprodusent er valgt og da vil det å bruke den faktiske verdien være best egnet, altså å gå for den Forenklede metoden. Det kan også her oppstå problemer dersom det valgte vinduet ikke har en EPD, og da kan en generisk utslippsverdi være et godt alternativ. En annen fordel med den Forenklede LCAen vises i dette utviklingsnivået. Dette fordi vinduet har en kortere levetid enn 60 år og dermed ble utslipp for utskiftning av materialer vist. En svakhet ved den metodiske tilnærmingen i denne undersøkelsen, er at utslipp fra B4 ikke ble vist tidligere. I en bygning vil det med høy sannsynlig være materialer med kortere levetid enn 60 år som benyttes. Dersom andre komponenter enn kun en vegg hadde blitt undersøkt, kunne slike utslipp blitt tatt med allerede ved LOD300, da de ulike materialsjiktene inkluderes.

5.1.3 LOD400

Ved LOD400 er bygningsdelene så godt som bestemt og ved dette nivået vil det også kunne finnes data om festemidler og detaljer. Det å bruke veldig detaljerte verdier for bygningsdelen, men så kun generiske verdier og overslag for utslippene vurderes som en dårlig kombinasjon, og derfor anses Screening som uegnet. Ingen av metodene har noen merkverdig økning i GWP fra LOD350 til 400, men det er Forenklet som har mest. Det er fordi armeringen først ble inkludert ved LOD400 for Forenklet, mens for Screening ble den antatt å være inkludert allerede fra LOD300. En annen grunn til den lave økningen er at beregningen av skruer er basert på antagelser og regnes å være veldig forenklet. Dermed er sannsynligheten for at disse beregningene avviker fra virkelige forhold stor for begge typene. Ved utførelse av LCA for en faktisk bygning, burde slike usikkerheter undersøkes videre med en sensitivitetsanalyse.

Det er uansett den Forenklede LCAen som vurderes å være best egnet for LOD400, men det kan tenkes at en Komplett LCA vil være det aller beste, til tross for at dette ikke ble undersøkt her. Det være seg at designet fra LOD400 til LOD500 ikke forandrer seg så altfor mye, og det antas at det meste av informasjonen som trengs for en komplett LCA vil være tilgjengelig ved LOD400.

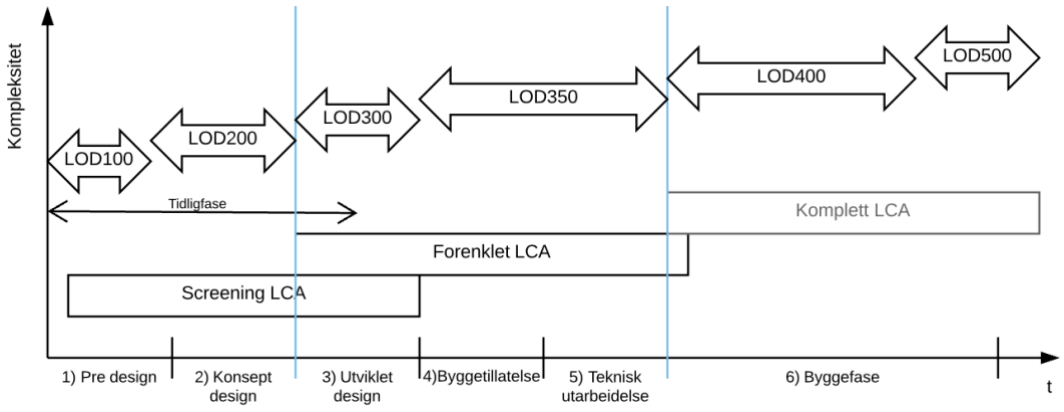
5.1.4 Oppsummering av diskusjonen for Screening og Forenklet LCA

Iterasjonsprosessene som illustrerer noe av fremgangsmåten i en LCA, er også tydelig når det gjøres LCA av bygninger. Dette fordi bygningens design endrer seg utover i et prosjekt når beslutninger tas. Iterasjonsprosessen får dermed en ny dimensjon, da det i tillegg til å forbedre komponenter med høyt utslipp, vil være nødvendig til å oppdatere dataene grunnet endringer som gjøres i designet. Dette er spesielt aktuelt om LCA inkluderes i tidligfase, når designet er mest usikkert og det med høy sannsynlighet vil bli gjort endringer.

Basert på diskusjonen vil resultatene og drøftingen kunne oppsummeres i Figur 5.3. Denne figuren er basert på Figur 2.10 presentert i det teoretiske rammeverket, hentet fra Meex et al. (2018), men det er gjort noen modifikasjoner. I tillegg til å vise de tre LCA-typene i forhold til prosjektfasene, er også de ulike LODene inkludert. LODene er plassert for å vise at kompleksiteten øker, på samme måte som den øker for de ulike LCA-typene. LODene vurdert for det teoretiske caset er på elementnivå, altså baserer de seg på resultater og drøfting for kun ett element.

Basert på teorien som tilsier at en BIM ikke bør omtales som en «LOD xxx modell» og at LODene ikke nødvendigvis korresponderer med designfasene (Adams d.u.), kan denne fremstillingen tolkes feil om LODene blir antatt å gjelde en hel BIM. De ulike LODene er plassert etter hvordan de ble vurdert å passe til de ulike LCA-typene, men undersøkelsene tok ikke for seg hvorvidt LODene faktisk korresponderer med prosjektfasene gitt på x-aksen. Med utgangspunkt i teorien, antas det at noen elementer i en BIM kan følge utviklingen som Figur 5.3 viser, men ettersom ulike bygningselementer utvikles i forskjellig hastighet gjennom designprosessen, stemmer nok ikke fremstillingen for en hel modell.

De blå linjene representerer det Meex et al. (2018) mener er grensen mellom de tre LCA-typene. Basert på resultatene og diskusjonen gjort i denne oppgaven, er det valgt å la typene overlappe. Dette fordi det ble vurdert at i noen tilfeller kan både Screening og Forenklet LCA bli benyttet, om forholdene og tilgjengeligheten av informasjon tillater det. Som Figur 5.3 viser, er LOD300 nivået hvor det i størst grad er vurdert at begge LCAene kan brukes. Den komplette LCAen kan brukes når elementene er så å si bestemt, men siden den ikke var en del av undersøkelsen og vurderes å ikke være relevant for BIM-integrering i tidligfase, er den markert grå i figuren.



Figur 5.3 Illustrert oppsummering av resultat og diskusjon for teoretisk tilnærming

5.2 Praktisk tilnærming – basert på Prosjekt Nærbyen

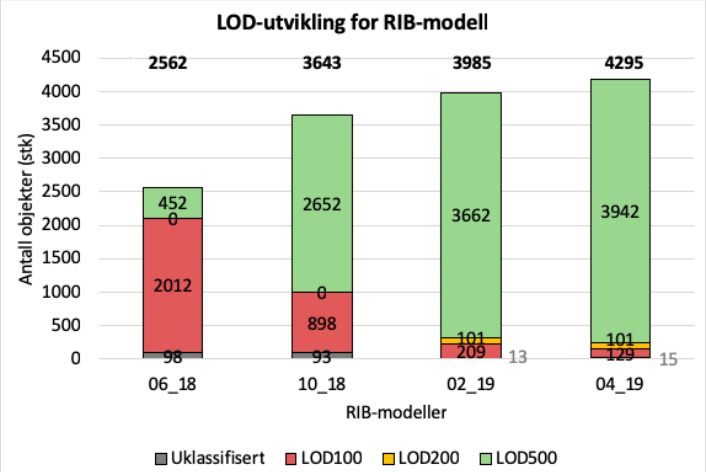
Resultatene basert på informasjon fra prosjekt Nærbyen er presentert hver for seg for resultater relatert til LOD og LCA, men noen diskusjoner går på tvers av tematikk. Resultatene er oppsummert i grafer og diagrammer, og utregningene er gitt i Vedlegg I og J. I noen tilfeller er det bare resultater for et par av modellene som er vist i teksten, mens resten er gitt i Vedlegg.

5.2.1 LOD

Resultatene for LOD-utviklingen presenteres separat for henholdsvis RIB- og ARK-modellene, og for ARK-modellene gis først resultatene for vegger, deretter for hele modellen. Videre diskuteres resultatene mot hverandre, for å se hvordan LOD-utviklingen varierer mellom modellene for de to fagene.

RIB-modell

Figur 5.4 viser en oversikt over det totale antall objekter i de fire ulike RIB-modellene. Figuren viser en økning i antall objekter på 1733 fra første modell i juni 2018 til siste modell i april 2019. Dette er en økning på 67 % over en periode på 10 måneder. Denne utviklingen viser at dersom BIMen brukes direkte i LCA-beregninger, kan det være mye av bygget som ikke kommer med i tidligberegninger. Hvis det antas at den nyeste modellen hadde representert hele bygget, hadde en LCA utført med modellen fra juni 2018 kun inkludert 60 % av bygget. Sammenlignet med antagelsene gjort i den teoretiske tilnærmingen viser disse resultatene grunnen til at utslipp beregnet med BIM-basert LCA har en tendens til å øke med økende LOD, fordi mer av bygget tas med etter hvert.

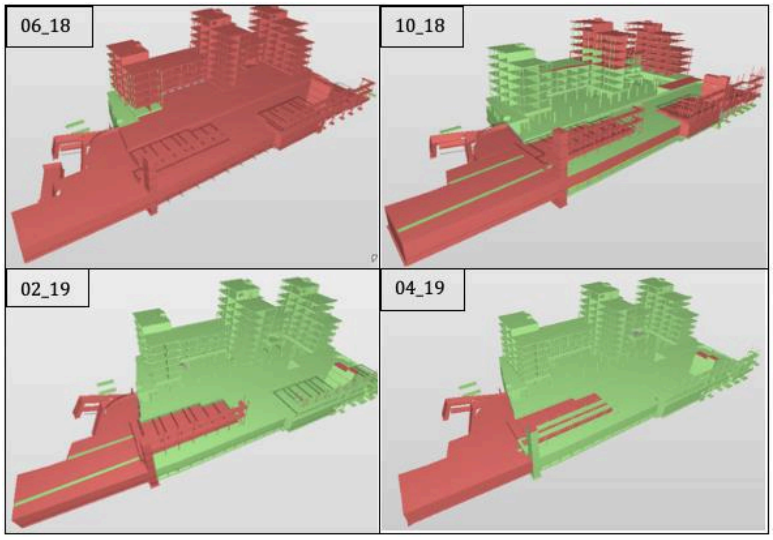


Figur 5.4 Totalt antall objekter i RIB-modellene

I tillegg til at det er en økning i det totale antallet objekter i modellene, kan Figur 5.4 illustrere at andelen objekter med de ulike LODene varierer. BIMen fra juni 2018 har det høyeste antallet objekter med LOD100 og det laveste antallet med LOD500. I modellen fra juni 2018 utgjør objekter med LOD100, 200 og 500 henholdsvis 78 %, 0 % og 18 %. Uklassifiserte objekter utgjør 4 %. Sammenlignet med modellen fra oktober 2018, hvor objekter med LOD100 utgjør 25 % av totalt antall, viser utviklingen at andelen av objektene med LOD100 reduseres betraktelig. For modellene fra februar og april i 2019, utgjør andelen av objektene med LOD100 henholdsvis 5 og 3 %. For modellen fra oktober 2018 utgjør objekter med LOD500 nesten 73 %, og for de to nyeste utgjør de 92 og 94 %. Totalt sett reduseres andelen objekter med LOD100, mens andelen med LOD500 øker.

Ettersom LOD-definering for RIB-modellen representerer utviklingsnivå og ikke detaljnivå, antas det at en usikkerhetsvurdering fra de prosjekterende er inkludert. I tilfellet for modellen fra juni 2018 vil den høye andelen av objekter med LOD100 bety at LCA-beregninger gjort på dette tidspunktet er mer usikre. Materialinformasjon er tilgjengelig for de fleste objektene i modellen, men ettersom usikkerheten er høy grunnet LOD-nivå, kan det bli gjort endringer. Dette illustrerer hensikten med å bruke generiske utslippsverdier i tidligfase, i istedenfor produktspesifikke.

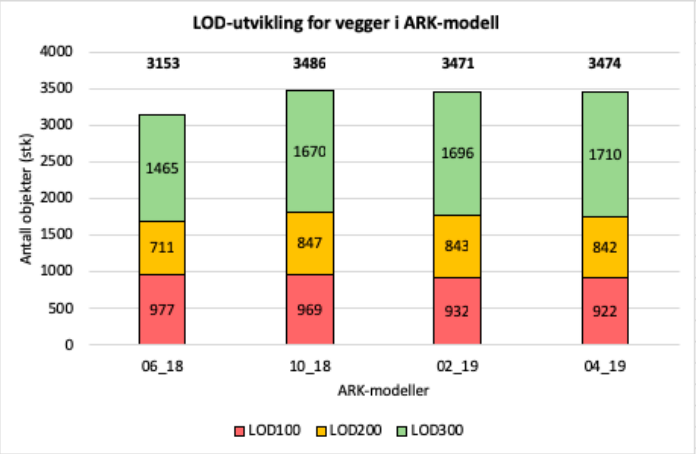
Figur 5.5 viser en sammenligning av objekter med de ulike LODene for de fire RIB-modellene og hvordan dette vises i BIMene. Fargene korresponderer med fargene gitt i Figur 5.4, hvor LOD100 er vist i rødt, LOD200 i gult og LOD500 i grønt. Ettersom det er såpass få objekter som er uklassifisert eller har LOD200, er ikke disse synlige i visualiseringen i Figur 5.5. En visualisering som dette kan gi et klarere bilde av modellenes utvikling, og det er tydelig at det ble tatt en del beslutninger mellom modellen fra juni 2018 og til oktober, ettersom mange objekter gikk fra LOD100 til LOD500. Det samme gjelder i perioden mellom oktober 2018 og februar 2019. Dersom utklipp av modellen hadde blitt hentet ut ved kortere intervaller, kunne en kartlegging av hvordan de prosjekterende jobbet seg gjennom modellen vært enda tydeligere. Ved å ha utklipp av modellen med fire måneders mellomrom, er det vanskelig å vite om defineringen av LOD faktisk ble brukt og oppdatert jevnlig, eller om det ble gjort i puljer.



Figur 5.5 LOD-utvikling for alle fire RIB-modellene

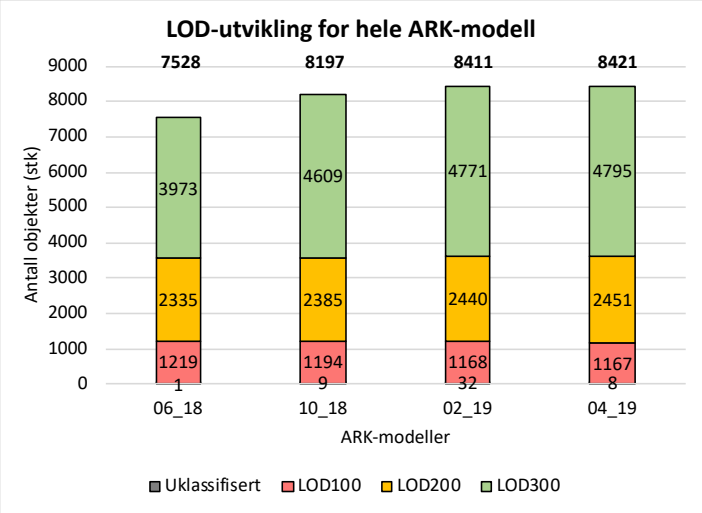
ARK-modell

Figur 5.6 viser at andelen vegger med LOD100, 200 eller 300 er ganske lik for alle fire modellene. Fra juni 2018 til april 2019 øker det totale antallet vegger med 10 %. Det kan ses en tendens til at antallet vegger med LOD100 minker, mens antallet vegger med LOD300 øker, som er den forventede utviklingen både basert på litteraturen og de tidligere resultatene. Den største økningen i antall vegger med LOD300 er på 14 % fra juni 2018 til oktober 2018. Andelen av vegger med LOD200 er nokså lik, men den største økningen er fra juni til oktober 2018. Mellom disse modellene går LOD200 fra å utgjøre 22 % av totalen, til å utgjøre 24 %. Det å tolke utviklingen for LOD200 har ikke vært prioritert, fordi variasjonen mellom modellene var nokså begrenset. I tillegg ble det vurdert at feilkilden oppgitt i metode angående utfordringene med å skille parallelle lag i modellene, gjorde videre tolkning utfordrende.



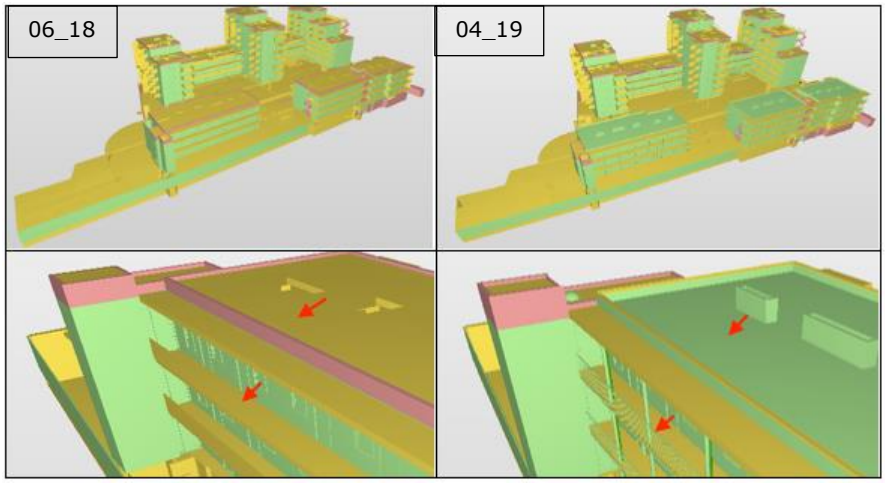
Figur 5.6 LOD-utvikling for alle vegger ARK

LOD-utviklingen for hele ARK-modellen er vist i Figur 5.7. Figuren viser hvordan det totale antallet objekter øker for hver nye modell. Det vises en tendens til at andelen objekter med LOD100 reduseres, mens objekter med LOD200 og LOD300 øker. Den største økningen i antall objekter med LOD300 er fra juni til oktober 2018, hvor det øker med 16 %.



Figur 5.7 LOD-utvikling for hele ARK

Figur 5.8 viser forskjeller mellom objektene med ulike LODer for juni 2018 og april 2019. Modellene fra oktober 2018 og februar 2019 er ikke vist da de er begge nokså like modellen fra april 2019. Det at disse tre modellene har nokså like LOD-profiler kommer frem i både Figur 5.6 og Figur 5.7. To eksempler på forskjeller i modellene er markert med røde piler i Figur 5.8 og omfatter endringer av rekkverk og tak på trebygningene.



Figur 5.8 LOD-utvikling i ARK-modell fra juni 2018 til april 2019

Sammenligning av RIB og ARK

Sammenlignet med RIB-modellene kan det se ut som ARK-modellen har nådd et mer stabilt nivå, hvor omtrent halvparten av objektene har LOD300. Det at ARK-modellen ser ut til å være mer utviklet enn RIB-modellen i juni 2018, bestrider det Cavalliere et al. (2019) hevder om at bæresystemet kan nå en høyere LOD først. Dette kan tilsi at selv om teorien hevder at et bygg utvikler seg i en viss rekkefølge, er det ikke sikkert dette blir gjort i praksis. Dermed kan det være utfordrende å bruke metodikker basert på teoretiske antagelser dersom disse ikke gjenspeiler virkelige forhold.

En mer omfattende sammenligning av LOD-utviklingen for de to ulike fagene er vanskelig når LOD-begrepet har ulike betydninger i hver av modellene, ettersom det i utgangspunktet ikke var definert LOD i ARK-modellene. Dette belyser det Hooper (2015) påstår om at LOD ikke utnyttes i bransjen. I denne undersøkelsen ble manglende LOD-definering løst ved å gi objektene LODer basert på detaljnivå eller informasjonsrikhet. Selv om detaljnivå ikke inkluderer aspektet om informasjonens sikkerhet direkte, kan flere definerte lag og høyere grad av detaljer tolkes som at designet er noe mer sikkert. Dette fordi det antas å være en viss sikkerhet i informasjonen når de prosjekterende har brukt tid på å gå i detalj.

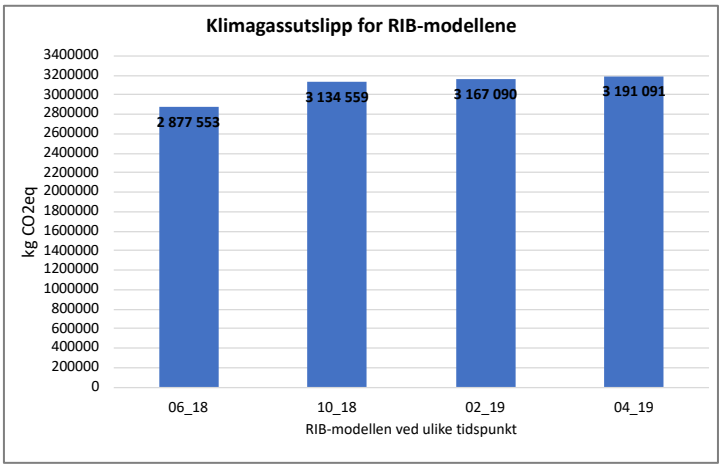
Teknologi gir muligheter til å utnytte hjelpemidler som BIM og LOD i designprosessen, men det gir ikke verdi til prosjektet hvis det ikke utnyttes riktig. RIB-modellens LOD-definering antas å inneha en form for vurdering av informasjonens sikkerhet, men det er vanskelig å se koblinger til objektenes informasjonsrikhet og grafisk detaljering. Dette fordi objekter med tilsynelatende lik informasjon og grafisk detaljering er gitt ulike LODer i RIB-modellene. Ettersom det i hovedsak kun har blitt benyttet to LODer i RIB-modellene (LOD100 og 500), oppstår det tvil om hvor aktivt LOD faktisk har blitt utnyttet. Med tanke på at LOD skal kunne strukturere modellens utvikling, vurderes det å ikke ha blitt utnyttet til det fulle for disse modellene. Dersom designbeslutninger hadde blitt strukturert gjennom eksempelvis en LOD-beslutningsplan, kunne LOD-utviklingen blitt utnyttet bedre (Svalestuen et al. 2018). Det å knytte miljøpåvirkning til LODene kunne vært mindre komplisert og avhengigheter i beslutninger på tvers av fag kunne blitt tydeligere. Bedre struktur og oversikt kan gi et bedre utgangspunkt for å forbedre materialvalgene.

5.2.2 LCA

Dette delkapittelet presenterer først resultatene for RIB-modellene, deretter for ARK-modellene, og resultatene blir diskutert og forklart noe underveis. Avslutningsvis sammenlignes resultatene for RIB- og ARK-modellene med hverandre og med litteraturen.

RIB-modell

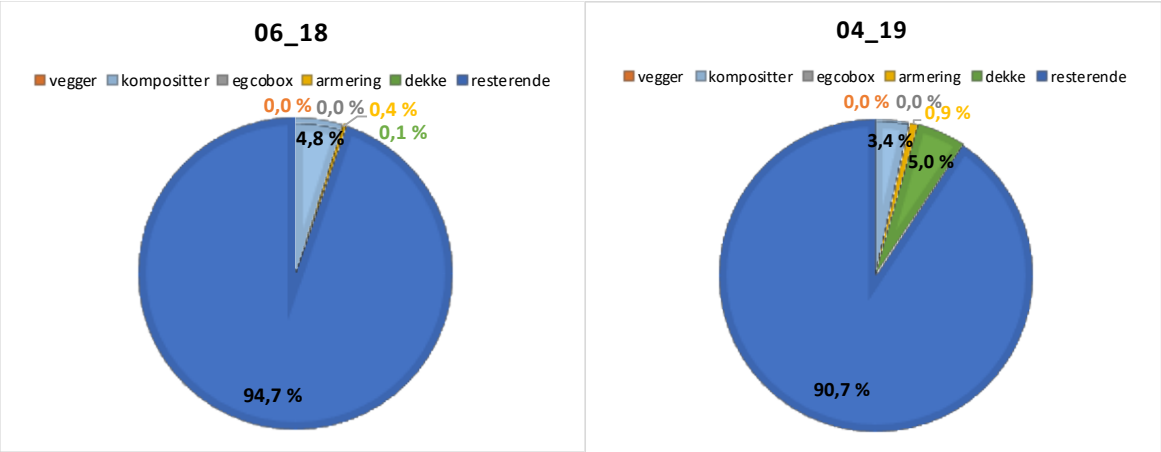
Figur 5.9 viser det totale klimagassutslippet for alle de fire RIB-modellene. Beregninger er gitt i Vedlegg I1-I4. Det er ikke like tydelig mellom alle modellene, men en kan se at utslippene øker. Dette samsvarer med resultatene fra den teoretiske tilnærmingen, at utslippene øker etter hvert som modellene utvikler seg. Den største forskjellen er mellom modellen fra juni og oktober 2018, hvor det er en økning på nesten 9 %. En grunn til denne forskjellen i utslipp er antatt å skyldes at den første RIB-modellen har totalt færre objekter enn de andre, som vist i Figur 5.4. Totalt er økningen i utslipp fra den første til den siste modellen på 10,9 %.



Figur 5.9 Totalt klimagassutslipp for de fire RIB-modellene

Figur 5.10 viser hvor mye av utslippene som automatisk ble lagt inn i One Click LCA og hva som måtte legges inn manuelt for modellen fra juni 2018 og april 2019. Diagrammer for de resterende modellene er ikke tatt med i teksten fordi modellen fra oktober 2018 er ganske lik den fra juni, og modellen fra februar 2019 ligner den fra april. Alle diagrammene kan ses i Vedlegg I5.

Det mørkeblå stykket er det som ble lagt inn automatisk, og som figuren viser utgjør dette over 90 % av utslippet for begge modellene. Utslippet fra materialer som måtte legges inn i etterkant er delt opp i ulike bygningskomponenter. Her vises blant annet utfordringene One Click LCA har med å lese informasjon om kompositter. For modellen fra juni 2018 er det utslipp fra kompositter som står for størstedelen av utslippet som måtte legges inn manuelt. Dette er dekkekonstruksjoner med materiale definert som betong og isolasjon. For modellen fra april 2019 er i tillegg 5% av utslippet fra dekkekonstruksjoner med udefinert materiale. I motsetning til ARK-modellen, har de udefinerte materialene i RIB-modellen oppgitt materiale i andre faner i Solibri, for eksempel gitt i fanene for «navn» eller «type». Dermed kunne disse bli lagt inn manuelt med riktig materiale, selv om One Click LCA ikke kunne lese informasjonen. Dette viser at små feil som bare det å ikke definere materiale i riktig fane, kan gi utslag på beregningene ved BIM-basert LCA.



Figur 5.10 Klimagassutslipp fra RIB-modellene 06_18 og 04_19. Diagrammet viser hva som ble lagt inn automatisk og hva som måtte legges inn manuelt

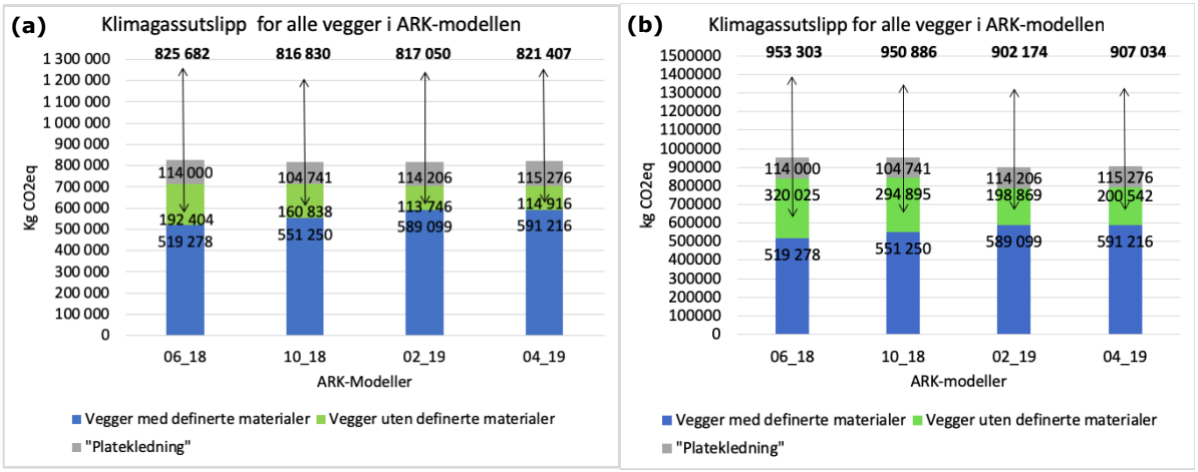
ARK-modell

LCA-resultatene for ARK-modellene er først presentert bare for veggene og deretter for hele modellen. Figur 5.11 viser det totale klimagassutslippet for alle veggene i de fire ARK-modellene. For hver modell er utslippet delt i tre, og den blå delen er utslippene fra vegger med definerte materialer i modellene. Videre er den grønne delen alle vegger med LOD100, den grå er utslipp fra platekledning, og det er disse utslippene som ble beregnet ved hjelp av generiske utslippsverdier. De grønne og blå utslippene er altså fra materialer som ikke ville blitt med dersom LCAen kun inkluderte de elementene med definerte materialer i BIMene. Det øverste tallet over hver søyle er summen av de blå, grønne og grå utslippene. De grønne utslippene har vist seg å i stor grad bli påvirket av hva slags enhet mengdene fra modellen hentes ut i. For å illustrere forskjellene er derfor to grafer oppgitt både for veggene og hele ARK-modellen, gitt som (a) og (b). Figur 5.11(a) viser utslipp for de udefinerte veggene trukket ut i m^3 og videre regnet om til m^2, som tidligere forklart i metode for mengdeuttak og Vedlegg G. Figur 5.11(b) viser utslipp for mengdene trukket ut i m^2.

Resultatene i Figur 5.11 illustrerer hvordan bruk av generiske verdier kan fylle informasjonsgapet mellom de lave og høye LODene, slik at mer av bygningens utslipp kan inkluderes tidlig. Figur 5.11(a) viser at modellen fra juni 2018 har utslipp fra de *definerte* materialene (blå søyle) som er nesten 71 000 kg CO_2eq mindre enn modellen fra april 2019. Ved å bruke generiske verdier for de elementene med *udefinerte* materialer, er de totale utslippene nokså like for alle modellene. Ved å inkludere de generiske utslippene blir riktignok de totale utslippene for juni 2018 høyere enn de for april 2019, men dersom man kun betrakter forholdet mellom dem er forskjellen nå redusert til å være litt over 4000 kg CO_2eq. Altså er forskjellen redusert med 94 %. For Figur 5.11(b) er utviklingen noe annerledes, ettersom utslippene fra de udefinerte veggene er noe høyere (grønn søyle). Denne fremgangsmåten for mengdeuttak gir en estimert miljøpåvirkning som er høyere fra start, også med større usikkerhet.

Pilene på hver stolpe viser spennet for utslippet fra de udefinerte materialene, altså hvor høyt, eller lavt, det grønne og grå utslippet hadde vært dersom minimums- eller maksimumsverdien for utslippsfaktorene fra Solem (2017) hadde blitt brukt for de udefinerte materialene. For Figur 5.11(a) går usikkerhetsspennet ned fra juni til oktober 2018, videre stiger den litt for både februar og april 2019, men de overstiger ikke usikkerhetsspennet for den første modellen. En tydeligere utvikling av usikkerhetsspennet

med øvre og nedre verdier er oppgitt i Vedlegg K. Usikkerhetsspennet i Figur 5.11(b) viser en utvikling som kan anses å være den mest gunstige, da pilene for oktober 2018 og februar 2019 begge er innenfor spennet fra grafen før seg. Usikkerheten reduseres altså for hvert av disse stegene. For den siste modellen går den likevel litt opp igjen. Ved å se nøyere på verdiene brukt i beregningene viser det seg at antall m^2 vegger med LOD100 øker litt for modellen fra april 2019. Med dette vises en svakhet i metoden for definering av LOD-utviklingen, da kvantifiseringen av antall vegger (stk) ikke plukket opp denne lille økningen. Noe som kan forklare økning i elementer med lavere LOD, på tross av at modellen utvikler seg mot et nivå med høyere LOD, er at designprosessen er en iterativ prosess. Dermed kan nye objekter med lavere LOD legges til, selv om modellen er nokså utviklet.

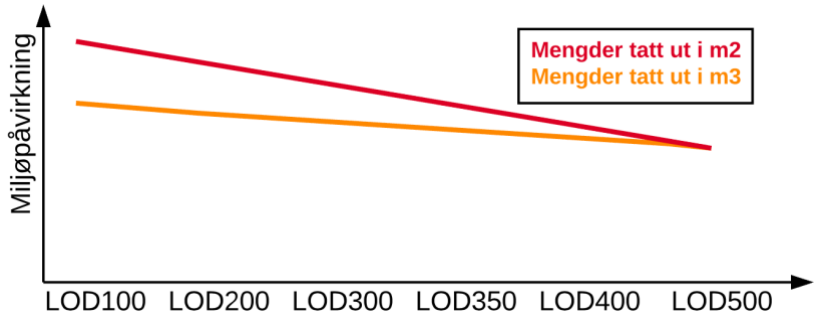


Figur 5.11 Totale klimagassutslipp for alle vegger i ARK-modellene. (a) for m3, (b) for m2

For modellen fra juni 2018 i Figur 5.11(b) er utslippet for de udefinerte materialene 66 % høyere ved at veggene ble tatt ut i m^2, sammenlignet med utslippene gitt i Figur 5.11(a). Konseptuelt kan de ulike utviklingene i Figur 5.11(a) og (b) fremstilles som i Figur 5.12. Observasjonene fra figurene over er generalisert for å gjelde utviklingen av miljøpåvirkning for et element fra det er definert som LOD100, til det er «As built» ved 500. Begge grafene beveger seg mot den samme verdien for LOD500. Dette er fordi det ved LOD500 ikke skal være noen ubestemte materialer i BIMen og dermed skal alle utslipp kunne beregnes nøyaktig. Ved å bruke veggmengden trukket ut i m^3, ser det ut til at utslippene kan virke lavere i starten. Som nevnt i metode ble det definert noen standardtykkelser for de ulike veggene for å enkelt gjøre om m^3 til m^2. Med denne fremgangsmåten fås hele mengden av veggen med og hvis det var kjent at de aktuelle veggene bare bestod av ett lag, så gir denne metoden riktig mengde. Ettersom oppbygningen på de ulike veggene ikke er kjent og det mest sannsynlig vil være flere lag av materialer, er ikke denne forenklingen helt korrekt.

Den andre fremgangsmåten som kun betraktet kvadratmeter av veggene, anses heller ikke som korrekt, ettersom den ignorerer veggenes tykkelse. Basert på sammenligningen i Figur 5.11, ser det likevel ut til at den sistnevnte fremgangsmåten gir et større incitament for å redusere utslippene, ettersom den gir høyere utslipp ved de laveste LODene. Det vurderes også at overestimering av utslippene i tidligfase er bedre enn å underestimere dem. Dette kan begrunnes med at et element med høyt utslipp vil bli prioritert. Selv om det er overestimert vil dette da kunne bli oppdaget og uansett vil fokuset være på å ta de beste materialvalgene. Dersom et element underestimeres, og i den store sammenhengen har et nokså lavt utslipp, vil det bli nedprioritert. Dersom denne underestimeringen

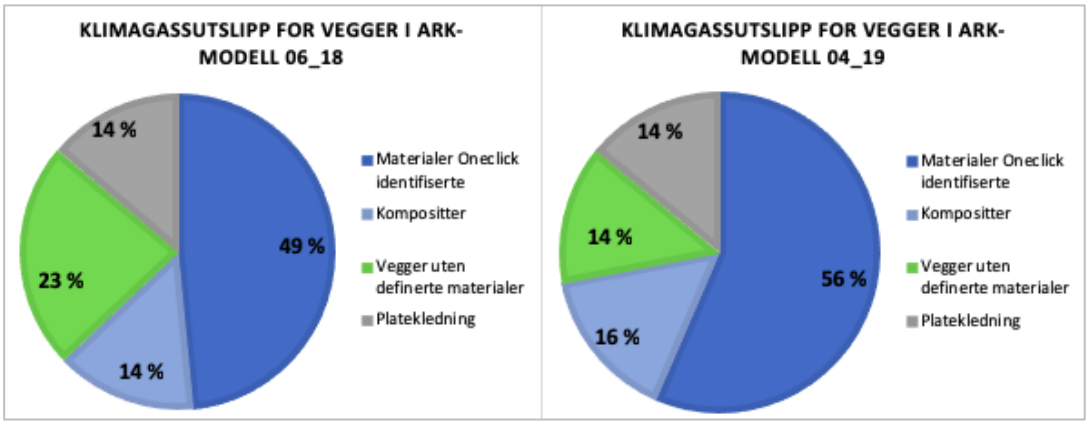
oppdages for sent ut i designprosessen, kan endringer bli for kostbare og miljøhensyn må vike for kostnader.



Figur 5.12 Konseptuell fremvisning av påvirkningen mengde-enhet har på utslipp

Figur 5.13 og Figur 5.14 viser hvor mye av utslippene fra veggene i modellene fra juni 2018 og april 2019 som ville kommet med dersom LCAen kun var basert på den direkte importen fra BIMene til One Click LCA. Fordelingen for de resterende modellene er vist i Vedlegg L. Figur 5.13 viser fordelingen når de udefinerte veggene er tatt ut i m^3, mens Figur 5.14 viser for veggene tatt ut i m^2. Diagrammene i begge figurene viser at for modellen fra juni 2018, er det mindre enn halvparten av utslippet fra veggene som ville kommet med dersom LCAen kun gjøres med «ett klikk». Det at andelen av utslippet fra udefinerte materialer i modellen fra april 2019 er mindre enn det fra juni 2018, forklares av at andelen vegger med LOD100 er mindre i april 2019.

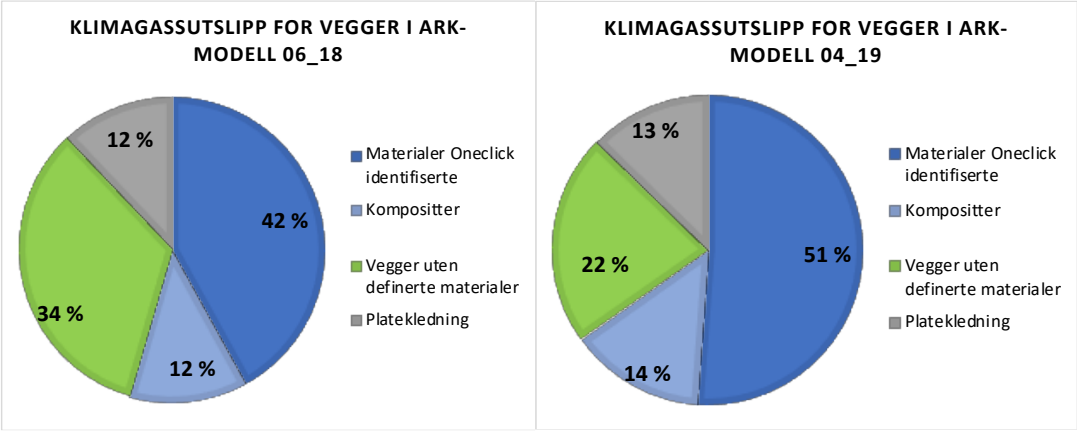
Det kan her trekkes paralleller til grensekriterier for LCA, fordi det er en sammenheng mellom grensene for inkludert data og resultatenes kvalitet. Eksempelvis for verdiene i Figur 5.13, er 49 og 14 % av utslippene for veggene i modellen fra juni 2018 fra data ansett å ha høyere kvalitet (LOD300 og LOD200), fordi materialer er definert og har en viss sikkerhet. Videre er 23 og 14 % av utslippet fra data med lavere kvalitet (LOD100). Uten bruk av generiske verdier kunne denne LCAen blitt ansett å ha resultater basert på grensekriterier som ekskluderer 37 % av utslippene (grønn og grå), men resultatene for de gjenværende 63 % har en viss kvalitet og sikkerhet. Ved å inkludere de generiske verdiene, økes andelen av utslippet som inkluderes, men kvaliteten reduseres. Derfor er det nødvendig å vise variasjonen innenfor disse utslippene med pilene på Figur 5.11.



Figur 5.13 Utslipp fordelt på om materialene kunne legges inn direkte i One Click LCA eller ikke for udefinerte vegger i m3

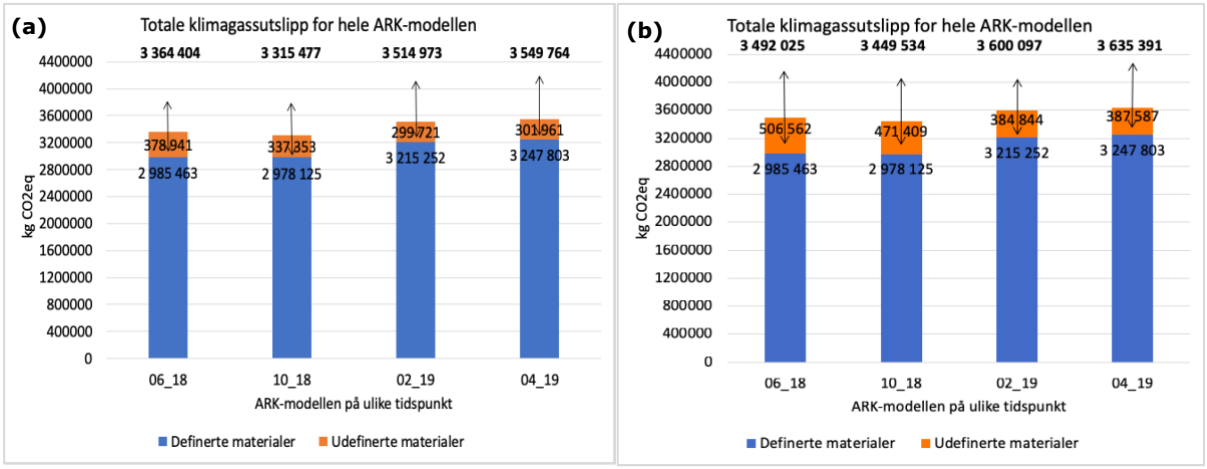
Som diagrammene i Figur 5.14 viser, vil det med de udefinerte veggene trukket ut i m^2 være enda mindre av utslippene som kommer med automatisk. Dette viser hvordan enkle

forutsetninger i metoden og definering av mengdeuttak kan ha betydelig påvirkning på LCA-resultatenes fremstilling. På denne måten kan utslipp kamufleres ved at man trekker ut materialmengder i forskjellige enheter. Dette er noe som bør unngås, da tolkningen av resultatene kan gi feil beslutningsgrunnlag.



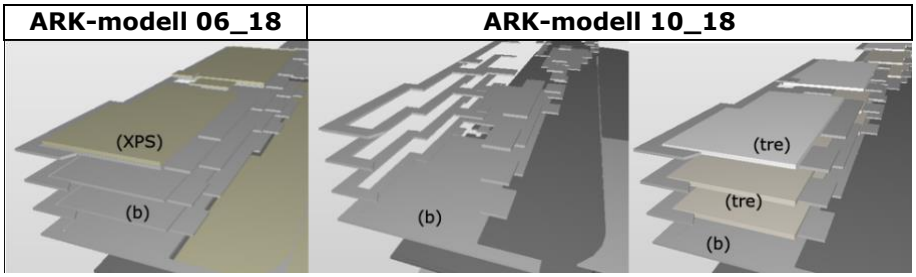
Figur 5.14 Utslipp fordelt på om materialene kunne legges inn direkte i One Click LCA eller ikke for udefinerte vegger i m2

Figur 5.15(a) og (b) viser de totale klimagassutslippene for de fire ARK-modellene, der utslippet fra de udefinerte veggene er basert på mengder tatt ut i henholdsvis m^3 og m^2. Beregninger er vist for alle modellene i Vedlegg J1-J5. Utslippet er delt inn i det som kommer fra elementer med definerte materialer og utslippet fra elementer med udefinerte materialer. Hvor mye hver av de udefinerte materialene utgjør er vist i beregninger i Vedlegg J5. Totalt for de fire modellene utgjør de udefinerte materialene henholdsvis 11 %, 10 %, 8 % og 9 % av utslippene for Figur 5.15(a). Usikkerhetsspennet reduseres fra juni til oktober 2018, men for de to siste modellene øker det litt på samme måte som for veggene. For Figur 5.15(b) utgjør de udefinerte utslippene henholdsvis 15 %, 14 %, 11 % og 11 %. Usikkerhetsspennet har en gunstig utvikling fra juni 2018 til februar 2019, men for den siste modellen øker det litt igjen og grunnen antas å være den samme som forklart for veggene tidligere. Ulikhetene i utviklingen for veggenes utslipp basert på ulike måter å forenkle mengdeuttaket er ikke like tydelig i utslippene for hele modellen. Selv om de oransje utslippene er høyere for Figur 5.15(b), viser utviklingen stort sett det samme for begge, med unntak av utviklingen for usikkerhetsspennet som er noe mer gunstig i Figur 5.15(b).



Figur 5.15 Totale klimagassutslipp for de fire ARK-modellene. (a) er for m3, (b) er for m2

Som ved de andre resultatene for LCA var det forventet at utslippet fra juni 2018 ville være det laveste for de *definerte* materialene (blå søyle). Dette er ikke tilfelle her, hvor utslippene fra juni er høyere enn de for oktober 2018. Et eksempel som forklarer noe av forskjellene i utslipp fra juni til oktober er at etasjeskillere og tak i modellen fra juni er definert som betong og XPS, mens i de neste modellene er de byttet ut med etasjeskillere og tak av tre. Dette er forsøkt illustrert i Figur 5.16, hvor bildene viser at betong (b) og XPS erstattes av bjelkelag og kompakt tak i tre.



Figur 5.16 Forbedring av materialer fra 06_18 til 10_18

Taket vist her er det samme som er trukket frem som forskjeller i LOD-utvikling i Figur 5.8. Selv om modellen fra oktober 2018 tar med mer av bygget og da forventes å ha høyere utslipp, er ikke dette tilfelle fordi betong og XPS blir byttet ut med tre, som har et lavere klimagassutslipp. Dette er et eksempel på hvordan forbedring av designet kan gi utslag på miljøpåvirkningene, og med utgangspunkt i tallene oppgitt i Tabell 5.1, er det snakk om en betydelig forskjell i utslipp på litt over 126 000 kg CO_2eq. Beregningene er basert på betong med styrke B30 og utslippsfaktorer som gitt i metode.

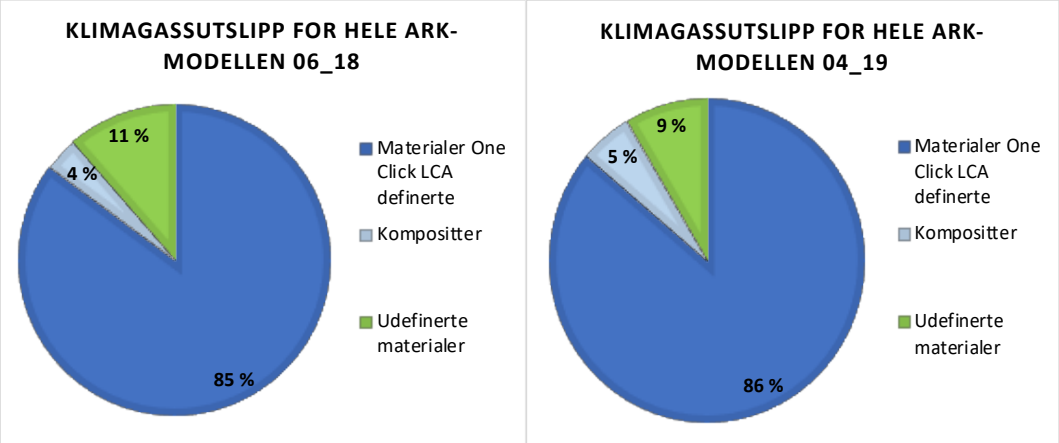
Tabell 5.1 Forbedring av materialer fra 06_18 til 10_18

ARK-Modell 06_18	ARK-Modell 10_18
Etasjeskillere og tak i betong og XPS	Betong + STI Bjelkelag og kompakt tak (kompositter)
Utslipp taket som betong og XPS: 85 303,74 kgCO_2eq	Utslipp kompakt tak: 6 864,96 kgCO_2eq
Utslipp etasjeskillere som betong: 101 586,76 kgCO_2eq	Utslipp bjelkelag: 53 747,48 kgCO_2eq

Figur 5.17 viser hvor mye som kommer med i den direkte importen fra One Click LCA for hele ARK-modellen fra juni 2018 og april 2019. Utslippene er basert på de udefinerte veggene tatt ut i m^3. Det er omtrent 85 % av utslippet som kommer med i den direkte importen til One Click LCA for alle fire modellene. Alle diagrammene kan ses i Vedlegg L, og de er nokså like de som er vist i Figur 5.17. Utslippene basert på udefinerte vegger tatt ut i m^2 er også gitt i Vedlegg L. Det grønne utslippet utgjør her en litt større andel, men ettersom forskjellen ikke er så stor, vises diagrammene kun i Vedlegg. De fire prosentene som er vist å komme fra kompositter i modellen fra juni 2018 i Figur 5.17, er de samme vegg-komposittene som i Figur 5.13. For modellen fra april 2019, og de to andre som er vist i Vedlegg L, inkluderer kompositten også dekke-kompositten vist i Figur 5.16.

De udefinerte materialene er vegger og dekker med LOD100, i tillegg til platekledning og gulvbelegg. For alle ARK-modellene vist i Figur 5.17 ville omtrent 15 % av utslippene ikke kommet med i beregningene dersom LCAen kun hadde blitt gjort ved den automatiske importen. For de udefinerte veggene basert på mengdeuttak i m^2, er det 16-18 % av utslippene som ikke ville kommet med. Dette er bedre sammenlignet med utslippene for

veggene i ARK-modellene alene, men disse prosentandelene anses likevel som nokså høye sammenlignet med at LCA-standardene setter ganske strenge krav til grensekriterier generelt.



Figur 5.17 Utslipp fordelt på om materialene kunne legges inn direkte i One Click LCA eller ikke

Sammenligning av RIB og ARK

Resultatene for RIB-modellene viser en total økning i utslipp på 10,9 % fra juni 2018 til april 2019. ARK-modellene har en total økning på henholdsvis 5,5% eller 4,1%, basert på om de udefinerte veggene er tatt ut i m^3 eller m^2. Som vist med resultatene for LOD-utviklingen er hovedgrunnen til økningen i utslipp, at mer og mer av bygget tas med for hver modell. Ettersom RIB-modellene har en total økning i antall objekter på nesten 68 % fra juni 2018 til april 2019, var det forventet at forskjellen i klimagassutslipp fra juni til oktober muligens skulle være mer enn 10,9 %. Grunnen til at den ikke er større kan være at modellen har en høyere andel av objekter med LOD100, som da kan være forenklede materialvalg og tykkelser som har gitt et høyere utslipp, slik som var tilfellet ved ARK-modellen som vist i Figur 5.16. Dette er likevel usikkert siden objektene i RIB-modellen ikke har en like direkte sammenheng mellom detaljnivå for materialer og de ulike LODene, slik som ARK-modellene.

Ved å sammenligne diagrammene i Figur 5.10 og Figur 5.17, kan det tolkes at RIB-modellen er best egnet til BIM-basert LCA i tidligfase. Dette fordi resultatene for alle RIB-modellene inkluderer over 90 % av utslippene ved den automatiske importen, mens ARK-modellene inkluderer omtrent 85%. Det er ikke snakk om betydelige forskjeller totalt sett, men om man ser på enkeltelementer, for eksempel veggene i Figur 5.13, kan dette utgjøre store forskjeller på elementnivå. Denne sammenligningen kan dermed se ut til å støtte antagelsene Cavalliere et al. (2019) gjorde, med at bæresystemet når høyere LOD først, og dermed kan vurderes å være mer egnet for BIM-basert LCA tidligere.

Måten BIM og LCA er kombinert for disse modellene kan sammenlignes med det første integrasjonsnivået beskrevet av Soust-Verdaguer et al. (2017) og den første tilnærmingen fra Antón og Dìaz (2014). Altså brukes BIM som et verktøy for å kvantifisere materialmengder. En svakhet ved å bruke denne tilnærmingen på et prosjekt under utvikling, er at den som utfører LCAen vil kunne bli nødt til å kontinuerlig oppdatere dataene, ettersom det gjøres endringer i BIMen når designet utvikles. Resultatene fra LOD-utviklingen og LCAene i den praktiske tilnærmingen har vist at data og klimagassutslipp endret seg i perioden på bare 10 mnd. Dersom modellene brukt i disse beregningene hadde

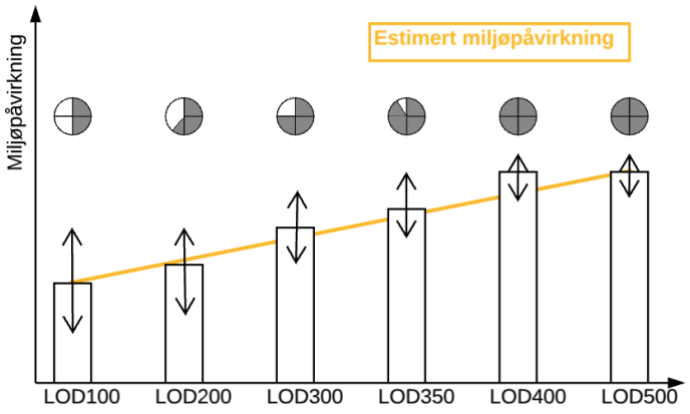
representert prosjektets fulle tidslinje, antas det at endringene ville hatt større betydning. Det kan også anses som en svakhet at kun én effektkategori er beregnet og sammenlignet. Med støtte fra litteraturen og tolkninger gjort i den teoretiske tilnærmingen, om at BIM og LCA bør inkluderes i tidligfase og kunne gjøres av ikke-LCA-eksperter, anses det likevel at én indikator er tilstrekkelig.

En måte å forbedre resultatene, ved å eventuelt forenkle iterasjonsmetodikken og i et reelt prosjekt unngå kontinuerlig endring av data, er å øke integrasjonsgraden. Soust-Verdaguer et al. (2017) beskriver de to neste integrasjonsnivåene som det å inkludere miljøegenskaper i selve BIM-verktøyet, og videre utvikle prosesser for å kombinere ulike data og verktøy med høyere interoperabilitet. I teorien gjør den økte integrasjonsgraden at designere kan ta hensyn til objekter og materialers miljøegenskaper tidligere, og miljøvurderingen inkluderes som en naturlig del av beslutningsprosessen i designfasen Antón og Dìaz (2014). Resultatene fra de teoretiske og praktiske tilnærmingene i denne oppgaven besvarer ikke hvordan dette burde gjøres, men viser behovet for økt integrasjon og diskusjonen kan oppsummeres i noen forbedringspunkter og muligheter.

5.3 Oppsummering av diskusjon fra teoretisk og praktisk tilnærming

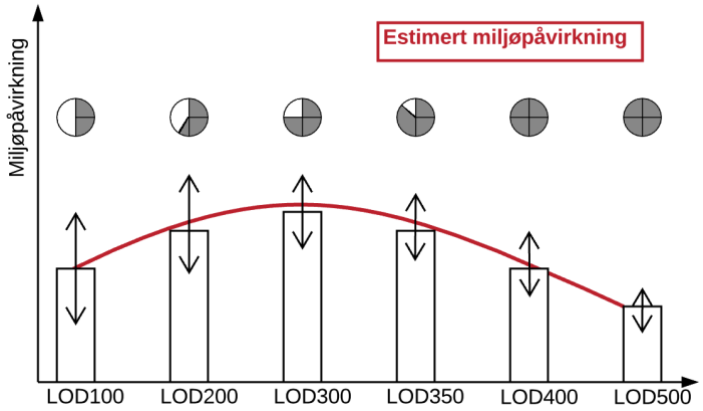
Figur 5.18 til Figur 5.20 viser konseptuelle fremstillinger av utviklingen for miljøpåvirkningene en bygning kan ha, basert på litteraturen, den teoretiske og den praktiske tilnærmingen. Resultatene i både de teoretiske og praktiske undersøkelsene viser at miljøpåvirkningene har en tendens til å øke med økende LOD. Dette støtter litteraturen og denne uønskede utviklingen er illustrert med den gule grafen i Figur 5.18.

Sirklene over hver LOD i figuren skal gi et inntrykk av omtrentlig hvor mye av de totale utslippene som tas med ved hvert utviklingsnivå. Sirklene er kun symboler på utviklingen, og ikke faktiske beregnede verdier. De er basert på antagelser og tolkning av litteraturen, i tillegg til resultatene fra LOD-utviklingen i den praktiske tilnærmingen. Når flere elementer i et bygg tas med ved økende LOD, blir sirklene mer farget. Som vist på Figur 5.18 antas det at hele bygget, og dermed også dets totale miljøpåvirkning, er tatt med ved LOD400 og 500. Miljøpåvirkningene er like for de to øverste LODene, fordi det antas at relativt få designendringer blir gjort mellom disse nivåene. Når mer av sirkelen farges og flere elementer har høyere LOD, reduseres usikkerheten knyttet til designvalgene. Pilene på hver av søylene skal illustrere usikkerheten til den estimerte miljøpåvirkningen og som vist, antas det at denne reduseres med økende LOD.



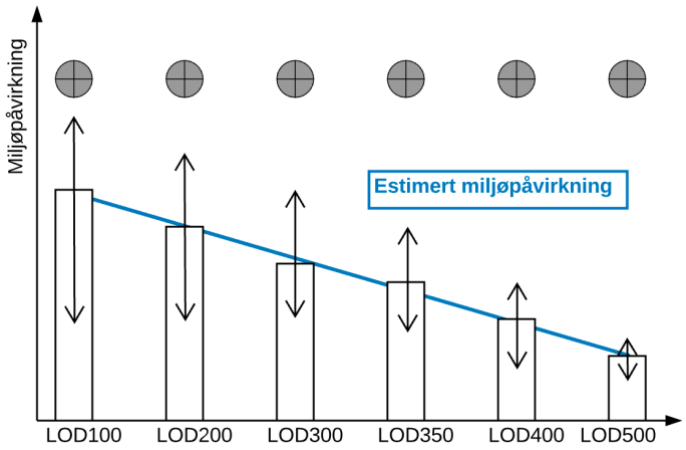
Figur 5.18 Uønsket utvikling for miljøpåvirkningen

Integrasjonen av BIM og LCA skal kunne brukes til å redusere en bygnings utslipp, ikke bare kvantifisere dem. For å gjøre dette er optimalisering av materialvalg på bakgrunn av miljøpåvirkninger et aspekt som bør utnyttes. Basert på den teoretiske tilnærmingen antas det at denne optimaliseringen kan gjøres så snart de ulike materialsjiktene er bestemt, altså ved LOD300 eller senest ved LOD350, når produsenter velges. Dermed vil ikke utslippene fortsette å øke med økende LOD, slik de gjør i Figur 5.18. Ved å følge antagelsene basert på den teoretiske tilnærmingen kan utviklingen av miljøpåvirkningene vises som den røde kurven i Figur 5.19. Svakheten med denne utviklingen, er at estimert miljøpåvirkning fortsatt vil være for lav for de første LODene og som sirklene illustrerer, inkluderes ikke hele bygget fra start.



Figur 5.19 Optimalisering av materialvalg basert på teoretiske tilnærming

I en ideell situasjon er det ønskelig å kunne identifisere alle byggets utslipp med en gang og kun arbeide med å redusere utslippene i de videre fasene, slik som den blå grafen i Figur 5.20 viser. Dette er som nevnt vanskelig, da det ved de lave utviklingsnivåene vil være høy usikkerhet knyttet til designvalg. Det ønskelige er å gå fra at dagens utvikling for miljøpåvirkninger skal være representert av den gule eller røde grafen, til at den kan representeres av den blå grafen. For å kunne øke de estimerte miljøpåvirkningene for de lave LODene, kan Screening LCA benyttes for å identifisere de store bidragsyterne, ifølge den teoretiske tilnærmingen. Grunnet usikkerhetene i designet ved de første LODene, vil ikke dette kunne gjøres nøyaktig, men det vil være mulig å benytte estimater og erfaringstall fra lignende bygninger og prosjekter. Slik grafene ser ut nå, vil da den ideelle situasjonen ha høyere estimert miljøpåvirkning, inkludere en større del av byggets utslipp, men også ha høyere usikkerhet ved de lave LODene. Som sammenligningen av utslippsutviklingen i Figur 5.11(a) og (b) viser, kan ulike fremgangsmåter for mengdeberegninger påvirke denne utviklingen. Basert på den konseptuelle fremstillingen i Figur 5.12, kan det tenkes at ulike varianter kan gi varierende grad av incitament for å redusere miljøpåvirkningene.



Figur 5.20 Ideell utvikling for miljøpåvirkningen

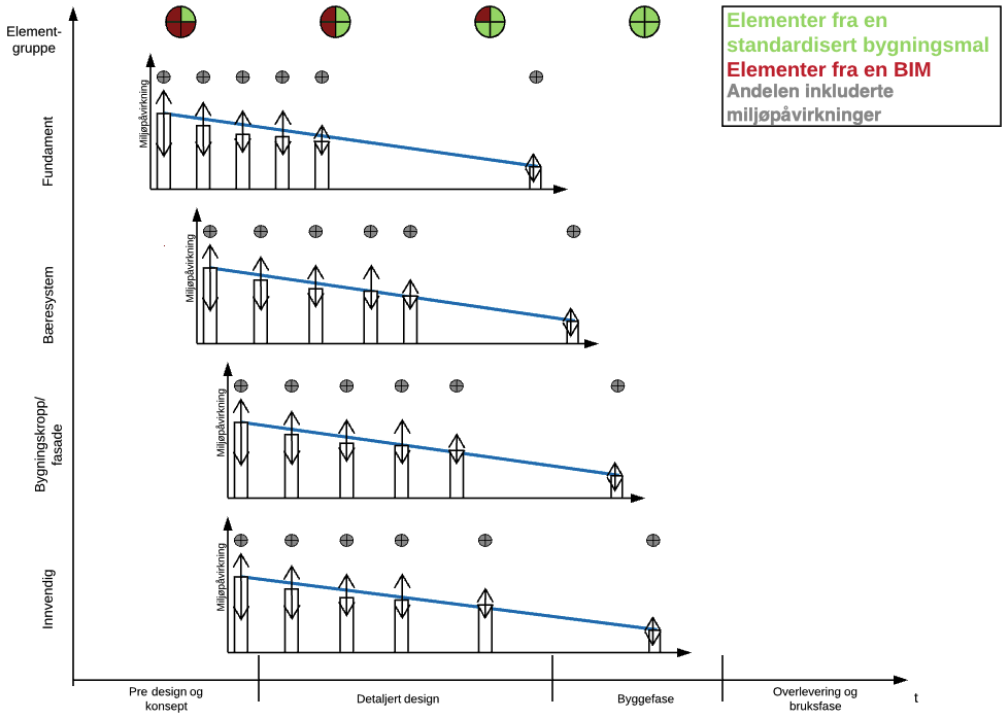
I den praktiske tilnærmingen ble det gjort forsøk på å fylle informasjonsgapet ved de tidligere modellene, og måten dette ble gjort på har likhetstrekk med metoden til Dupuis et al. (2017) presentert i litteraturen. Informasjonsgapet fylles ved bruk av generiske verdier, basert på oppbygninger fra lignende bygninger og erfaringstall. Noe som ikke ble gjort i den praktiske tilnærmingen, men som Dupuis et al. (2017) anbefaler er å oppgi en oversikt over sannsynligheten for at de ulike oppbygningene og designvalgene blir valgt for det aktuelle prosjektet. Usikkerheten vil da kunne reflekteres i beregningene og resultatene kan estimeres med et visst presisjonsnivå.

Det som ble brukt for å vise usikkerhet i beregningene i den praktiske tilnærmingen er mer i likhet med metoden fra Cavalliere et al. (2019), som går ut på å oppgi minimum og maksimumsverdi for utslipp fra et utvalg generiske bygningselementer eller materialer. Dette gir en viss form for usikkerhetsevaluering, der elementenes og materialenes relevans for prosjektet ikke er basert på tallvurderinger, men heller på skjønn og erfaring. Akkurat hvor nøyaktig usikkerheten er vurdert i denne oppgaven er begrenset grunnet manglende erfaring, men dette er noe som aktører i byggebransjen antas å ha bedre grunnlag for å gjøre.

Et liknende forslag for å fylle informasjonsgapet, inspirert av fremgangsmåter brukt i beregning av LCC, er utnyttelse av bygningsmaler i kombinasjon med BIM. En BIM må ikke brukes ukritisk, ettersom det kan være mange bygningsdeler som ikke er tegnet inn i en modell i tidligfase. Eksisterende maler av generiske bygninger som brukes i kostnadsberegninger og LCC-verktøy, kan i tidligfase supplere en BIM som er noe ufullstendig eller består av elementer med høy usikkerhet. Dette er fremgangsmåter som allerede er kjent i bransjen gjennom kostnadsberegninger, og kjennskap til metodikken kan gjøre det lettere å implementere dette i et prosjekt.

Noe fremstillingene i de tre øvrige figurene ikke viser, er det faktum at en BIM gjerne består av flere bygningselementer med ulike LODer (Cavalliere et al. 2019). Det er derfor ikke hensiktsmessig å omtale en hel BIM med ett LOD-nivå, som det også ble diskutert angående den teoretiske oppsummeringen i Figur 5.3. Noe som kan hjelpe med å håndtere de ulike nivåene på elementene i en BIM, er å følge utviklingen for de ulike elementene hver for seg. Svalestuen et al. (2018) sin LOD-beslutningsplan gitt i Figur 2.5 illustrerer en mulig inndeling, ved at LOD-utviklingen er planlagt forskjellig innenfor fire bestemte elementgrupper. Basert på dette, kan den konseptuelle og ønskelige utviklingen for miljøpåvirkninger beskrevet i Figur 5.20 tenkes å gjelde innenfor hvert element eller de

ulike fagene. Sirklene over hver søyle vil da kunne gjelde for alle elementer innenfor den gitte inndelingen. Eksempelvis om bæresystemet utgjør en av elementgruppene, kan generiske verdier og erfaringstall for et standard bæresystem brukes for å fylle informasjonsgapet ved de lave LODene, slik at sirklene for denne elementgruppen er fylt fra start. Videre kan utviklingen for elementgruppene fylles inn i en overordnet oversikt som viser alle byggets inkluderte elementer i forhold til prosjektfasene. Dette er forsøkt illustrert i Figur 5.21.



Figur 5.21 Konseptuell fremstilling av diskusjon

Hver av de fire grafene for miljøpåvirkning er basert på den ønskelige utviklingen gitt i Figur 5.20. Plasseringen av de ulike LODene innenfor hver elementgruppe, er basert på utviklingen i LOD-beslutningsplanen gitt i Figur 2.5 i det teoretiske rammeverket. Nøyaktig hvordan de ulike elementgruppene utvikler seg i forhold til hverandre er nok ikke helt representativ for virkelige forhold. Utviklingen vil variere fra prosjekt til prosjekt, men Figur 5.21 er ment å gi et bilde av hvordan prosessen kan struktureres. De grå sirklene representerer hvor mye av *miljøpåvirkningene* som er med ved hver LOD. Ved bruk av generiske utslippsverdier er disse fylt fra start, og innenfor hver elementgruppe kan det arbeides med å redusere miljøpåvirkningene for de videre LODene. De store sirklene øverst viser hvor mye av byggets *masse*, altså elementer og bygningsdeler, som er med. Fargene i disse sirklene viser hvordan informasjon fra bygningsmaler kan supplere en ufullstendig BIM i starten, og etter hvert kan BIMen stå for mer og mer av informasjonsgrunnlaget ved beregning av miljøpåvirkningene.

6 Konklusjon

Byggesektoren er en bransje med store miljøbelastninger og dermed er det et stort potensial for reduksjon. Hensikten med denne oppgaven har vært å utforske hvordan integrasjon av BIM og LCA kan redusere byggebransjens miljøpåvirkninger.

6.1 Hva slags LCA som kan utføres på de ulike utviklingsnivåene

Med utgangspunkt i den teoretiske tilnærmingen kan Screening LCA brukes ved de laveste LODene for å identifisere de objektene med størst innvirkning, og dermed hva som bør være fokusområder når modellen utvikler seg. Det å bruke en enkel fremgangsmåte tidlig støttes av Bueno & Fabricio (2018) som antyder at miljøpåvirkninger i tidligfase kan brukes som en pekepinn for mer miljøvennlige materialvalg. LOD300 er utviklingsnivået hvor det i størst grad er vurdert at begge LCAene kan brukes. Ved de videre iterasjonene kan den Forenklede LCAen brukes, når dataene er mer fastsatt. Det er også illustrert en liten overlapp ved overgangen fra LOD350 til 400. Med dette menes det at Forenklet LCA kan benyttes ved LOD400, dersom det eksempelvis er kjent at det vil bli gjort endringer fra LOD400 til 500 eller hvis den som utfører LCAen ikke er erfaren nok til å utføre en Komplett LCA.

Den praktiske tilnærmingen bekrefter det Cavalliere et al. (2019) påpeker om hvordan en BIM kan bestå av elementer med ulike LODer. Det blir derfor vanskelig å følge anbefalingene fra den teoretiske tilnærmingen i praksis, og det kan konkluderes med at det ikke er et klart skille i tid på når Screening og Forenklet LCA kan brukes for hele modellen i forhold til fasene i et prosjekt. Det er mer hva slags LOD de ulike elementene har som sier hvilken metode som kan brukes på dem. Metodene kan brukes i kombinasjon og tilpasses elementenes utvikling, på samme måte som Cavalliere et al. (2019) kombinerer ulike databaser etter hva som er tilgjengelig av informasjon.

6.2 LOD-utvikling og dens påvirkning på LCA

Resultatene for LOD-utviklingen viste den åpenbare utviklingen hvor mer og mer av bygget ble tatt med etter hvert. Samtidig viste utviklingen tendenser til at antall objekter med LOD100 ble redusert, mens objekter med LOD500 og LOD300 økte for henholdsvis RIB- og ARK-modellen. Usikkerheten knyttet til design- og materialvalgene ble dermed redusert. Sammenlignet med RIB-modellen er ikke forandringen i LOD-utviklingen for ARK-modellen like varierende, og ARK-modellen har nådd et mer stabilt nivå med flere objekter på et høyere LOD-nivå. Dette kan hevdes å motsi påstanden om at bæresystemet gjerne når høyere LOD først (Cavalliere et al. 2019), og det kan illustrere et poeng om at teoretiske antagelser ikke alltid stemmer i praksis.

Noe som ble tydelig i beregningen av utslippene i One Click LCA, var utfordringene med udefinerte materialer (LOD100) og kompositter (LOD300). Et eksempel er resultatene for veggene i ARK-modellen, hvor mindre enn halvparten av utslippet fra veggene kom med i One Click LCA ved bare «ett klikk». RIB-modellen fikk med en større andel av utslippene i den automatiske BIM-baserte LCAen. I motsetning til LOD-utviklingen, kan dette derfor støtte Cavalliere et al. (2019) sin påstand om at RIB-modellen er mest utviklet tidlig, og følgelig kan den tidligere være egnet for BIM-basert LCA.

Det kan konkluderes med at en BIMs LOD-utvikling har påvirkning på LCA-beregningene. Dette er basert på at utslippene fra de definerte materialene viste en utvikling som

stemmer med den teoretiske tilnærmingen, altså at de økte utover i designprosessen. Det å inkludere utslipp fra udefinerte materialer gjør at informasjonsgapet ved de lave LODene kan fylles, og utslippene, samt usikkerheten knyttet til de, kan reduseres med økende LOD.

6.3 Hvordan integrasjonen av BIM og LCA kan redusere byggebransjens miljøpåvirkning

Som vist både teoretisk og praktisk kan forenklede LCA-metodikker brukes underveis for å bevisstgjøre beslutningstakere med tanke på miljøpåvirkninger i tidligfase. For at kombinasjonen av BIM og LCA skal redusere bygningers miljøpåvirkning er bruk av generiske utslippsverdier for å fylle informasjonsgapet i tidligfase, i tillegg til optimalisering av materialer med tanke på miljøhensyn, sentrale elementer. Ved å bruke generiske miljødata for udefinerte materialer i en BIM, kan utviklingen for miljøpåvirkning gå fra å være økende, til å synke utover i designprosessen. En nødvendighet ved bruk av generiske utslippsverdier, er å inkludere usikkerhetsaspektet. Dette kan gjøres ved å for eksempel oppgi en oversikt over sannsynligheten for at de ulike oppbygningene blir valgt, basert på hvor vanlige løsningene eller materialene er. En annen måte å gjøre dette på, som ble brukt for å vise usikkerhet i beregningene i den praktiske tilnærmingen, går ut på å oppgi minimum og maksimumsverdi for utslippsverdier fra et utvalg generiske bygningselementer eller materialer. På denne måten kan integrasjonen av BIM og LCA brukes til å kvantifisere bygningers utslipp i tidligfasen, samt reflektere de respektive usikkerhetene ved ulike LODer og redusere bygningers miljøpåvirkning.

Resultater i den praktiske tilnærmingen viste hvordan ulike forenklinger for mengdeuttak kan påvirke de beregnede utslippene og gi varierende grad av incitament for å redusere miljøpåvirkningene. I denne oppgaven ga mengdeuttak av vegger i m^2 størst incitament for å redusere utslippene, ettersom dette ga høyere utslipp ved de tidlige modellene. På bakgrunn av dette er ulike enheter og forenklinger for mengdeuttak noe som burde tas i betraktning ved utførelse av en BIM-basert LCA, ettersom målet er å redusere utslippene så mye som mulig.

Uansett er det bekreftet at generiske utslippsverdier kan brukes til å definere utslipp for udefinerte materialer i en BIM. Videre kan det også brukes for deler av et bygg som enda ikke er inkludert i BIMen, men som er vanlige å ha med i et bygg. Ved beregning av kostnader og LCC er denne metoden allerede vanlig, og det finnes verktøy som bruker maler for standardbygninger for å beregne kostnader i tidligfase. Dersom det brukes samme metode for LCA, kan både LCC og LCA kombineres med BIM fra start. Ved å kombinere de to metodikkene når endringsmulighetene er større, kan kostnader og miljøhensyn, som i mange tilfeller kan anses å være konkurrerende faktorer i en beslutningsprosess, forenes. De kan brukes sammen for å utvikle design som er både miljøvennlige og økonomisk bærekraftige.

For å velge den best egnede fremgangsmåten for LCA gjennom hele designprosessen, kan designbeslutninger struktureres gjennom en LOD-beslutningsplan. På denne måten kan LOD-utviklingen utnyttes bedre enn hva undersøkelsene i denne oppgaven viste, ettersom det ble reist tvil om hvor godt LOD faktisk har blitt utnyttet i de undersøkte BIMene. Dersom utviklingen for ulike elementgrupper kartlegges hver for seg, kan objekter enklere sorteres etter LOD, og dette vil igjen kunne gi et bedre utgangspunkt for å forbedre miljøpåvirkningene fra start. Når designet er bestem og bygget er klart for bygging, kan en komplett LCA gjøres. Det er altså ikke hensikten å kutte ut den fullstendige LCAen, men heller benytte forenklede metoder i kombinasjon med mulighetene den teknologiske utviklingen gir, for å forbedre designet fra tidligfase og gjennom hele designsprosessen.

7 Videre arbeid

Et forslag til videre arbeid er å gjøre de samme undersøkelsene for LOD-utviklingen i den praktiske tilnærmingen, men utvide tidsperioden ved å bruke modeller som representerer et prosjekt fra start til slutt. På denne måten vil resultatene og måten utviklingen påvirker LCAen tydeligere kunne knyttes opp mot prosjektfasene, og det vil muligens være lettere å sammenligne resultatene med litteraturen, ettersom resultatene vil være mer fullstendige. I tillegg kunne det vært interessant å sammenligne klimagassutslipp med LOD-utvikling for et prosjekt som strukturerte beslutninger etter en LOD-beslutningsplan. Ved å gjøre dette kan kritiske beslutninger med tanke på miljøhensyn kartlegges tydeligere, som videre kan utnyttes i forsøk på å redusere utslippene.

Med tanke på hvordan utslippene for de udefinerte veggene i disse undersøkelsene varierte, basert på de ulike forenklingene for mengdeuttak fra BIMene, hadde dette vært interessant å undersøke videre. Ved å gjøre beregninger med flere ulike forenklinger og fremgangsmåter for valg av uttaksenheter og mengder, kan det utvikles en «best practice». Dette kan gjøres for å finne den fremgangsmåten som gir størst mulig incitament for å redusere miljøpåvirkningene gjennom designprosessen.

For å gjøre undersøkelsene enda mer fullstendige kan også systemgrensene for LCAen utvides, både med tanke på inkludering av flere elementer i BIMene, men også ved å se på flere effektkategorier og flere faser av en bygnings livsløp. Ved å utvide grensene til å inkludere flere faser av en bygnings livsløp, kan en sammenligning av utslipp fra materialer og energibruk i bruksfasen undersøkes i forbindelse med BIM-basert LCA.

Et annet forslag til videre arbeid er å øke integrasjonsgraden mellom BIM og LCA, ved for eksempel å bruke en Revit Plug-in fra One Click LCA eller Tally. Et annet program som kunne vært interessant å bruke er ISY Calcus, som holder på å oppdatere verdier for klimagassutslipp for materialene og løsningene i sin database. Videre undersøkelser om det finnes flere koblinger mellom LCC og LCA som kunne vært aktuelle i kombinasjon med digitalisering, er også av interesse.

Et forslag for utvikling av verktøy for BIM og LCA er å fokusere på kompositttmaterialer og forbedre denne informasjonsoverføringen og interoperabiliteten mellom brukte BIM- og LCA-verktøy. Muligheter for visualisering av utslippene er også et aspekt som burde være i fokus for videre utvikling.

Referanser

Abou-Ibrahim, H., & Hamzeh, F. (2016) Enabling Lean Design Management: An LOD Based Framework. Lean Construction Journal (2016):12-24.

Adams, B. (d.u.) Levels of development / levels of detail / LOD explained. Tilgjengelig fra: < https://www.redstackshop.com.au/levels-of-development-levels-of-detail-lod-explained> [Hentet 01.06.2019]

AIA (2007) Integrated Project Delivery: A Guide, version 1. Tilgjengelig fra: < http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf> [Hentet 01.06.2019]

AIA (2012) An Architect's Guide to Integrating Energy Modeling in the Design Process. Tilgjengelig fra: <http://aiad8.prod.acquia-sites.com/sites/default/files/2016-04/Energy-Modeling-Design-Process-Guide.pdf> [Hentet 10.12.2018]

Anand, C.K. & Amor, B. (2017) Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: a critical review. Renew. Sustain. Energy Rev. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.058

Antón, L.Á. & Díaz, J. (2014) Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction, International Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol:8, No:5, 2014 DOI: http://waset.org/publications/9998219

Attia, S., Hamdy, M., O´Brien, W., Carlucci, S. (2013) Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy building design. Energy build. 60 (2013) 110-124. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.016

Azhar, S. & Brown, J. (2009) BIM for Sustainability Analyses, International Journal of Construction Education and Research, 5:4, 276-292, DOI: 10.1080/15578770903355657

Azhar, S., Khalfan, M. & Maqsood, T. (2012) Building Information Modeling (BIM): Now and beyond. Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12 (4) 15-28. DOI: http://dx.doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032

Ballard, G. (2000). Positive Vs. Negative Iterations in Design. Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-8). Brighton.

Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., Fischer, M. (2013) Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. Build Environ 60, pp. 81–92. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009

Bell, Bradford S., and Steve W. J. Kozlowski. (2002). "A Typology of Virtual Teams: Implications for Effective Leadership." Group & Organization Management 27 (1):14-49. doi: 10.1177/1059601102027001003.

BIMForum (2013a) Miami BIMForum: The human side of BIM. Tilgjengelig fra: <http://bimforum.org/events/65/miami-bimforum/> [Hentet 10.11.2018]

BIMForum (2013b) Level of Development Specification, For Building Information Models. Tilgjengelig fra: <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf> [Hentet 09.12.2018]

Bionova (2015). One Click LCA. Helsinki: Bionova Ltd. Tilgjengelig fra: <https://www.oneclicklca.com> [Hentet 10.12.2018]

Bionova (2018). Parameters, Local compensation. Tilgjengelig fra: <https://desk.zoho.eu/portal/oneclicklca/kb/articles/parameters#LCA_parameters > [Hentet 11.04.2019]

Blumberg, B., Cooper D.R. & Schindler, P.S. (2011) Business research methods. London, McGraw-Hill Higher Education.

bre group (2015) BREEAM. Tilgjengelig fra: <http://www.breeam.com> [Hentet 10.11.2018]

Bruce-Hyrkäs, T., Pasanen, P., Castro, R. (2018). Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews. Procedia CIRP, Volume 69, Issue undefined, 2018, pages 178-183. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.127

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, pp. 188-200. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.02.028

Bueno, C., Pereira, L.M., Fabricio, M.M. (2018) Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling. Architectural Engineering and Design Management, 14 (5), pp. 332-346. DOI: 10.1080/17452007.2018.1458593

Bygg og bevar (2019) Konstruksjonsstål, Tilgjengelig fra < https://www.byggogbevar.no/enoek/groenne-materialvalg/konstruksjonsmaterialer/konstruksjonsstaal> [Hentet 30.04.2019]

Carbonari, G., Ashworth, S. and Stravoravdis, S. (2015) How Facility Management can use Building Information Modelling (BIM) to improve the decision making process. In: Proceedings of Facilities Management EU Conference. FMEU, London.

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 (2019) 941-952. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.247

Celca Steel service AS (2015) Steel reinforcement products for concrete, EPD, Tilgjengelig fra: <https://celsa-steelservice.no/wp-content/uploads/2015/08/S_P_00306_CelsaSteelService_NO_eng_LR.pdf> [Hentet 25.04.2019]

Cole, R. J. & Sterner, E. (2000) Reconciling theory and practice of life-cycle costing, Building Research & Information, 28:5-6, 368-375, DOI: 10.1080/096132100418519

Dalland, O. (2000) Metode og oppgaveskriving for Studenter. 3. Utgave. Gyldendal Norsk forlag.

Direktoratet for forvaltning og ikt (Difi) (2013) Hva er LCC. Tilgjengelig fra: < https://www.anskaffelser.no/hva-skal-du-kjope/bygg-anlegg-og-eiendom-bae/livssykluskostnader/hva-er-lcc> [Hentet 10.05.2019]

DGNB system (2015) German Sustainable Building Council, DGNB system, Tilgjengelig fra: http://www.dgnb-system.de/en/ [Hentet 10.11.2018]

Direktoratet for forvaltning og ikt (Difi) (2018) Byggebransjen får nye miljøkriterier. Tilgjengelig fra: <https://www.anskaffelser.no/nyhet/2018/03/byggebransjen-far-nye-miljokriterier> [Hentet 13.12.2018]

Dupuis, M., April, A., Lesage, P. (2017) Method to enable LCA analysis through each level of development of a BIM model. Procedia Eng, Elsevier B.V., pp. 19-22, DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.017

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd Edition

Ecoil (d.u) Life Cycle Assessment (LCA) Tilgjengelig fra: <http://www.ecoil.tuc.gr/LCA-2.pdf> [Hentet 13.12.2018]

EeB Guide Project (2012a) Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, 2.4 Use of three study types, Tilgjengelig fra: <https://www.eebguide.eu/?p=936>_[Hentet 12.12.2018]

EeB Guide Project (2012b) Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, 2.4 Use of three study types, Tilgjengelig fra: <https://www.eebguide.eu/?p=936> [Hentet 06.12.2018]

EeB Guide Project (2012c) Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, 2.4.1. Screening LCA, Tilgjengelig fra: <https://www.eebguide.eu/?p=913> [Hentet 06.12.2018]

EeB Guide Project (2012d) Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, 2.4.2 Simplified LCA, Tilgjengelig fra: <https://www.eebguide.eu/?p=922> [Hentet 06.12.2018]

EeB Guide Project (2012e) Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, 2.4.3. Complete LCA, Tilgjengelig fra: <https://www.eebguide.eu/?p=925> [Hentet 06.12.2018]

EPD-Norge (2013a) I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections, Contiga AS, deklarasjonsnr.: 00081E rev1, Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/135964-1469040852/EPDer/Byggevarer/Stålkonstruksjoner/81_Type-22--IHULT-and-wide-flats-selections.pdf > [Hentet 25.04.2019]

EPD-Norge (2013b) Cold formed structural hollow sections (CFSHS), Contiga AS, deklarasjonsnr.: 00079E rev1, Tilgjengelig fra: < https://www.epd-norge.no/getfile.php/135961-1469040770/EPDer/Byggevarer/Stålkonstruksjoner/79_Type-32--Cold-formed-structural-hollow-sections.pdf > [Hentet 25.04.2019]

EPD-Norge (2014a) Generic EPD Hot rolled steel plates (Type 1.1), Norsk Stålforbund, deklarasjonsnr.: NEPD 00255E, Tilgjengelig fra: <https://wpstatic.idium.no/norskstaal.no/2018/01/EPD-PLATER2.pdf> [Hentet 25.04.2019]

EPD-Norge (2014b) I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections, Skanska Norge AS deklarasjonsnr.: 00239E, Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/135937-1469039703/EPDer/Byggevarer/Stålkonstruksjoner/239_I--H--U--L--T-and-wide-flats-hot-rolled-sections.pdf > [Hentet 25.04.2019]

EPD-Norge (2014c) Cold formed structural hollow sections (CFSHS), Skanska Norge AS, deklarasjonsnr.: 00240E, Tilgjengelig fra: < https://www.epd-norge.no/getfile.php/135934-1469039579/EPDer/Byggevarer/Stålkonstruksjoner/240_Cold-formed-structural-hollow-sections--CFSHS-.pdf> [Hentet 30.04.2019]

EPD-Norge (2016) Pile heads made from hot rolled steel plates, Ferrometall AS, deklarasjonsnr.: NEPD-1212-380-EN. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/136855-1480692592/EPDer/Byggevarer/Stålkonstruksjoner/NEPD-1212-380_Pile-heads-made-from-hot-rolled-steel-plates.pdf.> [Hentet 25.04.2019]

Frøysa, H. (2019) Personlig kommunikasjon, mail i perioden 31.01.2019 til 07.05.2019.

Fufa, S.M., Schlanbusch, R.D., Sørnes, K., Inman, M., Andersen, I. (2016) A Norwegian ZEB Definition Guideline. SINTEF Academic Press, Norwegian University of Science and Technology, ZEB Project report 29.

Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O. & Raahemifar, K. (2017) Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75, 1046-1053.

Grilo, A. & Jardim-Goncalves, R. (2010) Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. Automation in Construction, 19, 522- 530.

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. J. Clean. Prod. 35, 250e262. DOI: https://doi.org/ 10.1016/j.jclepro.2012.05.028.

Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., Jung, N., (2015). Reducing embodied carbon during the design process of buildings. J. Build. Eng. 4, 1e13. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.06.005.

Hardin, B. (2009). BIM and Construction Management, Indianapolis: Wiley Publishing, IN.

Harridsleff, Ø. (d.u.) NS3454 Livssykluskostnader for byggverk. Tilgjengelig fra: < https://docplayer.me/2417890-Agenda-ns-3454-livssykluskostnader-for-byggverk.html> [Hentet 12.05.2019]

Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I, Klaassens, E, Svatikova, K., Wildeberg, O. (2014). Resource Efficiency in the building Sector, Ecorys, Rotterdam.

Hollberg, A. & Ruth, J. (2016). LCA in architectural designda parametric approach. Int. J. Life Cycle Assess. 21, 943e960. DOI: https://doi.org/10.1007/s11367-016-1065-1.

Hooper, M. (2015). Automated model progression scheduling using level of development. Construction Innovation, 15 (4): 428-448. DOI: https://doi.org/10.1108/CI-09-2014-0048

IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC (2018) Global warming 1,5°C. Summary for policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Issuu (2013). Norsk Prisbok 2013. Tilgjengelig fra: <https://issuu.com/_isy/docs/norskprisbok2013_smakebiter/22 > [Hentet 08.12.2018]

Jalaei, F. & Jrade, A. (2015) Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. Sustainable Cities and Society, 18, 95-107. DOI: 10.1016/j.scs.2015.06.007

Jrade, A. & Jalaei, F. (2013) Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. DOI: 10.1007/s12273-013-0120-0.

Karan, E.P. & Irizarry, J. (2015) Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services. Automation in Construction, vol. 53, pp. 1–12, 2015.

Katasonova, A (2019). Pers. Com. med kundeservice i Bionova. [04.04.2019]

Kehily, D. & Underwood, J. (2017) Embedding life cycle costing in 5D BIM. ITcon Vol. 22, pg. 145-167, DOI: http://www.itcon.org/2017/8

Keller, D.K. & Casadevall-Keller, M.L. (2010) The Tao of research: A path to validity. Sage Publications, Inc.

Kholer, N., Wagner, A., LuetzkendOrf, T., König, H. (2005) Life Cycle Assessment of Passive Buildings with LEGEPs – A LCA tool from Germany.

Knotten, V., Svalestuen, F., Hansen, G. K., Lædre, O. (2015) Design management in the building process-a re- view of current literature. In Procedia Economics and Finance 21, pp. 120–127.

Kȍseci, F.C. (2018) Integrated Life Cycle Assessment (LCA) to Building Information Modelling (BIM). Masteroppgave for KTH, Real Estate and Construction Management, ved The Royal institute of techonoly, Stockholm.

Kristjansdottir, T., Fjeldheim, H., Selvig, E., Risholt, B., Time, B., Georges, L., Dokka, T.H., Bourelle, J., Bohne, R. and Cervenka, Z. (2014) A Norwegian ZEB-definition embodied emission, SINTEF Academic Press og Norwegian University of Science and Technology,Oslo/Trondheim, ZEB Project report nr. 17.

Krygiel, E. & Nies, B. (2008) Green BIM, Successful Sustainable Design with Building Information Modeling, John Wiley & Sons, 978-0470239605.

KTInnovation. (2014). Tally-Autodesk. Tilgjengelig fra: <http://choosetally.com/>. [Hentet 07.12.2018].

Kymmell, W. (2008). Building Information Modeling: Planning and Managing Projects with 4D CAD and Simulations, USA: McGraw Hill Construction.

Light, D. (2011) BIM Implementation – HOK building SMART. Tilgjengelig fra: < https://www.thenbs.com/knowledge/bim-implementation-hok-buildingsmart> [Hentet29.05.2019]

Luth, G.P., Schorer, A. & Turkan, Y. (2013). Lessons from Using BIM to Increase Design-Construction Integration. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000200

McGraw-Hill Construction. (2010). The Business Value of BIM in Europe. Massachusetts, USA: McGraw- Hill Construction.

Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., Verbeeck, G. (2018) Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. Building and Environment, 133, pp. 228-236. Cited 2 times. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.016

Mossman, A., Ballard, G. & Pasquire, C. (2010). Lean Project Delivery - innovation in integrated design & delivery.

Norconsult informasjonssystemer AS (d.u) Bedre prosjekter. Tilgjengelig fra: < https://www.nois.no/produkter/prosjektstyring/isy-calcus/> [Hentet 12.05.2019]

Nordisk Industrifond (2001) LCC for byggverk. Rapport for kartleggingsprosjekt i de fem nordiske land. Tilgjengelig fra: < http://www.nordicinnovation.org/Global/_Publications/Reports/2002/lcc_for_byggverk1.pdf> [Hentet 11.05.2019]

Norgips byggesystemer (d.u.) Undergulv og flytende gulv med Norgips gulvplate – Produkt- og generelle opplysninger, Tilgjengelig fra: < https://norgips.no/assets/planningpdfs/Prosjekteringshåndbok/Undergulv-og-flytende-gulv-med-norgips-gulvplate.pdf > [Hentet 01.05.2019]

Norsk betongforening (2015) Lavkarbonbetong, Publikasjon 37, Tilgjengelig fra: < https://fabeko.no/assets/Komplett_NB-37-Lavkarbonbetong.pdf> [Hentet 30.04.2018]

NTNU Universitetsbiblioteket (u.d.) Finne kilder. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki /-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Hvordan+være+ kildekritisk?> [19.10.2018]

Olinzock, M.A., Landis, A.E., Saunders, C.L., Collinge, W.O., Jones, A.K., Schaefer, L.A., Bilec, M.M. (2015) Life cycle assessment use in the North American building community: summary of findings from a 2011/2012 survey. International Journal of Life Cycle Assessment, 20 (3), pp. 318-331. Cited 8 times. DOI: 10.1007/s11367-014-0834-y

Overbey, D (2018) Five diagrams every design team should know, blog post på Building enclosure, Tilgjengelig fra: <https://www.buildingenclosureonline.com/blogs/14-the-be-blog/post/87371-five-diagrams-every-design-team-should-know> [Hentet 29.05.2019]

Passer, A., Kreiner, H., Maydl, P. (2012) Assessment of the environmental performance of buildings: a critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings, Int. J. Life Cycle Assess. 17 1116–1130, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0435-6.

Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., Passer, A. (2018) LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. Building and Environment, 140, pp. 153-161. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.05.006

Rockwool (d.u.) Om oss, Tilgjengelig fra: <https://www.rockwool.no/om-oss/> [Hentet 01.05.2019]

Sacks, R., Radosavljevic, M. and Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. Automation in Construction, Vol. 19 No. 5, pp. 641-655.

Samset, K. (2014) Prosjekt i tidligfasen – valg av konsept. Fagbokforlaget.

Saunders, C.L., Landis, A.E., Mecca, L.P., Jones, A.K., Schaefer, L.A., Bilec, M.M. (2013) Analyzing the practice of life cycle assessment, J. Ind. Ecol. 17. 777–788, DOI: http://dx.doi.org/10.1111/jiec.12028.

Schueter, A. & Thessling, F. (2008). Building information model based energy=exergy performance assessment in early design stages. Automation in Construction, 18(2), 153–163.

Shin, Y.S. & Cho, K. (2015) BIM application to select appropriate design alternative with consideration of LCA and LCCA. Mathematical Problems in Engineering, Volume 2015, pp. 1-15, DOI: https://doi.org/10.1155/2015/281640

Silverman, D. (2006) Interpreting qualitative data: Methods for analyzing talk, text and interaction. Sage Publications, Inc.

Sjøgren, J. (2011) A Norwegian IFC story and lessons learned, buildingSMART in Norway. Tilgjengelig fra: <http://www.buildingsmart.no/article87.html> [Hentet 13.09.2018]

Solberg, J. (2019) Personlig kommunikasjon, Skype-møte 20.03.2019.

Solem, B.S. (2017) Bærekraftige materialvalg og trekonstruksjoner. Eggen Arkitekter AS. Tilgjengelig fra: <https://trondheim2030.no/wpcontent/uploads/sites/27/2017/01/Baerekraftige-materialvalg-og-trekonstruksjoner-opt.pdf> [Hentet 09.12.2018]

Solem, B.S. (2018) Jakten på bærekraftige materialvalg, future built, Tilgjengelig fra: <https://www.futurebuilt.no/Blogg#!/Blogg/Jakten-paa-baerekraftige-materialvalg> [Hentet 25.04.2019]

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., García-Martínez, A. (2017) Critical review of bim-based LCA method to buildings. Energy and Buildings, Volume 136, Pages 110-120, ISSN 0378-7788. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009

Standard Norge (2006a) NS-EN ISO 14040:2006 Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Prinsipper og rammeverk.

Standard Norge (2006b) NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Krav og retningslinjer.

Standard Norge (2010a) NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner – Miljødeklarasjoner type III – Prinsipper og prosedyrer.

Standard Norge (2010b) CEN/TR 15941:2010 Bærekraftige byggverk - Miljøvaredeklarasjoner - Metode for valg og bruk av generiske data

Standard Norge (2011a) NS-ISO 21930:2017 Bærekraftige bygninger og anlegg - Grunnleggende produktkategoriregler for miljødeklarasjoner for byggevarer og tjenester

Standard Norge (2011b) NS-EN 15978:2011 Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpresentasjon – Beregningsmetode.

Standard Norge (2012a) NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftige byggverk – Miljødeklarasjoner – Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer.

Standard Norge (2012b) NS-EN 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Yrkesbygninger.

Standard Norge (2018) NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger

Stassen, P. (2016) Automatisation of Building Life-cycle Assessment. Parsing Bills of Quantities to Enable Early Building Life-Cycle Assessment. Bachelor´s Thesis i Sustainable Building Engineering, ved Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.

Store Norske Leksikon (2014) Glassull, Tilgjengelig fra: <https://snl.no/glassull> [Hentet 01.05.2019]

Svalestuen, F., Knotten, V., Lædre, O. & Lohne, J. (2018). Planning the Building Design Process According to Level of Development. Lean Construction Journal (LCJ). 2018.

UNFCCC (2015) Adoption of the Paris Agreement. Report No. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, Tilgjengelig fra: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> [Hentet 14.05.2019]

USGBC (2015) Leed v4, Tilgjengelig fra: http://www.usgbc.org/leed#. [Hentet 10.11.2018]

Veidekke (2018). Veidekke bygger Nærbyen senter i Trondheim. Tilgjengelig fra: <http://veidekke.no/om-oss/nyheter-og-media/pressemeldinger/article27373.ece> [Hentet 14.02.2019]

Weißenberger, M., Jensch, W., Lang, W. (2014) The convergence of life cycle assessment and nearly zero-energy buildings: The case of Germany. Energy and Buildings, 76, pp. 551-557. Cited 31 times. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.03.028

Vedlegg

Vedlegg A - Oversikt Screening, Forenklet og Komplett LCA

Vedlegg B – Teoretisk tilnærming: Beregninger og resultat: Screening LCA

Vedlegg C – Teoretisk tilnærming: Beregninger og resultater: Forenklet LCA

- C1 – EPDer brukt i beregningene
- C2 – Beregninger skruemengde
- C3 – GWP
- C4 – ODP
- C5 – POCP
- C6 – AP
- C7 – EP
- C8 – ADPM
- C9 – ADPE
- C10 – Resultater oppsummert i grafer

Vedlegg D – Praktisk tilnærming: Klassifisering av Objektstatus og LOD i Solibri

- D1 – Klassifisering for RIB-modell
- D2 – Klassifisering for ARK-modell

Vedlegg E – Beregning av materialmengder kompositter RIB-modell

Vedlegg F - Materialmengder kompositter ARK-modell

Vedlegg G – Forklaring ulike veggmengder fra ARK-modell

Vedlegg H – Bakgrunnen for valg av udefinerte materialer

- H1 – «Innervegg»
- H2 – «Yttervegg» og «vegg»
- H3 – «dekke»
- H4 – «platekledning»
- H5 – «gulvbelegg»

Vedlegg I – Beregninger og resultater RIB-modell

- I1 – Fullstendige beregninger RIB-modell 06_18
- I2 – Fullstendige beregninger RIB-modell 10_18
- I3 – Fullstendige beregninger RIB-modell 02_19
- I4 – Fullstendige beregninger RIB-modell 04_19
- I5 – Grafer for klimagassutslipp som viser hvor mye som måtte legges inn manuelt

Vedlegg J – Beregninger og resultater ARK-modell

- J1 – beregninger av ARK-modell fra 06_18 i One Click LCA
- J2 – beregninger av ARK-modell fra 10_18 i One Click LCA
- J3 – beregninger av ARK-modell fra 02_19 i One Click LCA
- J4 – beregninger av ARK-modell fra 04_19 i One Click LCA
- J5 – beregninger av utslipp for udefinerte materialer i ARK-modeller gjort manuelt
- Vedlegg K – Usikkerhetsspenn for de generiske utslippsverdiene i ARK-modellene
- Vedlegg L – Grafer for klimagassutslipp som viser hvor mye som måtte legges inn manuelt i ARK-modeller

Vedlegg A - Oversikt Screening, Forenklet og Komplett LCA

	Screening	Forenklet	Komplett
System-grenser	A1-A3, B6 og B7. A1-A3 + B6. Hovedfokus på de komponentene som bidrar mest	A1-A3, B4, B6, B7, C3, C4 og valgfritt om D burde inkluderes. Fokus på komponentene som bidrar mest, samt energi- og vannbruk.	Alle faser, fra A1 til C4, i tillegg til D4 hvis relevant. Følge EN 15804 og EN 15978 for cut-off kriterier.
Input	Bruke generiske data for miljøpåvirkninger.	Bruke spesifikke data hvis tilgjengelig, eller generiske verdier eller EPD for materialer	Produktspesifikke data, som EPD
Kalkulasjon:	Operativ energiberegning basert på ytelsesmål (statistiske data) og statistiske data for vannbruk	Operativ energiberegning basert på beregning av kvasi-stabil energi, bygningssimuleringer brukes for å beregne	Operativ energiberegning basert på beregning av kvasi-stabil energi, bygningssimuleringer brukes for å beregne
Effekt-vurdering	PENTR, (GWP og PERT hvis det er passende) and a single score indicator, endpoint if possible	GWP, EP, AP, ODP, POPC, ADP, PET, PENRT and a single score indicator, endpoint if possible	Alle relevante effektvurderingskategorier
Resultater (Output)	Dokumentasjon: • definisjonen av mål og hensikt, • de inkluderte livssyklusfasene, • hovedinputs og materialer, i tillegg til prosesser for energi- og vannbruk. • Effektvurderingskategori • Effektvurderingsresultater og tolkning (konklusjoner) • Uttalelse om hvor konsekvente resultatene er • Resultater	Dokumentasjon: • definisjonen av mål og hensikt, • De inkluderte livssyklusfasene og en klar definisjon av systemgrensene • Inkluderte og ekskluderte inputs og materialer, i tillegg til prosesser for energi- og vannbruk. • Effektvurderingskategori (med berettigelse) • Avgrensninger • Effektvurderingsresultater og tolkning (konklusjoner) • Uttalelse om hvor konsekvente resultatene er • Resultater • Gjennomgangsuttalelse	Dokumentasjon: • definisjonen av mål og hensikt, • De inkluderte livssyklusfasene og en klar definisjon av systemgrensene • Inkluderte og ekskluderte inputs og materialer, i tillegg til prosesser for energi- og vannbruk. med berettigelse (cut-off regler) • Effektvurderingskategori, (med berettigelse) • Hoved-antagelser og avgrensninger • Effektvurderingsresultater, fordelt på livssyklusfase og modul • Uttalelse om hvor konsekvente resultatene er • Resultater • Gjennomgangsuttalelse
	Kommunikasjon av resultater: bør bare være intern og en vurdering av resultatenes usikkerhet må inkluderes	Kommunikasjon av resultater: kan være intern eller ekstern. (uavhengig tredjeparts vurdering)	Kommunikasjon av resultater: kan være intern eller ekstern. (uavhengig tredjeparts vurdering)

Basert på anbefalinger fra EeBGuide (2012), Joint Research Centre (2010 og Meex et al. 2018.

Vedlegg B – Teoretisk tilnærming: Beregninger og resultat: Screening LCA

	Materiale	Mengde	Enhet	Utslippsfaktor kgCO2eq	GWP total kgCO2eq	GWP per FU
LOD100	Betong	1,2	m3	200	240	38,40
LOD200	Betong	1,25	m3	200	250	40,00
LOD300	Total vegg	4,2964	m2	75	322,23	51,56
LOD350	Total vegg	4,2964	m2	75	322,23	
	Vindu	1,9536	m2	85	166,056	
	Total				**488,286**	**78,13**
LOD400	Total vegg	4,2964	m2	75	322,23	
	Vindu	1,9536	m2	85	166,056	
	Festemidler	1,14	kg	2,91	3,3174	
	Total				**491,6034**	**78,66**

Mengde Festemidler 0,267 x 4,2964 = 1,14 kg

0,267 kg er hentet fra beregninger gjort i prosjekt i faget TBA4171 Bygnings- og materialteknikk, videregående kurs.

Vedlegg C – Teoretisk tilnærming: Beregninger og resultater: Forenklet LCA

C1 – EPDer brukt i beregningene

Betong	http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Ferdig%20betong/NEPD-1301-423_B30-M60-Lavkarbon-A---Konsistens-180mm_1.pdf
Gips	http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Bygningsplater/NEPD-113-177-EN_Norgips-Standard-type-A.pdf
Trevirke	http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Strutural-timber--Norwegian-version_no.pdf
Isolasjon	http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD_221N_Glava-glassull-ver3_1_1.pdf
Vindsperre	https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2017/02/NEPD-1247-400_Hunton-Vindtett-.pdf
Utvendig kledning	https://www.esas.no/pdf/EPD/NEPD-310-180-NO_Utvendig_kledning_med_vanntynnbar_maling_GK_m-472.pdf
Vindu	http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Dører%20og%20vinduer/NEPD-385-265-NO_Nordvestvinduet-Innsl--ende-vindu.pdf
Armering	http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Stålkonstruksjoner/NEPD-434-30 EN_Steel-reinforcement-products-for-concrete_1.pdf
Skruer	https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=1b45f4e3-74c9 4d00-9a45-136ca36d37c8&version=00.04.000&stock=OBD_150820&fbclid=IwAR1ZZBekF8W 8jT_70_gOcniCi-CONv63Su_J9o3pZhTqKMQV4pJ5sVHsyE

C2 – Beregninger skruemengde

Vekt skrue	1kg/380 skruer	0,00263 kg	Anslag fra skrue leverandør: 380 skruer veier 1kg
Beregning av skruer		p	
Antall stendere	2,5 m/0,6	4,1666667	
Antall skruer per stender		p	
48x98	4 skruer x4,167	16,668	Skruer per stender antatt basert på
48x198	8 skruer x4,167	33,34	anbefalinger fra Byggforsk
lekt+trekledning	34,7 skruer x2 (lekt+trekledn)	69,45	vertikal senteravst. 300mm
		119,458	
Total vekt	119,458 p x 0,00263 kg	0,314 kg	

C3 – GWP

utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	GWP	1,98E+02	kg CO2 -eq	2,37E+02	0,00E+00	2,37E+02
LOD200	Betong	1,25	m3	60	GWP	1,98E+02	kg CO2 -eq	2,47E+02	0,00E+00	2,47E+02
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	GWP	1,98E+02	kg CO2 -eq	1,70E+02	0,00E+00	1,70E+02
	Gips	4,2964	m2	60	GWP	2,10E+00	kg CO2 -eq	9,02E+00	0,00E+00	9,02E+00
	Tre	0,1285	m3	60	GWP	5,30E+01	kg CO2 -eq	6,81E+00	0,00E+00	6,81E+00
	isolasjon	4,2964	m2	60	GWP	5,45E+00	kg CO2 -eq	2,34E+01	0,00E+00	2,34E+01
	vindsperre	4,2964	m2	60	GWP	5,96E-01	kg CO2 -eq	2,56E+00	0,00E+00	2,56E+00
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	GWP	1,20E+00	kg CO2 -eq	5,16E+00	0,00E+00	5,16E+00
					GWP		**kg CO2 -eq**	**2,17E+02**	**0,00E+00**	**2,17E+02**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	GWP		kg CO2 -eq	2,17E+02	0,00E+00	2,17E+02
	Vindu, uten alu	1	p	40	GWP	8,37E+01	kg CO2 -eq	8,37E+01	4,19E+01	1,26E+02
					GWP		**kg CO2 -eq**	**3,00E+02**	**4,19E+01**	**3,42E+02**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	GWP		kg CO2 -eq	2,17E+02	0,00E+00	2,17E+02
	Vindu, uten alu	1	p	40	GWP	8,37E+01	kg CO2 -eq	8,37E+01	4,19E+01	1,26E+02
	armering	120	kg	60	GWP	3,30E-01	kg CO2 -eq	3,96E+01	0,00E+00	3,96E+01
	skruer/stål	0,314	kg	60	GWP	2,91E+00	kg CO2 -eq	9,14E-01	0,00E+00	9,14E-01
					GWP		**kg CO2 -eq**	**3,41E+02**	**4,19E+01**	**3,83E+02**

C4 – ODP

utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	ODP	4,00E-06	kg CFC11 -eq	4,80E-06	0,00E+00	4,80E-06
LOD200	Betong	1,25	m3	60	ODP	4,00E-06	kg CFC11 -eq	5,00E-06	0,00E+00	5,00E-06
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	ODP	4,00E-06	kg CFC11 -eq	3,44E-06	0,00E+00	3,44E-06
	Gips	4,2964	m2	60	ODP	1,40E-07	kg CFC11 -eq	6,01E-07	0,00E+00	6,01E-07
	Tre	0,1285	m3	60	ODP	6,60E-06	kg CFC11 -eq	8,48E-07	0,00E+00	8,48E-07
	isolasjon	4,2964	m2	60	ODP	5,25E-05	kg CFC11 -eq	2,25E-04	0,00E+00	2,25E-04
	vindsperre	4,2964	m2	60	ODP	2,47E-07	kg CFC11 -eq	1,06E-06	0,00E+00	1,06E-06
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	ODP	1,55E-07	kg CFC11 -eq	6,66E-07	0,00E+00	6,66E-07
					ODP		**kg CFC11 -eq**	**2,32E-04**	**0,00E+00**	**2,32E-04**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	ODP		kg CFC11 -eq	2,32E-04	0,00E+00	2,32E-04
	Vindu, uten alu	1	p	40	ODP	1,08E-05	kg CFC11 -eq	1,08E-05	5,40E-06	1,62E-05
					ODP		**kg CFC11 -eq**	**2,43E-04**	**5,40E-06**	**2,48E-04**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	ODP		kg CFC11 -eq	2,32E-04	0,00E+00	2,32E-04
	Vindu, uten alu	1	p	40	ODP	1,08E-05	kg CFC11 -eq	1,08E-05	5,40E-06	1,62E-05
	armering	120	kg	60	ODP	2,90E-09	kg CFC11 -eq	2,90E-09	0,00E+00	2,90E-09
	skruer/stål	0,314	kg	60	ODP	1,14E-09	kg CFC11 -eq	3,58E-10	0,00E+00	3,58E-10
					ODP		**kg CFC11 -eq**	**2,43E-04**	**5,40E-06**	**2,48E-04**

C5 – POCP

utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	POCP	3,39E-02	kg C2H4-eq	4,07E-02	0,00E+00	4,07E-02
LOD200	Betong	1,25	m3	60	POCP	3,39E-02	kg C2H4-eq	4,24E-02	0,00E+00	4,24E-02
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	POCP	3,39E-02	kg C2H4-eq	2,92E-02	0,00E+00	2,92E-02
	Gips	4,2964	m2	60	POCP	2,50E-04	kg C2H4-eq	1,07E-03	0,00E+00	1,07E-03
	Tre	0,1285	m3	60	POCP	2,65E-02	kg C2H4-eq	3,41E-03	0,00E+00	3,41E-03
	isolasjon	4,2964	m2	60	POCP	2,93E-02	kg C2H4-eq	1,26E-01	0,00E+00	1,26E-01
	vindsperre	4,2964	m2	60	POCP	2,64E-04	kg C2H4-eq	1,13E-03	0,00E+00	1,13E-03
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	POCP	5,60E-04	kg C2H4-eq	2,41E-03	0,00E+00	2,41E-03
					POCP		**kg C2H4-eq**	**1,63E-01**	**0,00E+00**	**1,63E-01**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	POCP		kg C2H4-eq	1,63E-01	0,00E+00	1,63E-01
	Vindu, uten alu	1	p	40	POCP	5,05E-02	kg C2H4-eq	5,05E-02	2,53E-02	7,58E-02
					POCP		**kg C2H4-eq**	**2,14E-01**	**2,53E-02**	**2,39E-01**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	POCP		kg C2H4-eq	1,63E-01	0,00E+00	1,63E-01
	Vindu, uten alu	1	p	40	POCP	5,05E-02	kg C2H4-eq	5,05E-02	2,53E-02	7,58E-02
	armering	120	kg	60	POCP	4,10E-05	kg C2H4-eq	4,10E-05	0,00E+00	4,10E-05
	skruer/stål	0,314	kg	60	POCP	5,63E-04	kg C2H4-eq	1,77E-04	0,00E+00	1,77E-04
					POCP		**kg C2H4-eq**	**2,14E-01**	**2,53E-02**	**2,39E-01**

C6 – AP

utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	AP	5,21E-01	kg SO2 -eq	6,25E-01	0,00E+00	6,25E-01
LOD200	Betong	1,25	m3	60	AP	5,21E-01	kg SO2 -eq	6,51E-01	0,00E+00	6,51E-01
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	AP	5,21E-01	kg SO2 -eq	4,47E-01	0,00E+00	4,47E-01
	Gips	4,2964	m2	60	AP	1,80E-03	kg SO2 -eq	7,73E-03	0,00E+00	7,73E-03
	Tre	0,1285	m3	60	AP	4,10E-01	kg SO2 -eq	5,27E-02	0,00E+00	5,27E-02
	isolasjon	4,2964	m2	60	AP	9,18E-03	kg SO2 -eq	3,94E-02	0,00E+00	3,94E-02
	vindsperre	4,2964	m2	60	AP	3,56E-03	kg SO2 -eq	1,53E-02	0,00E+00	1,53E-02
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	AP	8,77E-03	kg SO2 -eq	3,77E-02	0,00E+00	3,77E-02
					AP		**kg SO2 -eq**	**6,00E-01**	**0,00E+00**	**6,00E-01**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	AP		kg SO2 -eq	6,00E-01	0,00E+00	6,00E-01
	Vindu, uten alu	1	p	40	AP	9,45E-01	kg SO2 -eq	9,45E-01	4,73E-01	1,42E+00
					AP		**kg SO2 -eq**	**1,55E+00**	**4,73E-01**	**2,02E+00**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	AP		kg SO2 -eq	6,00E-01	0,00E+00	6,00E-01
	Vindu, uten alu	1	p	40	AP	9,45E-01	kg SO2 -eq	9,45E-01	4,73E-01	1,42E+00
	armering	120	kg	60	AP	4,90E-04	kg SO2 -eq	4,90E-04	0,00E+00	4,90E-04
	skruer/stål	0,314	kg	60	AP	7,20E-03	kg SO2 -eq	2,26E-03	0,00E+00	2,26E-03
					AP		**kg SO2 -eq**	**1,55E+00**	**4,73E-01**	**2,02E+00**

C7 – EP

utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	EP	1,68E-01	kg PO43- -eq	2,01E-01	0,00E+00	2,01E-01
LOD200	Betong	1,25	m3	60	EP	1,68E-01	kg PO43- -eq	2,10E-01	0,00E+00	2,10E-01
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	EP	1,68E-01	kg PO43- -eq	1,44E-01	0,00E+00	1,44E-01
	Gips	4,2964	m2	60	EP	4,40E-03	kg PO43- -eq	1,89E-02	0,00E+00	1,89E-02
	Tre	0,1285	m3	60	EP	8,99E-02	kg PO43- -eq	1,16E-02	0,00E+00	1,16E-02
	isolasjon	4,2964	m2	60	EP	1,43E-03	kg PO43- -eq	6,14E-03	0,00E+00	6,14E-03
	vindsperre	4,2964	m2	60	EP	1,07E-03	kg PO43- -eq	4,60E-03	0,00E+00	4,60E-03
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	EP	1,84E-03	kg PO43- -eq	7,91E-03	0,00E+00	7,91E-03
					EP		**kg PO43- -eq**	**1,93E-01**	**0,00E+00**	**1,93E-01**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	EP		kg PO43- -eq	1,93E-01	0,00E+00	1,93E-01
	Vindu, uten alu	1	p	40	EP	1,08E-01	kg PO43- -eq	1,08E-01	5,40E-02	1,62E-01
					EP		**kg PO43- -eq**	**3,01E-01**	**5,40E-02**	**3,55E-01**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	EP		kg PO43- -eq	1,93E-01	0,00E+00	1,93E-01
	Vindu, uten alu	1	p	40	EP	1,08E-01	kg PO43- -eq	1,08E-01	5,40E-02	1,62E-01
	armering	120	kg	60	EP	1,00E-04	kg PO43- -eq	1,00E-04	0,00E+00	1,00E-04
	skruer/stål	0,314	kg	60	EP	6,60E-04	kg PO43- -eq	2,07E-04	0,00E+00	2,07E-04
					EP		**kg PO43- -eq**	**3,02E-01**	**5,40E-02**	**3,56E-01**

C8 – ADPM

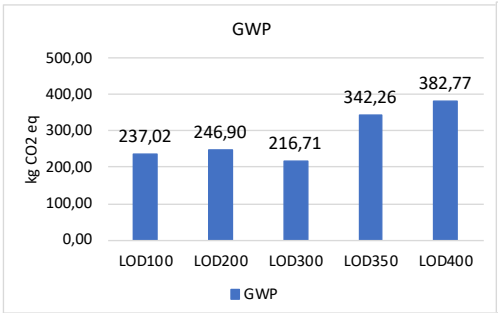
utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	ADPM	1,62E-04	kg Sb -eq	1,94E-04	0,00E+00	1,94E-04
LOD200	Betong	1,25	m3	60	ADPM	1,62E-04	kg Sb -eq	2,02E-04	0,00E+00	2,02E-04
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	ADPM	1,62E-04	kg Sb -eq	1,39E-04	0,00E+00	1,39E-04
	Gips	4,2964	m2	60	ADPM	1,40E-06	kg Sb -eq	6,01E-06	0,00E+00	6,01E-06
	Tre	0,1285	m3	60	ADPM	1,13E-04	kg Sb -eq	1,45E-05	0,00E+00	1,45E-05
	isolasjon	4,2964	m2	60	ADPM	6,89E-04	kg Sb -eq	2,96E-03	0,00E+00	2,96E-03
	vindsperre	4,2964	m2	60	ADPM	3,66E-06	kg Sb -eq	1,57E-05	0,00E+00	1,57E-05
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	ADPM	3,80E-06	kg Sb -eq	1,63E-05	0,00E+00	1,63E-05
					ADPM		**kg Sb -eq**	**3,15E-03**	**0,00E+00**	**3,15E-03**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	ADPM		kg Sb -eq	3,15E-03	0,00E+00	3,15E-03
	Vindu, uten alu	1	p	40	ADPM	1,94E-03	kg Sb -eq	1,94E-03	9,70E-04	2,91E-03
					ADPM		**kg Sb -eq**	**5,09E-03**	**9,70E-04**	**6,06E-03**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	ADPM		kg Sb -eq	3,15E-03	0,00E+00	3,15E-03
	Vindu, uten alu	1	p	40	ADPM	1,94E-03	kg Sb -eq	1,94E-03	9,70E-04	2,91E-03
	armering	120	kg	60	ADPM	1,40E-07	kg Sb -eq	1,40E-07	0,00E+00	1,40E-07
	skruer/stål	0,314	kg	60	ADPM	6,24E-05	kg Sb -eq	1,96E-05	0,00E+00	1,96E-05
					ADPM		**kg Sb -eq**	**5,11E-03**	**9,70E-04**	**6,08E-03**

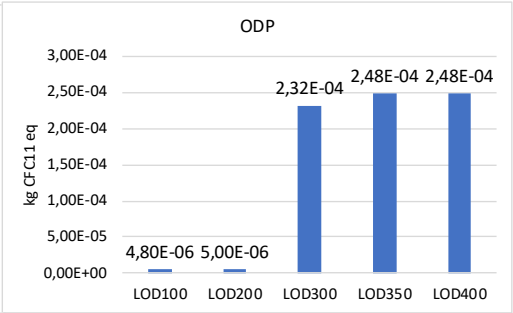
C9 – ADPE

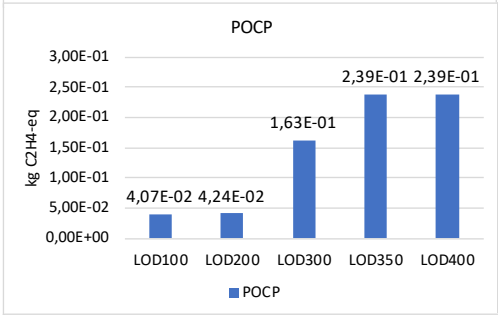
utviklingsnivå	materiale	Mengde	enhet	levetid	kategori	utslipps-faktor	enhet	utslipp A1-A3	utslipp B4	totalt
LOD100	Betong	1,2	m3	60	ADPE	1,06E+03	MJ	1,27E+03	0,00E+00	1,27E+03
LOD200	Betong	1,25	m3	60	ADPE	1,06E+03	MJ	1,32E+03	0,00E+00	1,32E+03
LOD300	Betong	0,85928	m3	60	ADPE	1,06E+03	MJ	9,10E+02	0,00E+00	9,10E+02
	Gips	4,2964	m2	60	ADPE	3,80E+01	MJ	1,63E+02	0,00E+00	1,63E+02
	Tre	0,1285	m3	60	ADPE	7,82E+02	MJ	1,00E+02	0,00E+00	1,00E+02
	isolasjon	4,2964	m2	60	ADPE	6,93E+01	MJ	2,98E+02	0,00E+00	2,98E+02
	vindsperre	4,2964	m2	60	ADPE	9,41E+00	MJ	4,04E+01	0,00E+00	4,04E+01
	ut. Kledning	4,2964	m2	60	ADPE	1,79E+01	MJ	7,69E+01	0,00E+00	7,69E+01
					ADPE		**MJ**	**1,59E+03**	**0,00E+00**	**1,59E+03**
LOD350	Vegg	4,2964	m3	60	ADPE		MJ	1,59E+03	0,00E+00	1,59E+03
	Vindu, uten alu	1	p	40	ADPE	1,62E+03	MJ	1,62E+03	8,10E+02	2,43E+03
					ADPE		**MJ**	**3,21E+03**	**8,10E+02**	**4,02E+03**
LOD400	Vegg	4,2964	m3	60	ADPE		MJ	1,59E+03	0,00E+00	1,59E+03
	Vindu, uten alu	1	p	40	ADPE	1,62E+03	MJ	1,62E+03	8,10E+02	2,43E+03
	armering	120	kg	60	ADPE	1,59E+00	MJ	1,59E+00	0,00E+00	1,59E+00
	skruer/stål	0,314	kg	60	ADPE	3,51E+01	MJ	1,10E+01	0,00E+00	1,10E+01
					ADPE		**MJ**	**3,22E+03**	**8,10E+02**	**4,03E+03**

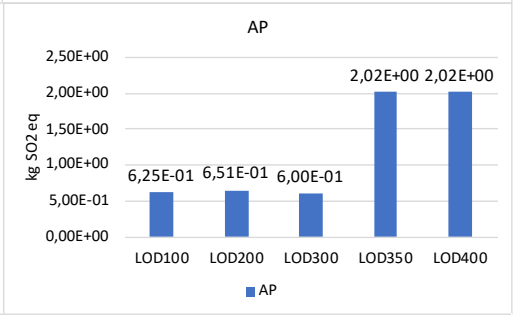
C10 – Resultater oppsummert i grafer

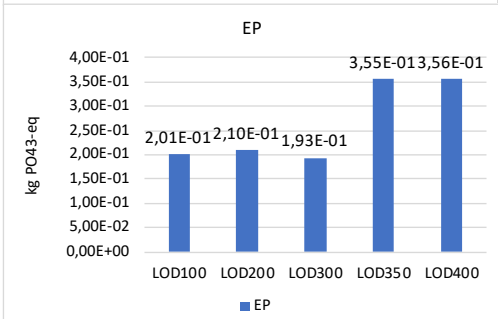
	Utslipp per funksjonelle enhet (utslipp/60 år)						
	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPM	ADPE
LOD100	237,02	4,80E-06	4,07E-02	6,25E-01	2,01E-01	1,94E-04	1,27E+03
LOD200	246,90	5,00E-06	4,24E-02	6,51E-01	2,10E-01	2,02E-04	1,32E+03
LOD300	216,71	2,32E-04	1,63E-01	6,00E-01	1,93E-01	3,15E-03	1,59E+03
LOD350	342,26	2,48E-04	2,39E-01	2,02E+00	3,55E-01	6,06E-03	4,02E+03
LOD400	382,77	2,48E-04	2,39E-01	2,02E+00	3,56E-01	6,08E-03	4,03E+03

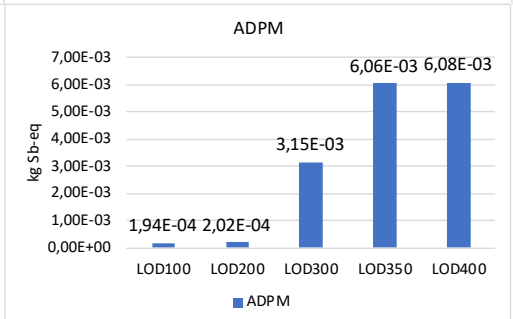


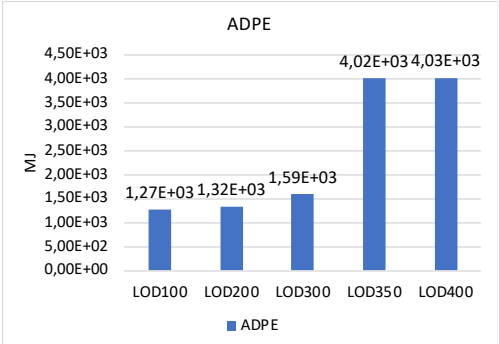






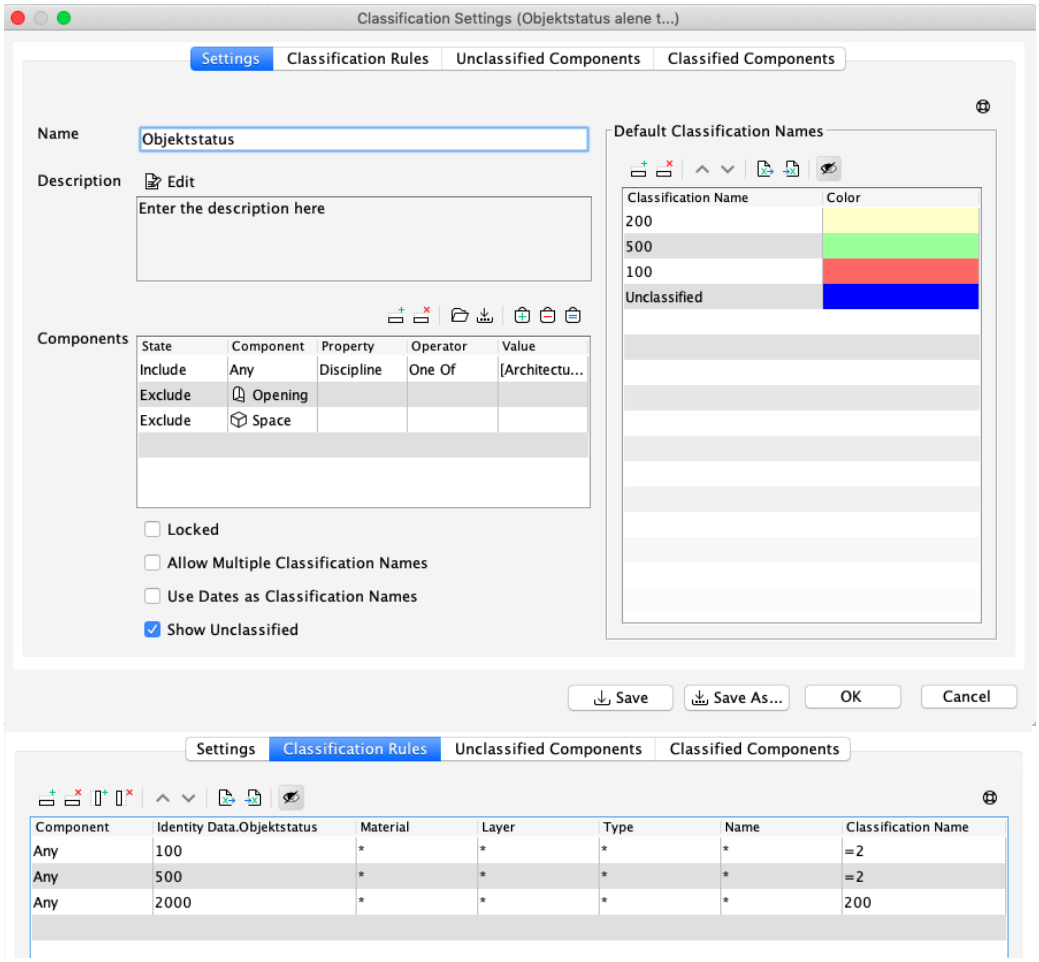




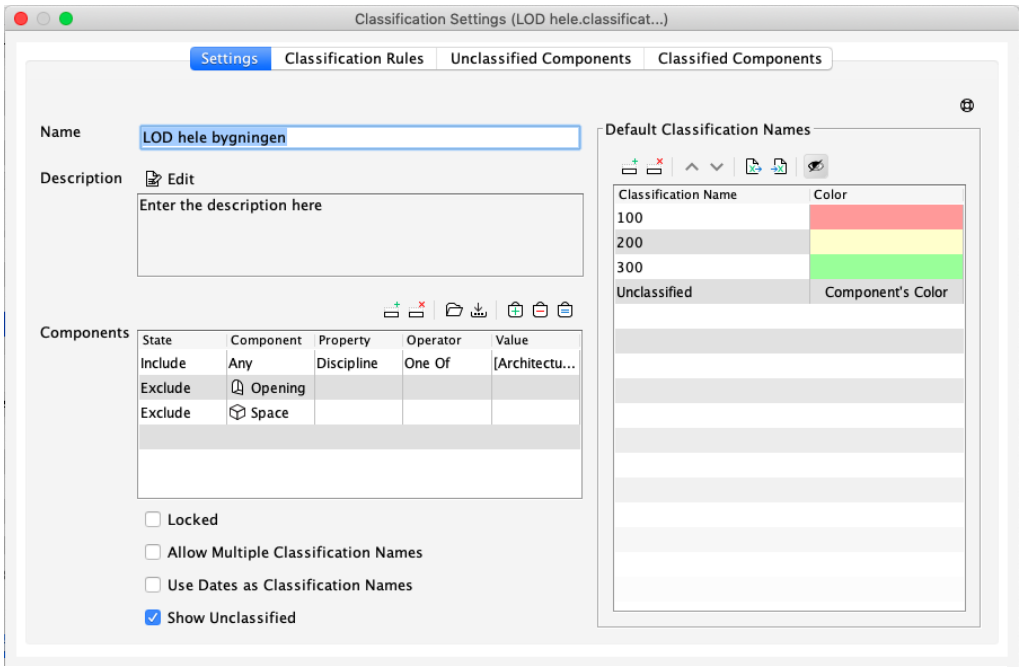


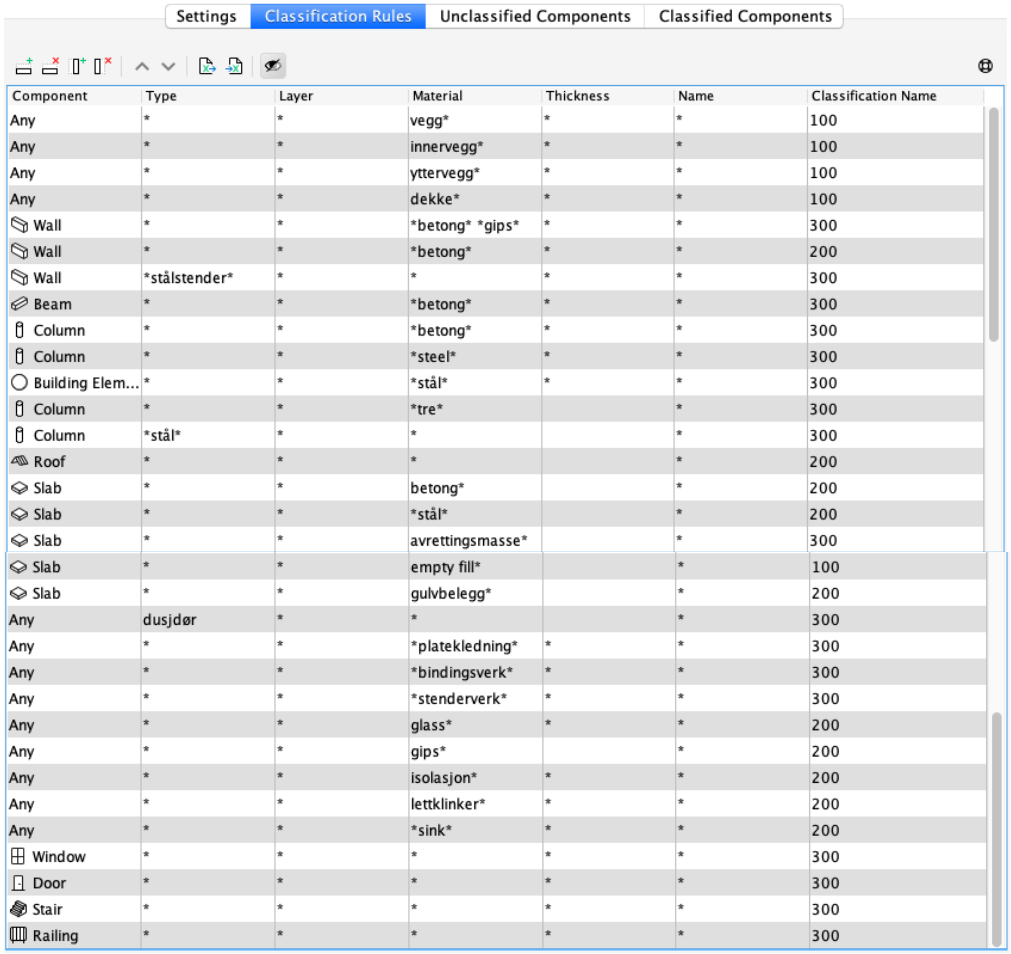
Vedlegg D – Praktisk tilnærming: Klassifisering av Objektstatus og LOD i Solibri

D1 – Klassifisering for RIB-modell



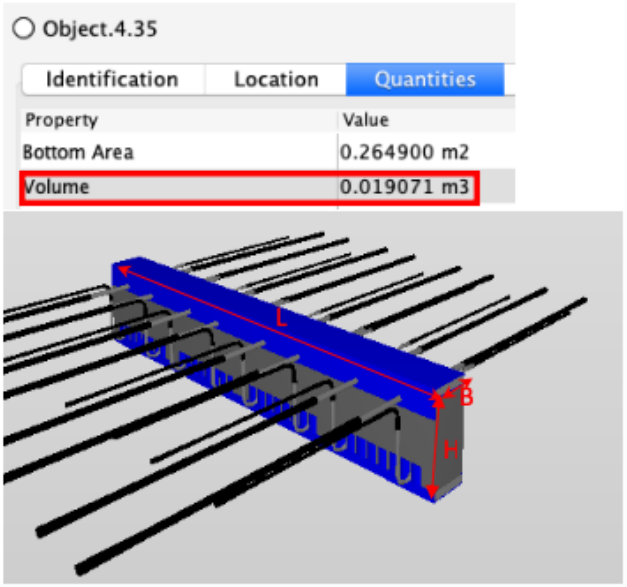
D2 – Klassifisering for ARK-modell





Component	Type	Layer	Material	Thickness	Name	Classification Name
Any	*	*	vegg*	*	*	100
Any	*	*	innervegg*	*	*	100
Any	*	*	yttervegg*	*	*	100
Any	*	*	dekke*	*	*	100
Wall	*	*	*betong* *gips*	*	*	300
Wall	*	*	*betong*	*	*	200
Wall	*stålstender*	*	*	*	*	300
Beam	*	*	*betong*	*	*	300
Column	*	*	*betong*	*	*	300
Column	*	*	*steel*	*	*	300
Building Elem...	*	*	*stål*	*	*	300
Column	*	*	*tre*		*	300
Column	*stål*	*	*		*	300
Roof	*	*	*		*	200
Slab	*	*	betong*		*	200
Slab	*	*	*stål*		*	200
Slab	*	*	avrettingsmasse*		*	300
Slab	*	*	empty fill*		*	100
Slab	*	*	gulvbelegg*		*	200
Any	dusjdør	*	*		*	300
Any	*	*	*platekledning*	*	*	300
Any	*	*	*bindingsverk*	*	*	300
Any	*	*	*stenderverk*	*	*	300
Any	*	*	glass*	*	*	200
Any	*	*	gips*		*	200
Any	*	*	isolasjon*	*	*	200
Any	*	*	lettklinker*	*	*	200
Any	*	*	*sink*	*	*	200
Window	*	*	*	*	*	300
Door	*	*	*	*	*	300
Stair	*	*	*	*	*	300
Railing	*	*	*	*	*	300

Vedlegg E – Beregning av materialmengder kompositter RIB-modell



	RIB-Modell			
	06_18	10_18	02_19	04_19
Antall store (stk):	Ingen	87	92	92
Antall små (stk):	Ingen	5	7	7

Volum av materiale per objekt/Egcobox

Isolasjon:

Stor:

H = 0,2 m

B = 0,08 m

L =0,95 m

$V_{isolasjon} = 0{,}0152\ m^3$

Liten:

H = 0,2 m

B = 0,08 m

L = 0,5 m

$V_{isolasjon} = 0{,}008\ m^3$

Stål:

$V_{stål} = V_{total} - V_{isolasjon}$

Stor:

$V_{stål} = 0{,}019071\ m^3 - 0{,}0152\ m^3 = 0{,}003871\ m^3$

Liten:

$V_{stål} = 0{,}009628\ m^3 - 0{,}008\ m^3 = 0{,}001628\ m^3$

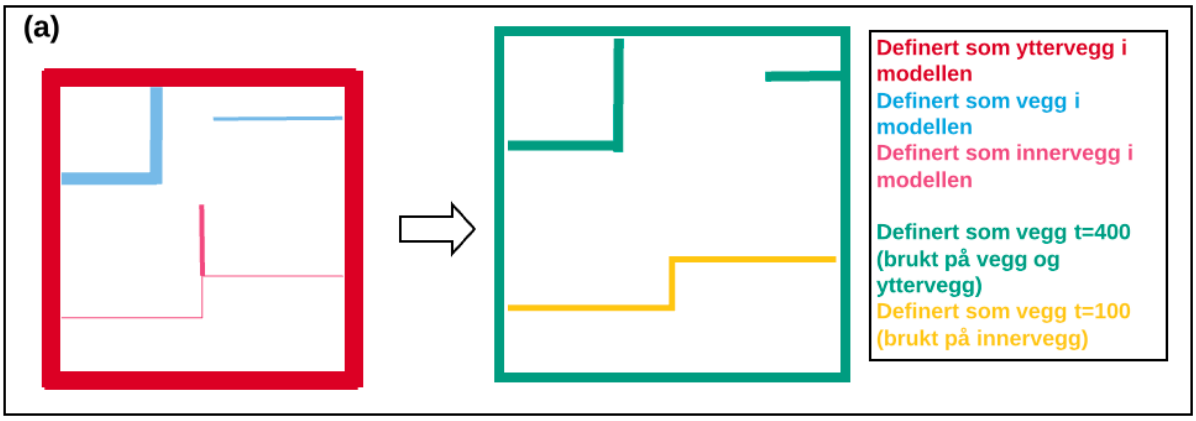
Vedlegg F - Materialmengder kompositter ARK-modell

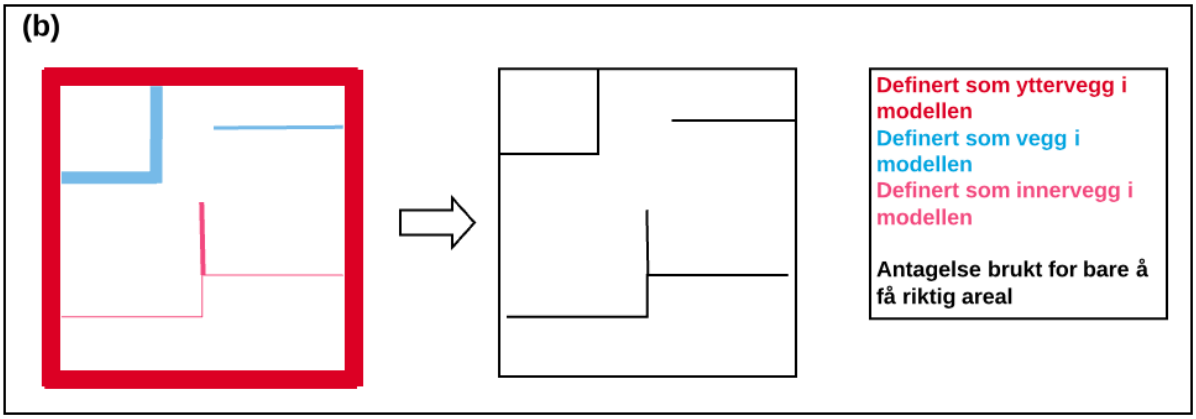
For å beregne mengder stål og tre er følgende tabell fra One Click LCA kundeservice benyttet:

Material	Constituents of the entire structure	Share of material of total structure %	Kg of material per m2	m3/m2	liters/m2	m2/l	Reference
Mortar in 130 mm thick brick wall	Brick, mortar	40	X				
Brick and mortar in brick wall	Brick, mortar	89.35% / 10.65%	90.44 / 10.78				
Steel studs in light wall, 100 mm	studs		1,73				ClarkDietrich Unitech
Steel studs in light wall, 80 mm	studs		1,44				ClarkDietrich Unitech
Wood studs in light wall, 100 mm			6,37				Weight of walls and partitons
Wood studs in external wall			10,25				Weight of walls and partitons
Steel studs in external wall	studs		8,3				ClarkDietrich Unitech
Roof trusses of wood	per m2 area of truss (2.2psf)		10,74				Weight of walls and partitons
Roof trusses of steel	per m2 area of truss (1.3 psf)		6,3				Weight of walls and partitons
External plastering & plaster net	glassfiber mesh/plasters	1.25% / 98.75	0.14 / 11.71				ITB Poland
Paint per m2 of wall	paint	100%			0,1015	9,85	EPD Norge
Wooden windows	wood/glass	27% / 61%	9.5 / 21				EPD Norge
Metal windows	metal / glass	26% / 53%	12.3 / 27.5				IBU
PVC windows	PVC / glass	26% / 58%	8.7 / 18.7				IBU

Vedlegg G – Forklaring ulike veggmengder fra ARK-modell

Figurene viser ulikhetene i de to metodene forklart med et eksempel av ulike vegger sett ovenfra. Figur (a) viser tilfellet der mengdene er trukket ut i kubikkmeter, mens Figur (b) viser mengdene tatt ut i kvadratmeter.

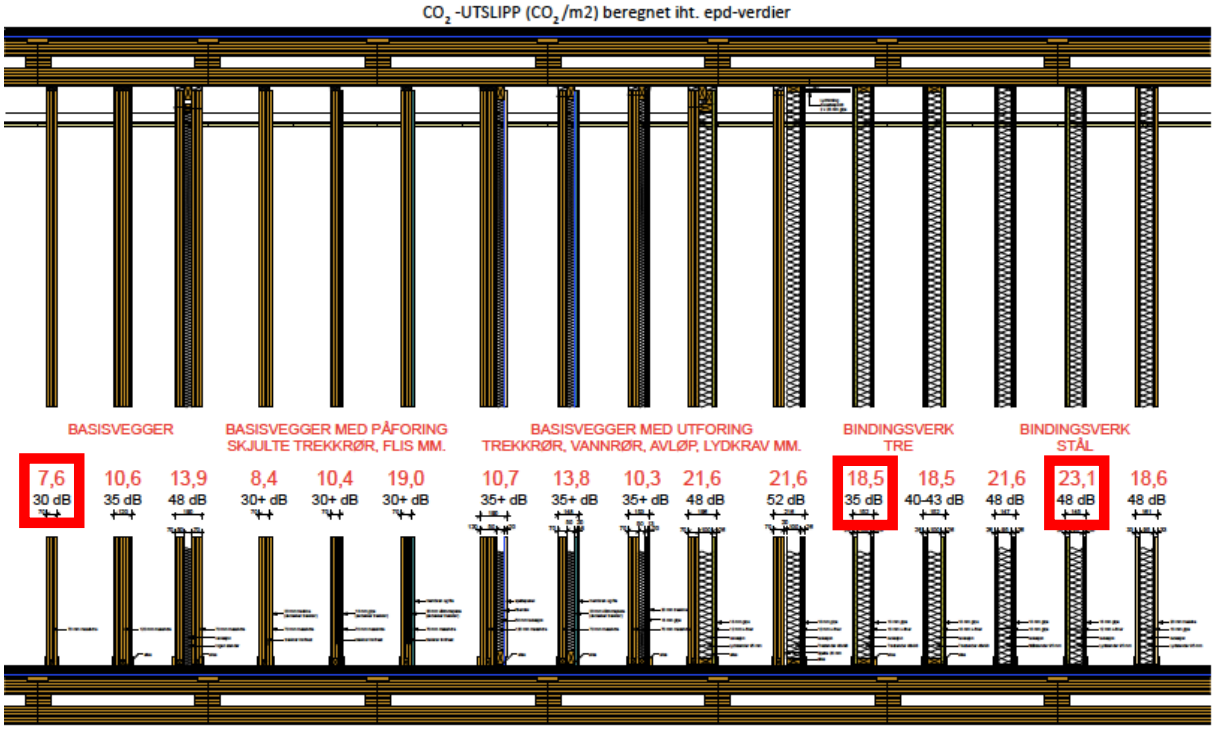




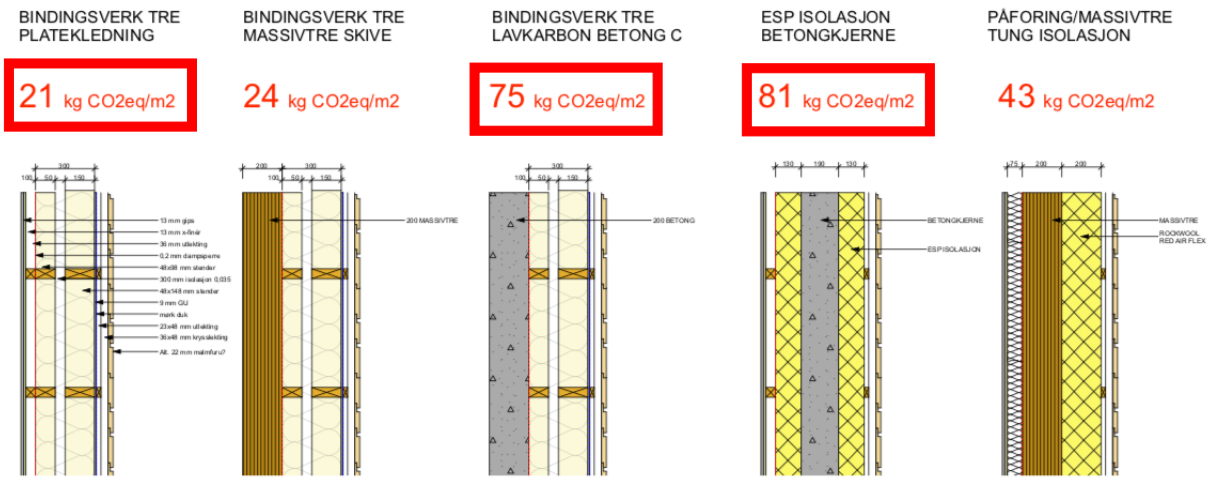
Vedlegg H – Bakgrunnen for valg av udefinerte materialer

Størrelse og kvalitet på bildene kan gjøre det vanskelig å se detaljer. For bedre innsikt se originalbildene i Solem (2017).

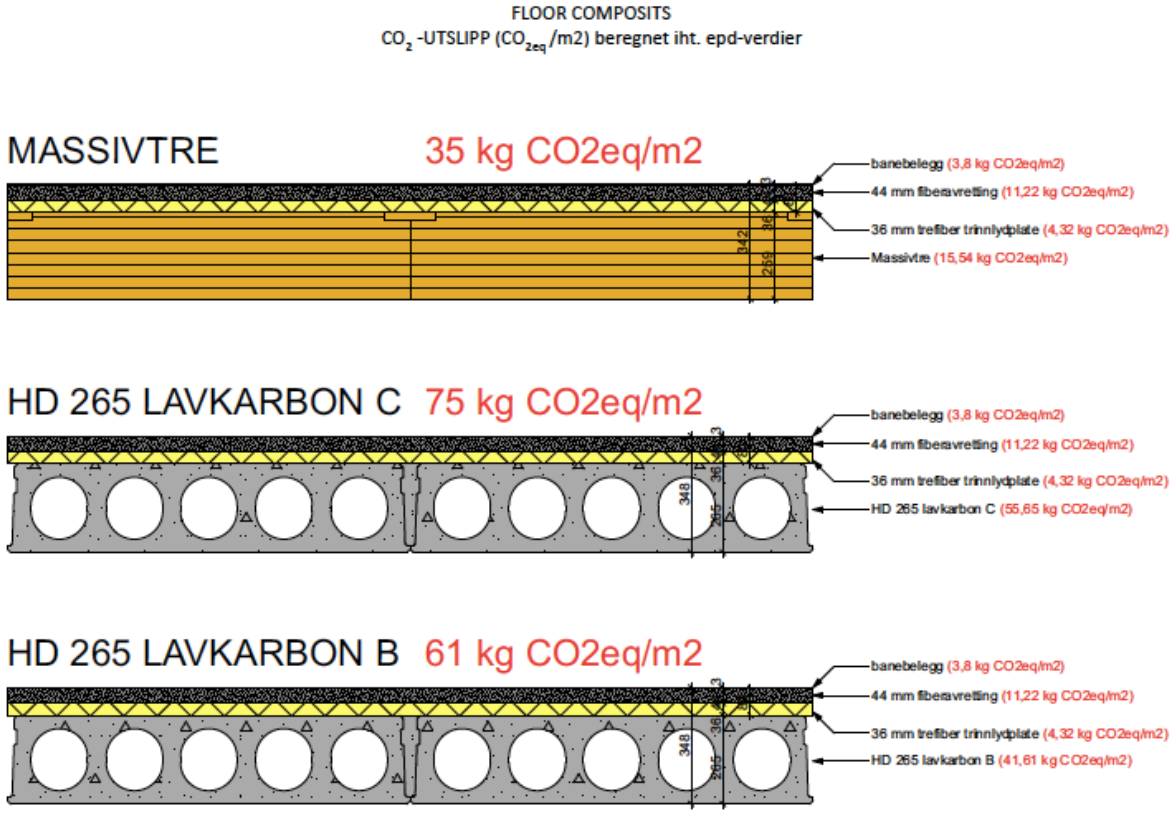
H1 – «Innervegg»



H2 – «Yttervegg» og «vegg»

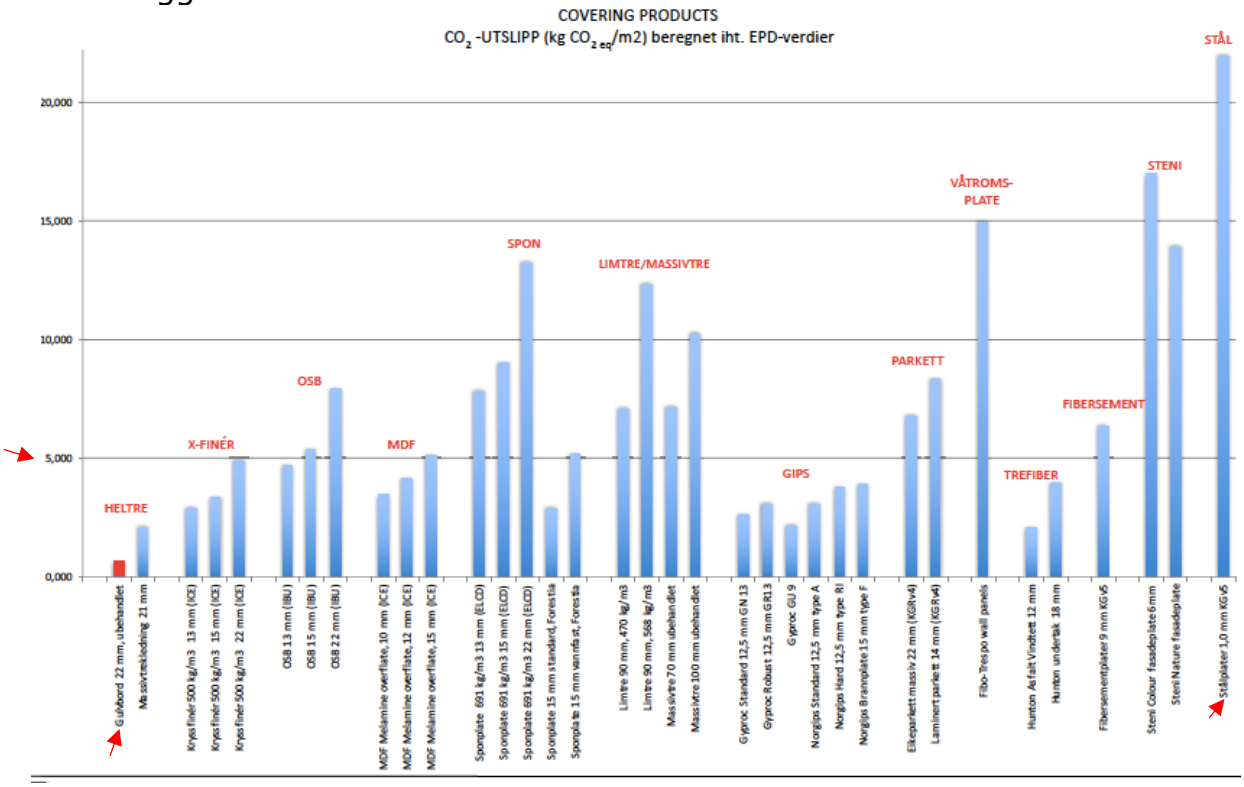


H3 – «dekke»

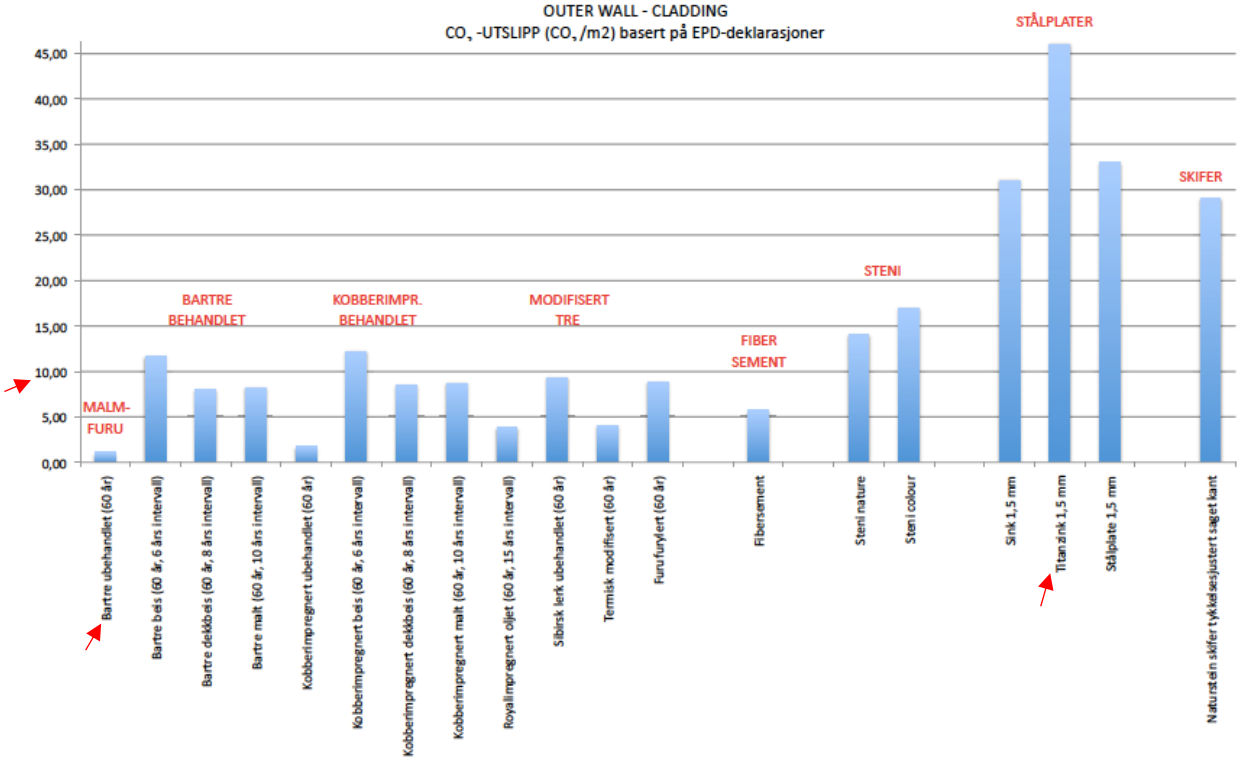


H4 – «platekledning»

Innervegg:

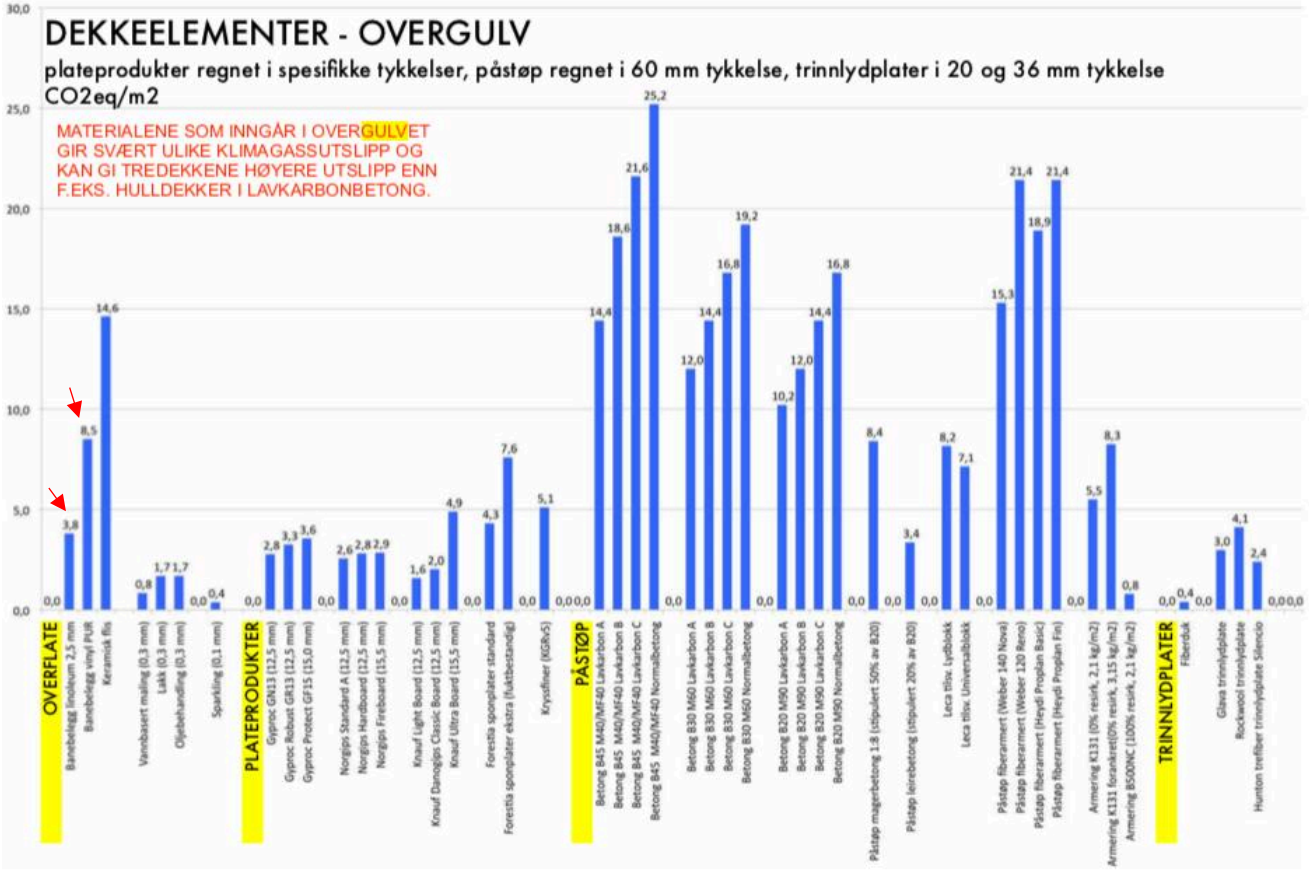


Yttervegg:



H5 – «gulvbelegg»

Vinyl og Linoleum:



Teppegulv:

Alternativer for teppegulv	**Utslippsfaktor gCO_2eq/m^2]**	**Deklarasjonsnummer**
Forbo flooring systems Tessera Clarity	18,1	4788294459.104.1
Forbo flooring systems Westbound N9000 carpet tile	25,0	12CA64879.116.1
Desso BV, tufted carpet tiles, Pile material 800-900 g/m2 polyamide 6 with 0% recycled content and EcoBase backing	12,7	EPD-DES-20160158-B1-DE
Desso BV, tufted carpet tiles, Pile material 800-900 g/m^2 polyamide 6 with 100% recycled content and EcoBase backing	7,45	EPD-DES-20160159-B1-DE
EcoFlex ICT Modular Carpet Tiles	12,7	4787316173.106.1
EcoFlex NXT Gold Modular Carpet Tiles EPD	13,8	4787316173.101.1

Vedlegg I – Beregninger og resultater RIB-modell

I1 – Fullstendige beregninger RIB-modell 06_18

	Project name		Indicator name					
	Nærbyen RIB	06_18	Life-cycle assessment, EN-15978					
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslipps-faktor	Enhet	Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	21,95	m3	320,00	kgCO2e/m3	7024	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B45 (var: lavkarbonklass C), C40/50 (5800/7300 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (400kg/m3)	113,3	m3	302,39	kgCO2e/m3	34255,23	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	155,7	m3	230,90	kgCO2e/m3	35956,42	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	0,15	m3	5341,87	kgCO2e/m3	801,28	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,22	m3	22741,14	kgCO2e/m3	5003,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,24	m3	22154,79	kgCO2e/m3	5317,15	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	1,42	m3	5450,85	kgCO2e/m3	7740,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	2,78	m3	57,87	kgCO2e/m3	160,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	8,33	m3	230,90	kgCO2e/m3	1923,43	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	9,19	m3	57,89	kgCO2e/m3	532,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	23,39	m3	230,90	kgCO2e/m3	5400,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	24,53	m3	230,90	kgCO2e/m3	5664,08	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	60,96	m3	320,00	kgCO2e/m3	19507,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betongstein og murverk (Asak)	134,6	m3	237,12	kgCO2e/m3	31913,98	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	EPD Asak Miljøstein Belegningsstein og mur i betong,
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	250,3	m3	230,90	kgCO2e/m3	57783,81	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	451,9	m3	230,90	kgCO2e/m3	104341,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	608,3	m3	57,89	kgCO2e/m3	35216,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Hulldekker, generisk, B30, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m3), incl. reinforcement	617,7	m3	152,92	kgCO2e/m3	94456,22	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1798	m3	230,90	kgCO2e/m3	415186,77	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	1820	m3	320,00	kgCO2e/m3	582364,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	3051	m3	230,90	kgCO2e/m3	704475,26	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	0,06	m3	104,67	kgCO2e/m3	6,28	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	3	m3	3533,60	kgCO2e/m3	10600,81	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	5,66	m3	22435,22	kgCO2e/m3	126983,33	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	36,2	m3	230,90	kgCO2e/m3	8358,74	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	56,3	m3	320,00	kgCO2e/m3	18016	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	442,9	m3	320,00	kgCO2e/m3	141731,2	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1805	m3	230,90	kgCO2e/m3	416833,12	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
			Sum			2877553,4		

I2 – Fullstendige beregninger RIB-modell 10_18

	Project name		Indicator name					
	Nærbyen RIB nyest	10_18	Life-cycle assessment, EN-15978					
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslipps-faktor		Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	0,34	m3	3584,65	kgco2e/m3	1218,78	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, steinull/mineralull, myk, 22...35 kg/m3 (Rockwool)	1,36	m3	29,51	kgco2e/m3	40,13	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	ROCKWOOL isolering, AS ROCKWOOL
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	33,11	m3	230,90	kgco2e/m3	7645,24	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	99,15	m3	230,90	kgco2e/m3	22894,16	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	209,97	m3	320,00	kgco2e/m3	67190,4	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Stålplater, generisk, 90% recycled content (typical)	0,48	m3	8391,02	kgco2e/m3	4027,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	0,58	m3	230,50	kgco2e/m3	133,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,72	m3	22341,74	kgco2e/m3	16086,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	1,14	m3	22435,22	kgco2e/m3	25576,15	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	2,77	m3	57,90	kgco2e/m3	160,37	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	3,02	m3	230,90	kgco2e/m3	697,33	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	7,06	m3	320,00	kgco2e/m3	2259,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	9,19	m3	57,89	kgco2e/m3	532,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	9,71	m3	320,00	kgco2e/m3	3107,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	15,79	m3	57,89	kgco2e/m3	914,16	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	35,64	m3	320,00	kgco2e/m3	11404,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	383,51	m3	230,90	kgco2e/m3	88554,12	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	507,17	m3	320,00	kgco2e/m3	162294,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	543,55	m3	57,89	kgco2e/m3	31468,68	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	553,19	m3	230,90	kgco2e/m3	127733,97	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	1290,84	m3	320,00	kgco2e/m3	413068,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2437,46	m3	230,90	kgco2e/m3	562820,07	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	2584,03	m3	320,00	kgco2e/m3	826889,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	0,06	m3	104,67	kgco2e/m3	6,28	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	6,2	m3	22435,22	kgco2e/m3	139098,35	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	7,12	m3	3533,60	kgco2e/m3	25159,25	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	45	m3	320,00	kgco2e/m3	14400	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	61,14	m3	230,90	kgco2e/m3	14117,49	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	556,9	m3	320,00	kgco2e/m3	178208	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1675,38	m3	230,90	kgco2e/m3	386852,5	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
			Sum			3134558,9		

I3 – Fullstendige beregninger RIB-modell 02_19

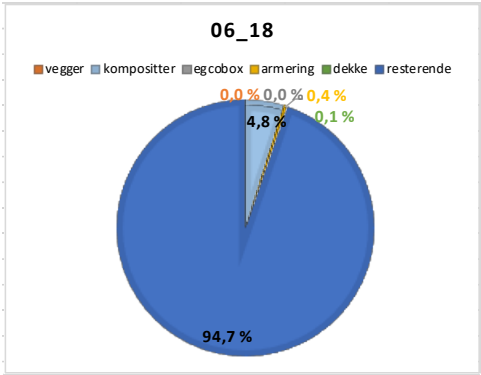
	Project name		Indicator name					
	Nærbyen RIB	02_19	Life-cycle assessment, EN-15978					
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslipps-faktor	Enhet	Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	0,37	m3	3509,73	kgCO2e/m3	1298,6	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, steinull/mineralull, myk, 22...35 kg/m3 (Rockwool)	1,45	m3	29,54	kgCO2e/m3	42,84	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	ROCKWOOL isolering, AS ROCKWOOL
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	5,25	m3	230,90	kgCO2e/m3	1212,25	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	14,4	m3	230,90	kgCO2e/m3	3325,02	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	112,41	m3	230,90	kgCO2e/m3	25955,96	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	215,66	m3	320,00	kgCO2e/m3	69011,2	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	0,48	m3	5450,85	kgCO2e/m3	2616,41	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	0,58	m3	230,50	kgCO2e/m3	133,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,87	m3	22409,43	kgCO2e/m3	19496,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	1,16	m3	22435,22	kgCO2e/m3	26024,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	3,36	m3	230,90	kgCO2e/m3	775,84	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	7,06	m3	320,00	kgCO2e/m3	2259,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	7,46	m3	230,90	kgCO2e/m3	1722,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	9,71	m3	320,00	kgCO2e/m3	3107,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	15,85	m3	57,89	kgCO2e/m3	917,63	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	16,09	m3	57,89	kgCO2e/m3	931,53	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	35,74	m3	320,00	kgCO2e/m3	11436,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	148,96	m3	112,12	kgCO2e/m3	16701,58	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	347,25	m3	230,90	kgCO2e/m3	80181,53	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	347,75	m3	57,89	kgCO2e/m3	20132,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	480,07	m3	320,00	kgCO2e/m3	153622,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	559,22	m3	230,90	kgCO2e/m3	129126,32	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	1345,6	m3	320,00	kgCO2e/m3	430588,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2526,6	m3	230,90	kgCO2e/m3	583405,19	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	2528,9	m3	320,00	kgCO2e/m3	809235,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	0,03	m3	123,33	kgCO2e/m3	3,7	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	6,56	m3	22435,22	kgCO2e/m3	147175,03	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	7,54	m3	3533,60	kgCO2e/m3	26643,37	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	45,92	m3	320,00	kgCO2e/m3	14694,4	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	60,03	m3	230,90	kgCO2e/m3	13861,19	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	562,15	m3	320,00	kgCO2e/m3	179888	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1695,8	m3	230,90	kgCO2e/m3	391562,95	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
			Sum			3167090,3		

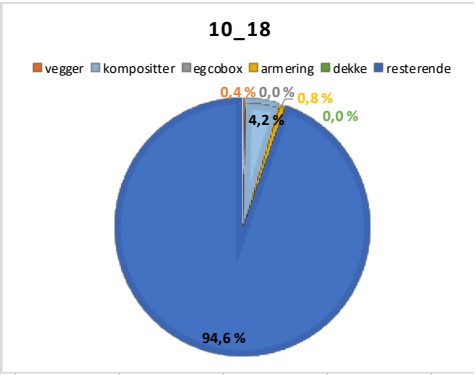
I4 – Fullstendige beregninger RIB-modell 04_19

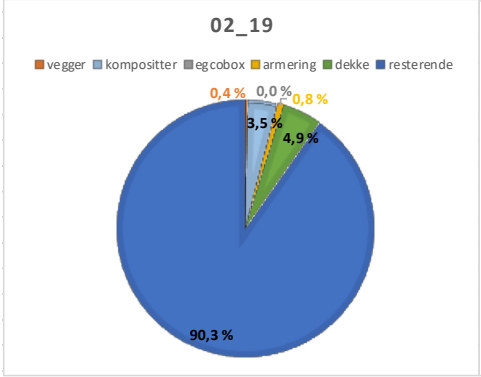
	Project name		Indicator name						
	Nærbyen RIB	04_19	Life-cycle assessment, EN-15978						
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	utslipps-faktor	Enhet	Klimagass-utslipp kgCO2e	Bygningsdeler	Datakilde	
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	0,37	m3	3509,73	kgCO2e/m3	1298,6	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	One Click LCA	
A1-A3	Isolasjon, steinull/mineralull, myk, 22...35 kg/m3 (Rockwool)	1,45	m3	29,54	kgCO2e/m3	42,84	Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	ROCKWOOL isolering, AS ROCKWOOL	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	7,69	m3	230,90	kgCO2e/m3	1775,65	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	145,5	m3	230,90	kgCO2e/m3	33591,96	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	190,4	m3	320,00	kgCO2e/m3	60934,4	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	0,48	m3	5450,85	kgCO2e/m3	2616,41	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	0,58	m3	230,50	kgCO2e/m3	133,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,9	m3	22410,29	kgCO2e/m3	20169,26	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	1,16	m3	22435,22	kgCO2e/m3	26024,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	3,36	m3	320,00	kgCO2e/m3	1075,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	7,06	m3	320,00	kgCO2e/m3	2259,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	9,96	m3	320,00	kgCO2e/m3	3187,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	11,74	m3	230,90	kgCO2e/m3	2710,82	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	16,09	m3	57,89	kgCO2e/m3	931,53	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	23,86	m3	230,90	kgCO2e/m3	5509,38	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	99,67	m3	57,89	kgCO2e/m3	5770,37	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK	
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	171,2	m3	112,12	kgCO2e/m3	19189,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS	
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	250,5	m3	57,89	kgCO2e/m3	14504,95	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	357,1	m3	230,90	kgCO2e/m3	82444,39	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	499	m3	320,00	kgCO2e/m3	159692,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	556,5	m3	230,90	kgCO2e/m3	128507,5	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	1353	m3	320,00	kgCO2e/m3	432870,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	2505	m3	320,00	kgCO2e/m3	801472	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2608	m3	230,90	kgCO2e/m3	602182,33	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA	
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	0,03	m3	123,33	kgCO2e/m3	3,7	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS	
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	6,54	m3	22435,22	kgCO2e/m3	146726,32	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA	
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk, 97% recycled content (typical)	7,98	m3	3533,60	kgCO2e/m3	28198,15	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	46,79	m3	320,00	kgCO2e/m3	14972,8	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	60,26	m3	230,90	kgCO2e/m3	13914,3	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA	
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	580	m3	320,00	kgCO2e/m3	185609,6	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong	
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1701	m3	230,90	kgCO2e/m3	392770,58	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA	
			Sum			3191090,73			

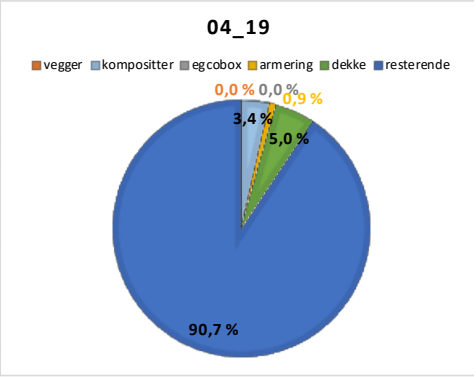
I5 – Grafer for klimagassutslipp som viser hvor mye som måtte legges inn manuelt

	vegger	kompositter	egcobox	armering	dekke	resterende	Totalt
06_18	0	139557,26	0	10600,81	2084,32	2725311,03	2877553
10_18	12246,4	131427,6	1258,92	25159,25	160,37	2964306,38	3134559
02_19	13198,06816	112342,02	1341,44	26643,37	154553,93	2859011,48	3167090
04_19	0	108229,09	1341,44	28198,15	159692,8	2893629,24	3191091









Vedlegg J – Beregninger og resultater ARK-modell

J1 – beregninger av ARK-modell fra 06_18 i One Click LCA

	Project name		Indicator name					
	ARK hele	06_18	Life-cycle assessment, EN-15978					
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslippsfaktor	Enhet	Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Akustiskte himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	0,62	m3	74,00	kgCO2e/m3	45,88	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	23,18	m3	320,00	kgCO2e/m3	7417,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	29,24	m3	57,89	kgCO2e/m3	1692,84	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	44,7	m3	320,00	kgCO2e/m3	14304	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	178,65	m3	320,00	kgCO2e/m3	57168	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	191,13	m3	320,00	kgCO2e/m3	61161,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Gipsplate, gulvplate, 12.5 mm (Norgips)	236,24	m3	248,00	kgCO2e/m3	58587,52	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Norgips Hardboard/Hard type IR and Norgips Floorboard/Gulv type DIR, Norgips Norge AS
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	249,81	m3	320,00	kgCO2e/m3	79939,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	252,77	m3	57,89	kgCO2e/m3	14634,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	440,6	m3	21,06	kgCO2e/m3	9277,78	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	508,69	m3	342,00	kgCO2e/m3	173971,98	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	715,41	m3	112,12	kgCO2e/m3	80212,64	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	799,2	m3	112,12	kgCO2e/m3	89607,27	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1650	m3	230,90	kgCO2e/m3	380989,84	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	5109	m3	230,90	kgCO2e/m3	1179690,23	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	0,69	m3	320,00	kgCO2e/m3	220,8	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	0,77	m3	22406,08	kgCO2e/m3	17252,68	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1,66	m3	230,90	kgCO2e/m3	383,3	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	71,47	m3	230,90	kgCO2e/m3	16502,73	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	0,78	m3	231,50	kgCO2e/m3	180,57	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,97	m3	230,91	kgCO2e/m3	685,79	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Perforert murblokk, lav vekt, aggregat, 88 x 300 x 500 mm, 1000 kg/m3, Leca Lettveggsblokk (Weber)	9,4	m3	118,15	kgCO2e/m3	1110,61	Utvendige vegger og fasade (23)	Leca Lettveggsblokk 88 mm, Lightweight Concrete Block, Saint-Gobain Byggevarer as
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	11,56	m3	112,12	kgCO2e/m3	1296,12	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	29,98	m3	230,90	kgCO2e/m3	6922,51	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	43,89	m3	230,90	kgCO2e/m3	10134,39	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	49,28	m3	230,90	kgCO2e/m3	11378,97	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	62,27	m3	57,89	kgCO2e/m3	3605,11	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	62,62	m3	136,00	kgCO2e/m3	8516,32	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 50/70/100/150 mm, 28 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Murplate 32 (Glava)	152,47	m3	38,70	kgCO2e/m3	5900,59	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Glava glass wool
A1-A3	(MøreRoyal)	816,09	m2	3,56	kgCO2e/m3	2903,65	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Vindsperre, 12/19/25 mm, 230 kg/m3, Hunton Vindtett (Hunton Fiber)	816,09	m2	0,50	kgCO2e/m3	405,32	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Hunton Vindtett Hunton Fiber AS
A1-A3	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1761,5	m3	230,90	kgCO2e/m3	406742,6	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	1779,8	m3	21,06	kgCO2e/m3	37477,92	Utvendige vegger og fasade (23)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	2316,7	kg	0,69	kgCO2e/kg	1608,63	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	2551,1	kg	0,69	kgCO2e/kg	1771,43	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	4799,7	m2	0,31	kgCO2e/m2	1507,11	Utvendige vegger og fasade (23)	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	5203,8	m2	1,70	kgCO2e/m2	8846,48	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	11375	kg	0,10	kgCO2e/kg	1086,98	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	75318	kg	0,10	kgCO2e/kg	7197,01	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	(Saray)	658,51	kg	4,83	kgCO2e/kg	3179,72	Vinduer og dører	EPD for Aluminium Profiles
A1-A3	Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)	986,87	m2	57,92	kgCO2e/m2	57160,7	Vinduer og dører	EPD Climate door / interior door Nordic Dørfabrikk AS
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1463,4	m2	8,02	kgCO2e/m2	11739,91	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1463,4	m2	8,02	kgCO2e/m2	11739,91	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1463,4	m2	8,02	kgCO2e/m2	11739,91	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Multifunctional steel door, product group 1, 1000mm x 2125 mm, H 3 D, H 3 OD, H 3 VM, H 3 KT, RS 55, D 65 OD, D 65 (Hörmann)	1514,7	m2	82,53	kgCO2e/m2	125001,85	Vinduer og dører	EPD Multifunktionstüren aus Stahl Hörmann KG Freisen
A1-A3	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring, 540kg/m3, Moistr. 3-5%, Accoya Scots Pine (Accsys Technologies PLC)	8780,2	kg	0,29	kgCO2e/kg	2562,86	Vinduer og dører	Accoya Wood - decking, cladding and planed timber for joinery applications,Scots Pine, NEPD-376-262-EN, Accsys Technologies PLC
			Sum			**2985462,91**		

J2 – beregninger av ARK-modell fra 10_18 i One Click LCA

	Project name		Indicator name					
	ARK hele	10_18	Life-cycle assessment, EN-15978					
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslipps-faktor	Enhet	Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	0,62	m3	74,00	kgCO2/m3	45,88	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,24	m3	230,91	kgCO2/m3	517,23	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	7,86	m3	73,87	kgCO2/m3	580,65	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	7,86	m3	73,87	kgCO2/m3	580,65	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	15,71	m3	73,87	kgCO2/m3	1160,56	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	15,71	m3	73,87	kgCO2/m3	1160,56	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Massive wooden flooring/parquet, 22-450 x 44-7000 x 8-35 mm, 11.71 kg/m2 (Verband der Deutschen Parkettindustrie)	15,71	m3	487,20	kgCO2/m3	7653,99	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Oekobau.dat 2017-I, EPD Kreisförmige, quadratische und rechteckige Stahlbauhohlprofile Valiourec Deutschland GmbH
A1-A3	Sponplater, P2 / P4, Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Standard (Arbor)	15,71	m3	221,95	kgCO2/m3	3486,9	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	EPD Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Fuktbestandig Arbor-Hattfjelldal AS
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	17,63	m3	43,00	kgCO2/m3	758,09	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	23,18	m3	320,00	kgCO2/m3	7417,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	29,16	m3	57,89	kgCO2/m3	1688,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 20 mm, 116 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Trinnlydplate (Glava)	31,43	m3	88,15	kgCO2/m3	2770,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	EPD Glava glass wool
A1-A3	Sponplater, P2 / P4, Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Standard (Arbor)	31,43	m3	221,95	kgCO2/m3	6976,02	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	EPD Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Fuktbestandig Arbor-Hattfjelldal AS
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	44,7	m3	320,00	kgCO2/m3	14304	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	54,99	m3	21,06	kgCO2/m3	1157,93	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	62,85	m3	342,00	kgCO2/m3	21494,7	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	178,5	m3	320,00	kgCO2/m3	57116,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Gipsplate, gulvplate, 12.5 mm (Norgips)	243,2	m3	248,00	kgCO2/m3	60313,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Norgips Hardboard/Hard type IR and Norgips Floorboard/Gulv type DIR, Norgips Norge AS
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	245,6	m3	320,00	kgCO2/m3	78582,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	252,8	m3	57,89	kgCO2/m3	14635,79	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	416,1	m3	320,00	kgCO2/m3	133158,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	441,3	m3	21,06	kgCO2/m3	9291,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	491,6	m3	112,12	kgCO2/m3	55122,15	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Bredr. Sunde AS
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	508,6	m3	342,00	kgCO2/m3	173944,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	518,5	m3	21,06	kgCO2/m3	10918,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	565,7	kg	0,10		54,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	715,2	m3	112,12	kgCO2/m3	80187,97	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Bredr. Sunde AS
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	785,6	m2	0,31	kgCO2/m2	246,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1650	m3	230,90	kgCO2/m3	380904,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	4410	m3	230,90	kgCO2/m3	1018247	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	One Click LCA
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	16876	kg	0,10		1612,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 2	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	0,62	m3	########	kgCO2/m3	13977,14	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	0,69	m3	320,00	kgCO2/m3	220,8	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1,86	m3	230,90	kgCO2/m3	429,48	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Glulambjelker og søyler, 430 kg/m3 (Setra)	4,24	m3	23,25	kgCO2/m3	98,56	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	EPD Glulam beams and pillars
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	87,61	m3	230,90	kgCO2/m3	20229,53	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Aluminum profile for windows and doors, 2600 kg/m3, Al Profile (Saray)	654,6	kg	4,83	kgCO2/kg	3160,93	Vinduer og dører	EPD for Aluminium Profiles
A1-A3	Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)	958,3	m2	57,92	kgCO2/m2	55507,05	Vinduer og dører	EPD Climate door / interior door Nordic Dørfabrikk AS
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1455	m2	8,02	kgCO2/m2	11670,44	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1455	m2	8,02	kgCO2/m2	11670,44	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1455	m2	8,02	kgCO2/m2	11670,44	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Multifunctional steel door, product group 1, 1000mm x 2125 mm, H 3 D, H 3 OD, H 3 VM, H 3 KT, RS 55, D 65 OD, D 65 (Hörmann)	1813	m2	82,53	kgCO2/m2	149602,3	Vinduer og dører	EPD Multifunktionstüren aus Stahl Hörmann KG Freisen
A1-A3	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring, 540kg/m3, Moistr. 3-5%, Accoya Scots Pine (Accsys Technologies PLC)	8728	kg	0,29	kgCO2/kg	2547,69	Vinduer og dører	Accoya Wood - decking, cladding and planed timber for joinery applications,Scots Pine, NEPD-376-262-EN, Accsys Technologies PLC
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	0,78	m3	231,50	kgCO2/m3	180,57	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Kryssfiner fra bøk, generisk, 4 - 50 mm, 620 kg/m3	1,07	m3	51,96	kgCO2/m3	55,6	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,28	m3	230,90	kgCO2/m3	526,46	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,35	m3	230,91	kgCO2/m3	542,63	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	3,02	m3	230,90	kgCO2/m3	697,33	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Perforert murblokk, lav vekt, aggregat, 88 x 300 x 500 mm, 1000 kg/m3, Leca Lettveggsblokk (Weber)	9,4	m3	118,15	kgCO2/m3	1110,61	Utvendige vegger og fasade (23)	Leca Lettveggsblokk 88 mm, Lightweight Concrete Block, Saint-Gobain Byggevarer as
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	11,12	m3	230,90	kgCO2/m3	2567,66	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	11,56	m3	112,12	kgCO2/m3	1296,12	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Bredr. Sunde AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	16,09	m3	230,90	kgCO2/m3	3715,25	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	19,02	m3	230,90	kgCO2/m3	4391,8	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	40,12	m3	230,90	kgCO2/m3	9263,88	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	44,61	m3	230,90	kgCO2/m3	10300,64	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	52,97	m3	230,90	kgCO2/m3	12231	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	77,07	m3	136,00	kgCO2/m3	10481,52	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	81,92	m3	57,89	kgCO2/m3	4742,74	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Bitumenpolymer membrantekking, 1-lags, mekanisk festet (Isola)	106,7	m2	2,99	kgCO2/m3	318,85	Utvendige vegger og fasade (23)	Isola Mestertekk, Isola AS
A1-A3	Tre til utvendig bruk, høvlet bartre, kobberimpregnert, pigmentert (MøreRoyal)	106,7	m2	3,56	kgCO2/m2	379,78	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 50/70/100/150 mm, 28 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Murplate 32 (Glava)	152,6	m3	38,70	kgCO2/m3	5906,01	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Glava glass wool
A1-A3	Tre til utvendig bruk, høvlet bartre, kobberimpregnert, pigmentert (MøreRoyal)	827,4	m2	3,56	kgCO2/m2	2943,78	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Vindsperre, 12/19/25 mm, 230 kg/m3, Hunton Vindtett (Hunton Fiber)	934,1	m2	0,50	kgCO2/m2	463,94	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Hunton Vindtett Hunton Fiber AS
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	1071	kg	0,69	kgCO2/kg	744,02	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	1803	m3	21,06	kgCO2/m3	37961,61	Utvendige vegger og fasade (23)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1812	m3	230,90	kgCO2/m3	418479,5	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	2321	kg	0,69	kgCO2/kg	1611,35	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	5161	m2	0,31	kgCO2/m2	1620,48	Utvendige vegger og fasade (23)	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	5862	m2	1,70	kgCO2/m2	9965,42	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	11483	kg	0,10	kgCO2/kg	1097,3	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	80101	kg	0,10	kgCO2/kg	7654,11	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
			Sum			2978125		

J3 – beregninger av ARK-modell fra 02_19 i One Click LCA

	Project name		Indicator name				
	ARK hele	02 19	Life-cycle assessment, EN-15978				
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslipps-faktor	Enhet	Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,38	m3	22140	kgCO2e/m3	8413,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	0,62	m3	74	kgCO2e/m3	45,88	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	1,14	m3	42,8509	kgCO2e/m3	48,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,24	m3	230,906	kgCO2e/m3	517,23	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Massive wooden flooring/parquet, 22-450 x 44-7000 x 8-35 mm, 11.71 kg/m2 (Verband der Deutschen Parkettindustrie)	15,71	m3	487,205	kgCO2e/m3	7653,99	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Oekobau.dat 2017-I, EPD Kreisförmige, quadratische und rechteckige Stahlbauhohlprofile Vallourec Deutschland GmbH
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	17,63	m3	43	kgCO2e/m3	758,09	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	23,18	m3	320	kgCO2e/m3	7417,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	29,16	m3	57,8947	kgCO2e/m3	1688,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 20 mm, 116 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Trinnlydplate (Glava)	31,43	m3	88,1499	kgCO2e/m3	2770,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	EPD Glava glass wool
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	44,7	m3	320	kgCO2e/m3	14304	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Akustiske himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	47,14	m3	73,8738	kgCO2e/m3	3482,41	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Sponplater, P2 / P4, Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Standard (Arbor)	47,14	m3	221,954	kgCO2e/m3	10462,92	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	EPD Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Fuktbestandig Arbor-Hattfjelldal AS
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	62,85	m3	342	kgCO2e/m3	21494,7	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	180,4	m3	320	kgCO2e/m3	57728	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Gipsplate, gulvplate, 12.5 mm (Norgips)	244,2	m3	248	kgCO2e/m3	60571,52	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Norgips Hardboard/Hard type IR and Norgips Floorboard/Gulv type DIR, Norgips Norge AS
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	245,6	m3	320	kgCO2e/m3	78582,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	252,8	m3	57,8947	kgCO2e/m3	14635,79	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	416,9	m3	320	kgCO2e/m3	133395,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	441,3	m3	21,0572	kgCO2e/m3	9291,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	479,7	m3	112,121	kgCO2e/m3	53787,91	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	508,6	m3	342	kgCO2e/m3	173944,62	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	565,7	kg	0,09555		54,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	573,5	m3	21,0571	kgCO2e/m3	12076,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	723,4	m3	112,121	kgCO2e/m3	81110,73	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	785,6	m2	0,314		246,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1647	m3	230,904	kgCO2e/m3	380371,01	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	4399	m3	230,904	kgCO2e/m3	1015706,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	16876	kg	0,09556		1612,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	0,69	m3	320	kgCO2e/m3	220,8	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1,86	m3	230,903	kgCO2e/m3	429,48	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Glulambjelker og søyler, 430 kg/m3 (Setra)	4,24	m3	23,2453	kgCO2e/m3	98,56	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	EPD Glulam beams and pillars
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	9,11	m3	22435,2	kgCO2e/m3	204384,83	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	87,61	m3	230,904	kgCO2e/m3	20229,53	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Aluminum profile for windows and doors, 2600 kg/m3, Al Profile (Saray)	648,3	kg	4,82865	kgCO2e/kg	3130,17	Vinduer og dører	EPD for Aluminium Profiles
A1-A3	Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)	943	m2	57,9212	kgCO2e/m2	54616,8	Vinduer og dører	EPD Climate door / interior door Nordic Dørfabrikk AS
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1441	m2	8,02257	kgCO2e/m2	11556,92	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1441	m2	8,02257	kgCO2e/m2	11556,92	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1441	m2	8,02257	kgCO2e/m2	11556,92	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Multifunctional steel door, product group 1, 1000mm x 2125 mm, H 3 D, H 3 OD, H 3 VM, H 3 KT, RS 55, D 65 OD, D 65 (Hörmann)	1862	m2	82,5269	kgCO2e/m2	153676,65	Vinduer og dører	EPD Multifunktionstüren aus Stahl Hörmann KG Freisen
A1-A3	Terrassebord, kledning, og høvellast for tørring, 540kg/m3, Moistr. 3-5%, Accoya Scots Pine (Accsys Technologies PLC)	8643	kg	0,29189	kgCO2e/kg	2522,91	Vinduer og dører	Accoya Wood - decking, cladding and planed timber for joinery applications,Scots Pine, NEPD-376-262-EN, Accsys Technologies PLC
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	0,78	m3	231,5	kgCO2e/m3	180,57	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Kryssfiner fra bøk, generisk, 4 - 50 mm, 620 kg/m3	1,07	m3	51,9626	kgCO2e/m3	55,6	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,28	m3	230,904	kgCO2e/m3	526,46	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,35	m3	230,906	kgCO2e/m3	542,63	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	3,36	m3	230,905	kgCO2e/m3	775,84	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Perforert murblokk, lav vekt, aggregat, 88 x 300 x 500 mm, 1000 kg/m3, Leca Lettveggsblokk (Weber)	9,4	m3	118,15	kgCO2e/m3	1110,61	Utvendige vegger og fasade (23)	Leca Lettveggsblokk 88 mm, Lightweight Concrete Block, Saint-Gobain Byggevarer as
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	11,12	m3	230,905	kgCO2e/m3	2567,66	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	11,56	m3	112,121	kgCO2e/m3	1296,12	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	16,1	m3	230,904	kgCO2e/m3	3717,56	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	19,02	m3	230,904	kgCO2e/m3	4391,8	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	40,12	m3	230,904	kgCO2e/m3	9263,88	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	44,61	m3	230,904	kgCO2e/m3	10300,64	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	51,23	m3	230,904	kgCO2e/m3	11829,23	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	73,93	m3	57,8948	kgCO2e/m3	4280,16	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	76,46	m3	136,005	kgCO2e/m3	10398,97	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Bitumenpolymer membrantekking, 1-lags, mekanisk festet (EWA)	106,7	m2	3,01986	kgCO2e/m2	322,34	Utvendige vegger og fasade (23)	Single layer mechanically fastened modified bitumen roof waterproofing system, Bitumen Waterproofing Association (2014)
A1-A3	Tre til utvendig bruk, høvlet bartre, kobberimpregnert, pigmentert (MøreRoyal)	106,7	m2	3,55799	kgCO2e/m2	379,78	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 50/70/100/150 mm, 28 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Murplate 32 (Glava)	152,7	m3	38,7	kgCO2e/m3	5909,1	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Glava glass wool
A1-A3	Ceramic tiles, Italian average, 10mm, 19.9 kg/m2 (Confindustria Ceramica)	440,2	m2	1,5067	kgCO2e/m2	663,22	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Italian Ceramic Tiles
A1-A3	Tre til utvendig bruk, høvlet bartre, kobberimpregnert, pigmentert (MøreRoyal)	822,3	m2	3,558	kgCO2e/m2	2925,71	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Vindsperre, 12/19/25 mm, 230 kg/m3, Hunton Vindtett (Hunton Fiber)	929	m2	0,49667	kgCO2e/m2	461,42	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Hunton Vindtett Hunton Fiber AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1928	m3	230,904	kgCO2e/m3	445225,11	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	1969	m3	21,0571	kgCO2e/m3	41457,93	Utvendige vegger og fasade (23)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	2564	kg	0,69438	kgCO2e/kg	1780,44	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	4550	kg	0,69438	kgCO2e/kg	3159,54	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	4985	m2	0,314	kgCO2e/m2	1565,19	Utvendige vegger og fasade (23)	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	9085	m2	1,7	kgCO2e/m2	15445,01	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	11645	kg	0,09556	kgCO2e/kg	1112,77	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	78000	kg	0,09556	kgCO2e/kg	7453,35	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
	Sum					**3215252,4**		

J4 – beregninger av ARK-modell fra 04_19 i One Click LCA

	Project name		Indicator name					
	ARK hele	04_19	Life-cycle assessment, EN-15978					
Avsnitt	Ressurs	Input	Enhet	Utslipps-faktor	Enhet	Klimagass-utslipp kg CO2e	Spørsmål	Datakilde
A1-A3	Stålplater, generisk, 15% recycled content	0,38	m3	22140,03	kgCO2e/m3	8413,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Akustiskte himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	0,62	m3	74,00	kgCO2e/m3	45,88	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	1,14	m3	42,85	kgCO2e/m3	48,85	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	2,24	m3	230,91	kgCO2e/m3	517,23	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Massive wooden flooring/parquet, 22-450 x 44-7000 x 8-35 mm, 11.71 kg/m2 (Verband der Deutschen Parkettindustrie)	15,78	m3	487,21	kgCO2e/m3	7688,1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Oekobau.dat 2017-I, EPD Kreisförmige, quadratische und rechteckige Stahlbauhohlprofile Vallourec Deutschland GmbH
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	17,63	m3	43,00	kgCO2e/m3	758,09	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	23,18	m3	320,00	kgCO2e/m3	7417,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	29,16	m3	57,89	kgCO2e/m3	1688,21	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 20 mm, 116 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Trinnlydplate (Glava)	31,57	m3	88,15	kgCO2e/m3	2782,9	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	EPD Glava glass wool
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	44,7	m3	320,00	kgCO2e/m3	14304	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Akustiskte himlingsplater, 91 - 131 kg/m3, 1.7 - 9.3 kg/m2, 300x2400 mm, Rockfon (Rockwool)	47,28	m3	73,87	kgCO2e/m3	3492,76	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-340-229-EN Ceiling tiles (91-131 kg/m3), Rockwool Rockfon Norway
A1-A3	Sponplater, P2 / P4, Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Standard (Arbor)	47,28	m3	221,95	kgCO2e/m3	10493,99	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	EPD Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Fuktbestandig Arbor-Hattfjelldal AS
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	63,14	m3	342,00	kgCO2e/m3	21593,88	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	180,4	m3	320,00	kgCO2e/m3	57728	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Gipsplate, gulvplate, 12.5 mm (Norgips)	244,5	m3	248,00	kgCO2e/m3	60631,04	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Norgips Hardboard/Hard type IR and Norgips Floorboard/Gulv type DIR, Norgips Norge AS
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	245,6	m3	320,00	kgCO2e/m3	78582,4	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	252,8	m3	57,89	kgCO2e/m3	14635,79	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	416,9	m3	320,00	kgCO2e/m3	133395,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	441,3	m3	21,06	kgCO2e/m3	9291,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	479,7	m3	112,12	kgCO2e/m3	53787,91	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	565,7	kg	0,10	kgCO2e/kg	54,05	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	575,9	m3	21,06	kgCO2e/m3	12126,39	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Avrettingsmasse, sementbasert, 10-100 mm (Proplan)	583,4	m3	342,00	kgCO2e/m3	199526,22	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Avrettingsmasse, Proplan Basic og Fin, NEPD 00173N
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	725	m3	112,12	kgCO2e/m3	81290,12	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	785,6	m2	0,31	kgCO2e/kg	246,69	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1647	m3	230,90	kgCO2e/m3	380371,01	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	4413	m3	230,90	kgCO2e/m3	1018987,7	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	One Click LCA
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	16952	kg	0,10		1619,89	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, lavkarbonklass C	0,69	m3	320,00	kgCO2e/m3	220,8	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA / Norsk betongförening publikasjon 37, Lavkarbonbetong
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1,86	m3	230,90	kgCO2e/m3	429,48	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Glulambjelker og søyler, 430 kg/m3 (Setra)	4,24	m3	23,25	kgCO2e/m3	98,56	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	EPD Glulam beams and pillars
A1-A3	Strukturelle hule stålprofiler, kaldvalsede, generiske, 15 % recycled content, circular, square and rectangular profiles	9,11	m3	22435,22	kgCO2e/m3	204384,83	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	87,61	m3	230,90	kgCO2e/m3	20229,53	Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	One Click LCA
A1-A3	Aluminum profile for windows and doors, 2600 kg/m3, Al Profile (Saray)	649,8	kg	4,83	kgCO2e/kg	3137,8	Vinduer og dører	EPD for Aluminium Profiles
A1-A3	Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)	939,6	m2	57,92	kgCO2e/m2	54421,03	Vinduer og dører	EPD Climate door / interior door Nordic Dørfabrikk AS
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1444	m2	8,02	kgCO2e/m2	11585,08	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1444	m2	8,02	kgCO2e/m2	11585,08	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m2 (for 4 mm),2500 kg/m3	1444	m2	8,02	kgCO2e/m2	11585,08	Vinduer og dører	One Click LCA
A1-A3	Multifunctional steel door, product group 1, 1000mm x 2125 mm, H 3 D, H 3 OD, H 3 VM, H 3 KT, RS 55, D 65 OD, D 65 (Hörmann)	1877	m2	82,53	kgCO2e/m2	154861,73	Vinduer og dører	EPD Multifunktionstüren aus Stahl Hörmann KG Freisen
A1-A3	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring, 540kg/m3, Moistr. 3-5%, Accoya Scots Pine (Accsys Technologies PLC)	8664	kg	0,29	kgCO2e/kg	2529,06	Vinduer og dører	Accoya Wood - decking, cladding and planed timber for joinery applications,Scots Pine, NEPD-376-262-EN, Accsys Technologies PLC
A1-A3	Cement mortar, gross density: 2000 kg/m3	0,27	m3	270,15	kgCO2e/m3	72,94	Utvendige vegger og fasade (23)	Oekobau.dat 2017-I
A1-A3	Kryssfiner fra bøk, generisk, 4 - 50 mm, 620 kg/m3	1,07	m3	51,96	kgCO2e/m3	55,6	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Perforert murblokk, lav vekt, aggregat, 88 x 300 x 500 mm, 1000 kg/m3, Leca Lettveggsblokk (Weber)	9,4	m3	118,15	kgCO2e/m3	1110,61	Utvendige vegger og fasade (23)	Leca Lettveggsblokk 88 mm, Lightweight Concrete Block, Saint-Gobain Byggevarer as
A1-A3	XPS isolasjonsplate, 33 mm, 300KPa, 0.033 - 0.039 W/mK, 1185x585, Sundolitt (Sunde)	11,56	m3	112,12	kgCO2e/m3	1296,12	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-396-274-EN Sundolitt® XPS Insulation board, Brødr. Sunde AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	45,3	m3	230,90	kgCO2e/m3	10459,97	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	56,64	m3	230,90	kgCO2e/m3	13078,42	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, EPS 80 (EPS Gruppen)	73,81	m3	57,89	kgCO2e/m3	4273,21	Utvendige vegger og fasade (23)	NEPD-322-185-NO EPS-isolasjon trykkfasthet-80 rev-June-2015 GK
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	76,72	m3	136,00	kgCO2e/m3	10434,19	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	94,49	m3	230,90	kgCO2e/m3	21818,15	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Bitumenpolymer membrantekking, 1-lags, mekanisk festet (EWA)	106,7	m2	3,02	kgCO2e/m2	322,34	Utvendige vegger og fasade (23)	Single layer mechanically fastened modified bitumen roof waterproofing system, Bitumen Waterproofing Association (2014)
A1-A3	Tre til utvendig bruk, høvlet bartre, kobberimpregnert, pigmentert (MøreRoyal)	106,7	m2	3,56	kgCO2e/m2	379,78	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 50/70/100/150 mm, 28 kg/m3, Lambda=0.032 W/(m.K), Murplate 32 (Glava)	152,7	m3	38,70	kgCO2e/m3	5909,1	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Glava glass wool
A1-A3	Ceramic tiles, Italian average, 10mm, 19.9 kg/m2 (Confindustria Ceramica)	440,2	m2	1,51	kgCO2e/m2	663,22	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Italian Ceramic Tiles
A1-A3	Tre til utvendig bruk, høvlet bartre, kobberimpregnert, pigmentert (MøreRoyal)	822,8	m2	3,56	kgCO2e/m2	2927,56	Utvendige vegger og fasade (23)	MøreRoyal®, MøreTreAS
A1-A3	Vindsperre, 12/19/25 mm, 230 kg/m3, Hunton Vindtett (Hunton Fiber)	929,6	m2	0,50	kgCO2e/m2	461,68	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Hunton Vindtett Hunton Fiber AS
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300kg/m3)	1928	m3	230,90	kgCO2e/m3	445248,2	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,, 17 kg/m3 (Glava)	1988	m3	21,06	kgCO2e/m3	41856,76	Utvendige vegger og fasade (23)	Glava glass wool, NEPD 221N and 221E Rev 2
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.15 mm (Tommen Gram)	4986	m2	0,31	kgCO2e/m2	1565,76	Utvendige vegger og fasade (23)	Gram Dampsperre, Tommen Gram Folie AS (2015)
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections	7259	kg	0,69	kgCO2e/kg	5040,26	Utvendige vegger og fasade (23)	One Click LCA
A1-A3	Gipsplate, 12.5 mm, 9 kg/m2, Normal – Standard (Gyproc)	9196	m2	1,70	kgCO2e/m2	15633,69	Utvendige vegger og fasade (23)	EPD Gyproc® Normal – Standard Plasterboard Saint-Gobain Gyproc AS
A1-A3	Trelast, bartre (Treindustrien)	90089	kg	0,10	kgCO2e/kg	8608,53	Utvendige vegger og fasade (23)	Sawn dried timber of spruce or pine, Norwegian Wood Industry Federation
			Sum			3247803,2		

J5 – beregninger av utslipp for udefinerte materialer i ARK-modeller gjort manuelt

Dekke og gulvbelegg:

06_18					
	m2		min	max	med
dekke	334,95		11723,27	25121,29	20431,98
gulvbelegg	6129,98		23293,92	153249,50	52104,83

10_18					
	m2		min	max	med
dekke	323,37		11318,03	24252,91	19725,70
gulvbelegg	6123,23		23268,27	153080,75	52047,46

02_19					
	m2		min	max	med
dekke	323,32		11316,03	24248,63	19722,22
gulvbelegg	6123,23		23268,27	153080,75	52047,46

04_19					
	m2		min	max	med
dekke	323,32		11316,03	24248,63	19722,22
gulvbelegg	6123,23		23268,27	153080,75	52047,46

Vegger i m^3 og platekledning:

06_18							
	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
platekledning	149,27	14927,11	0,01				
yttervegg	78,73	7872,89			7872,89	362152,88	78728,89
innervegg	70,54	7054,22			4937,95	155192,87	35271,11
					12810,84	517345,75	**113999,99**
LOD100 vegg	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	320,59	3205,90	0,10		21479,53	74056,29	59309,15
yttervegg	545,22	1363,05	0,40		28624,05	110407,05	102228,75
vegg	164,62	411,55	0,40		8642,55	33335,55	30866,25
					58746,13	217798,89	192404,15

10_18							
	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
platekledning	133,01	13301,40	0,01				
yttervegg	76,47	7646,87			7646,87	351756,04	76468,70
innervegg	56,55	5654,53			3958,17	124399,65	28272,65
					11605,04	476155,69	**104741,35**
LOD100 vegg	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	284,70	2847,00	0,10		21637,20	65765,70	52669,50
yttervegg	413,00	1032,50	0,40		21682,50	83632,50	77437,50
vegg	163,90	409,75	0,40		8604,75	33189,75	30731,25
					51924,45	182587,95	160838,25

02_19							
	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
platekledning	155,58	15558,00	0,01				
yttervegg		7283,12			7283,12	335023,63	72831,22
innervegg		8274,88			5792,41	182047,31	41374,39
					13075,54	517070,94	**114205,61**
LOD100 vegg	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	285,48	2854,80	0,10		21696,48	65945,88	52813,80
yttervegg	287,83	719,58	0,40		15111,08	58285,58	53968,13
vegg	37,14	92,85	0,40		1949,85	7520,85	6963,75
					38757,41	131752,31	**113745,68**

04_19							
	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
platekledning	157,72	15772,00	0,01				
yttervegg		7283,12			7283,12	335023,63	72831,22
innervegg		8488,88			5942,21	186755,31	42444,39
					13225,34	521778,94	**115275,61**
LOD100 vegg	m3	m2	t (m)		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	286,19	2861,95	0,10		21750,80	66110,98	52946,02
yttervegg	292,28	730,71	0,40		15344,94	59187,64	54803,37
vegg	38,22	95,55	0,40		2006,56	7739,59	7166,29
					39102,30	133038,21	**114915,68**

Vegger i m^2:

06_18					
LOD100 vegger	m2		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	4039,21		27062,71	93305,75	74725,39
yttervegg	2124,34		44611,14	172071,54	159325,50
vegg	1146,32		24072,72	92851,92	85974,00
	7309,87		95746,57	358229,21	**320024,89**

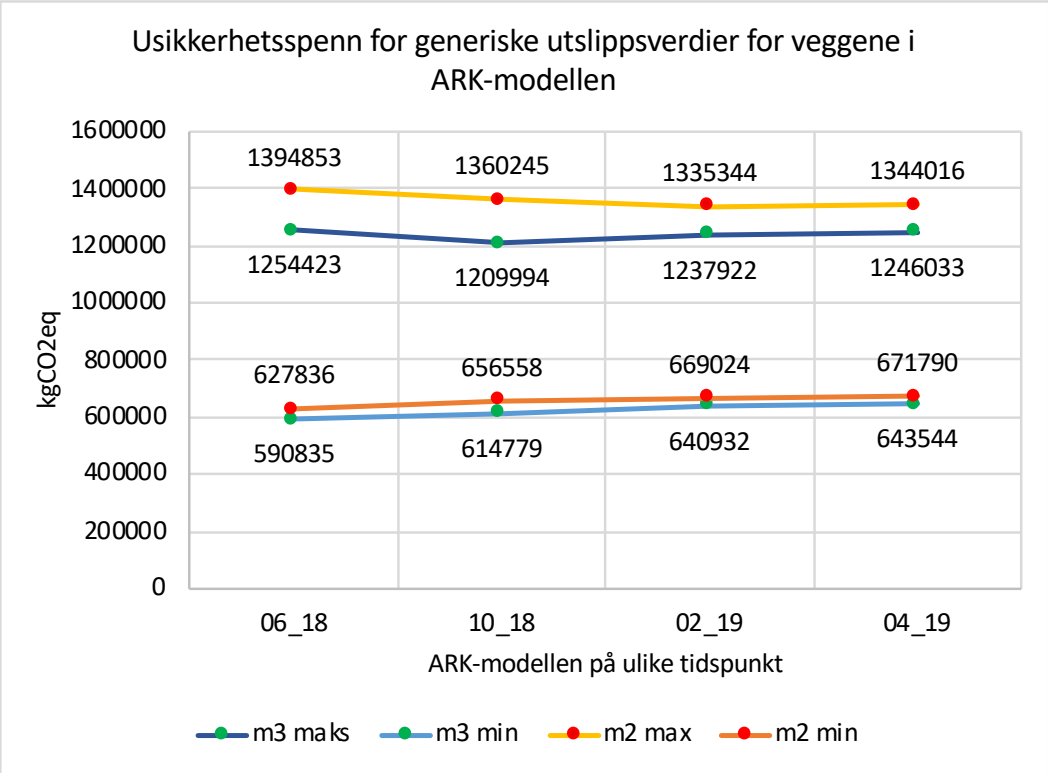
10_18					
LOD100 vegger	m2		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	4600,29		34962,20	106266,70	85105,37
yttervegg	1652,73		34707,33	133871,13	123954,75
vegg	1144,46		24033,68	92701,34	85834,58
	7397,48		93703,22	332839,17	**294894,69**

02_19					
LOD100 vegger	m2		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	4614,16		35067,62	106587,10	85361,96
yttervegg	1105,41		23213,51	89537,81	82905,38
vegg	408,02		8568,52	33050,01	30601,86
	6127,59		66849,64	229174,91	**198869,20**

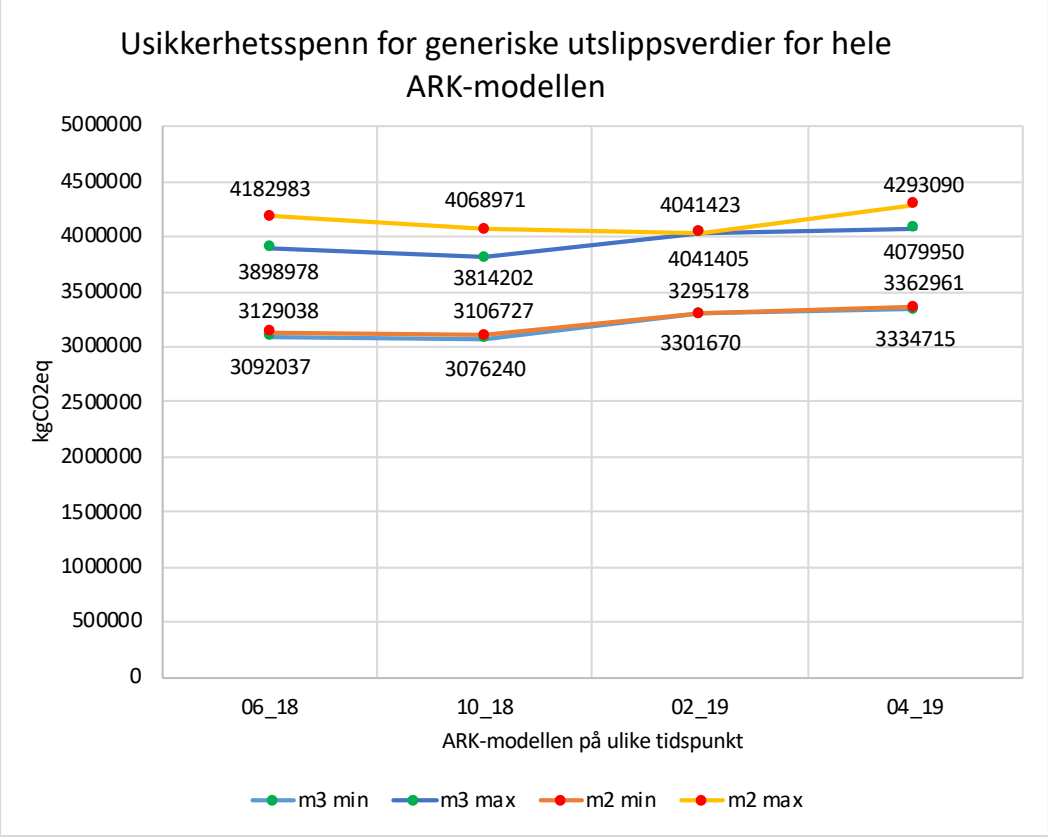
04_19					
LOD100 vegger	m2		min kgco2eq	max kgco2eq	mest sanns./med
innervegg	4626,71		35163,00	106877,00	85594,14
yttervegg	1118,13		23480,73	90568,53	83859,75
vegg	414,51		8704,71	33575,31	31088,25
	6159,35		67348,44	231020,84	**200542,14**

Vedlegg K – Usikkerhetsspenn for de generiske utslippsverdiene i ARK-modellene

For veggene:



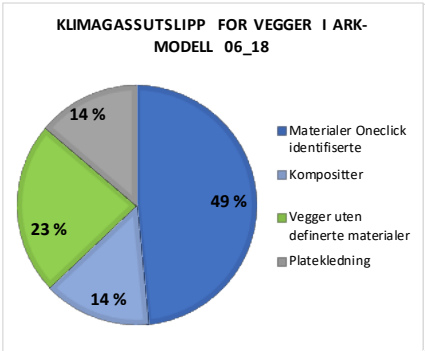
For hele modellen:

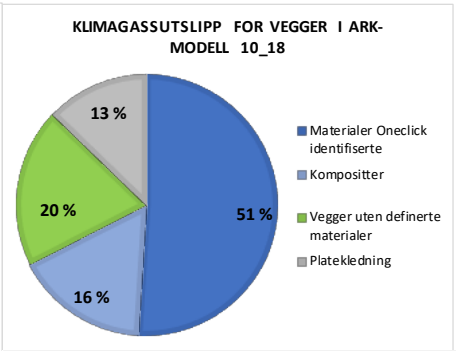


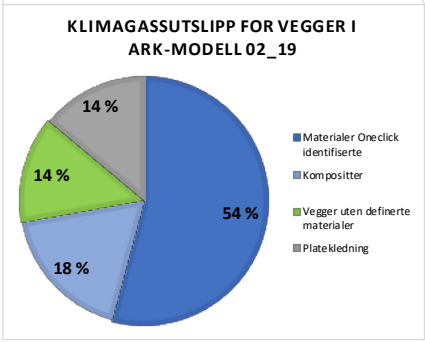
Vedlegg L – Grafer for klimagassutslipp som viser hvor mye som måtte legges inn manuelt i ARK-modeller

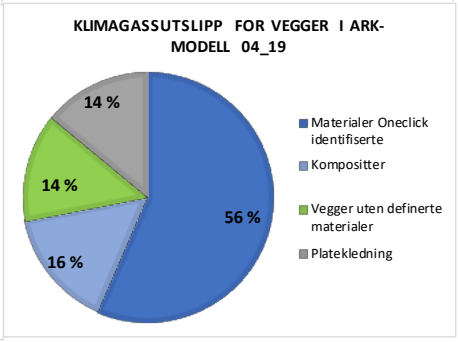
Vegger med udefinerte materialer tatt ut i m^3:

	Materialer Oneclick identifiserte	Kompositter	Vegger uten definerte materialer	Platekledning	Total
06_18	400281,91	118996,18	192404	114000	825682,23
10_18	416463,61	134786,31	160838,25	104741,35	816829,52
02_19	442726,58	146372,06	113745,675	114205,6118	817049,93
04_19	463979,58	127236,51	114916	115276	821407,38



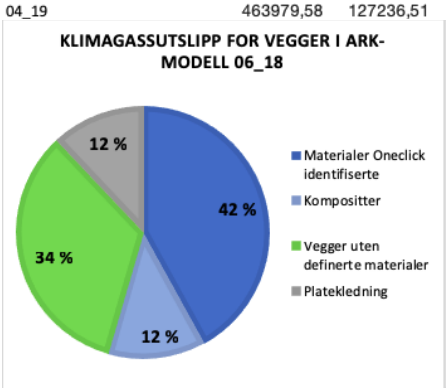


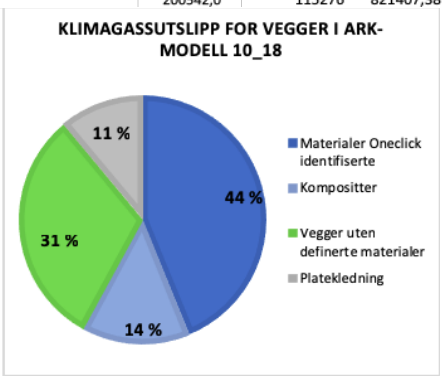


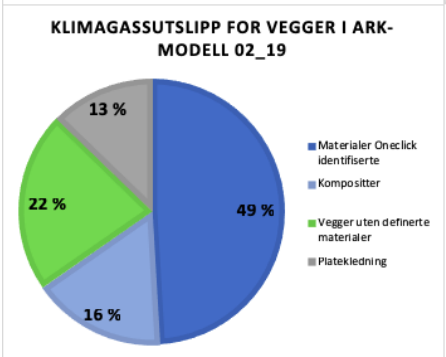


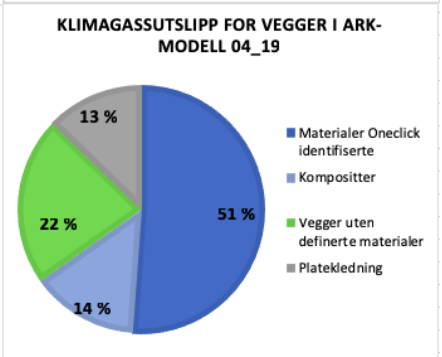
Vegger med udefinerte vegger tatt ut i m^2:

	Materialer Oneclick identifiserte	Kompositter	Vegger uten definerte materialer	Platekledning	Total
06_18	400281,91	118996,18	320025,0	114000	825682,23
10_18	416463,61	134786,31	294894,7	104741,35	816829,52
02_19	442726,58	146372,06	198869,2	114205,6118	817049,93
04_19	463979,58	127236,51	200542,0	115276	821407,38



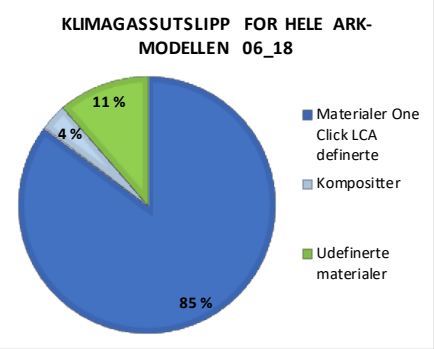


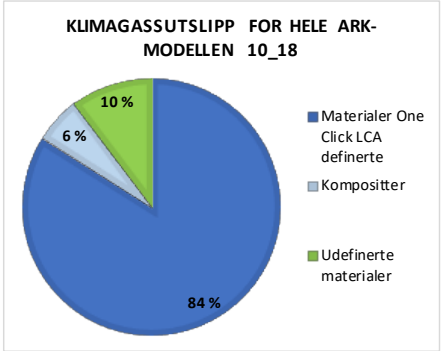


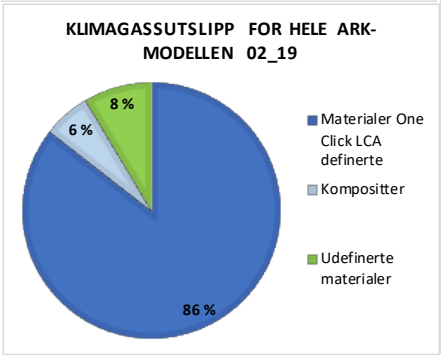


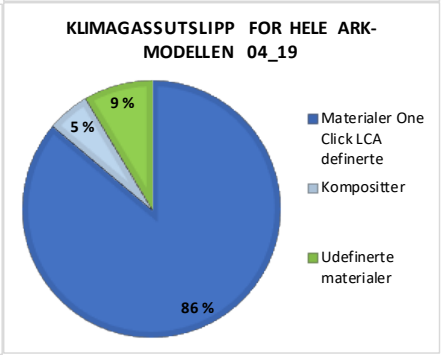
Hele modellen med udefinerte vegger tatt ut i m^3:

	Materialer One Click LCA definerte	Kompositter	Udefinerte materialer	Total
06_18	2866466,72	118996,18	378940,95	3364403,854
10_18	2782726,27	195398,75	337352,76	3315477,781
02_19	3008267,71	206984,7	299720,96	3514973,373
04_19	3059709,92	188093,25	301960,96	3549764,134



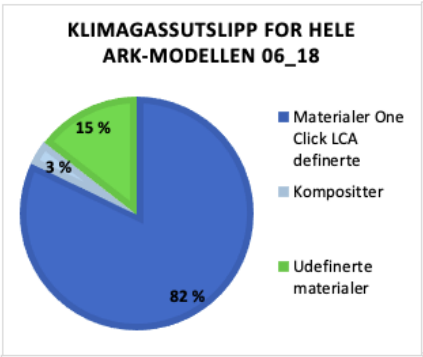


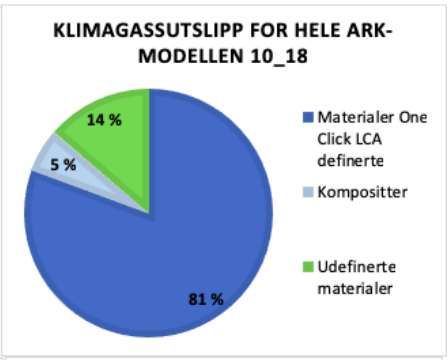


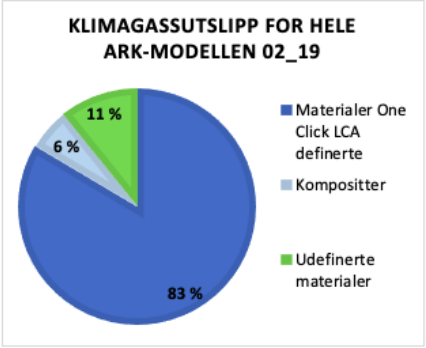


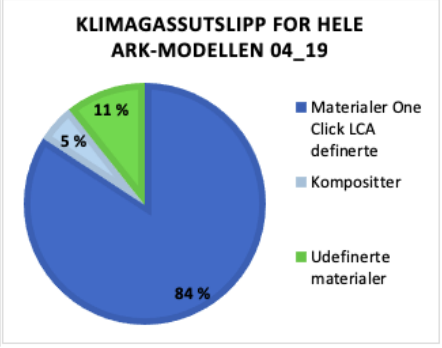
Hele modellen med udefinerte vegger tatt ut i m^2:

Modell	Materialer One Click LCA definerte	Kompositter	Udefinerte materialer	Total
06_18	2866466,72	118996,18	506561,80	3492024,704
10_18	2782726,27	195398,75	471409,21	3449534,231
02_19	3008267,71	206984,7	384844,49	3600096,898
04_19	3059709,92	188093,25	387587,29	3635390,458









NTNU

Kunnskap for en bedre verden