

Masteroppgave

Juni, 2020

Karianne Nygaard

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

Karianne Nygaard

Forbedring av klimagassberegninger i byggeprosjekter

Juni 2020



Kunnskap for en bedre verden

Forbedring av klimagassberegninger i byggeprosjekter

Karianne Nygaard

Bygg og anlegg med spesialisering innen Bygnings- og materialteknikk

Innlevert: Juni 2020

Hovedveileder: Rolf André Bohne

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for bygg - og miljøteknikk

Sammendrag

Å redusere klimagassutslippene i byggebransjen er viktig for å nå de nasjonale og internasjonale målene for å bekjempe klimaendringene. Hensikten med denne oppgaven er å vurdere hvordan klimagassberegninger for nye bygg kan forbedres. Tre forskningsspørsmål brukes til å besvare den overordnede problemstillingen:

- **Hvordan utføres klimagassberegninger i dag?**
- **Hvilke utfordringer finnes med dagens former for klimagassberegninger?**
- **Hvilke løsninger kan løse utfordringene?**

Det er utført en litteraturstudie, intervjuer og en casestudie. Intervjuene er utført med representanter fra fire rådgivende bedrifter og fire byggherreorganisasjoner. Casestudiet består av ni klimagassberegninger utført for barnehager i Norge. For å verifisere tolkningen av resultatene og rangere de største utfordringene knyttet til klimagassberegninger, ble en spørreundersøkelse sendt ut etter at resultatene fra intervjuene og casestudiet var behandlet.

Litteratursøket viste at det finnes mange ulike typer livssyklusanalyser (LCA) og at disse kan utføres med forskjellige metoder. Det kom frem at det er vanligst i byggebransjen å utføre LCA der klimagassutslipp beregnes i kg CO₂-ekvivalenter. Derfor blir denne effektkategorien fokusert på i oppgaven.

Intervjuene viste at flere og flere byggeprosjekter blir utført med klimagassberegninger, og at utførelsen har vært i utvikling de siste årene. I 2018 ble metodene for klimagassberegninger standardisert ved hjelp av en ny standard, NS3720.

Intervjuene viste at de aller fleste byggherre-organisasjonene stiller krav til at nye byggeprosjekter skal oppnå en reduksjon i klimagassutslipp i forhold til et referansebygg. Klimagassberegningene utføres ved å knytte material- og energimengder opp mot miljødata og utslippsfaktorer i et verktøy. Internettverktøyet One Click LCA er det vanligste verktøyet å bruke i Norge. Arbeidet utføres i stor grad manuelt og uten bruk av BIM-integrert LCA, der den mest vanlige automatiske prosessen er mengdeuttak fra modell ved hjelp av Solibri.

Casestudiet viste at klimagassberegninger for ni ulike barnehager ikke er sammenlignbare fordi de bruker ulike systemgrenser, formål og utslippsfaktorer. Forutsetningene som settes for klimagassberegningene har stor påvirkning på de endelige resultatene. Ulike forutsetninger medfører varierte resultater og usikkerhet. Referansebyggene er også ulikt definert. Ulikt definerte referansebygg gjør det utfordrende å forstå den faktiske klimagassreduksjonen som byggene har oppnådd i en overordnet sammenheng.

De største utfordringene for optimalisering av klimagassberegninger som er avdekket i denne oppgaven var:

1. Reduksjonskrav med ulike krav til referansebygg
2. Mye manuelt og tidskrevende arbeid,
3. Mangel på kunnskap og erfaring
4. Få iterasjoner fører til at klimagassberegningene ikke alltid blir optimalisert
5. Klimagassberegningene er ikke sammenlignbare

Opgaven beskriver hvordan nasjonale krav, økt digitalisering og automatisering kan bidra til å løse disse utfordringene. En løsning som fremheves er å etablere krav til en dynamisk grenseverdi i stedet for dagens løsning med en reduksjon i forhold til et inkonsekvent referansebygg.

Abstract

Reducing greenhouse gas (GHG) emissions in the construction industry is critical for us being able to achieve national and international goals to combat climate change. The purpose of this thesis is to consider how to improve GHG calculations for new buildings. Three research questions are defined:

- **How are GHG calculations performed today?**
- **What are the challenges with today's greenhouse gas calculations?**
- **What new solutions can solve the challenges?**

A literature study, interviews and a case study have been carried out. The interviews were conducted with representatives from 4 consulting firms and 4 construction client organizations. The case study consists of 9 GHG calculations performed for kindergartens in Norway. A survey was sent out after processing the results of the interviews and the case study, to verify the interpretation of the results as well as to rank the challenges that are the biggest ones related to GHG emissions calculations.

The literature search shows that there are many different types of life cycle analysis (LCA) and that these can be performed with different methods. In the construction industry LCA is commonly carried out calculating mainly the GHG emissions in kg CO₂ equivalents, which gives the potential for global warming. Therefore, this effect category is in focus in the thesis.

The interviews show that most construction client organizations require that new construction projects achieve a reduction in GHG emissions compared to a reference building. The GHG calculations are carried out by linking material and energy amounts to environmental data and emission factors in a tool. The internet tool One Click LCA is the most commonly used tool in Norway. The work is mainly done manually and without the use of BIM-integrated LCA, where the only automatic process is information takeout from the model using Solibri.

The case study shows that GHG calculations for 9 different kindergartens are not comparable because they have different system boundaries, purposes, and emission factors. The assumptions for the GHG calculations have a major impact on the results. Different assumptions for projects cause varied results and uncertainties where the assumptions are not well defined. The reference buildings are defined differently, which makes it challenging to understand the actual GHG reduction that the buildings have achieved in an overall context.

The performance of GHG calculations has been developing in recent years. The interviews show that more and more construction projects are being carried out using GHG calculations. The methods for GHG calculations were standardized in 2018 using a new standard, NS3720.

The survey indicates that the biggest challenges identified in this thesis are: 1) Reduction requirements with different requirements for reference buildings. 2) A lot of manual and time-consuming work. 3) Lack of knowledge and experience. 4) Few iterations do not always optimize greenhouse gas calculations. 5) The greenhouse gas calculations are not comparable.

The thesis describes how national requirements and increased digitization and automation can help solve the challenges the interviews and case study reveal. Establishing and setting requirements for a dynamic benchmark instead of today's solutions with inconsistent reference buildings is highlighted as an important solution.

Forord

Denne oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, og er knyttet til faget TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave. Arbeidet som ble utført i prosjektoppgaven høsten 2019, er også delvis inkludert i masteroppgaven.

Jeg vil takke alle informantene som har blitt intervjuet: Hanne Gro Korsvoll (Statsbygg), Sophie Ness Thørgersen (Norconsult), Camilla Bakken Torp og Thea Mork Kummen (Bærum kommune), Ida Fausko Esperø (Trondheim kommune), Alexander Borg (Asplan Viak), Elin Enlid (Civitas), Bodil Motzke (Undervisningsbygg), Brit Nappen (Vedal) og Ørjan Aall Kongsvik (Sweco). De har bidratt med mye nyttig informasjon. Jeg har også fått mange klimagassberegninger fra Omsorgsbygg, som har vært svært viktige for casestudiet.

I tillegg vil jeg takke Inger B-A Nygaard, Roar Nygaard og Petter Cornelius Overaae Eiken for korrekturlesing, støtte og diskusjoner i løpet av arbeidet med oppgaven.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke Rolf André Bohne, som har vært en god veileder for denne oppgaven.

Innhold

Innhold	vii
Figurer.....	ix
Tabeller	x
1 Introduksjon.....	2
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Forsknings spørsmål.....	2
1.3 Avgrensninger	3
1.4 Oppgavens struktur.....	3
2 Teori	4
2.1 Bærekraft generelt og i byggebransjen	4
2.1.1 Internasjonale og nasjonale mål	4
2.1.2 Miljøsertifiseringer og ambisjonsnivå	5
2.2 Kompleksitet i byggeprosjekter.....	6
2.3 Faser i et byggeprosjekt	8
2.4 Informasjonsdeling og digitalisering i byggebransjen	8
2.4.1 BIM.....	8
2.5 Livsløpsanalyse (LCA) og klimagassberegninger	10
2.5.1 LCA generelt	11
2.5.2 LCA i byggebransjen	14
2.5.3 BIM-integrert LCA	22
3 Metode	28
3.1 Valg av metoder	28
3.2 Kvalitativ metode – Litteratursøk	28
3.3 Kvantitativ metode – Case	30
3.4 Kvalitativ metode – Intervjuer	33
3.5 Evaluering av metodene	37
3.5.1 Reliabilitet og validitet	37
3.5.2 Usikkerheter og mulige feilkilder	37
3.5.3 Validering av resultater med «Delphi»-metoden.....	38
4 Case.....	40
5 Resultater	42
5.1 Resultater case	42
5.1.1 Formål.....	42
5.1.2 Systemgrenser	42

5.1.3	Verktøy	43
5.1.4	Definisjon av referansebygg	44
5.1.5	Utslippsfaktorer	45
5.1.6	Gjennomsnitt	46
5.1.7	Utvikling av klimagassutslipp over tid	48
5.2	Resultater intervjuer	50
5.2.1	Rollefordeling	50
5.2.2	Klimagassberegninger blir gjennomført i ulike faser av byggeprosjektene	51
5.2.3	Optimalisering av klimagassberegningene	52
5.2.4	Ambisjonsnivå for klimagassberegningene	54
5.2.5	Bruk av referansebygg	54
5.2.6	Programvarer og metoder	56
5.2.7	Ulike livsløpsfaser/moduler blir inkludert.....	57
5.2.8	Bruk av generisk og produktspesifikk data	58
5.2.9	Inkludering av tekniske installasjoner og energisimulering	59
5.2.10	Behandling av usikkerhet	60
5.3	De største utfordringene	61
6	Diskusjon	62
6.1	Utførelse av klimagassberegninger	62
6.2	Utfordringer med klimagassberegninger	62
6.2.1	Mye manuelt og tidskrevende arbeid	64
6.2.2	Reduksjonskrav ulike krav til referansebygg	64
6.2.3	Mangel på kunnskap og erfaring	66
6.2.4	Få iterasjoner fører til at klimagassberegningene ikke alltid blir optimalisert..	66
6.2.5	Mangel på miljødata	67
6.2.6	Klimagassberegninger er ikke sammenlignbare.....	67
6.2.7	Bruk av forskjellige verktøy og metoder.....	67
6.2.8	Mangel på krav til klimagassberegninger.....	68
6.3	Innspill til løsninger	69
6.3.1	Nasjonale krav	70
6.3.2	Standardisere BIM-modellene og automatisere prosessen	72
7	Konklusjon	74
8	Videre arbeid	76
9	Referanseliste	78
10	Vedlegg	84

Figurer

Figur 1 - Forsknings spørsmål for masteroppgaven	2
Figur 2 - Oppgavens struktur	3
Figur 3 - FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2019)	4
Figur 4 - Norges klimamål	5
Figur 5 - Hensyn å ta i et byggeprosjekt (Thue, 2016)	7
Figur 6 - Sammenhengen mellom muligheten til å påvirke kostnad og utvikling, sammenlignet med kostnaden som må til for å gjøre endringer. Oversatt til norsk og forenklet (Overbey, 2018)	7
Figur 7 - Inndeling av byggeprosessen i henhold til NS 3720:2018, med tilhørende dokumentasjon som gjerne fremlegges	8
Figur 8 - Utvikling av elementer i en modell (One Click LCA, 2015)	10
Figur 9 - Tradisjonelt perspektiv på livssyklusanalyse (Strømman, 2010)	11
Figur 10 - De 4 stegene i LCA	12
Figur 11 - LCA som en iterativ prosess, forenklet og oversatt til norsk (EeBGuide, 2011) ..	14
Figur 12 - Sammenheng mellom faser i byggeprosjekter og forenklinger i LCA (Meex et al., 2018)	15
Figur 13 - Flytdiagram som beskriver prosessen for klimagassberegninger (forenkling av figur 1 i NS3720)	16
Figur 14 - Moduler i bygningens livsløp i henhold til NS3720 (Standard Norge, 2018).	17
Figur 15 - Forhåndsdefinerte omfang for klimagassberegninger iht. NS3720	17
Figur 16 - Opprinnelsesgaranti(Hafslund, 2020)	19
Figur 17 - Skoeske-formet referansebygg (Tegnet i Sketch-up)	20
Figur 18 - Tilpasset referansebygg (Tegnet i Sketch-up)	20
Figur 19 - Ekspertene mener at "benchmarking" burde bli satt som lovpålagte krav i stedet for skattelettelse eller frivillige sertifiseringsløsninger(Frischknecht et al., 2019)	21
Figur 20 - De viktigste fordelene og ulempene med integrert bruk av BIM og LCA (Seyis, 2020)	23
Figur 21 - Utvikling av iboende tonn CO2 ekvivalenter gjennom designprosessen (Hollberg et al., 2020)	25
Figur 22 - Eksempel på søkeprosedyre, her med treff fra databasen Scopus. Prosedyren er inspirert av litteratursøket til Andenæs (Andenæs et al., 2018)	30
Figur 23 - Byggeparametere inkludert i beregninger i Carbon Designer	32
Figur 24 Eksempel på resultater fra Carbon Designer, med andeler klimagassutslipp(One Click LCA, 2015)	32
Figur 25 - Fremgangsmåte intervjuprosessen	33
Figur 26 - Erfaring til informanter	36
Figur 27 - Illustrasjon av reliabilitet og validitet	37

Figur 28 - Antall sider i rapportene for klimagassberegningene	38
Figur 29 - Antall klimagassberegninger funnet for hver fase i byggeprosjektene	42
Figur 30 - Verktøy benyttet for prosjekter i casen.....	44
Figur 31 - Beregnet referansebygg i One Click og rapport.....	45
Figur 32 - Utslippsfaktorer brukt i eksempelprosjektene	45
Figur 33 - Variasjon på resultatene for energibruk i referansebyggene ut ifra valg av utslippsfaktor.....	46
Figur 34 - Gjennomsnitt for materialer	47
Figur 35 - Gjennomsnitt for stasjonær energi/ energibruk i drift	48
Figur 36 - Utslipp for referansebygg mot ferdigstillelsesår	49
Figur 37 - Utslipp for "As-built" mot ferdigstillelsesår	49
Figur 38 - Prosessen og rollefordeling ved klimagassberegninger	50
Figur 39 - Eksempel på hvordan Statsbygg bestemmer sine reduksjonsmål	53
Figur 40 - Geometri brukt til referansebygg	56
Figur 41 - Verktøy brukt til klimagassberegninger	56
Figur 42 - Moduler som vanligvis er inkludert eller satt krav til. CD står for Carbon Designer. R4, B2 og B4 bruker NS3720s forhåndsdefinerte omfang «Basis uten lokasjon»	58
Figur 43 - Illustrasjon for å vise hvordan forholdet mellom generisk og produktspesifikk miljødata utvikler seg gjennom prosjektet, og hvordan andelsfordelingen mellom disse påvirker det totale klimagassutslippet. Verdiene er tilfeldige og kun satt for å vise utviklingen som ble tydet ut ifra svarene fra intervjuene	58
Figur 44 - Resultater fra spørreundersøkelse om hvilke utfordringer som er størst.....	61
Figur 45 - Teoretisk bruk av to ulike referansebygg	65
Figur 46 - Dilemmaet mellom forenklinger og sammenlignbarhet	67
Figur 47 - Innspill til løsninger for de forbedringspotensialene som er funnet i oppgaven ..	69
Figur 48 - Nødvendig utvikling av gjennomsnitt for å nå de nasjonale målene. Gjennomsnittet på aksene til venstre er basert resultatene fra casestudiet	71
Figur 49 - Kan digitalisering føre til at klimagassberegninger blir prioritert?	73
Figur 50 - Sammenligning mellom referansebygg for eksempelprosjekter.....	89

Tabeller

Tabell 1 - Relevante formater for BIM-modeller.....	9
Tabell 2 - Effektkategorier (Byggforsk, 2014)	13
Tabell 3 - Oppdeling etter bygningsdelstabellen (Standard Norge, 2019).....	16
Tabell 4 - Ulike utslippsfaktorer.....	19
Tabell 5 - Hovedtyper BIM-integrert LCA(Cavalliere et al., 2019a)	23

Tabell 6 - Beskrivelse av databaser	29
Tabell 7 - Standard innvendinger mot kvalitative intervjuer(Kvale, 1996) og tilhørende oppgavespesifikke kommentarer	35
Tabell 8 - Sammenligninger av eksempelprosjekter	40
Tabell 9 - Systemgrenser i eksempelprosjektene	43
Tabell 10 - Faser rådgiverne utfører klimagassberegninger	51
Tabell 11 - Krav byggherreorganisasjonene setter til rådgiver eller entreprenør for klimagassberegninger i ulike faser av byggeprosjektene	52
Tabell 12 - Strategi for bruk av referansebygg	55
Tabell 13 - utfordringer med utføring av klimagassberegninger	63
Tabell 14 - Hovedforskjellene mellom One Click LCA og klimagassregnskap.no (oversatt fra engelsk) (One Click LCA, 2020).....	84
Tabell 15 Strategier for å bruke BIM-modeller til LCA(Wastiels and Decuypere, 2019).....	86
Tabell 16 - Fordeler med integrert bruk av BIM og LCA(Oversatte punkter fra tabellen til Seyis 2020)	87
Tabell 17 - Ulemper med integrert bruk av BIM og LCA(Oversatte punkter fra tabellen til Seyis 2020)	87
Tabell 18 - Inngangsdata og resultater for beregninger i Carbon Designer	88
Tabell 19 - Egen vurdering av funksjonaliteter i One Click LCA	92
Tabell 20 - Forslag til energi og miljørammer, basert på kravene til energieffektivitet i TEK17 DiBK, 2017).	93

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Det globale energiforbruket har økt kraftig siden 2010, en utvikling som er drevet av robust økonomi og større behov for varme og kjøling i enkelte deler av verden (IEA, 2019). Høyere energiforbruk, har også medført en rekordhøy økning i CO₂-utslipp (IEA, 2019).

Det bygde miljø er i dag en av de sektorene som bidrar mest til miljøpåvirkning i verden (Santos et al., 2020). Samtidig er det estimert at verdens bygningsmasse kommer til å doble seg innen 2050 (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019). Det er derfor kritisk at byggebransjen utnytter potensialet for å redusere blant annet klimagasser og at nye teknologier og metoder blir tatt i bruk for å utvikle bærekraftige bygg (Grønn Byggallianse, 2016).

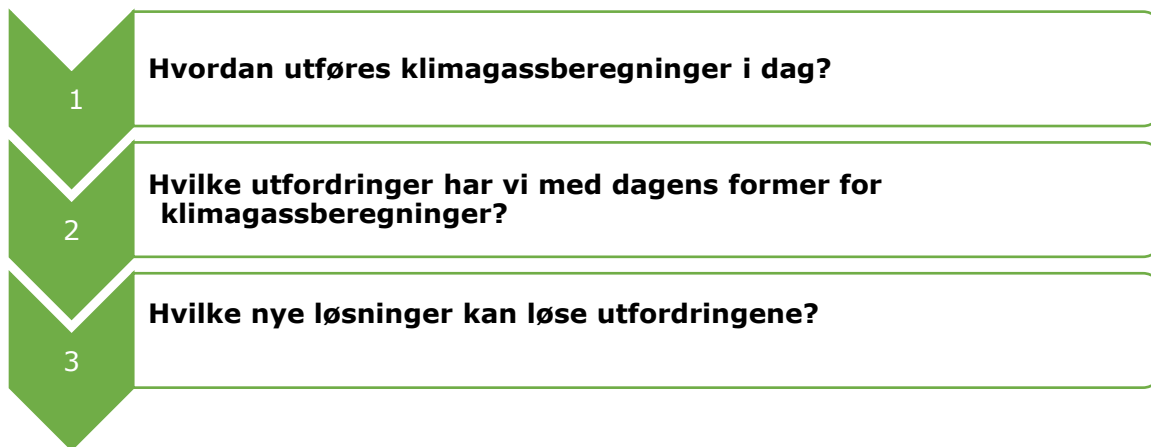
Klimagassberegninger er en metode som ofte brukes for å synliggjøre klimagassutslippene fra byggeprosjekter. For å bidra positivt til miljøet, er det viktig å beregne klimagassutslippene på en måte som gir et korrekt bilde av virkeligheten, og at resultatene så brukes til å velge den løsningen som gir minst mulig utslipp.

1.2 Forskningsspørsmål

Problemstillingen til oppgaven er følgende:

Hvordan kan man forbedre klimagassberegninger for nye bygg?

Tre spesifikke forskningsspørsmål brukes til å besvare den overordnede problemstillingen:



Figur 1 - Forskningsspørsmål for masteroppgaven

Formålet med oppgaven er å foreslå hvordan prosessen med klimagassberegninger kan forbedres og effektiviseres. Dette inkluderer både tiltak for å sikre gode resultater og effektiv bruk av tid og kostnader. Med gode resultater menes analyser som er eksakte og tydelige nok til at man kan ta gode miljømessige valg.

Problemstillingen er basert på en hypotese om at tidligere forskning på klimagassberegninger i stor grad er teoretiske, og at de mangler aspekter om hvordan prosessene utføres i praksis.

1.3 Avgrensninger

Følgende avgrensninger er tatt for denne oppgaven:

- Oppgaven omhandler kun nybygg, ikke rehabiliteringsprosjekter.
- Oppgaven omhandler klimagassberegninger i kg CO₂-ekvivalenter, ikke andre effektkategorier fra LCA, i og med at det er klimagassutslipp som primært vurderes i byggeprosjekter
- Oppgave omhandler hvordan klimagassberegninger gjøres Norge, ikke internasjonalt.

1.4 Oppgavens struktur

Oppgaven er strukturert som en tradisjonell masteroppgave:



Figur 2 - Oppgavens struktur

Kapittel 2 inneholder det teoretiske rammeverket som legger grunnlaget for oppgaven. Deretter beskriver kapittel 3 metoden som er brukt, samt evaluering av metoden. Eksempelprosjektene blir kort introdusert i kapittel 4. I resultatkapittelet presenteres hva som er funnet i casestudiet og intervjuene, og resultatene diskuteres i kapittel 6. Til slutt konkluderes svarene på forskningsspørsmålene i kapittel 8.

2 Teori

2.1 Bærekraft generelt og i byggebransjen

Bygge- og anleggssektoren sto for 36% av det totale energiforbruket og 39% av energi og prosess-relatert CO₂ utslipp i 2018 (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019). 11% av det prosess-relaterte CO₂ utslippet kom fra byggematerialer slik som stål, sement og glass. Verdens bygningsmasse vil trolig dobles innen år 2050, noe som presenterer en viktig mulighet for å bygge mer bærekraftige bygg.

2.1.1 Internasjonale og nasjonale mål

På både internasjonalt og nasjonalt nivå, vil byggebransjen være viktig for å kunne oppnå målene for å bekjempe klimaendringene.

Internasjonale mål

Verdenssamfunnet har gjennom FN satt opp flere internasjonale mål for å bekjempe klimaendringene. I 2015 vedtok FNs medlemsland FNs bærekrafts mål, som er vist i Figur 3 der mål nummer 13 er å stoppe klimaendringene (FN-sambandet, 2019). I Parisavtalen ble det definert at alle land har forpliktelser, at temperaturen på jorda ikke skal stige mer enn 2 grader og helst ikke mer enn 1,5 grader, at alle land må lage en plan for hvordan de skal klare målene, at de rike landene skal betale mest og at alle land må tilpasse seg klimaendringene (FN-sambandet, 2020).



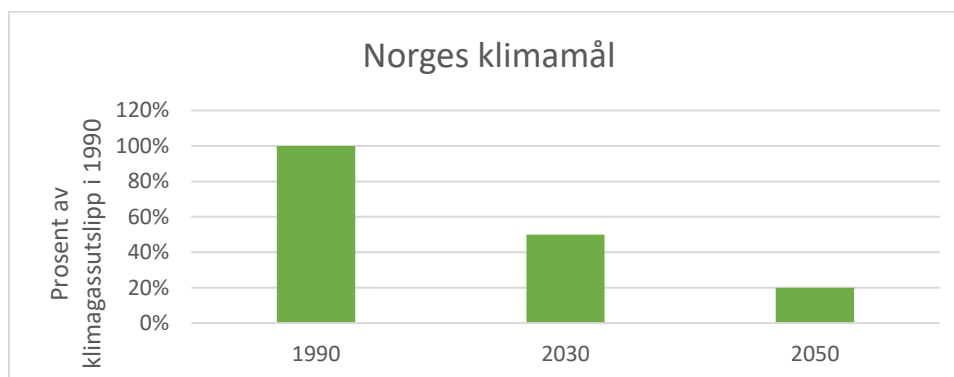
Figur 3 - FNs bærekrafts mål (FN-sambandet, 2019)

Avkarbonisering av bygnings- og anleggssektoren er avgjørende for å oppnå kravene i Parisavtalen og FNs bærekraftsmål (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019). Europakommisjonen sitt direktiv for «Energy performance» sier at alle nye bygninger bygget etter 2020 skal være nesten Zero-energy bygg (nZEB) (European Commission, 2019). For at avkarbonisering skal være mulig, må man allerede i tidlig fase ta gode valg i prosjekteringen for å sikre tilfredsstillende energieffektivitet (Purup and Petersen, 2020).

Nasjonale mål

Norge har som mål å redusere utslippet av klimagasser med 50 til 55 prosent innen 2030 (Klima- og Miljødepartementet, 2020). Målet ble meldt inn som et forsterket klimamål vinteren 2020, fordi etter Parisavtalen skal alle land melde inn nye eller oppdaterte

utslippsmål hvert femte år. I Norges klimalov (Lovdata, 2018), står det at klimagasser skal reduseres med minst 40% innen 2030 og med 80-95% innen 2050 fra referanseåret 1990. I tillegg er det et mål at Norge skal bli et lavutslippssamfunn i 2050. For å illustrere de ambisiøse klimamålene til Norge, er en reduksjon på 50% og 80% illustrert i Figur 4.



Figur 4 - Norges klimamål

Byggesektoren er en viktig sektor for at Norge skal nå sine miljømål (Grønn Byggallianse, 2016). For å foreslå en overordnet strategi for fremme grønn konkurransekraft fram mot 2030 og mot lavutslippssamfunnet i 2050, har organisasjonene Norsk Eiendom og Grønn Byggallianse laget «Eiendomssektorens veikart mot 2050». Her legges det frem blant annet «10 anbefalte strakstiltak», både for små og store byggeiere. Disse strakstiltakene innebærer blant annet å redusere mengdene med fossilt brennstoff, se på nye innovative løsninger, bestille energibudsjett, ha bygningsprodukter med lave klimagassutslipp og bruke miljøsertifiseringssystemer.

2.1.2 Miljøsertifiseringer og ambisjonsnivå

Miljøsertifisering er ekstern vurdering av miljøstyringssystemet til en organisasjon eller prosjekt (Miljødirektoratet, 2020). Vurderingen sikrer at virksomheten arbeider seriøst med å redusere sin påvirkning på det ytre miljøet. Det finnes flere ulike miljøsertifiseringer i Norge og i resten av verden, slik som BREEAM, LEED, Svanemarking, Miljøfyrtårn, ISO14001, EMAS, Grønt flagg, ZEB osv. BREEAM og Future built vil være mest relevant for denne oppgaven.

BREEAM

BREEAM er et miljøsertifiseringsverktøy for bygninger, der formålet er å motivere til bærekraftig design og bygging (Grønn byggallianse, 2019). BREEAM-NOR er den norske tilpasningen av BREEAM. Sertifikatet kan utstedes i ulike nivåer, der oppnådd nivå vurderes ut fra dokumentert miljøprestasjon i ni kategorier. Disse er ledelse, helse- og innemiljø, energi, transport, vann, materialer, avfall, arealbruk og økologi samt forurensning. For hver kategori er det flere emner der man kan oppnå et bestemt antall poeng avhengig av i hvilken grad tiltak er utført og dokumentert.

Et emne innen BREEAM som kan være aktuell å ta hensyn til i et klimagassregnskap, er «Mat 01 bærekraftige materialvalg» under emnet materialer. Her er det totalt 1-7 poeng tilgjengelig, og vurderer om prosjektet har klart å « redusere byggets miljøpåvirkning gjennom bruk av bærekraftige materialer ».

ZEB

Det finnes mange måter å definere samt beregne ZEB-bygninger (Marszal et al., 2011). Blant annet kan E i ZEB enten stå for Energy eller Emission, avhengig om man ser på energi eller utslipp. På norsk kan man også bruke uttrykket nullutslippsbygninger. I tillegg blir det i flere sammenhenger inkludert en n for nesten/near, slik at det blir nZEB.

BREEAM og LEED har et mye bredere rammeverk enn rammeverket for ZEB(Marszal et al., 2011). Beregning av primærenergi er den favoriserte metoden for å finne netto ZEB balanse, ifølge litteratursøket til Marszal et al. Her blir det hovedsakelig sett på balansen mellom energibehov eller forbruk og mengden fornybar energi som blir generert. Den favoriserte beregningsmetoden inkluderer dermed energibruk i drift, men ikke iboende energi fra materialer, byggeprosess, avhending eller tekniske installasjoner(Marszal et al., 2011). I samme studie uttales det at bygninger oftere blir evaluert på energieffektivitet enn utslippmengder, men at CO₂-evivalenter kommer som nummer to på de favoriserte beregningsmetodene.

De fleste ZEB bygninger per 2011 var pilotprosjekter der økonomi ikke spilte en sentral rolle i beslutningsprosesser(Marszal et al., 2011). Økonomi vil i praksis ha mye å si for i hvilken grad konseptet blir gjennomført i fremtiden.

I Norge har "Research centre for Zero Emission Buildings, i samarbeid med flere norske bedrifter, skrevet en rapport om hvordan man kan definere og utføre beregninger av Zero Emission Buildings(Birgit et al., 2014). Dette er relatert til iboende utslipp av CO₂-ekvivalenter. Her defineres flere ambisjonsnivåer, som kan inkludere ulike livsløpsfaser som drift, materialer, bygging og avhending av et bygg. Det høyeste ambisjonsnivået i denne sammenheng er ZEB-COMPLETE der C står for bygging, O for drift, M for materialer, E står for avhending og PLET inkluderer vedlikehold, reparasjoner og oppussing.

Det presiseres i ZEB-rapporten at i energieffektive bygg, vil iboende utslipp i materialene utgjøre en stor prosentandel av totalutslippet over livstiden til et bygg(Birgit et al., 2014). I livsløpet til et bygg vil derfor store andeler av utslippene forekomme når materialene er produsert i år 0.

Future built

Future built ser på seg selv som en innovasjonsarena, der målet er å få frem 50 forbildeprosjekter som skal vise at det er mulig å utvikle klimanøytrale byområder og arkitektur med høy kvalitet(Future Built, 2020). Programmet går fra 2010-2020 og har prosjekter i Oslo-regionen.

På nettsidene til Future built finnes det definerte regneregler for klimagassberegninger og valg av referansebygg. Regnereglene er basert på Statsbygg sin tidligere løsning «klimagassregnskap.no», og bygger på NS3720(Mason, 2019). Det kreves at det rapporteres klimagassutslipp til referansebygg, prosjektert bygg, ferdigstilt bygg og etter to års drift av bygget. Metoden blir delt i tre, der det skal beregnes utslipp for stasjonær energibruk, transport i drift og materialer i bygget for alle tilfeller.

Referansebygget i Future built-prosjekter skal ha «en geometri som en skoeske, et romprogram tilpasset bygningskategorien og standard materialvalg basert på hva som er de "vanligste" materialtypene i de ulike bygningskategoriene. I tillegg har referansebygget en teknisk kvalitet som tilfredsstillende forskriftskravene og der brukerne har et transportmiddelvalg og reiselengder som representerer et gjennomsnitt av det relevante bo- og arbeidsmarkedet»(Mason, 2019).

Prosjektert bygg skal i Future built-prosjekter ha et mål om minimum ca. 50% klimagassreduksjon sammenlignet med referansebygget.

2.2 Kompleksitet i byggeprosjekter

Byggeprosjekter er komplekse, og det er mange forskjellige hensyn som må tas for at sluttresultatet skal bli vellykket(Thue, 2016). Figur 5 er et forsøk på å lage en oversikt over de viktigste aspektene som må tas hensyn til i et byggeprosjekt.

Sikkerhet	God økonomi	Ønskede sanseopplevelser	Ressursbruk og miljøhensyn
<ul style="list-style-type: none"> •Styrke og stivhet i konstruksjonen •Hindre brann og sikre rømning •Kontrollert luft- og vannkvalitet 	<ul style="list-style-type: none"> •Tilpasset bruksområde •Varige materialer og bygningsdeler •Lave drift- og vedlikeholdskostnader 	<ul style="list-style-type: none"> •Luktstoffer •Lysforhold •Lyd- og vibrasjons-forhold 	<ul style="list-style-type: none"> •Ressurseffektivitet •Indre og ytre miljø •Bygningen som klimaskjerm

Figur 5 - Hensyn å ta i et byggeprosjekt (Thue, 2016)

Det er viktig å være klar over at det finnes mange flere hensyn å ta i et byggeprosjekt enn akkurat det som er fokuset i denne oppgaven, nemlig hvordan man kan redusere klimagassutslipp mest mulig. Et byggeprosjekt krever derfor en god balanse mellom de ulike hensynene vist i Figur 5.

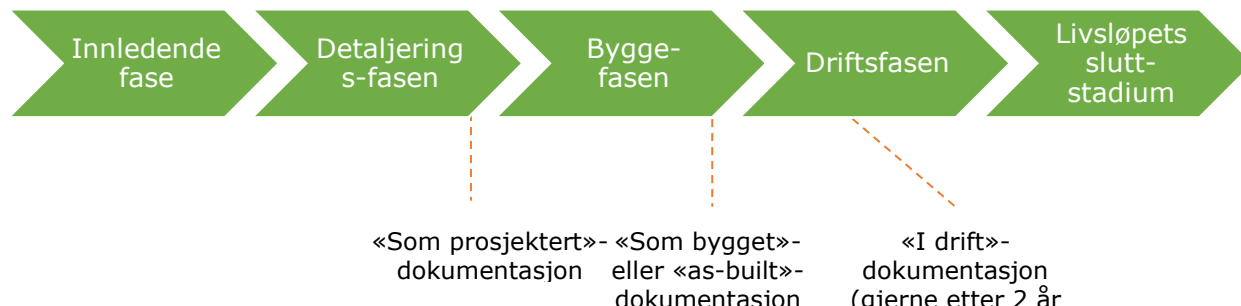


Figur 6 - Sammenhengen mellom muligheten til å påvirke kostnad og utvikling, sammenlignet med kostnaden som må til for å gjøre endringer. Oversatt til norsk og forenklet (Overbey, 2018)

Figur 6 viser sammenhengen mellom de ulike byggefasene, mulighet til å påvirke kostnader, utvikling av designet og kostnaden ved å gjøre endringer i designet. Denne viser at jo tidligere endringer blir gjort, jo lettere og billigere er det å gjennomføre endringene.

2.3 Faser i et byggeprosjekt

Byggeprosjekter kan deles inn i mange ulike faser. I NS 3720 blir for eksempel byggeprosessen delt inn i fasene i Figur 7.



Figur 7 - Inndeling av byggeprosessen i henhold til NS 3720:2018, med tilhørende dokumentasjon som gjerne fremlegges

I innledende fase omfatter idé-, konsept-, og skissefase (Standard Norge, 2018). Her kommer blant annet lokaliserings- og tomte vurderinger inn. Detaljeringsfasen omfatter forprosjektfasen og detaljprosjektfasen. Byggefasen er oppføring av bygget med valgte produkter og løsninger. Driftsfasen omfatter bruk av bygningen med de funksjonene den er planlagt for. Livsløpets sluttstadium, eller avhendingsfasen som det også kan kalles, omfatter riving av bygget og håndtering av avfall (Standard Norge, 2018).

2.4 Informasjonsdeling og digitalisering i byggebransjen

Det er behov for utveksling av store mengder forskjellig informasjon i byggebransjen, mellom aktører som arkitekter, ingeniører, entreprenører, eiere og driftende aktører (Hjelseth, 2010). Hovedformålet til informasjonen er å støtte beslutningstaking i de ulike prosessene i byggefasen, og for at den skal være nyttig må informasjonen komme til rett tid, på rett sted, samt være av rett kvalitet og kvantitet. I en byggebransje med økt kompleksitet, mange aktører og økt fokus på tverrfaglig samarbeid, oppstår nye utfordringer knyttet til logistikken rundt informasjon. Ved å sikre at informasjon blir delt til rett tid og til relevante aktører, kan man sikre at bedre beslutninger blir tatt.

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) kan være en positiv prosess i utvikling for digitalisere og å skape en bedre informasjonsflyt i byggebransjen. BIM kan integrere den geometriske representasjonen av et bygg (direkte visuelt) med informasjon (som ikke er direkte visuelt) (Hjelseth, 2010).

2.4.1 BIM

Rollen til BIM i byggeprosjekter

Under prosjektering kan rollen til BIM deles inn i fire, hvor viktigheten av hver rolle er avhengig av detaljnivået av prosjektet (Eastman et al., 2008):

1. **BIM for å vise konseptuelt design**
Ved å lage en overordnet plan, med hvordan strukturen vil se ut, geografisk plassering, orientering etc., kan man styrke beslutningstaking, deling av informasjon og oppmuntre til raske tilbakemeldinger i tidlig fase
2. **Bruk av BIM til prosjektering og analyse av bygningsystemer**
BIM kan bli brukt til analyse av alt fra drift til fysiske parametere slik som strukturell integritet, temperaturkontroll, ventilasjon, belysning, sirkulasjon,

akustikk, energibruk osv. Ved hjelp av en strukturert og omfattende samordningsprosess, kan BIM være en effektiv arbeidsplattform for tverrfaglig arbeid.

3. **Bruk av BIM til å produsere byggbar informasjon**

I dag blir det som regel produsert tegninger under prosjektering. I fremtiden vil BIM-modellen være det rettmessige grunnlaget for utførelsesfasen og som dokumentasjon etter at prosjektet er ferdigstilt.

4. **Integrasjon av prosjektering og utføring**

Innebærer å bruke BIM direkte både i prosjektering og utførelse, der selve bygget er en prosess og ikke bare et produkt.

Studier viser at implementering av BIM kan ha en positiv virkning på leveransetid av prosjektet, gruppesamhold på tvers av fag og kvaliteten på det endelige bygget (Franz and Messner, 2019).

BIM-programvare

I artikler om BIM-integrert LCA, er ofte Revit brukt som prosjekterings-verktøy (Cavalliere et al., 2019b). I byggebransjen finnes også andre BIM-verktøy som ArchiCAD, VectorWorks, DDS (Hjelseth, 2010).

I tillegg finnes det flere programmer som kan samordne flere modeller, gjøre automatiske kollisjonskontroller og som har visualiseringsmuligheter for de som ikke skal prosjektere. Et eksempel på slik programvare er Solibri Model Checker og Solibri Model Viewer.

Formater

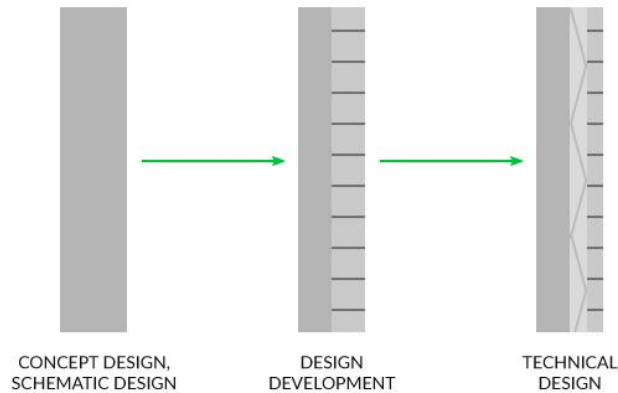
BIM-modeller kan eksporteres på flere ulike formater. De formatene som kan være relevante for denne oppgaven er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 1 - Relevante formater for BIM-modeller

Format	Beskrivelse
IFC	Industry Foundation Classes er utviklet for å lage store sett med konsistent bygningsinformasjon som kan deles mellom flere verktøy i byggebransjen (Eastman et al., 2008)
gbXML	Green building XML (gbXML) er utviklet for å utveksle informasjon som er nødvendig for innledende energianalyser for bygningskropp, soner og simulering av mekanisk utstyr (Eastman et al., 2008)
.rvt	Det automatiske filformatet for modeller i Revit
.smc	Filformat som er kompatibelt med Solibri Model Checker

LOD

Spesifisering av utviklingsnivå, Level of Development (LOD), er en metode som gjør det lettere for byggebransjen å tydeliggjøre hva slags innhold og troverdighet som finnes i en BIM under ulike stadier av prosjektering og byggeprosessen (BIMforum, 2013). Modellelementer kan bli klassifisert på 5 ulike LOD-nivåer, hvor LOD 100 er det minst utviklede nivået mens LOD 500 er en verifisert representasjon av ferdig bygg. Et eksempel på hvordan detalj- og utviklings nivået til bygningselementer kan variere i modellen er vist i Figur 8.



Figur 8 – Utvikling av elementer i en modell (One Click LCA, 2015)

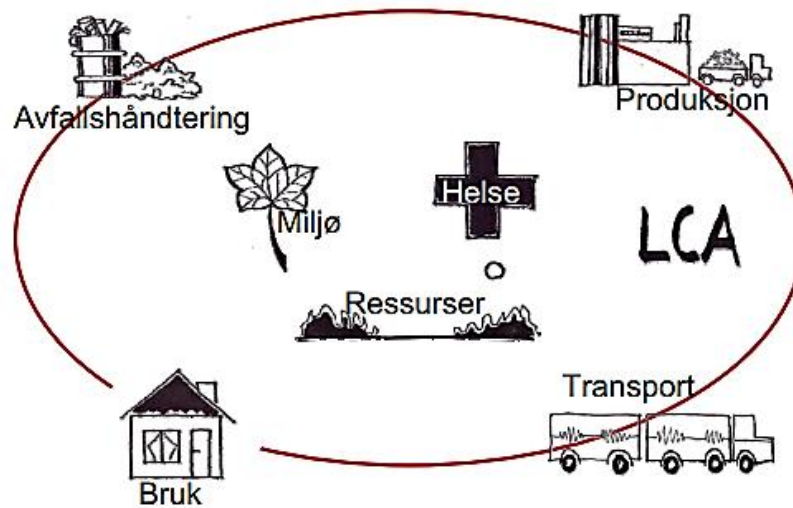
Det er ikke nødvendigvis slik at en hel BIM har samme LOD (BIMforum, 2013). På grunn av at ulike bygningselementer blir prosjektert på ulike tidspunkt i prosjekteringen, vil ulike elementer dermed ha ulik LOD i de ulike fasene. Derfor kan man i praksis ikke finne modeller med en gitt LOD.

2.5 Livsløpsanalyse (LCA) og klimagassberegninger

LCA er ifølge NS3720 «sammenstilling og evaluering av inngangsfaktorer, utgangsfaktorer og den potensielle miljøpåvirkningen til et produkt eller system gjennom livsløp.» Målet med LCA er generelt å utføre en konsistent sammenligning av den miljømessige påvirkningen til ulike teknologiske systemer (Strømman, 2010). LCA kan være et godt hjelpemiddel for å (Standard Norge, 2006b):

- Finne mulige forbedringsområder til miljøpresentasjonene for produkter, i de ulike stadiene i livsløpet
- Være en metode for å informere de som skal ta beslutninger
- Være en relevant indikator på miljøprestasjon
- Markedsføre produkter og prosjekter med god miljøprestasjon

For å få en rettferdig sammenligning mellom ulike alternativ, er det viktig å ha en helhetlig tilnærming til LCA. For eksempel, hvis man sammenligner betongsøyler produsert i Norge og treverk produsert i Brazil, vil det kunne gi et feil totalinntrykk av klimagassutslipp dersom man kun inkluderer produksjon og ikke transport i analysen. Figur 9 viser et tradisjonelt syn på LCA, hvor produksjon, transport, bruk og avfallshåndtering er samlet i en lukket syklus (Strømman, 2010). Fordelen med å gjøre helhetlige beregninger av bygningers klimagassutslipp, er at man kan identifisere tiltak for å redusere klimagassutslipp i både et kort og langtidsperspektiv (Standard Norge, 2018).



Figur 9 - Tradisjonelt perspektiv på livssyklusanalyse (Strømman, 2010)

Det er en utfordring å unngå å gjøre beslutninger basert på miljøanalyser som ikke er komplette (Strømman, 2010). Ukomplette miljøanalyser kan blant annet føre til flytting av problemer, ved å plassere de negative påvirkningene utenfor den verdikjeden som blir analysert. Hvis vi igjen ser på eksempelet med betongen fra Norge og treverket fra Brazil, vil man ved å kun fokusere på produksjon, kanskje få at treverket fra Brazil er det mest miljøvennlige alternativet. Hvis man da velger treverket i stedet for betongen, har man flyttet problemet utenfor den verdikjeden som ble analysert.

En annen måte å flytte problemer, er å redusere en type miljøproblem for å skape et annet. For eksempel, kan vindmøller redusere karbonutslippet i et område, men på samme tid føre til en reduksjon av det biologiske mangfoldet i området (Strømman, 2010).

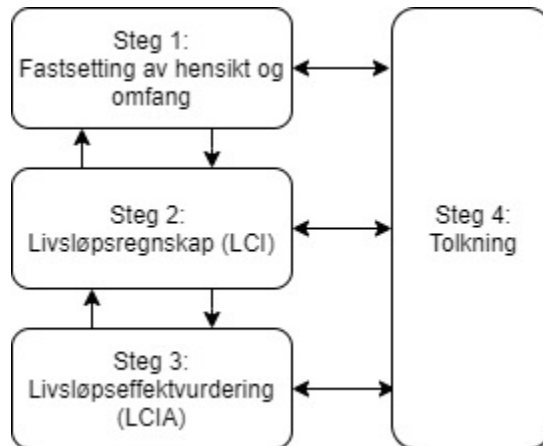
På grunn av den iboende kompleksiteten i LCA, er det viktig være åpen om hvordan man gjennomfører analysen (Standard Norge, 2006a). På den måten kan man sikre en riktig tolkning av resultatene.

Utslipp kan deles inn i tre (Strømman, 2010):

- **Direkte utslipp:** er generert av prosessen vi trenger den funksjonelle enheten til
- **Indirekte utslipp:** er generert av andre prosesser som oppstår som et resultat av at vi trenger den funksjonelle enheten
- **Totale utslipp:** direkte utslipp + indirekte utslipp

2.5.1 LCA generelt

Utførelsen av LCA kan deles inn i fire faser (Byggforsk, 2014, Standard Norge, 2006b), og sammenhengen mellom disse er illustrert i Figur 10.



Figur 10 - De 4 stegene i LCA

Steg 1: fastsette hensikt og omfang

Hensikt, målgruppe, systemgrenser og detaljeringsnivået presenteres helt i oppstarten av en LCA. «Omfanget av en LCA, inklusive systemgrense og detaljeringsnivå, vil avhenge av emnet og den tiltenkte bruken av studien(Standard Norge, 2006b).» Systemgrenser blir i NS 3720 definert som "grensesnitt mellom det som omfattes og det som ikke omfattes av beregningen". Systemgrenser kan for eksempel inkludere geografiske grenser, tidsbegrensning, hvilken type teknisk system som skal brukes eller andre rammer rundt hva analysen omfatter.

I denne fasen defineres en funksjonell enhet, som må spesifiseres for å kunne gjøre resultatene sammenlignbare. I NS 3720 blir den funksjonelle enheten beskrevet som «kvantifisert prestasjon som benyttes til sammenligninger av resultater fra klimagassberegninger fra ulike produkter» (Standard Norge, 2018).

I denne fasen definerer man i tillegg hva slags krav som settes til datakvalitet(Standard Norge, 2006a). Definisjon av kvaliteten på miljødata er viktig for å kunne forså hvor pålitelige resultatene blir og hvordan man skal tolke dem.

Steg 2: livsløpsregnskapfasen

I denne fasen er målet å systematisk kartlegge og samle all inngangsdata til og utgangsdata fra systemet. Denne fasen kan også kalles LCI-fasen, fra Life Cycle Inventory på engelsk(Standard Norge, 2006b).

Her samler man inn kvalitativ data om produktet og systematisere denne informasjon. Datagrunnlaget som er nødvendig er blant annet(Standard Norge, 2006a):

- Inngangsfaktorer i form av energi
- Inngangsfaktorer i form av materialer
- Produkter, koprodukter og avfall
- Utslipp
- Samt eventuelle andre miljøaspekter

Steg 3: livsløpseffektvurderingsfasen

Denne fasen kan forkortes til LCIA(Standard Norge, 2006b). Her blir dataene fra livsløpsregnskapfasen sammenlignet, forbruk av energi blir beregnet om til utslipp og ressursforbruk og utslipp tilordnes en eller flere effektkategorier(Byggforsk, 2014). Til slutt

blir karakteriseringsfaktorer brukt til å regne om utslippene til en felles faktor for hver effektkategori.

Formålet med LCIA er å gi mer informasjon som kan bidra til å vurdere et produktsystems livsløpseffekter slik at man på en lettere måte kan forstå den miljømessige betydningen av resultatene(Standard Norge, 2006b).

Det finnes mange ulike typer effektkategorier og disse er oppsummert (Byggforsk, 2014) i Tabell 2 - Effektkategorier (Byggforsk, 2014)

Tabell 2 - Effektkategorier (Byggforsk, 2014)

Effektkategori	Enhet
Potensielt bidrag til global oppvarming	Kg CO2-ekvivalenter
Potensial for nedbryting av ozonlaget	Kg KFK-11-ekvivalenter
Potensial for forsurening av jord og grunnvann	Kg SO2-ekvivalenter
Potensial for overgjødning	Kg (PO4)3-ekvivalenter
Potensial for dannelse av ozon i troposfæren	Kg C2H2-ekvivalenter
Potensial for utarming av abiotiske (evt. fossile) ressurser	Kg Sb-ekvivalenter (MJ, netto brennverdi)

Steg 4: tolkning

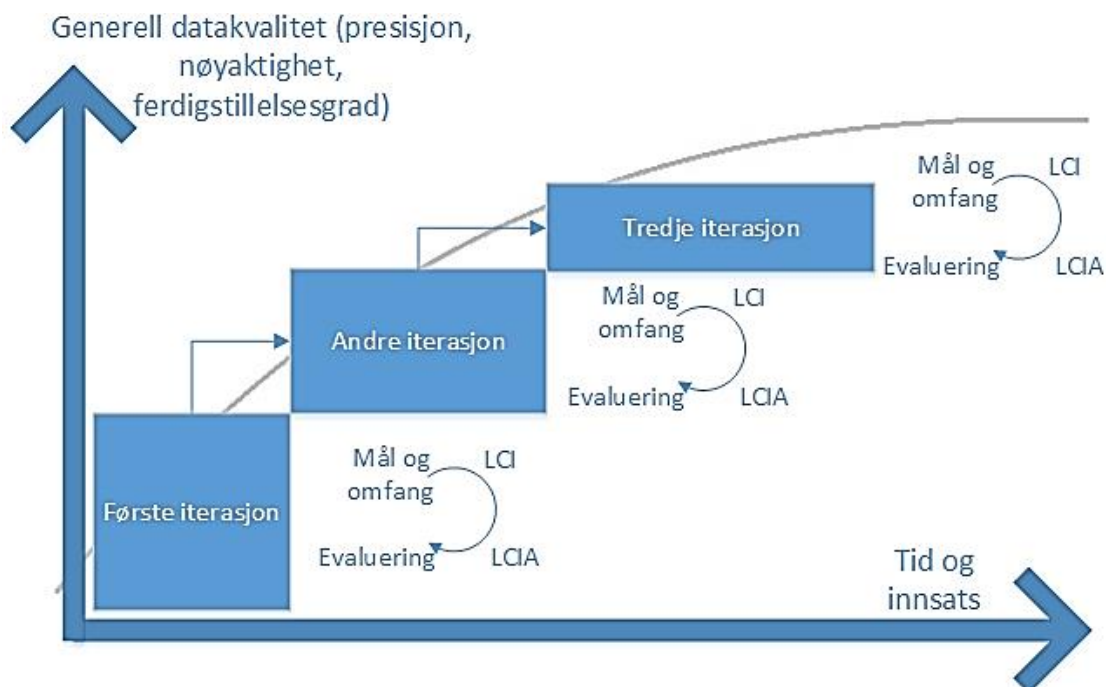
Det siste steget går ut på å tolke resultatene fra livsløperegnskapet og effektvurderingen. Dette steget går ut på å lage et sammendrag fra resultatene fra LCI eller LCIA, eller begge(Standard Norge, 2006b). Deretter skal resultatene brukes som diskusjonsmateriale som grunnlag for konklusjoner, anbefalinger og beslutninger(Byggforsk, 2014).

Det definert to ulike hoved metoder å utføre livssyklusanalyse: regnskaps-LCA og konsekvens-LCA(Standard Norge, 2018). I noen tilfeller vil det være tilfredsstillende å kun gjennomføre livsløpsregnskapet og tolkning(Standard Norge, 2006b), i stedet for å utføre alle de fire fasene. Definisjonen på de to ulike metodene er som følger:

- Konsekvens-LCA: en full LCA-studie som inkluderer alle fasene
- Regnskaps-LCA: en metode som kan ligner på LCA-studier, men ikke inkluderer LCIA-fasen. NS3720 baserer seg på regnskaps-LCA(Standard Norge, 2018), mens NS-EN ISO 14040 tar for seg både LCA-studier og LCI-studier(Standard Norge, 2006b).

Det er viktig å være klare over at de to ulike metodene nevnt over ikke må forveksles, og kun er sammenlignbare dersom forutsetninger og kontekst for alle studiene er ekvivalente(Standard Norge, 2006b).

LCA er en iterativ teknikk, og etter hvert som informasjon samles inn og nye krav og begrensninger av data identifiseres, kan man måtte gjøre kontinuerlig endringer i alt fra hensikt og omfang, til datainnsamling og tolkning(Standard Norge, 2006a). Som vist i Figur 11(EeBGuide, 2011), må man gjennom flere iterasjoner for å sikre en god kvalitet på resultatene. Gjennom disse iterasjonene, vil fasene fra Figur 10 bli gjennomgått flere ganger. Derfor vil det være både arbeid- og tidskrevende å gjennomføre flere iterasjoner.



Figur 11 - LCA som en iterativ prosess, forenklet og oversatt til norsk (EeBGuide, 2011)

2.5.2 LCA i byggebransjen

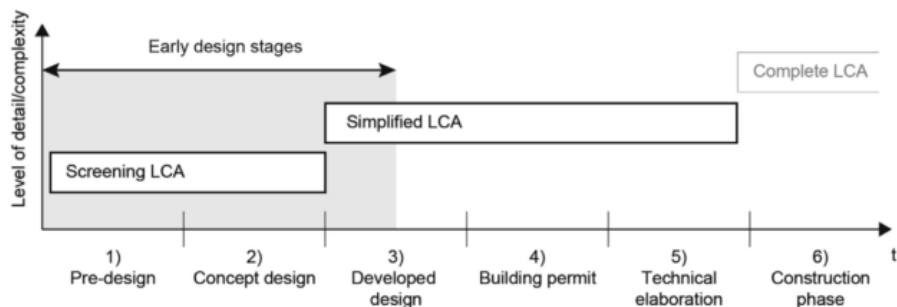
LCA er en passende måte å analysere miljømessig påvirkning på beslutninger i byggeprosesser (Cavalliere et al., 2019b). Det kan brukes i ulike faser, samt på bygningsnivå, konstruksjonsnivå eller for å vurdere ulike materialalternativer for bygningsdeler (Byggforsk, 2015).

I byggebransjen kan ikke LCA utføres på samme detaljeringsnivå som i andre sektorer (EeBGuide, 2011). Primært ser man på klimagassutslipp, som er det potensielle bidraget til global oppvarming gitt i kg CO₂-ekvivalenter slik som beskrevet i oversikten over effektkategorier i Tabell 2. Årsaken til at LCA blir forenklet på denne måten er blant annet den iboende kompleksiteten til byggeprosjekter, men også fordi det er behov for at ikke-eksperter skal kunne gjennomføre analyser med forskjellig hensikt. Det kan diskuteres at forenklingen om å kun se på klimagasser kan flytte miljøproblemene fra potensielt bidrag til global oppvarming og over til andre effektkategorier. Denne problemstillingen er imidlertid utenfor omfanget til denne oppgaven.

Siden det primært er klimagassutslipp som blir evaluert i byggeprosjekter, vil denne oppgaven primært beskrive klimagassberegninger i stedet for LCA.

Typer og faser i LCA for bygninger

Byggeprosessen, som illustrert i Figur 7 inneholder flere faser hvor beslutninger må tas til riktig tidspunkt og detaljeringsnivået på informasjon øker utover i prosjektet. For å møte ulike behov for detaljeringsnivå, har EeBGuide (2011) definert tre ulike typer LCA for bygninger: overslagsberegning (screening), forenklet analyse (simplified) og Komplet LCA (complete). Overslagsberegning er en rask, grov analyse for interne vurderinger. Forenklet analyse har kun fokus på utvalgte deler. Komplet LCA er en omfattende analyse av høy kvalitet som er godt egnet til sammenligning (Byggforsk, 2015). Figur 12 viser et forslag til hvordan detaljnivået på LCA kan utvikle seg gjennom byggeprosessen (Meex et al., 2018).



Figur 12 - Sammenheng mellom faser i byggeprosjekter og forenklinger i LCA (Meex et al., 2018)

For at klimapåvirkningene skal bli optimalisert, og ikke bare evaluert, må LCA implementeres i tidlig fase av byggeprosessen (Di Bari et al., 2019). Informative og presise beslutninger i tidlig fase gjør i tillegg prosessen med å prosjektere bærekraftige bygg mer effektiv (Buono and Fabricio, 2018). Likevel blir, ifølge Meex et al (2018), LCA metoder mest brukt i senere faser av prosjektene og ikke brukt til å optimalisere i tidlige faser. Årsakene til at LCA ofte ikke blir brukt i tidligfase kan grovt sett deles i to: 1) brukerrelaterte problemer og 2) mangel på eksterne insentiver (Meex et al., 2018).

Det ideelle LCA-verktøyet er lett å bruke i tidlig fase, er ikke avhengig av tilleggsinformasjon, gjør raske beregninger, har muligheter for optimalisering gjennom hele prosjekteringsprosessen og gjør automatiske miljømessige sertifiseringer (Hollberg et al., 2020). Særlig i tidlig fase ønsker prosjekterende aktører raske resultater som blir levert lett forståelig uten mye innsats (Meex et al., 2018). Det optimale verktøyet finnes imidlertid dessverre ikke ennå (Hollberg et al., 2020).

Det blir påpekt i flere artikler (Cavalliere et al., 2018, Buono et al., 2018) at livssyklusanalyse til hele bygninger er veldig kompliserte prosesser, blant annet på grunn av at det er mange variabler involvert. At livssyklusanalyse av hele bygninger er svært kompliserte prosesser kan være grunnen til at LCA i dag oftere brukt i evaluering av bygg i etterkant av prosjekteringen, enn i tidligfase for å optimalisere beslutninger med tanke på design (Meex et al., 2018).

Soust-Verdaguer et al, demonstrerer at ved å lage strategier for forenkling av LCA-metodene kan man redusere datamengden som er nødvendig samt redusere kompleksiteten i både prosessen og konsekvensutredningen (Soust-Verdaguer et al., 2016). Med forenklinger menes her å legge en strategi for omfang og mål i studiet. En ulempe med å gjøre slike forenklinger, er at det kan være utfordrende å sammenligne ulike studier på grunn av forskjellig omfang.

Det er en utfordring å få ikke-eksperter til å forstå klimagassberegninger og gjøre gode valg basert på resultatene, siden LCA er komplisert og kan være omfattende og sette seg inn i (Buono et al., 2018). På grunn av kompleksiteten til klimagassberegninger av bygg er man avhengig av å ha en bred kunnskapsformidling, slik at man kan sette i gang metoder for å vurdere klimapåvirkning. Bred kunnskapsformidling krever et godt samarbeid mellom flere aktører.

Standarder

Det finnes flere standarder som omhandler LCA (Standard Norge, 2018). ISO140 og 14044 inneholder generelle krav om miljøstyring, mens NS-EN 15804 og NS-EN 15978 gir generelle beregningsregler for LCA til produkter og bygninger (EeBGuide, 2011). Den nyeste standarden er NS 3720, og bygger på NS-EN978 og er ment å brukes for å presisere og avgrense metoden for klimagassberegninger (Standard Norge, 2018). I tillegg finnes diverse standarder for energiytelse, klassifisering av byggverk og miljødeklarasjoner. En liste over disse kan finnes i NS 3720.

NS3720: 2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger

NS3720 er standarden for klimagassberegninger for bygninger og ble fastsatt i 2018. Denne standarden er viktig fordi den angir en beregningsmetode for klimagassutslipp som kan knyttes til en bygning gjennom dens livsløp. Standarden bygger på FNs klimapanelers definisjon av klimagasser og beregninger. Prosessen som standarden beskriver, er forenklet og presentert i flytskjemaet i Figur 13.



Figur 13 - Flytskjema som beskriver prosessen for klimagassberegninger (forenkling av figur 1 i NS3720)

Det er viktig å presisere at NS3720 fokuserer på klimagassberegninger og tar derfor kun hensyn til kg CO₂-ekvivalenter og ikke andre effekt kategorier som kan inkluderes i en LCA. Klimagasser definert som gasser som påvirker klimaet ved å virke inn på jordens og atmosfærens strålingsbalanse.

I beregninger som følger NS3720 skal levetid på bygget settes til 60 år, dersom ikke annet er gitt av byggherren.

Bygningsdelstabellen

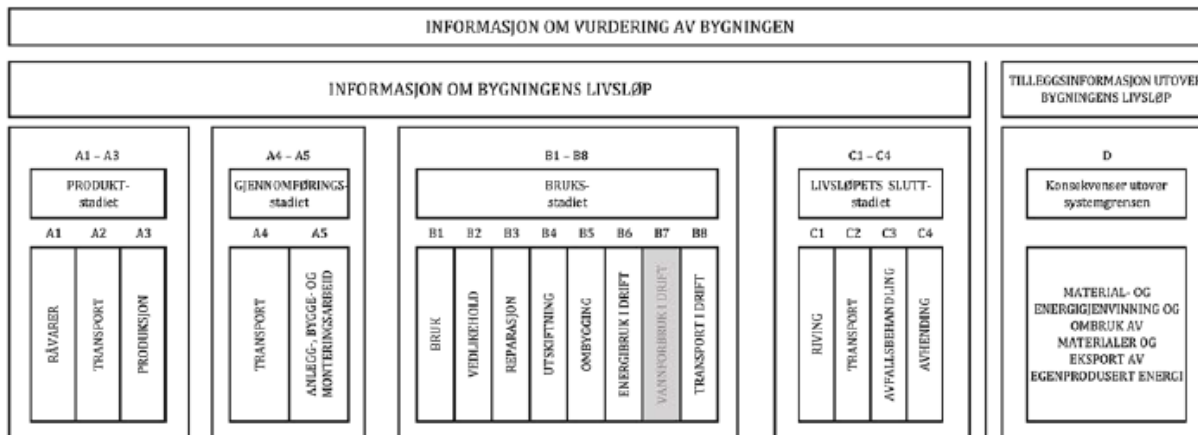
Alle deler av bygningen som skal inngå i klimagassberegningene skal deles opp i henhold til NS3451 Bygningsdeltabell (Standard Norge, 2018). Bygningsdelsoppdelingen for materialer er gjerne delt inn etter oppdelingen i Tabell 3.

Tabell 3 - Oppdeling etter bygningsdelstabellen (Standard Norge, 2019)

1-sifret bygningsdelsnummer	2-sifret bygningsdelsnummer
2 Bygning	21 Grunn og fundamenter 22 Bæresystemer 23 Yttervegger 24 Innervegger 25 Dekker 26 Yttertak 27 Fast inventar 28 Trapper, balkonger

Moduler i bygningens livsløp

For å tydeliggjøre og systematisere systemgrensene ved LCA, er livsløpet til bygninger generelt delt inn i forskjellige moduler (Standard Norge, 2018). En oversikt over alle modulene er gitt i Figur 14. Modulene kalles også i flere sammenhenger livsløpsfaser (SINTEF Byggforsk, 2015).



Figur 14 - Moduler i bygningens livsløp i henhold til NS3720 (Standard Norge, 2018).

Omfanget av klimagassberegningene, som vil si hvilke moduler og bygningsdeler som skal inkluderes, skal bestemmes ut ifra formålet til oppdraget og andre spesifikasjoner fra oppdragsgiver. Standarden kan brukes til å beregne klimagassutslipp både for deler av en bygning eller hele bygningen. Ved helhetlige klimagassberegninger har NS3720 inkluderer fire ulike forhåndsdefinerte omfang, som er vist i Figur 15. Her viser numrene (7.3-7.6) til egne kapitler i standarden som beskriver hvilke moduler som skal medberegnes for de ulike omfangene.

	Uten lokalisering	Med lokalisering
Basis	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5). Materialer (7.4) skal inkludere innhold i bygningsdelsnummer 2 Bygning i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår i lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra tomtebearbeiding (7.2), byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5), transport i drift (7.6). Materialer (7.4) skal inkludere innhold i bygningsdelsnummer 2 Bygning i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår i lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.
Avansert	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5) og inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning, 3 VVS-installasjon, 4 Elkraft, 6 Andre installasjoner, 7 Utendørs i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår i lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra tomtebearbeiding (7.2), byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5), transport i drift (7.6) og inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning, 3 VVS-installasjon, 4 Elkraft, 6 Andre installasjoner, 7 Utendørs i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår til lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.

Figur 15 - Forhåndsdefinerte omfang for klimagassberegninger iht. NS3720

Miljødata og databaser

For at klimagassberegninger skal kunne gjenspeile virkeligheten så nøyaktig som mulig, skiller NS 3720 klimadata inn i to ulike kvalitetsnivåer (Standard Norge, 2018). Datakvaliteten bør stige utover i prosjektet. Nivå 1 er data som har en gyldig tredjeparts verifisert miljødeklarasjon (EPD). Miljødata på nivå 1 finnes for konkrete produkter og tjenester. Nivå 2 er all data som ikke tilfredsstiller kravet til nivå 1. Dette kan være blant annet generisk

data, gjennomsnittsdata og proxy-data regnet fra typiske data. Under nivå 1 kommer også bransje-EPDer som representerer flere produkttyper av samme kategori. I tillegg bør data ikke være eldre enn 10 år (Standard Norge, 2018).

I Europa finnes det mange ulike typer LCA databaser, blant annet Ecoinvent, GaBi, ELCD og ESUCO(EeBGuide, 2011). Generelt sett burde den som utfører en LCA konsekvent bruke samme database, for at resultatene skal kunne være sammenlignbare. Likevel vil dette i praksis ikke alltid være mulig, og i så fall må man vurdere om resultatene vil være av god nok kvalitet for hensikten til analysen(EeBGuide, 2011).

Systemgrenser

En systemgrense er i NS3720 definert som grensesnittet mellom det som omfattes og det som ikke omfattes av beregningen. Beregninger for samme bygning, men i ulike faser av byggeprosessen, kan omfatte et ulikt antall moduler blant annet på grunn av manglende informasjon i tidligfasen sammenlignet med detaljfasen(Standard Norge, 2018).

Yang (2019) skriver om dilemmaet med å klare å inkludere hele bildet i systemgrensene, her for LCA generelt og ikke for bygninger spesielt. I artikkelen står det at «the more is not necessarily better». Her foreslås det å skifte fokus fra å «ferdigstille» systemgrensene til en mer realistisk modellering av det kompliserte «human-environment»-system.

Energibruk og utslippsfaktorer

For å beregne årlig klimagassutslipp fra energibruk i drift av bygg, altså levert energi i modul B6 i Figur 14, skal man i følge NS3720 bruke følgende formel:

$$E_{levert} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T e_{levert}(i, t) * f_{levert}(i, t)$$

Der:

E_{levert}	er totalt utslipp fra energibruk i drift gjennom levetiden
i	er energivareindeks, som går fra 1 til N
t	er tidsindeks, som går fra 1 til T
T	er maksverdi for tidsintervall (timer=8760 i et normalår, måned=12, år=1)
$e_{levert}(i, t)$	er levert energi for energivare i , og i tidsindeks t , angis i kWh
$f_{levert}(i, t)$	er LCA-basert utslippsfaktor for levert energivare i , og i tidsindeks t hvis tilgjengelig. Angis i gCO ₂ -ekvivalenter/kWh

I formelen over er det tydelig at den LCA-baserte utslippsfaktoren $f_{levert}(i, t)$ har stor påvirkning på størrelsen av totalutslippet E_{levert} . Det finnes mange ulike verdier for utslippsfaktoren $f_{levert}(i, t)$, og flere av disse er samlet i Tabell 4. NS3720 definerer at det i klimagassberegninger skal benyttes minst to ulike scenarioer for elektrisitetsforsyning, som er de to første verdiene i Tabell 4. Det finnes også andre utslippsfaktorer for andre typer energivarer, men disse vil ikke diskuteres i denne oppgaven.

Tabell 4 - Ulike utslippsfaktorer

Utslippsfaktor - $f_{levert}(i, t)$	CO ₂ faktor (kg CO ₂ ekvivalenter/kWh)
Scenario 1 NS3720 - NO	0,0180
Scenario 2 NS3720 – EU28+NO	0,1360
CO ₂ -faktoren for norsk kraftproduksjon i 2018	0,0189
Utslipp knyttet til den nasjonale varedeklarasjonen	0,5200
ZEB-faktor brukt i klimagassregnskap.no	0,1230

For å forstå hvorfor utslippsfaktorene er så ulike og at forskjellige faktorer kan brukes, er det nødvendig å forstå opprinnelsesdeklarasjon. Opprinnelsesdeklarasjon er en garanti for at en viss mengde fornybar strøm er produsert ved et bestemt kraftverk, slik som vist i den grønne delen av Figur 16 (NVE, 2019).



Figur 16 – Opprinnelsesgaranti(Hafslund, 2020)

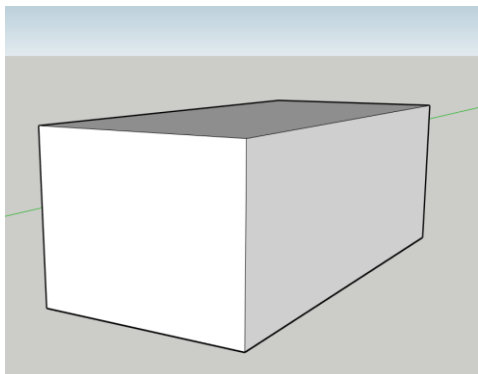
En kraftleverandør som selger kraft uten å ha opprinnelsesgaranti, må bruke den nasjonale varedeklarasjonen. Den nasjonale varedeklarasjonen blir beregnet hvert år, og utslippene ble i 2018 beregnet til 520 g CO₂-ekvivalenter/kWh(NVE, 2019). Dette er betydelig høyere enn CO₂-faktoren for norsk kraftproduksjon i 2018 som var på 18,9g CO₂-ekvivalenter/kWh. Dette var fordi det kun ble innløst opprinnelsesgarantier for 14% av kraftkjøpet i Norge og dermed tilsvarer den «ukjente kraften» den Europeiske restmiksen.

Sammenlignbarhet og referansebygg

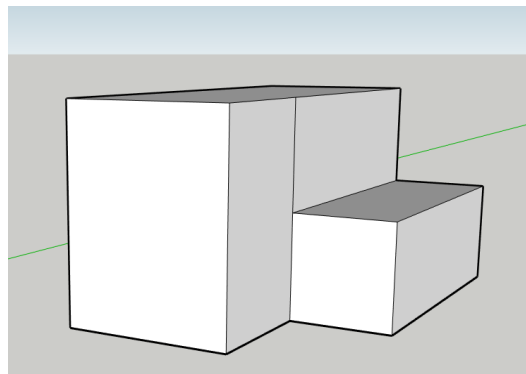
Det er kun mulig å sammenligne resultatene fra klimagassberegninger for ulike bygninger eller bygningsdeler dersom de har samme funksjon (funksjonell enhet), samme systemavgrønsing og bruker like scenarioer(Standard Norge, 2018, Mason, 2019). Ved å følge standarden NS3720 og sette de samme systemgrensene og forutsetninger, vil man kunne sammenligne ulike beregninger og modeller. Standarden definerer hva slags moduler (det vil si A1-D), som brukes for hvert område, for eksempel materialer, energibruk osv.

En metode man kan bruke for å tallfeste hvor miljøvennlig et bygg er, er å sette krav til en reduksjons grad i forhold til et referansebygg. På den måten kan man sammenligne et ordinært og gjennomsnittlig bygg med en forbedret løsning klimamessig. Fordelen med denne løsningen er at man kan sette et mål selv om man mangler statistikkgrunnlag og kunnskap

om utslippsnivå (Wiik et al., 2020). I Future Built-prosjekter skal det defineres to referansebygg, et med skoeseke form og et der geometrien er tilpasset. Forskjellen mellom disse to referansebyggene handler om geometrien er tilpasset slik bygget skal bli som illustrert i Figur 17 eller om man bruker en boks eller «skoeseke» som geometri som illustrert i Figur 18. Det står imidlertid ingenting om definisjon av referansebygg i NS3720.



Figur 17 - Skoeseke-formet referansebygg
(Tegnet i Sketch-up)



Figur 18 - Tilpasset referansebygg (Tegnet i Sketch-up)

Usikkerhet

Som vist i Figur 6 vil usikkerheten være høyest i tidlig fase i byggeprosjekter, og deretter reduseres etter hvert som mer bestemmes.

Det mangler en klar strategi på hvordan man behandler og kommuniserer usikkerheten i en LCA for en hel bygning til de som skal ta beslutninger (Meex et al., 2018). På grunn av dette bør resultatene presenteres grafisk, for å gjøre dem enkle å forstå.

Mangel på tidsmessig informasjon er en viktig begrensning i LCA (Levasseur et al., 2010). I noen tilfeller kan endringer underveis i en bygnings levetid påvirke LCA resultatene i en større grad enn material- og byggefasen (Collinge et al., 2013). Collinge påpeker at bygninger har en lang levetid, og at det derfor er potensiale for endringer over tid (Collinge et al., 2018).

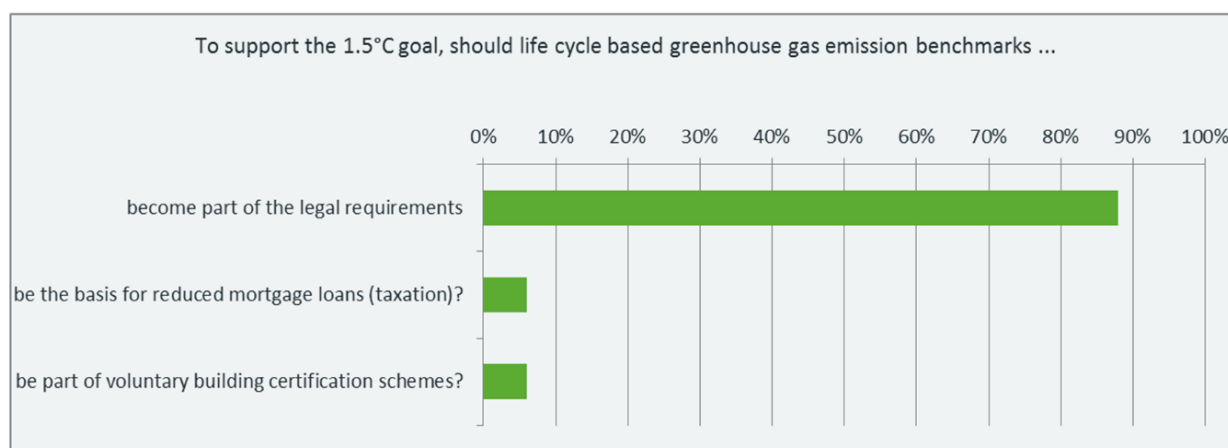
Det lange livsløpet til en bygning fører til store usikkerheter, spesielt når det kommer til drift av bygget (omgjøring, oppførsel til brukere, og deres bruksmønster etc.) (Meex et al., 2018). Dersom man bruker statiske utslippsfaktorer, vil man kanskje ikke ta høyde for dynamiske forhold i energieffektivitet ved produksjon, økt transporteffektivitet og overgangen til renere energikilder (Birgit et al., 2014). For å redusere denne usikkerheten, kan det anbefales å gå over til en metode som blir kalt dynamisk livssyklusanalyse (DLCA) (Levasseur et al., 2010). Dette går ut på å inkludere dynamisk prosessmodellering i både temporale og romlige variasjoner, ulike LCIA karakteriserings faktorer, sensitivitetsanalyse og usikkerhetsanalyse. Ifølge resultatene fra flere rapporter, kan innføring av DLCA øke relevansen og nytten av resultatene (Collinge et al., 2013, Levasseur et al., 2010).

I NS3720 blir usikkerhet tatt med ved at avhengig av formålet til beregningen skal det utarbeides flere alternative scenarioer som beskriver bygningens livsløp. Med scenarioer menes antagelser om det som vil skje med objektet fram i tid, for eksempel material- eller løsningsvalg, ulike vedlikeholds scenarioer, valg av energiløsning eller avfallshåndtering etter endt levetid. I henhold til NS3720 skal det også gjennomføres en følsomhetsanalyse som skal inngå i presentasjonen av resultatet og drøfting av beregningens robusthet. Beregningene skal i tillegg inkludere kapp og svinn på byggeplass.

Siden klimaendringene gir verden dårlig tid til å redusere utslippene sine, kan det være forskjell på om man prioriterer å ha lave utslipp i starten eller slutten av livsløpet til et bygg. En måte man kan ta hensyn til dette på, er å bruke diskontering på de ulike utslippene i en LCA (Birgit et al., 2014). Det kan da være utfordrende å velge hva slags diskonteringsfaktorer som skal brukes. Dette vil også kunne påvirke i stor grad beslutninger, som for eksempel om det vil være klimaregnskapsmessig mest lønnsomt å bygge nytt eller rehabilitere.

Grenseverdier

Grenseverdier kan oversettes til benchmark på engelsk. Litteraturen skiller mellom to måter å sette grenseverdier på eller «benchmarking» på engelsk: «top-down» og «bottom-up». Forskjellen er at «top-down» er basert på lovpålagte krav mens «bottom-up» er basert på tidligere prosjekter eller typiske konstruksjoner. Det finnes flest artikler om «bottom-up»-benchmarking (Rasmussen et al., 2019), men ekspertene mener at det er «top-down» som burde brukes (Frischknecht et al., 2019).



Figur 19 - Ekspertene som mener at "benchmarking" burde bli satt som lovpålagte krav i stedet for skattelettelse eller frivillige sertifiseringsløsninger (Frischknecht et al., 2019)

Schlegl skriver om fire ulike typer grenseverdier (Schlegl et al., 2019):

1. Målverdi, target value, som er den høyeste mulige verdien som teoretisk sett kan oppnås
2. Beste praksisverdi, best in practice value, som er den beste verdien man kan nå
3. Regular value, er gjennomsnittsverdien
4. Limit value, er den laveste mulige verdien

Flere har beregnet grenseverdier i praksis. Zimmermann (2015) finner grenseverdier for energibehov og klimagassutslipp for bolig og kontorbygg (Zimmermann et al., 2005). Ji har også beregnet klimagassutslipp for mange skolebygg og et gjennomsnitt av disse (Ji et al., 2016). Schlegl et al (2019) skulle også lage et «bottom-up» gjennomsnitt fra en database på 200 bygninger, men endte opp med å kun bruke 3% av databasen fordi de resterende ikke var egnet for å lage en slik grenseverdi. Det ble dermed konkludert at datakvaliteten ikke har god nok kvalitet til å lage generelle og automatiske grenseverdier i dag. Anbefalingene Schlegl et al (2019) kom med for å utbedre database for å enklere lage grenseverdier for bygninger var:

- Å standardisere maler og grensesnitt
- Plassere bygningselementer i de samme kategoriene
- Ha automatisk kvalitetssikring i databasen
- Integre digital informasjon fra for eksempel BIM-modeller
- Sikre at man bruker oppdatert versjon av databasen.

Verktøy

Det finnes mange ulike verktøy som kan brukes til å utføre klimagassberegninger for bygg. Man har blant annet One Click LCA, Tally, Green Building Studio, ETool LCA, Elodie, LCA Design og fler(Bueno and Fabricio, 2018). I denne oppgaven er One Click LCA mest relevant.

One Click LCA

One Click LCA (2015) er et internettbasert verktøy som kan brukes til å utføre livssyklusanalyser, analyser på livssyklus kostnader, beregne bygningers karbonfotavtrykk, sirkularitetsvurderinger, sammenligne karbonreferanser og utføre optimalisering av prosjektering i tidlig fase. One Click LCA er akseptert for BREEAM NOR 2016 og sertifisert for å følge EN15978.

One Click LCA kan hente inn data på flere ulike måter. Inngangsdata enten legges inn manuelt, ved hjelp av et referansebygg fra Carbon Designer, eller man kan importere data fra ulike formater. Programvarer og filformater der integrasjon støttes er Excel, Revit, gbXML-fil, Solibri (Beta-versjon), IDA-ICE (Beta-versjon), ArchiCAD, One Click LCA BIM tool, Simplebim, IES-VE, Design Builder og Tekla(One Click LCA, 2015).'

Carbon designer er en funksjonalitet i One Click LCA, som beregner et referansebygg basert på inngangsdata og NS3720(One Click LCA, 2015). Resultatene fra Carbon designer bruker karbonutslipp basert på bygninger bygget i normale markedsforhold i Norge, ifølge beregninger gjort i 2018. Carbon designer beregner kun effektkategorien Potensielt bidrag til global oppvarming, og kan derfor ikke brukes til andre effektkategorier. Hva som er inkludert og ikke i disse beregningene, er oppsummert i Vedlegg 2 – Inkluderte livssyklusfaser i Carbon designer.

Klimagassregnskap.no

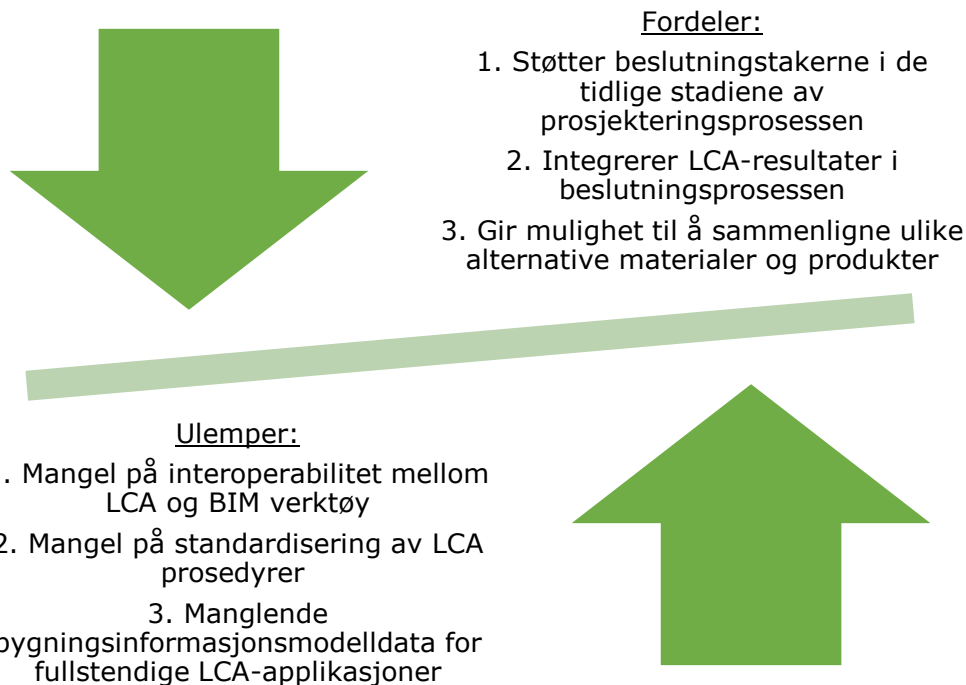
Klimagassregnskap var den mest brukte modellen for klimagassberegninger for bygg og byggeprosjekter i Norge, men ble i 2017-2018 utfaset og avsluttet(One Click LCA, 2020). Verktøyet var laget på oppdrag fra Statsbygg, som senere videreførte løsningen i det private markedet i samarbeid med One Click LCA. Som vist i Vedlegg 1 er det en rekke forskjeller mellom One Click LCA og klimagassregnskap.no.

2.5.3 BIM-integrert LCA

Digitale verktøy basert på BIM, bidrar med potensiale til å begrense arbeidsmengden for LCA og gjøre prosessen raskere(Hollberg et al., 2020). Det har blitt skrevet mange vitenskapelige artikler om BIM-integrert LCA de siste årene.

Ideen er å koble bygningsobjektene til spesifikk materialdata fra nasjonale LCA databaser for å kunne beregne iboende energi direkte ved hjelp av BIM-modellen(Genova, 2020). Formålet er å redusere arbeidsmengde og repetitive oppgaver med å legge informasjon fra LCA databaser og BIM-modellen inn i LCA-verktøyet. I tillegg kan man integrere LCA og BIM i beslutningstaking for å kunne øke miljømessig utvikling i byggebransjen(Genova, 2020).

Det finnes mange fordeler, men også en del ulemper og utfordringer med å integrere BIM i klimagassberegningene(Seyis, 2020). Et omfattende litteratursøk av Seyis (2020) har kartlagt flere av disse, og disse er samlet i Vedlegg 4 - Fordeler og ulemper med BIM-integrert LCA. Da en rekke eksperter ble bedt om å rangere hvilke av disse fordelene og ulempene som er viktigst, var det punktene i Figur 20 som ble trukket frem.



Figur 20 - De viktigste fordelene og ulempene med integrert bruk av BIM og LCA (Seyis, 2020)

Det finnes to trender for når BIM-integrert LCA blir brukt (Cavalliere et al., 2019a). Strukturen og ferdighetsgraden av modellen være definert før man kan bestemme hva slags arbeidsflyt og verktøy som kan brukes (Rock et al., 2019). Den ene trenden er basert på å bruke en ferdigstilt BIM-modell til å utføre en detaljert LCA, mens den andre trenden går ut på å gjøre en mer forenklet LCA i tidlig fase. Styrker og svakheter med disse to trendene er oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5 - Hovedtyper BIM-integrert LCA (Cavalliere et al., 2019a)

Forenklet LCA i tidlig fase	Detaljert LCA med ferdigstilt BIM-modell
<ul style="list-style-type: none"> • Mindre troverdige resultater • Gir større mulighet til å påvirke beslutningsprosessene, siden designet ikke er fastsatt 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan kun implementeres når prosjekteringen er ferdigstilt, fordi det krever nøyaktige data • Kun eksperter kan gjennomføre dette • For sent å gjøre store endringer i prosjekter

BIM-modellene kan brukes på flere ulike måter i klimagassberegninger, slik som vist i Tabell 5 i Vedlegg 3 - Strategier for BIM-integrert LCA. De ulike strategiene kan deles inn i to hovedretninger (Wastiels and Decuypere, 2019). Den første er mengde- og materialdata er hentet ut ifra BIM-modellen og deretter er LCA utført i en annen programvare. Den andre er en mer dynamisk plug-in av LCA data i BIM-modellen, der klimaberegningene er gjort i selve BIM-programmet (Genova, 2020).

Mengdeuttak fra BIM-modell

Denne metoden går ut på at variablene skal legges til i objektene BIM-modellen, for å deretter bli eksportert til programvaren man ønsker å utføre selve LCA-beregningene (Cavalliere et al., 2018). Dette er en statisk metode der LCA-beregninger er utført basert på en frosset fase av en BIM-modell (Genova, 2020). Mengdeuttak er tatt fra modellen i et standardisert format, for å la LCA-verktøyet gjøre beregningene. Denne informasjonsutvekslingen er kun én vei. IFC-modell eller gbXML brukes i LCA-verktøyet. Det vil dermed ikke være behov for å fylle inn mengder på nytt manuelt i LCA-verktøyet, dersom alt fungerer som det skal. Hvert datauttak vil representere tilstanden til prosjektet miljømessig, og vil kunne vise hvor man kan gjøre forbedringer med tanke på klimagassutslipp.

En ulempe med dette metoden er at LCA ikke blir utført i BIM-programmet og dermed vil det kunne være arbeidskrevende å importere oppdaterte data fra BIM-modellen for å så utføre analysen på nytt. Nøyaktigheten på BIM-modellen er også standardisert med begrenset mengde miljø-informasjon, noe som gjør at importering av filen inn i LCA-programvaren og dermed kalkulasjonen blir mindre nøyaktig. Utfordringen med denne metoden er å ikke miste informasjon (Genova, 2020).

En annen ulempe med denne metoden er at det brukes mye tid og arbeidskraft på å etablere mengdedataene (BoQ- Bill of Quantity) og finne de riktige datasettene for bygningsmaterialene i LCA databasen (Hollberg et al., 2020).

Forsøk (Houlihan Wiberg et al., 2014) (Forth et al., 2019) viser at det finnes utfordringer med å eksportere mengder fra en BIM-modell til LCA-verktøyet, og at det kan forekomme feil mellom faktisk mengde og mengde som er lagt inn i BIMen. Forth et al. (2019) utførte BIM-integrert LCA med mengdeuttak med både Revit og ArchiCAD, som ble eksportert til eLCA, Tally og One Click LCA. Her kom det frem at blant annet eksport til IFC filer kan medføre feil. Det er presisert at resultatene for alle BIM-integrerte metoder, kun kan bare bli så presise som det BIM-modellen er. Selv små modelleringsforskjeller kan ha en stor påvirkning på resultatene, og manglene bygningselementer kan føre til misledende resultater uten at man nødvendigvis legger merke til det.

En BIM-basert LCA ved hjelp av mengdeuttak kan være misledende og mot sin egen hensikt fordi klimagassutslippene blir overestimert (Hollberg et al., 2020). En studie med mengdeuttak fra BIM-modell viser at klimagassutslippet (i tonn CO₂-ekvivalenter) er dobbelt så stort under prosjektering som etter at bygget er ferdigstilt (Hollberg et al., 2020), som vist i Figur 21. Rapporten fremhever 3 ulike grunner til at utslippene endrer seg over tid: endring av antall bygningselementer, endring av volum på eksisterende elementer og endring av materialene som elementene består av (Hollberg et al., 2020).



Figur 21 - Utvikling av iboende tonn CO₂ ekvivalenter gjennom designprosessen (Hollberg et al., 2020)

En av årsakene til at klimagassutslippene ble overestimert under prosjektering, er at teknisk utstyr ofte er forenklet i BIM-modellene, og derfor ikke inkluderer innvendige komponenter (Hollberg et al., 2020). Dette gjør at det blir vanskelig å beregne påvirkningen på disse på samme måte som resten av komponentene i bygget. Den totale massen blir i denne sammenhengen forenklet, og burde byttes ut med produktspesifikk informasjon i fremtiden.

En annen årsak er at på slutten av prosjekteringsprosessen blir elementene prosjektert med et høyere detaljeringsnivå (Hollberg et al., 2020). Innledningsvis blir det ofte prosjektert vegger og dekker i grove trekk som midlertidige «placeholders». Mens elementene blir mer detaljerte over tid, blir også klimagassberegningene nærmere den virkelige påvirkningen. De fleste elementene øker i antall gjennom prosjekteringen. Det må tas med i beregningen at overlappende elementer ikke ble automatisk sjekket i dette tilfellet, og derfor kan også ha en påvirkning på resultatene (Hollberg et al., 2020). Konklusjonen til rapporten er den og at

Forth et al. (2019) anbefaler på det sterkeste å gjøre en komponent-spesifikk kontroll av byggematerialene for å sikre at det som er importert er både komplett, har riktige mengder og er presist. Soust-Verdaguer et al. (2017) finner i sin rapport at de fleste studiene går gjennom det som blir eksportert fra modellen manuelt, noe som stemmer overens med denne anbefalingen.

Automatiske innhenting av informasjon er kanskje ønskelig fra et brukerperspektiv, fordi den manuelle og tradisjonelle metoden er ekstremt tidskrevende (Forth et al., 2019). Likevel er ikke en fullstendig automatisk prosess nødvendigvis mer effektiv enn en semi-automatisk, fordi endringer feil og mangler i modellen som ikke er synlige fra starten må bli funnet. Med semi-automatisk menes her at man må manuelt koble materialer til det som er automatisk importert fra BIM-modellen.

Meex et al. påpeker at alle kalkulasjoner burde samles i samme verktøy, fordi det motsatte fører til økt arbeidsbehov samt muligens mindre optimale løsninger (Meex et al., 2018). Soust-Verdaguer (2017), derimot, påpeker at utviklingen av åpne formater som IFC burde utvikles heller enn plug-in løsninger for spesifikke formater, fordi det vil tillate mer komplette analyser over hele livsløpet til bygget samt legge til rette for inkludere LCA ytterligere inn i byggebransjen (Soust-Verdaguer et al., 2017).

Dynamisk plug-in

BIM-integrert LCA med plug-in er en dynamisk metode der miljøvurderinger er tatt kontinuerlig gjennom hele prosjektet (Genova, 2020). Et plug-in verktøy gjør det mulig å

utføre LCA i det samme verktøyet som brukes til BIM, uten ekstra modelleringshandlinger (Bueno and Fabricio, 2018). Informasjonen er toveis, noe som kan legge til rette for potensiell optimalisering og «feedback-loop» (Genova, 2020). Dette kan gjøre metoden mer komfortabel, raskere og setter miljømessige kriterier sterkere ved beslutningstaking. De valgene som blir gjort i modellen, blir linket opp mot de mest relevante materialene i LCA databasen som er tilgjengelig i plug-in verktøyet.

Fordelen med et slikt verktøy, kan være at man får oppdaterte resultater raskt dersom man gjør en endring i modellen (Soust-Verdaguer et al., 2017). Sammenligner man med mengdeuttak-metoden, slipper man å gjøre mye på nytt hver gang det oppstår en endring.

En av utfordringene med denne metoden, er at plug-in verktøyet kan ha et begrenset bibliotek med materialer, noe som vil føre til mange antagelser (Bueno and Fabricio, 2018). Det fortsatt er nødvendig å forbedre tilgjengeligheten av informasjon om byggematerialer, da det blant annet er uavklarte utfordringer med å automatisk inkludere informasjon knyttet til transport, lokasjon og regionale karakteristikker i prosjektet.

En annen utfordring med denne metoden er at den ofte kun inkluderer noen livssyklusfaser, fordi faser som er tidsbestemte (slik som utskiftning, rehabilitering, vedlikehold, reparasjoner og riving) ofte er mer utfordrende å modellere i en BIM (Soust-Verdaguer et al., 2017).

Flere skriver at det tar betydelig med tid og ressurser og hente inn klimadata til modellen (Bueno et al., 2018, Cavalliere et al., 2018). Den høye tidsbruken kan blant annet begrunnes med at det kreves store mengder eksakt informasjon (Di Bari et al., 2019)

Store forenklinger må til for å kunne utføre en LCA-BIM plug-in, noe som gjør at man ikke vil få de samme resultatene som en fullstendig livssyklusanalyse (Bueno and Fabricio, 2018).

I BIM-integrasjonen kan brukes et LCA «tracking-number» for å knytte materialer til LCA-informasjonen. Det kan være flere utfordringer med å knytte BIM-elementene opp mot LCA-beregningene, blant annet (Genova, 2020):

- Elementene kan ikke være navn-baserte, fordi prosjekter ofte har flere språk
- Den største utfordringen er det som må gjøres manuelt, noe som kan føre til menneskelige feil
- Materialene fra Revit-biblioteket og LCA-biblioteket kan være svært forskjellige

Siden LCA-BIM-koblingen ikke er avansert, og LCA-databasene mangler oppdatert informasjon, vil statisk mengdeuttak gi mer nøyaktige resultater enn dynamisk (Genova, 2020). Dynamisk metode er material- og objektorientert, noe som gjør at produksjon av materialer, transport og installasjon ikke vil bli inkludert. Dette kan inkluderes ved hjelp av informasjon som plassering, tid og andre data om prosjektet. Etter hvert som nøyaktigheten av bygget øker, vil modellen kunne være en prototype for hva som skal bygges (Genova, 2020).

3 Metode

En metode er en strategi eller en teknikk som benyttes for å løse problemer og komme fram til ny kunnskap (Everett, 2004). Debatten rundt bruken av kvantitative og kvalitative metoder var tidligere preget av store motsetninger, men det er nå en erkjennelse at begge tilnærmingene har både sterke og svake sider. Det er derfor viktig å finne det verktøyet som er mest egnet i hvert tilfelle og være åpen for forskjellige, og mulige kombinasjoner av, forskningsmetoder (Everett, 2004).

3.1 Valg av metoder

Hensikten for denne oppgaven var å utfylle eksisterende forskning, ved å undersøke hvordan klimagassberegninger kan forbedres. For å få dette til, ble flere ulike metoder brukt for hvert forskningsspørsmål.

Klimagassberegninger kan være svært omfattende og komplekse og for å skrive oppgaven krevdes derfor en god teoretisk forståelse av LCA og miljøoppfølging av bygg. For å etablere denne grunnleggende forståelsen, var det nødvendig å utføre et omfattende litteratursøk og å lese mange ulike artikler. Litteratursøket ga nyttig innsikt i hva slags forskningsspørsmål som kunne være interessante å utforske videre.

Litteratursøket ga ikke alene tilstrekkelig informasjon. Det ble derfor i tillegg hentet inn informasjon fra kvalitative intervjuer. Det ga muligheten til å spisse søket mot hvordan klimagassberegninger utføres i Norge, da mye av litteraturen baseres på klimagassberegninger i andre land.

For å supplere de kvalitative resultatene fra litteratursøket og intervjuene, ble det aktuelt å samle inn kvantitative data. Fordelen med supplere med kvantitativ data, var blant annet at det ble enklere å bruke til å lage grafer og entydige sammenhenger av enn ved bruk av kvalitativ data. Den kvalitative informasjonen var i form av ferdigstilte klimagassberegninger fra norske barnehager og etterprøving av disse beregningene ved bruk av egne beregninger i Carbon Designer fra One Click. Den kvantitative informasjonen ble sammenlignet og evaluert i en casestudie. I tillegg ble ulike funksjoner i One Click utforsket i praksis for å få bedre innsikt i hvordan beregningene blir utført.

Å komme med innspill til hvordan utfordringene kan løses, krevde en god grunnleggende forståelse av både hva som blir beskrevet i litteraturen og hvordan beregningene utføres i praksis. Derfor ble både litteratursøket, casestudiet og intervjuene brukt som metode for besvare forskningsspørsmålet.

3.2 Kvalitativ metode – Litteratursøk

Målet med litteratursøket var å få en bedre forståelse av fagområdet og deretter finne kunnskapshull i den eksisterende forskningen. Et viktig verktøy i litteratursøket har vært referansehåndteringsystemet EndNote, som har fungert som et bibliotek for relevant litteratur.

Fremgangsmåten for litteratursøket må deles i to: en for den internasjonale litteraturen og en mot den norske.

Internasjonal litteratur

Litteratursøket ble utført etter et rammeverk med seks ulike steg (Arksey and O'Malley, 2005):

1. Identifisere forskningsspørsmålet (dette er allerede gjort i innledningen av oppgaven)
2. Identifisere relevante artikler

3. Velge artikler
4. Kartlegge dataene
5. Samle, oppsummere og rapportere

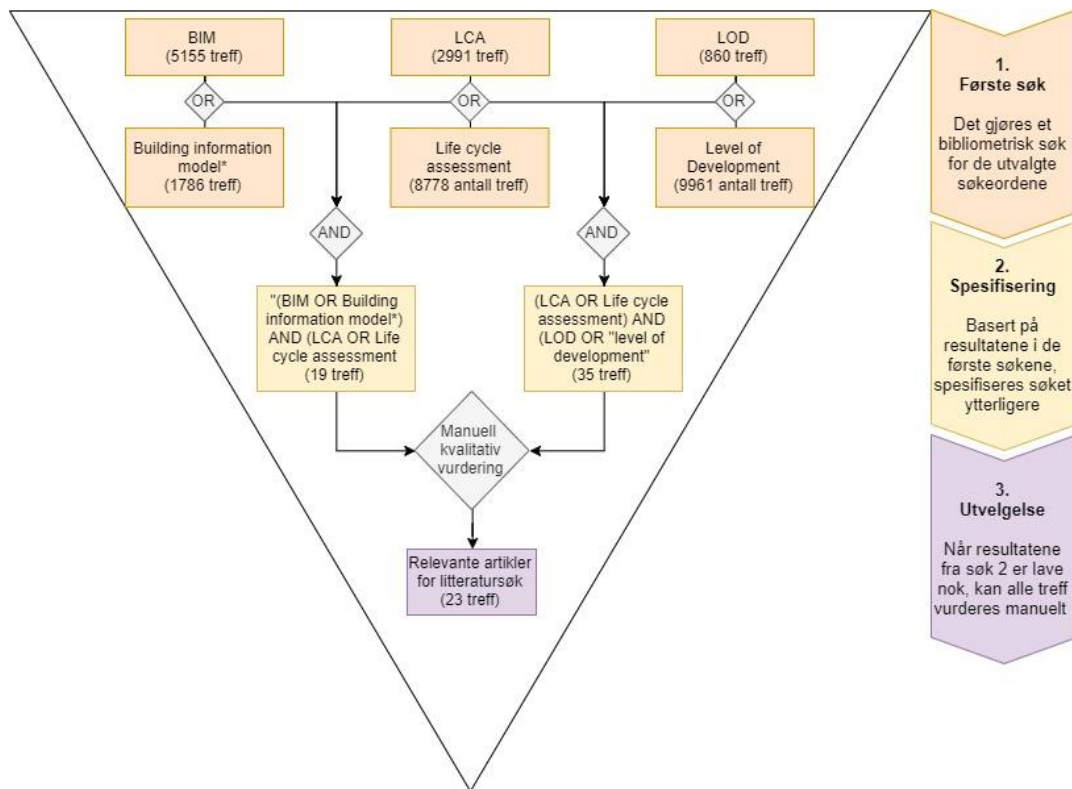
For å indentifisere alle relevante artikler om temaet, var det nødvendig å finne synonymer som kan brukes som søkeord. For eksempel kan LCA ha mange ulike synonymer slik som «life cycle assessment», «Environmental assessment of buildings», «Environmental impact assessment» osv. For å redusere omfanget av litteratursøket ble ikke alle av disse valgt.

Søketjenestene som ble brukt var Oria, Scopus, Engineering Village og Web of Science. De to sistnevnte var anbefalt av NTNU for å finne kilder om byggebransjen (i databasesøk på Oria) og alle databasene har blitt anbefalt på kildebehandlingkurs på universitetsbiblioteket på NTNU. Beskrivelse av databasene er oppsummert i Tabell 6. Formålet med å søke i flere databaser er å sikre at alle relevante artikler dukker opp.

Tabell 6 - Beskrivelse av databaser

Database	Beskrivelse
Oria	En bibliotekjeneste NTNU har for studenter, hvor man kan søke i bibliotekets trykte og elektroniske samlinger.
Scopus	En sitat- og abstrakt basert database, som består av fagfelleurdert litteratur. Det vil si at eksperter har selvstendig og anonymt kritisk evaluert arbeidet før det ble publisert.
Engineering village/Compendex/Elsevier	Er en anbefalt database for bygg og konstruksjonsteknikk på databasesøket til NTNU.
Web of science	Er en anbefalt database for bygg og konstruksjonsteknikk på databasesøket til NTNU. Er en av de mest kjente internasjonale sitat databasene for akademisk forskning. De fleste artiklene i Web of science er fagfelleurdert, men dette ble dobbeltsjekket før kilden blir brukt.
Google scholar	En enkel måte å gjøre brede søk etter vitenskapelig litteratur som søker i mange ulike databaser. Siden Google Scholar finner svært mange treff der ikke alle er fagfelleurdert, er det viktig å være kritisk til disse kildene.

Under oppstart av litteratursøket, ble det utført søk på utvalgte søkeord. Søket var begrenset til at søkeordet skulle finnes i tittelen til artikkelen. Disse søkene ga mange treff, slik at det ble for omfattende å gå gjennom alle treffene manuelt. Derfor må søket spesifiseres ytterligere. Her ble søkeordene kombinert, for å finne artikler som traff flere av søkeordene samtidig i tittelen. Så lenge søket havnet på 50 artikler eller mindre, var det ikke noe problem å manuelt se gjennom artiklene for å finne ut hvilke som er aktuelle. Hele denne prosessen er illustrert i Figur 22.



Figur 22 - Eksempel på søkeprosedyre, her med treff fra databasen Scopus. Prosedyren er inspirert av litteratursøket til Andenæs (Andenæs et al., 2018)

Ved gjennomgang av de valgte artiklene, ble snowballeffekten brukt til å finne flere aktuelle kilder. Ved utforming av teorikapittelet, ble det også behov for kilder til grunnleggende kunnskap om for eksempel byggeprosessen, BIM og LCA, som ikke kommer frem med søkeordene som er valgt. I slike tilfeller er det gjort mer spesifikke søk i Scopus.

Hele våren 2020 har det kommet inn varsler på lagrede søk for å sikre at all den nyeste forskning ble tatt med. I tillegg blir Global Status report (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019) oppdatert hvert år, og den nyeste versjonen ble selvfølgelig brukt.

Norsk litteratur

Siden oppgaven er avgrenset til klimagassberegninger i Norge, var det også nødvendig å bruke norsk litteratur. Dette finnes imidlertid ikke i Scopus, Engineering village/Compendex/El Sevier og Web of science.

Noen svært anerkjente kilder som norske standarder, særlig NS3720 (Standard Norge, 2018) og Byggforsk (SINTEF Byggforsk, 2015) ble mye brukt.

Informasjon om spesifikke verktøy eller miljøsertifiseringer, slik som One Click LCA og BREEAM, måtte derimot hentes fra deres egne hjemmesider. Det ble for eksempel forsøkt å søke på «miljøsertifisering bygg» på Scopus og Oria, men det ga ingen treff. Dermed blir det nødvendig å gå over til mer «grå litteratur», slik som hjemmesidene til One Click LCA, BREEAM og Future Built.

3.3 Kvantitativ metode – Case

For å samle inn kvantitative data ble det samlet inn ferdigstilte klimagassberegninger fra barnehageprosjekter i Norge og utført egne klimagassberegninger.

De ferdigstilte klimagassberegningene fra eksisterende barnehageprosjekter ble sammenlignet, evaluert og brukt som grunnlag for å svare på problemstillingen i oppgaven.

For å få en bedre forståelse av hvordan klimagassberegningene utføres i praksis, ble tre ulike funksjonaliteter i One Click brukt og evaluert. Resultatene fra referansebyggene i de ferdigstilte klimagassberegningene ble deretter etterprøvd ved å utføre beregningene på nytt i Carbon Designer.

Ferdigstilte klimagassberegninger

For å få en oversikt over hvordan klimagassberegninger blir utført i praksis, ble det innhentet inn klimagassberegninger av barnehager fra Future Built, Omsorgsbygg og fra en av informantene fra intervjuene. Alle informantene ble spurt om de hadde tilgjengelige klimagassberegninger fra barnehager.

Barnehager ble valgt fordi denne bygningskategorien ofte har et relativt lite bruksareal og bygningene er mer sammenlignbare i geometrien enn for eksempel skoler og sykehus.

Klimagassrapportene ble lest nøye, og informasjonen ble samlet i flere ulike Excel ark. Blant annet ble det samlet inn informasjon om:

- Verdier for beregnet klimagassutslipp fra referansebygg, materialer, energi og transport
- Ambisjonsnivå i prosjektene (enten BREEAM eller Future Built)
- Metode og verktøy brukt i klimagassberegningene
- Struktur på rapportene
- Hvilken fase av byggeprosjektene som klimagassberegningene ble utført
- Systemgrenser som ble benyttet
- Generell informasjon om prosjektene

På bakgrunn av denne informasjonen kunne man sammenligne blant annet hvilke systemgrenser som ble brukt og hvordan referansebyggene ble definert.

Beregning av gjennomsnitt og utvikling over tid

For å kunne beregne gjennomsnitt av ferdigstilte klimagassberegninger fra barnehageprosjekter i Norge er det nødvendig å ha sammenlignbare resultater. De beregnede klimagassutslippene derfor delt inn etter hvilken fase av byggeprosjektet de ble beregnet for (referansebygg, «som prosjektert», «som bygget» og «i drift»). Innen disse fasene ble klimagassutslippene igjen delt inn i tre ulike kategorier: materialer, stasjonær energi og transport i drift. Siden det kun var prosjektene knyttet til Future Built som inkluderte transport i drift, ble denne kategorien utelatt fra gjennomsnittet.

De beregnede klimagassutslippene ble fremstilt i kg CO₂-ekvivalenter/år/m². Der denne enheten ikke var å finne i rapporten, måtte klimagassutslippene i kg CO₂-ekvivalenter deles på antall kvadratmeter (BTA) og/eller 60 år for å få riktig benevning.

Etter at alle verdiene var samlet inn og gjort om til riktig benevning, ble verdiene grafisk fremstilt ved hjelp av boks-plott. Boks-plottene blir automatisk generert i Excel og viser fordelingen av data i kvartiler og fremhever gjennomsnittet, medianen og utliggere. Boksene strekker seg fra øvre til nedre kvartil. Krysset i boksen viser medianen, mens streken viser gjennomsnittet. Utliggere er de vertikale linjene som stikker ut fra nedre og øvre kvartil, og presenterer største og minste observasjon i datasettet.

For å vise utviklingen av beregnede klimagassutslipp over tid, ble også verdiene for klimagassutslipp fremstilt i et punktdiagram med årstall på x-aksen.

Etterprøving av resultater fra klimagassberegninger

Carbon designer ble brukt for å etterprøve beregningen av referansebyggene i de ferdigstilte klimagassberegningene fra barnehageprosjekter i Norge. Carbon designer genererer automatisk et referansebygg og klimagassutslipp fordelt på ulike kategorier (se Figur 24).

De systematiske forsøkene ble utført i en stegvis prosess:

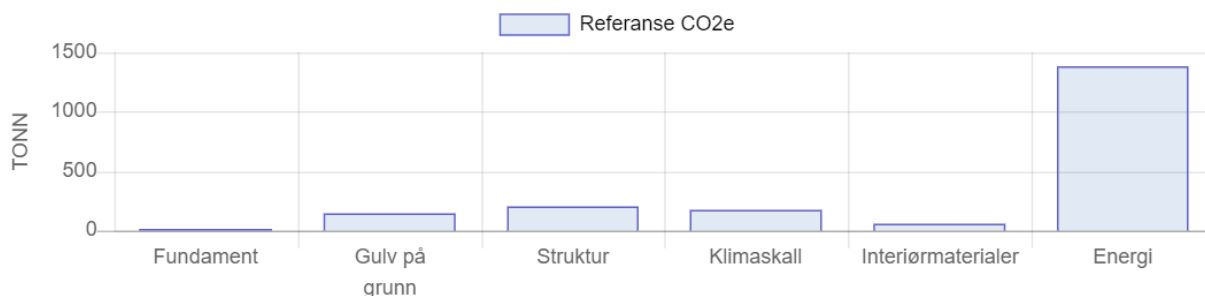
1. Byggeparametere og omfang ble definert i Carbon designer. Alle byggparametere ble inkludert, bortsett fra Bygningssystem (beta). Dette er en beta-versjon som One Click har utarbeidet, og har derfor fortsatt kjente begrensninger (One Click LCA, 2015).

Byggeparametere

- Fundament
- Gulv på grunn
- Struktur
- Klimaskall
- Interiørmaterialer
- Bygningssystem (beta)

Figur 23 - Byggeparametere inkludert i beregninger i Carbon Designer

2. Alle byggene ble definert etter «Norsk referansebygg v2019.1».
3. Bygningstypen «61-Skole» ble valgt, da «barnehage» ikke var et alternativ
4. Bruttoareal (BTA) og antall etasjer over/under bakken ble skrevet inn
5. Beregningsperioden ble satt til 60 år for alle byggene
6. Grunnlinjescenarioene ble valgt som TEK17
7. Bygg-dimensjoner og bygningsstrukturer ble beregnet automatisk for at forsøket skal være lett å gjenta. Kun oppvarmet bruksareal (oppvarmet BRA) ble justert i henhold verdiene i Tabell 18 i Vedlegg 5 – Inngangsdata og resultater for beregninger i Carbon Designer. I tilfeller der rapportene ikke presenterte all nødvendig inngangsdata ble det antatt at brutto internt gulvareal var det samme som oppvarmet bruksareal.
8. Til slutt ble klimagassutslippene for referansebygget beregnet automatisk, og andeler klimagassutslipp etter konstruksjonsgrupper kom opp slik som vist i eksempelet i Figur 24.



Figur 24 Eksempel på resultater fra Carbon Designer, med andeler klimagassutslipp (One Click LCA, 2015)

Praktisk utførelse av klimagassberegninger

For å få bedre kjennskap til praktisk utførelse av klimagassberegninger, ble tre ulike funksjoner i One Click LCA testet:

- Manuell inntasting av data
- Opprettelse av referansebygg med Carbon Designer
- Automatisk plug-in gjennom Revit

Evaluering av metodene ligger i Vedlegg 9 – Egen vurdering av funksjonaliteter i One Click LCA.

Bruken av de ulike funksjonalitetene ble lært ved hjelp instruksjonsvideoer fra One Click samt et eget kurs for student opplæring utført den 25.11.19(One Click LCA, 2015). Etter kurset ble metodene utforsket i praksis:

Manuell gjennomføring:

I faget TBA4171 Bygnings- og materialteknikk, videregående kurs, ble det gjennomført en klimagassberegning med manuell inntasting av data inn i verktøyet One Click. Denne metoden besto av å manuelt beregne areal og volum av bygningskomponentene i bygget, og deretter knytte mengdene opp mot generisk og produktspesifikk miljødata. Bygget som ble brukt i dette forsøket, ble prosjektert som en del av arbeidet med faget.

Carbon Designer:

Deretter ble et referansebygg opprettet ved hjelp av Carbon Designer. Her ble det brukt de samme dimensjonene som ved manuell inntasting av data.

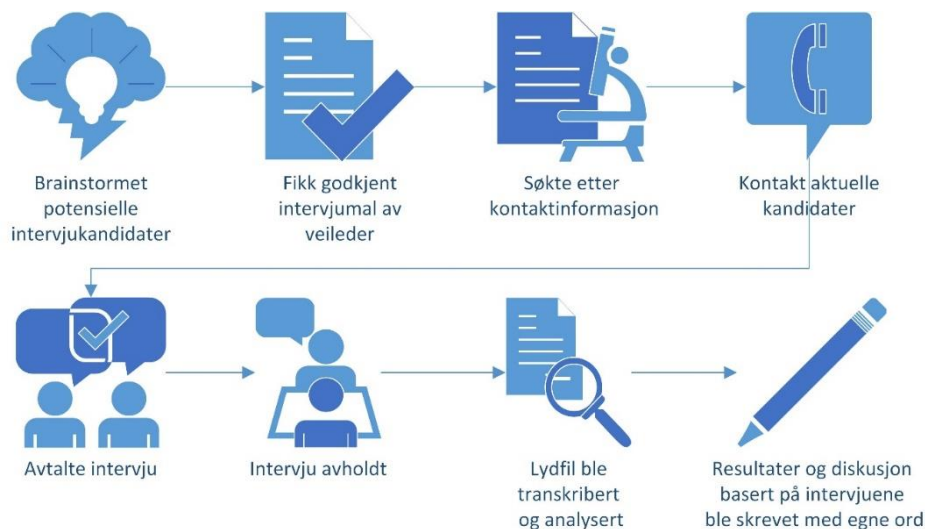
Revit Plug-in:

Til slutt ble klimagassberegningen gjort på nytt ved hjelp av One Click Revit plugin. Da energiforbruket ikke ble fylt inn automatisk, og dette er en obligatorisk inngangsparameter i One Click, ble energiforbruket beregnet med Carbon Designer benyttet.

Utfordringer, fordeler, ulemper, usikkerheter ut fra en samlet subjektiv vurdering av de ulike metodene er oppsummert i Vedlegg 9 – Egen vurdering av funksjonaliteter i One Click LCA.

3.4 Kvalitativ metode – Intervjuer

Fremgangsmåten for intervjuprosessen er beskrevet i Figur 25.



Figur 25 - Fremgangsmåte intervjuprosessen

Forberedelse til intervju

I forkant av intervjuene ble det skrevet en intervju-mal, som inneholdt alle spørsmålene og beskrivelse av hvordan intervjuet skulle foregå.

Det var viktig å sikre at spørsmålene i intervju-malen traff problemstillingen, og at det var cirka like mange spørsmål til hvert forskningsspørsmål. Det var også et fokus å ikke lage for mange spørsmål, som kunne føre til at de aktuelle informantene ikke ville ta seg tid til å besvare alle. Målet var å lage spesifikke spørsmål som var like for alle intervjuene, men likevel ha tid og mulighet til å stille individuelle oppfølgingsspørsmål. Samtidig måtte spørsmålene være relevante for de ulike aktørene. For eksempel, ble byggherrene stilt spørsmål om hva slags krav de satt til arbeidet, mens rådgiverne ble spurt om hvordan arbeidet ble utført.

Etiske problemstillinger

I en masteroppgave er man forpliktet til å lage et opplegg som viser respekt for informantens frihet og selvbestemmelse (Everett, 2004). Det ble derfor utarbeidet et informert samtykkeskjema som samtlige informanter godtok. Det informerte samtykket beskrev formål for oppgaven, hva det innebærer å delta på intervju i prosessen, at det er frivillig å delta, hva slags personopplysninger som ble innhentet, informantens rettigheter og hva som skjer med opplysningene etter at forskningsprosjektet er ferdig. Informantene ble anonymisert for å ivareta personvernet.

Da formålet med intervjuene var å beskrive bransjen som en helhet og mulige trender, var det ikke behov for å peke på hvordan individuelle firmaer utfører klimagassberegninger. Statsbygg er i noen tilfeller ikke anonymisert, da de er i en særegen posisjon når det kommer til utvikling av klimagassberegninger i Norge. Dette er godkjent av Statsbygg.

Velge og validere respondenter

Valg av respondenter ble gjort på bakgrunn av aktørens størrelse og hvorvidt det fantes etablerte kontakter på forhånd.

Blant byggherrene ble Statsbygg kontaktet fordi de er oppfattet som en viktig aktør i utviklingen av klimagassberegninger i Norge. Resten ble kontaktet fordi bekjentskap gjorde det lettere å få til et intervju. Blant rådgiverne ble også kontakter i stor grad brukt, men ikke i alle tilfeller.

Blant entreprenørene ble de største bedriftene kontaktet, samt en del etablerte kontakter. Dette ble imidlertid gjort i starten av Covid-19-krisen, noe som medførte at det var stor uro og mye å gjøre i disse bedriftene. Etter å ha mottatt mange avslag, ble det bestemt at det ikke var mulig å få intervjuet denne gruppen. Det ble imidlertid utført en strukturert samtale med en representant fra en entreprenør bedrift, men siden dette kun var en representant var det ikke nok til å representere entreprenører generelt.

Totalt ble 12 kandidater intervjuet, der seks kom fra fire ulike byggherre-bedrifter, fire kandidater kom fra fire ulike rådgiver-bedrifter og en kandidat fra en entreprenør-bedrift.

Kritikk mot kvalitative intervjuer

Det finnes en rekke standard innvendinger mot den forskningsmessige verdien av kvalitative intervjuer (Kvale, 1996). Disse er beskrevet i venstre kolonne i Tabell 7. I høyre kolonne er argumenter for hvorfor denne metoden likevel er verdifull i denne oppgaven:

Tabell 7 - Standard innvendinger mot kvalitative intervjuer (Kvale, 1996) og tilhørende oppgavespesifikke kommentarer

Det kvalitative intervjuet er ikke:	Oppgavespesifikke kommentarer:
<i>Vitenskapelig, men reflekterer bare «common sense»</i>	Siden det ikke eksisterer noen enhetlig definisjon av hva som er vitenskapelig eller ikke, svekkes dette argumentet (Ryen, 2002). I tillegg er et av formålene med intervjuene å avdekke hva som gjøres i praksis, noe som kanskje er «common sense» men likevel er vitenskapelig interessant.
<i>Objektivt, men subjektivt</i>	Meningene om hvordan klimagassberegninger utføres er nok subjektive, men dette er nødvendig å avdekke for å objektivt kunne si noe om hvordan prosessene fungerer i praksis.
<i>Troverdig, men skjevt eller partisk («biased»)</i>	Det er klart at informantene snakket mest om det de synes er interessant, noen som kan ha ført til et skjevt resultat. Dette ble imidlertid tatt hånd om ved å snakke med flere ulike informanter med ulik bakgrunn.
<i>Pålitelig, det er basert på ledende spørsmål</i>	Ledende spørsmål var nok en utfordring under de første intervjuene, men etter hvert som dette ble satt i fokus ble spørsmålene stilt mer nøytralt. Det ble stilt litt ulike oppfølgingsspørsmål, noe som kan ha påvirket totalinntrykket av svarene.
<i>Intersubjektiv, ulike lesere finner ulike oppfatninger (meanings)</i>	Ulike perspektiver gir ulike spørsmål og derved ulike tolkninger, og er derfor en styrke (Ryen, 2002). For å legge til rette for ulike tolkninger av intervju resultatene, er resultat delen av oppgaven skrevet som en objektiv oppsummering uten tolkning går å gjengi informantene sine meninger så eksakt som mulig.
<i>En vitenskapelig metode, den er for personavhengig</i>	Det stemmer nok at denne metoden er personavhengig, og optimalt sett skulle man hatt enda flere informanter.
<i>Vitenskapelig hypotese-testende, bare eksplorativ</i>	For å svare bedre på hypotesen, er resultatene fra intervjuene supplert med en kvalitativ case.
<i>Kvantitativ, bare kvalitativ</i>	Som nevnt over, blir de kvalitative resultatene fra intervjuene supplert med kvantitative resultater i casen.
<i>Generaliserbar, der er for få subjekter</i>	Optimalt sett skulle man hatt enda flere informanter, og det kan diskuteres om 4 stykk rådgiver firmaer og 4 stykk byggherre firmaer er nok for å kunne generalisere resultatene.
<i>Valid, den er avhengig av subjektive inntrykk</i>	Utviklingen viser en endring bort fra å se kunnskap i relasjon til en objektiv virkelighet til å legge vekt på interaksjon med den sosiale verden (Ryen, 2002). Dette er et argument for at intervjusituasjonen likevel kan være valid.

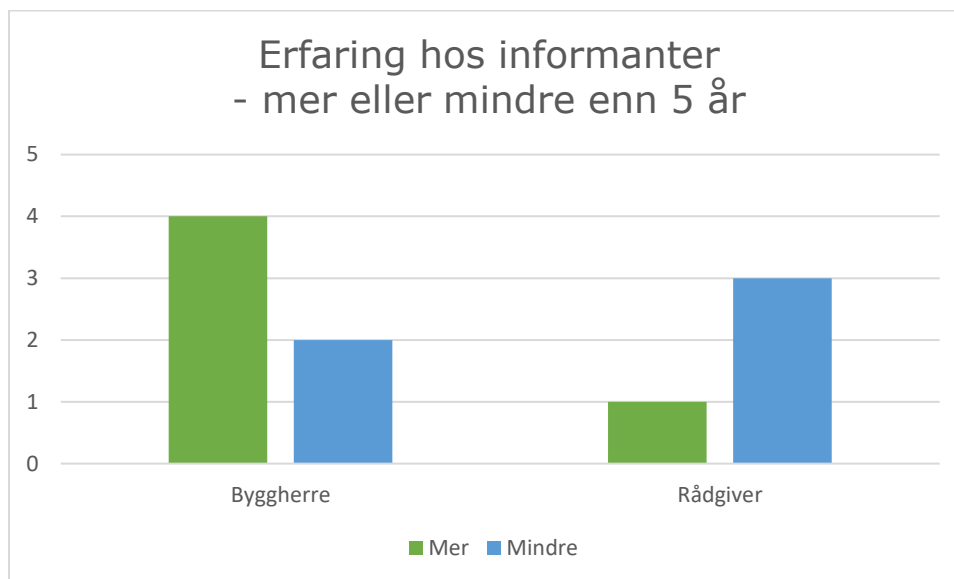
Annen kritikk som kan rettes mot intervjumetoden, er at den ikke er like etterprøvbar som et litteraturstudie, og at intervjusituasjonen og relasjonen mellom intervjuer og informant kan påvirke svarene som blir gitt.

Behandling av intervjudata

I etterkant av gjennomføringen av intervjuene, ble lydfilene transkribert. Transkriberingen ble gjort ordrett uten å skrive om formuleringer, for å unngå at omformuleringer kunne medføre mistolkninger.

Analyse av intervjudata

Annen kritikk som kan rettes mot intervjumetoden, er at den ikke er like etterprøvbar som et litteraturstudie, og at intervjusituasjonen og relasjonen mellom intervjuer og informant kan påvirke svarene som blir gitt.



Figur 26 - Erfaring til informanter

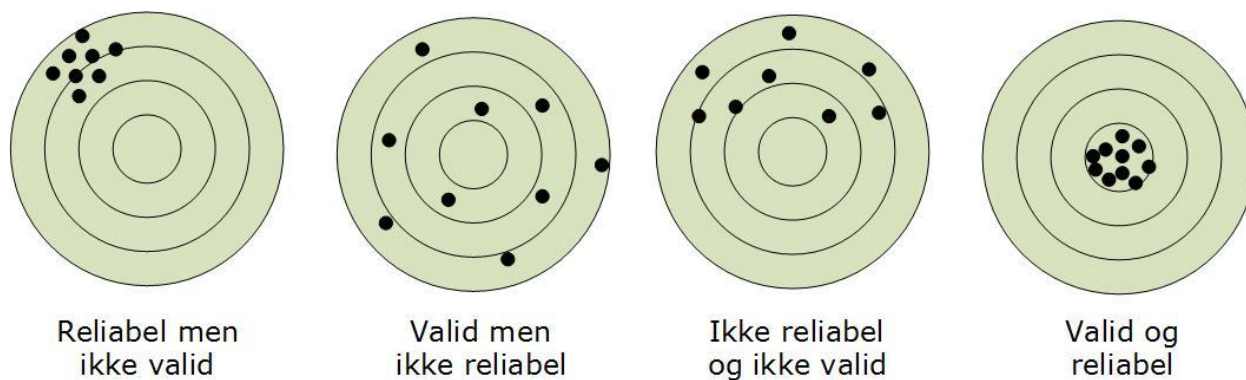
Figur 26 viser at byggherrene som var intervjuet har lengre erfaring med klimagassberegninger enn rådgiverne som var intervjuet. Dette kan ha påvirket resultatene, både for hvor stor forståelse det har vært rundt utvikling av prosessene over tid og hvor fersk kunnskap de som ble intervjuet har på området.

Alle respondentene fra rådgiverfirmaene, bortsett fra R4, har mindre enn 5 års erfaring. Dette kan enten bety at det er et nytt felt med stor grad av unge rådgivere, eller at det kun er de unge som har tid til å delta på slike intervjuer.

3.5 Evaluering av metodene

3.5.1 Reliabilitet og validitet

«Reliable data er pålitelige data»(Everett, 2004). Reliabiliteten til en kilde kan enten vurderes ut ifra påliteligheten til de primære og sekundære kildene den kommer fra eller vurdere om uavhengige observasjoner og målinger av samme fenomen gir samme eller tilnærmet likt resultat. Figur 27 illustrerer forskjellen mellom reliabilitet og validitet, en figur som er laget for denne oppgaven men inspirert av andre masteroppgaver{Nilsen, 2019 #55}:



Figur 27 - Illustrasjon av reliabilitet og validitet

Litteratursøket

Litteratursøket ga resultater som er reliable, men ikke nødvendigvis valide. Litteraturen er i høy grad reliabel fordi de aller fleste artiklene er publisert hos anerkjente tidsskrifter og «peer-reviewed», og er dermed anerkjent forskning. Blant annet er Norsk Senter for Forskningsdata (NSD, 2019) sitt register for vitenskapelige publiseringskanaler brukt for å verifisere kilder. Artiklene omhandlet imidlertid nesten aldri norske prosjekter eller intervjuer med de som faktisk utførte beregningene. Dette gjør at artiklene ikke nødvendigvis var like valide som ønsket.

Case

Klimagassberegningene som ble brukt i casen, er alle innenfor avgrensningene til oppgaven og har dermed vært svært valid data. Det var imidlertid færre klimagassberegninger tilgjengelig enn ønsket, og de som ble brukt hadde svært ulike systemgrenser og forutsetninger. Hadde man hatt flere klimagassberegninger tilgjengelig hadde man trolig fått mer entydige resultater.

Intervjuer

I likhet med klimagassberegningene i casen, ga intervjusituasjonen muligheten til å få svar på akkurat de spørsmålene som trengtes til å besvare forskningsspørsmålene. Antall informanter og ulik bakgrunn skulle imidlertid ha blitt inkludert for å øke validiteten til resultatene fra intervjuene.

3.5.2 Usikkerheter og mulige feilkilder

Litteratursøket

Tema til oppgaven, LCA og klimagassberegninger, er et stort fagområde og det er allerede mye forskning på området. Dette medfører også at det finnes mye aktuell og relevant litteratur som kan bidra til å svare på problemstillingen. En usikkerhet og mulig feilkilde er at relevant litteratur kan ha blitt oversett.

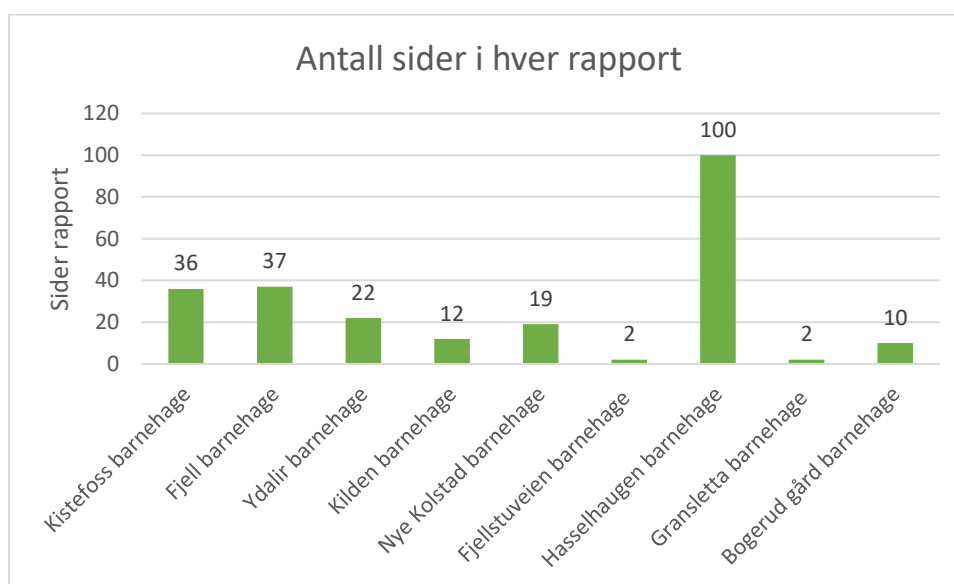
En annen feilkilde er at avgrensningen til norske klimagassberegninger medførte at det ble brukt en del «grå litteratur». Grå litteratur er litteratur som ikke er fagfellevurdert. Dette kan selvfølgelig fortsatt være korrekt informasjon, men den er ikke fagfellevurdert slik som artiklene i anerkjente tidsskrifter er. Det kan for eksempel medføre at noen kilder er subjektive.

Case

Casestudiet er basert på klimagassberegninger som kommer fra Futurebuilt, Omsorgsbygg og fra en av byggherreorganisasjonene fra intervjuene. Siden klimagassberegningene kan ha ulike forutsetninger ut ifra oppdragsgiver, kan dette gi en ufullstendig fremstilling av hvordan klimagassberegninger utføres i hele Norge. Dette kunne ha blitt forbedret ved å samle inn flere klimagassberegninger fra flere ulike aktører.

En mulig feilkilde i casestudiet er at klimagassrapportene kan være ufullstendige og mangle viktig dokumentasjon. Det er blant annet noen rapporter der vedleggene ikke følger med.

En annen usikkerhet er at rapportene er svært ulike når det kommer til omfang, noe som kan gi et variert bilde av hvordan klimagassberegningene er utført. Som vist i Figur 28, varierer lengden på rapportene fra 2 til 100 sider.



Figur 28 - Antall sider i rapportene for klimagassberegningene

Intervjuer

Mange av usikkerhetsmomentene og mulige feilkilder fra intervjuene er kommentert i Tabell 7. En mulig feilkilde som ikke er nevnt i tabellen over standard innvendinger er at under de siste intervjuene var det større forståelse om hva slags spørsmål som var mest interessante og få svar på. Det kan dermed hende at de siste informantene ble brukt mer fornuftig og effektivt enn de første.

For å sikre at svarene i intervjuene ikke er feiltolket, er en spørreundersøkelse med rangering av de største utfordringene og mulighet til å kommentere sendt til alle informantene. Informantene fikk også lese gjennom et utkast av oppgaven uken før den ble levert.

3.5.3 Validering av resultater med «Delphi»-metoden

«Delphi»-metoden ble brukt til å validere resultatene funnet i casestudiet og intervjuene, samt til å rangere hvilke utfordringer med klimagassberegninger som er størst. Metoden ble

hentet og inspirert av studiet til Seyis (2020), der man bruker en strukturert ekspert- og interaktiv forskningsmetode for å prioritere påstander {Seyis, 2020 #142}.

Valideringen besto av en spørreundersøkelse, som var laget ut ifra resultatene i intervjuene og casestudiet. Spørreundersøkelsen ble sendt ut til alle informantene fra intervjuene. Her ble informantene presentert for de åtte ulike utfordringene beskrevet i Tabell 13 på side 63 i oppgaven. Deretter ble de bedt om å rangere utfordringene fra 1 til 5 der 1 var «ikke en utfordring» og 5 var «stor utfordring». I tillegg var det mulig å komme med ytterligere kommentarer til hver av utfordringene som ble presentert.

Spørreundersøkelsen ga informantene mulighet til å rette opp eventuelle feiltolkninger fra intervjuene, samt bidra med å rangere hvilke utfordringer som de opplevde som størst.

4 Case

Prosjektene som ble brukt i casen er samlet i Tabell 8. Alle prosjektene er barnehager, og er valgt fordi det var mulig å skaffe klimagassberegninger for disse prosjektene. Årsaken til at noen av rutene i Tabell 8 er blanke er at det ikke fantes tilstrekkelig informasjon i alle prosjektene.

Tabell 8 - Sammenligninger av eksempelprosjekter

	Ferdigstilt	TEK	Miljøsertifisering eller ambisjonsnivå	Verktøy brukt	Kilde klimagassberegning
Kistefosdammen barnehage	2017	TEK10	Future built	klimagassregnskap.no, versjon 2, 3 og 4	futurebuilt.no
Fjell barnehage	2010	TEK07	Future built	klimagassregnskap.no, versjon 5	futurebuilt.no
Ydalir barnehage	2019	TEK10	Future built	klimagassregnskap.no, versjon 5	futurebuilt.no
Kilden barnehage	2018	TEK10	Future built og BREEAM	klimagassregnskap.no	Omsorgsbygg
Nye Kolstad barnehage	2020	TEK17		One Click LCA	Trondheim kommune
Fjellstuveien barnehage	2019	TEK17	BREEAM	One Click LCA	Omsorgsbygg
Hasselhaugen barnehage	2018	TEK17	BREEAM	ISY Calcus	Omsorgsbygg
Gransletta barnehage	2018		BREEAM	One Click LCA	Omsorgsbygg
Bogerud gård barnehage	2018		BREEAM	One Click LCA	Omsorgsbygg

5 Resultater

Dette kapittelet inneholder resultater fra casestudiet og intervjuene.

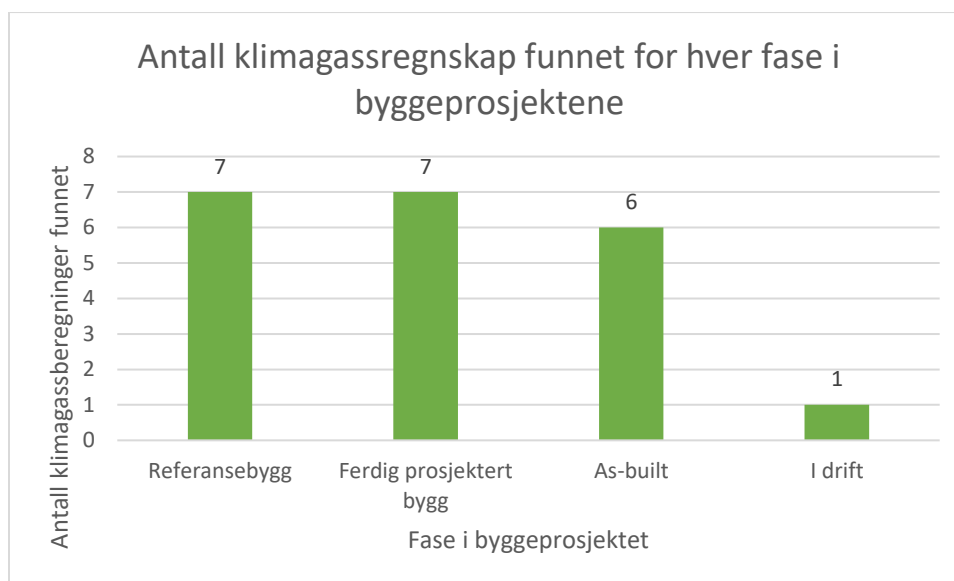
5.1 Resultater case

Totalt ble klimagassberegningene for 9 ulike barnehager sammenlignet og evaluert. Verdiene for klimagassutslipp og mer informasjon om hvert eksempelprosjekt er lagt ved i Vedlegg 5 – Inngangsdata og resultater for beregninger i Carbon Designer.

5.1.1 Formål

Formålet med de fleste klimagassberegningene var stort sett enten å sertifisere bygget innen BREEAM eller for Future Built. Det var flere Future Built prosjekter som i tillegg skulle sertifiseres innen BREEAM. De to ulike formålene legger til grunn forskjellige systemgrenser og forutsetninger til hva som skal inkluderes og evalueres i rapporten. For eksempel krever Future built at det skal presenteres et referansebygg, mens for BREEAM-sertifisering og poeng innen emnet Mat-01 er dette ikke nødvendig.

Klimagassberegningene er også utført i ulike faser av byggeprosessen. Som vist i Figur 29 ble det funnet flest klimagassberegninger som inneholdt referansebygg, ferdig prosjektert bygg og as-built.



Figur 29 - Antall klimagassberegninger funnet for hver fase i byggeprosjektene

5.1.2 Systemgrenser

Rapportene til klimagassberegningene viser at svært ulike systemgrenser er brukt. Som vist Tabell 9, er det kun 4 av 9 eksempelprosjekter som bruker moduler/livsløpsfaser til å spesifisere systemgrensene. I tillegg er det kun 3 av 9 rapporter som nevner NS3720, noe som kan være fordi de ble utført før standarden ble publisert.

Tabell 9 - Systemgrenser i eksempelprosjektene

Prosjekt	Årstall ferdigstilt	Systemgrense presentert i rapporten	Nevnes NS3720 i rapporten?
Kistefosdammen barnehage	2017	Stasjonær energi, materialbruk og transport	Nei
Fjell barnehage	2010	Stasjonær energi, materialbruk og transport	Nei
Ydalir barnehage	2019	Stasjonær energi, materialbruk og transport	Nei
Kilden barnehage	2018	Materialer, transport og energi	Nei
Nye Kolstad barnehage	2020	Materialbruk og stasjonær energi	Ja
Fjellstuveien barnehage	2019	"Vugge til grav" A1-A3, A4, A5, B4-B5, B6, C1-C4, D	Nei
Hasselhaugen barnehage	2018	"Vugge til port" - A1-A3	Ja
Gransletta barnehage	2018	A1-A3, A4, A5, B4-B5, B6, C1-C4, D	Nei
Bogerud gård barnehage	2018	A1-A3, B4-B5, C1-C4, D	Ja

Future built har en standard mal for sine rapporter og krever at utslipp knyttet til materialer, stasjonær energi og transport skal beregnes. Derfor er disse rapportene svært like. Rapportene som kun er knyttet til emnet Mat 01 i BREEAM, er ikke basert på en standardisert mal og derfor svært ulike.

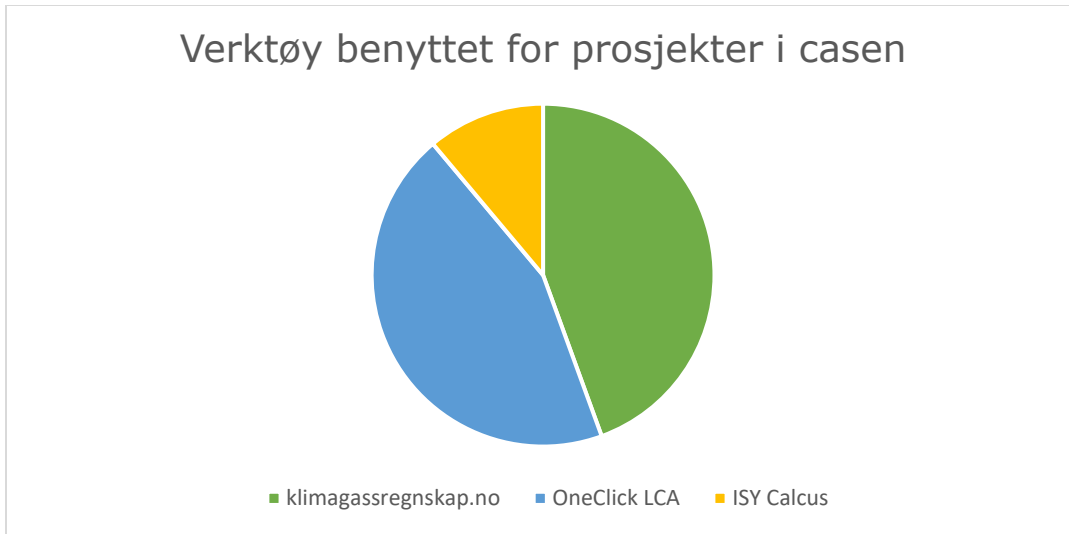
Et viktig funn er at 2 av 3 prosjekter med solcellepanel ikke har tatt med produksjonen av materialene i materialutslippet. At gevinsten med produksjon av elektrisitet er tatt med uten utslippene knyttet til produksjon av materialene er uheldig og gir et feilaktig bilde av de totale miljøpåvirkningene til solcellepanelene. Kun 1 av 3 prosjekter med solcellepanel har tatt med produksjonsutslippene. Et av prosjektene som valgte å ikke ta med produksjonsutslipp av solceller begrunnet det slik:

Solceller på byggets tak vil levere 52.500 kWh pr. år. Bruk av solceller gir ingen utslipp under bruk, men gir et betydelig utslipp fra produksjon av solcellene. Dette utslipp burde vært medregnet under materialer, men Klimagassregnskap.no inneholder ikke utslippsfaktorer for solceller, og EPD for de valgte solcellene var heller ikke å oppdrive.

5.1.3 Verktøy

Det er brukt ulike verktøy for de ulike eksempelprosjektene. Som vist i Tabell 14 i teorikapittelet, er det stor forskjell på resultatene i klimagassregnskap.no og One Click LCA.

Som vist i Figur 30 er det like mange prosjekter som har brukt klimagassregnskap.no som One Click LCA.



Figur 30 - Verktøy benyttet for prosjekter i casen

5.1.4 Definisjon av referansebygg

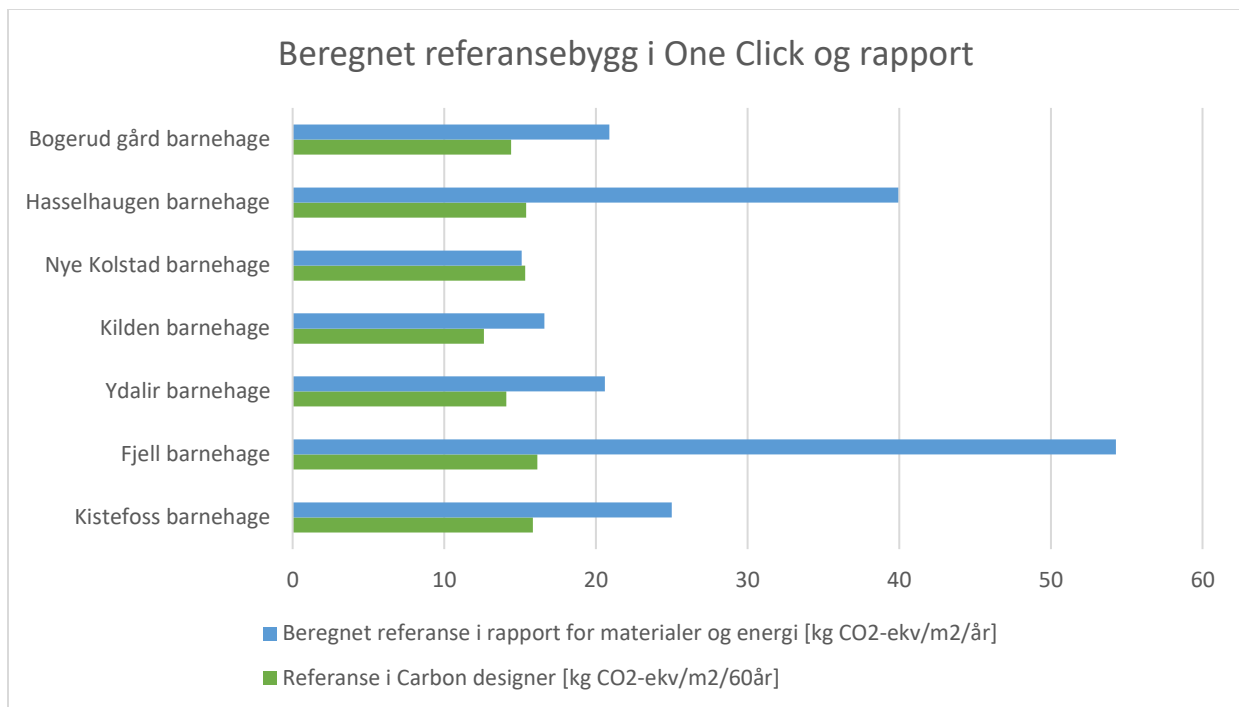
8 av 10 eksempelprosjektene inkluderer et referansebygg i rapporten. Sammenligning mellom referansebyggene, viser imidlertid at de er basert på svært ulike forutsetninger.

For det første vil bruk av ulike verktøy, slik som vist i Figur 30, føre til ulike referansebygg. Referansebygningene i One Click LCA er mer komplette og mindre forenklet enn i klimagassregnskap.no (One Click LCA, 2020). I tillegg er materialvalg i One Click LCA basert på et gjennomsnitt av dagens marked i 2017/2018, mens i klimagassregnskap.no er det basert på det markedsdominerende i 2010/2014. Metoden som blir brukt for å lage referansebygg i ISY calcus og egendefinerte verktøy er ikke funnet i litteraturen eller beskrevet i rapporten.

For det andre er det ikke alltid spesifisert om referansebygget er skoeskeformet eller tilpasset til byggets geometri. Klimagassregnskapet til Kilden barnehage, som både inkluderer et skoeskeformet og tilpasset referansebygg, viser at det vil kunne påvirke kg CO₂-ekvivalenter/år/m² i stor grad. Ikke alle rapportene definerer hva som er brukt.

Til slutt er beregningene basert på ulike tekniske forskrifter. For de ulike prosjektene er både TEK07, TEK10 og TEK17 blitt brukt. At ulike tekniske standarder er brukt må nødvendigvis medføre at grunnlaget for referansebyggene er ulikt.

For å undersøke om referansebyggene har blitt utregnet på likt grunnlag, ble klimagassutslippene for referansebyggene beregnet i rapporten sammenlignet med referansebygg som er automatisk generert i One Click LCA. Resultatene fra denne undersøkelsen viser at referansebyggene er mer forskjellige enn hva de ville vært om alle brukte den samme metoden til å beregne referansebygg i Carbon designer. Sammenligningen er illustrert i Figur 31.

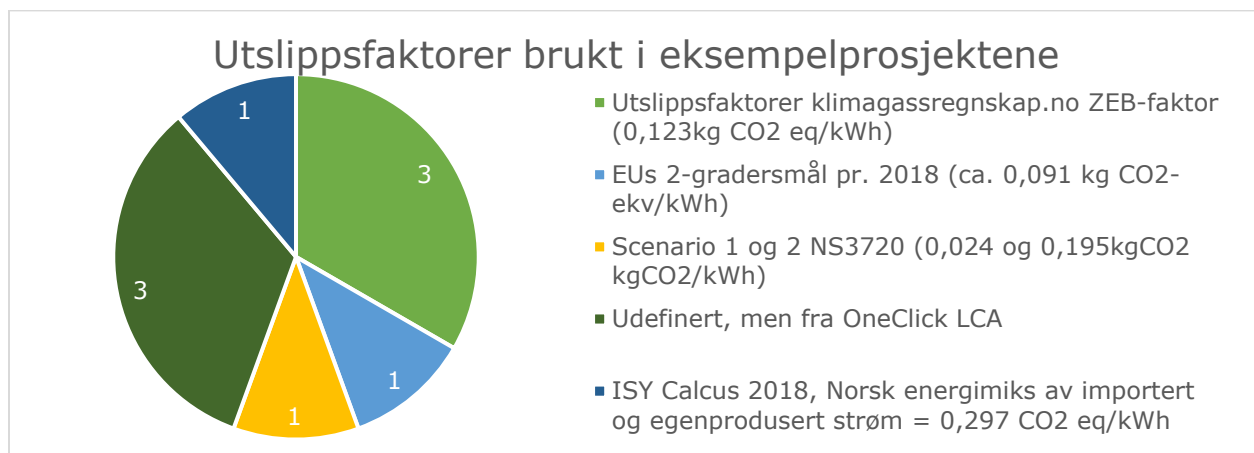


Figur 31 - Beregnet referansebygg i One Click og rapport

5.1.5 Utslippsfaktorer

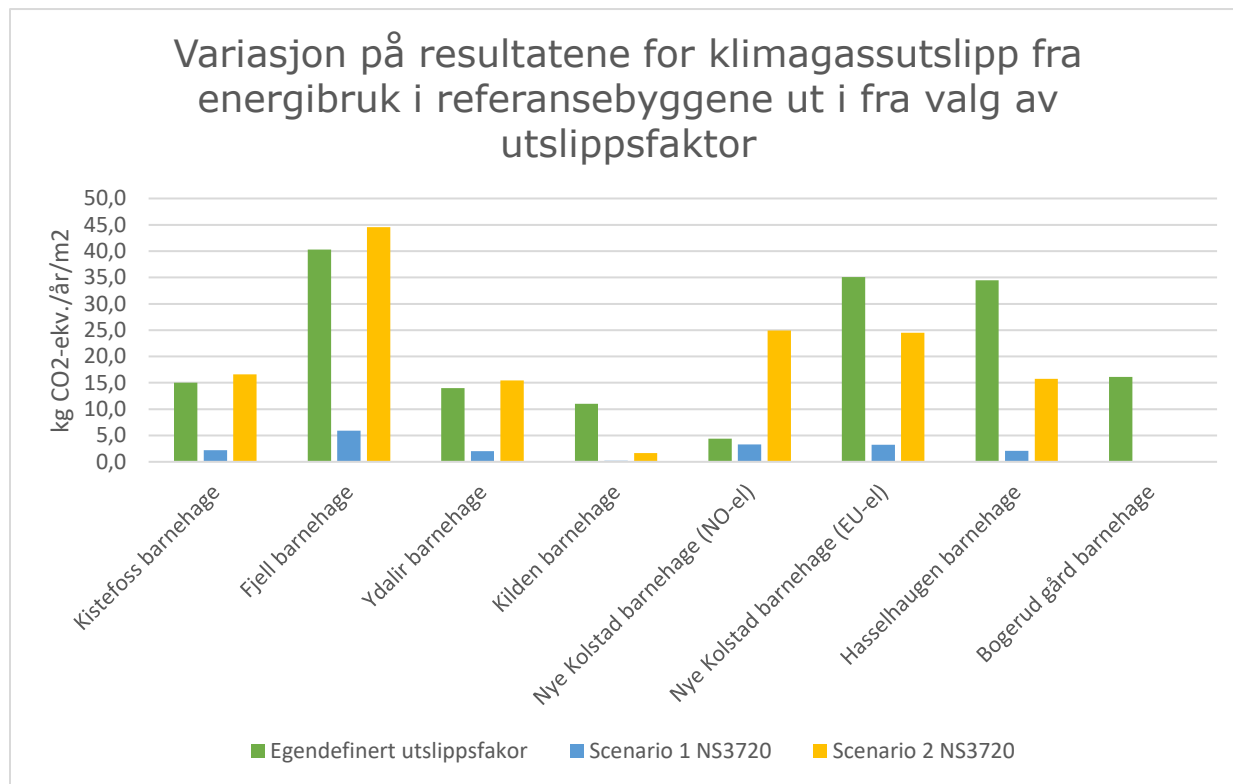
Klimagassberegningene bruker ulike utslippsfaktorer ved beregning av stasjonær energi. I NS 3720 er det beskrevet referansebygget for to ulike scenarier, hvor et skal være med en norsk energimiks og et med en europeisk energimiks. To ulike scenarier ble imidlertid ikke brukt for klimagassberegninger før NS3720 ble publisert, noe som gjør at de eldre klimagassberegningene ikke blir sammenlignbare med de som er utført i henhold til NS3720.

En sammenligning av de ulike eksempelprosjektene viser at de ikke bruker de samme utslippsfaktorene. Figur 32 viser hva slags utslippsfaktorer som har blitt brukt og hvilke faktorer som har blitt mest brukt. Det er tydelig at faktorene som er definert i NS3720 ikke alltid brukes.



Figur 32 - Utslippsfaktorer brukt i eksempelprosjektene

For å undersøke hvordan de ulike faktorer påvirker de endelige resultatene, ble utslippene for energibruken i referansebyggene delt på den utslippsfaktoren som ble brukt og deretter ganget opp med scenario 1 og 2 som beskrevet i NS3720. Resultatene for hver barnehage er vist i Figur 33. Det er viktig å nevne at bruk av ulike utslippsfaktorer for ulike energikilder ikke er tatt med i beregningen av denne figuren.



Figur 33 - Variasjon på resultatene for energibruk i referansebyggene ut ifra valg av utslippsfaktor

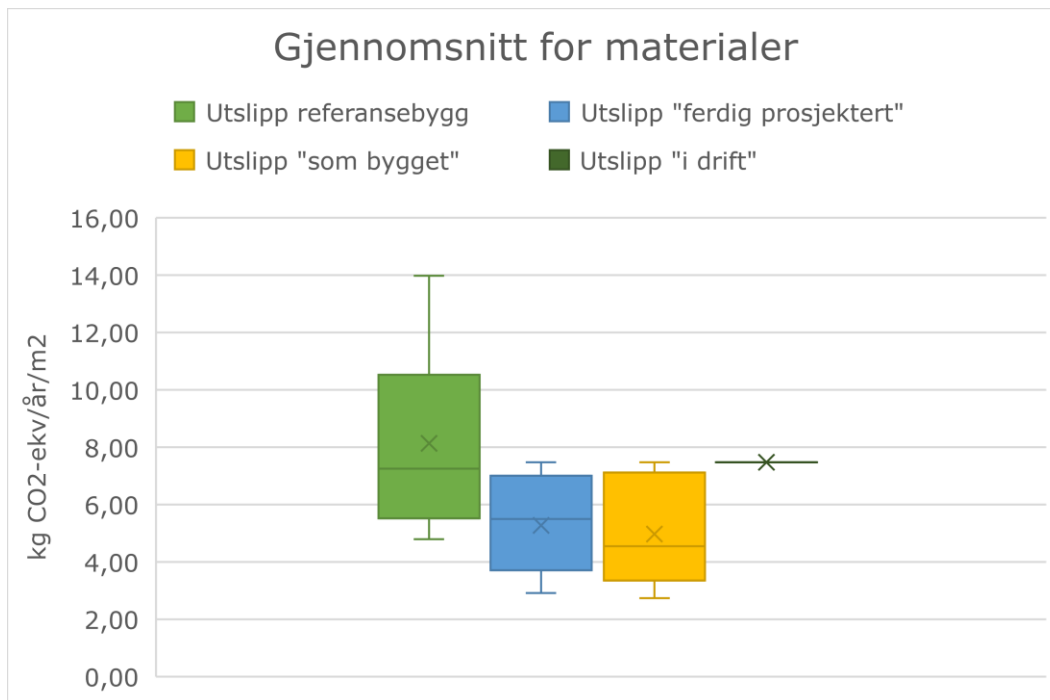
Figur 33 viser at valg av utslippsfaktor har stor påvirkning på resultatet for totalt klimagassutslipp fra energibruk. De grønne stolpene viser klimagassutslippene med utslippsfaktoren som er brukt i eksempelprosjektet. De blå og gule stolpene viser klimagassutslippene i prosjektet ganget med henholdsvis scenario 1 som er norsk energimiks (0,018 kg CO₂-ekvivalenter/kWh) og scenario 2 som er europeisk energimiks (0,136 kg CO₂-ekvivalenter/kWh). Det er tydelig at resultatene med de egendefinerte utslippsfaktorene varierer i svært stor grad i forhold til verdiene beregnet ved bruk av scenario 1 og 2. Figuren viser også at bruk av den norske energimiksen gir svært mye lavere resultater enn den europeiske energimiksen.

5.1.6 Gjennomsnitt

Klimagassutslippene beregnet til eksempelprosjektene i casestudiet er fremstilt i boksplottene under. Selv om det er mange argumenter for at eksempelprosjektene ikke er sammenlignbare, kan det hende at en slik statistisk analyse kan gi verdifull informasjon. Boksplottene viser fordelingen av data i kvartiler og fremhever gjennomsnittet, medianen og utliggere. Boksene strekker seg fra øvre til nedre kvartil, og differansen mellom disse blir kvartilbredden. Kryss-tegnet i boksen viser medianen, mens streken viser gjennomsnittet. Utliggere er de vertikale linjene som stikker ut fra nedre og øvre kvartil, og presenterer største og minste observasjon i datasettet.

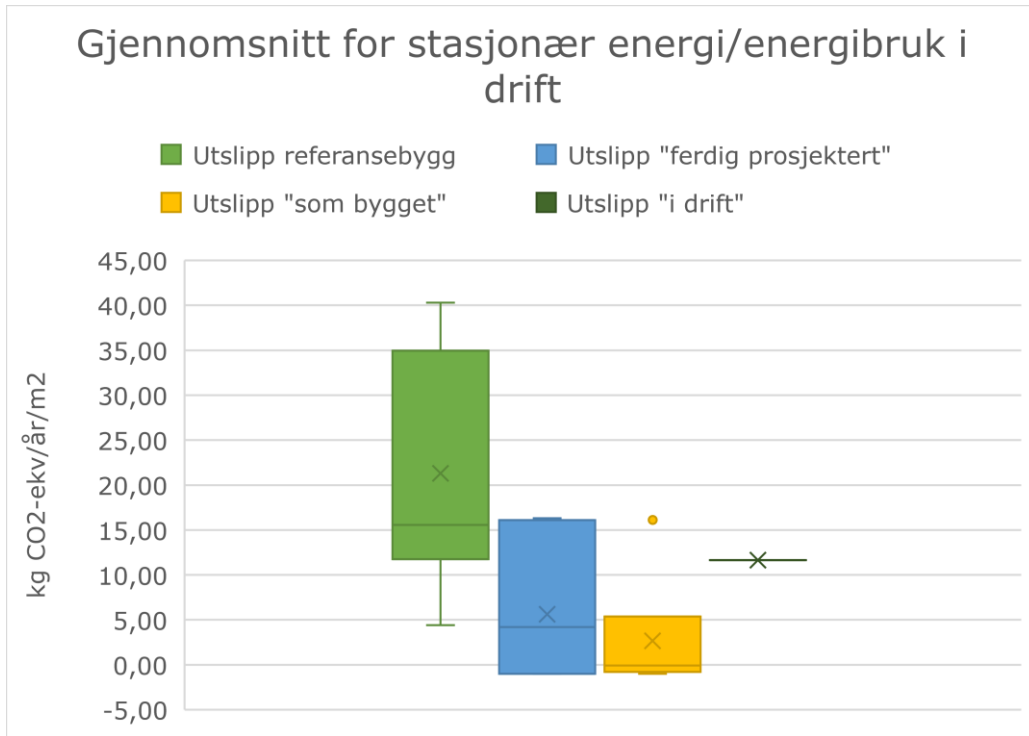
Den statistiske analysen viser at for materialer har referansebygget et gjennomsnitt på 8,13 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år og en kvartilbredde på 5,57-10,17 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år. «I drift» for materialer har et gjennomsnitt på 4,97 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år og en kvartilbredde på 3,58-6,60 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år.

Den store kvartilbredden for materialer i referansebyggene viser at det er størst variasjon i utslippet for referansebyggene enn for utslippene «i drift». I tillegg er gjennomsnittet for utslippene for «ferdig prosjektert» og «som bygget» betydelig lavere enn i referansebyggene. Verdier for «i drift» inneholder kun en verdi da det ikke ble funnet nok informasjon til å kunne lage en fordeling. At det er lite data tilgjengelig for klimagassutslipp fra bygg «i drift» stemmer overens med intervjuene der det ble funnet at «i drift» klimagassberegninger gjerne blir nedprioritert.



Figur 34 - Gjennomsnitt for materialer

For stasjonær energi har referansebygget et gjennomsnitt på 21,29 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år og en kvartilbredde på 13,25-34,61 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år. «I drift» har et gjennomsnitt på 2,68 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år og en kvartilbredde på -0,55-1,36 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år. Årsaken til de lave verdiene for stasjonær energi «i drift» kan være at solceller er montert og tatt med i beregningen for flere av barnehagene.

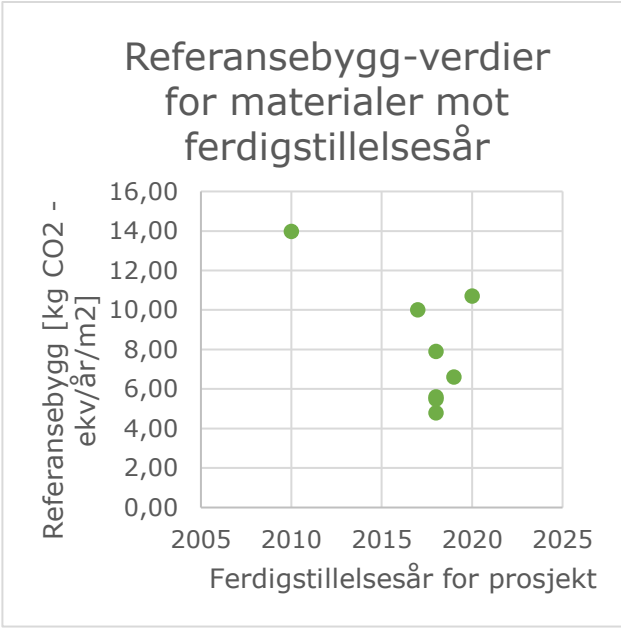


Figur 35 - Gjennomsnitt for stasjonær energi/ energibruk i drift

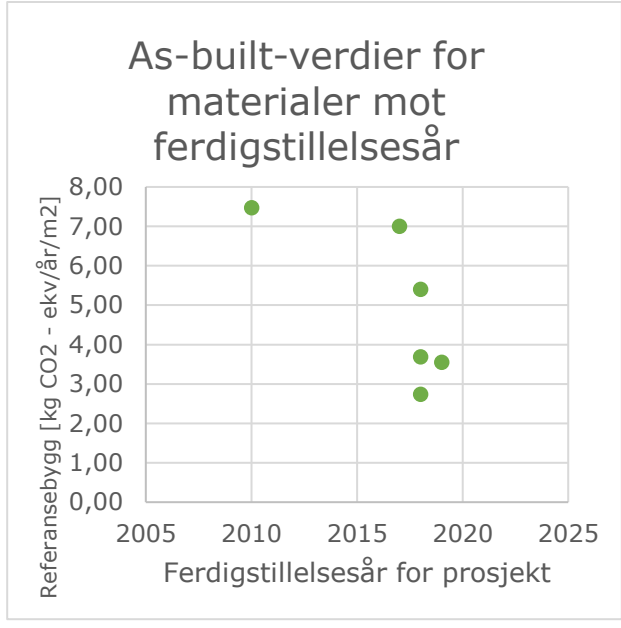
Det at det er en så stor kvartilbredde på resultatene for referansebyggene i både Figur 34 og Figur 35 tyder på at resultatene blir svært ulike dersom man definerer referansebyggene selv. Det er også tydelig at kvartilbredden er lavere for «ferdig prosjektert» og «som bygget», noe som kan være fordi barnehagene har relativt likt bruksområde og dermed bruker omtrent like mye energi i drift.

5.1.7 Utvikling av klimagassutslipp over tid

For å se om klimagassutslippene i praksis blir redusert fra år er det valgt å plote sammenhengen mellom ferdigstillelse av et bygg og utslippene som er beregnet, slik som vist i Figur 36 og Figur 37. Dersom byggeprosjekter i Norge generelt produserer lavere og lavere klimagassutslipp, burde grafene i teorien ha en negativ trend. Det er imidlertid vanskelig å antyde en negativ trend i figurene da utslipps verdiene er så varierende og det ikke er mange nok prosjekter per år. Det kun en verdi fra 2010, mens resten av verdiene er mellom 2017-2020, noe som gjør at trenden fra 2010-2017 ikke nødvendigvis er representativ for den reelle utviklingen. Figur 36 og Figur 37 viser ikke den utviklingen som er ønsket ut ifra de nasjonale og internasjonale målene for klimagassreduksjon. Mye av årsaken til at denne trenden er vanskelig å lese fra diagrammene, er at det ikke er nok data fra eksempelprosjekter tilgjengelig.



Figur 36 - Utslipp for referansebygg mot ferdigstillelses år



Figur 37 - Utslipp for "As-built" mot ferdigstillelses år

5.2 Resultater intervjuer

Resultatene fra intervjuene er basert på 9 intervjuer, der 4 arbeider hos en byggherre, 4 av informantene jobber hos rådgiverbedrifter og den siste jobber hos en entreprenør.

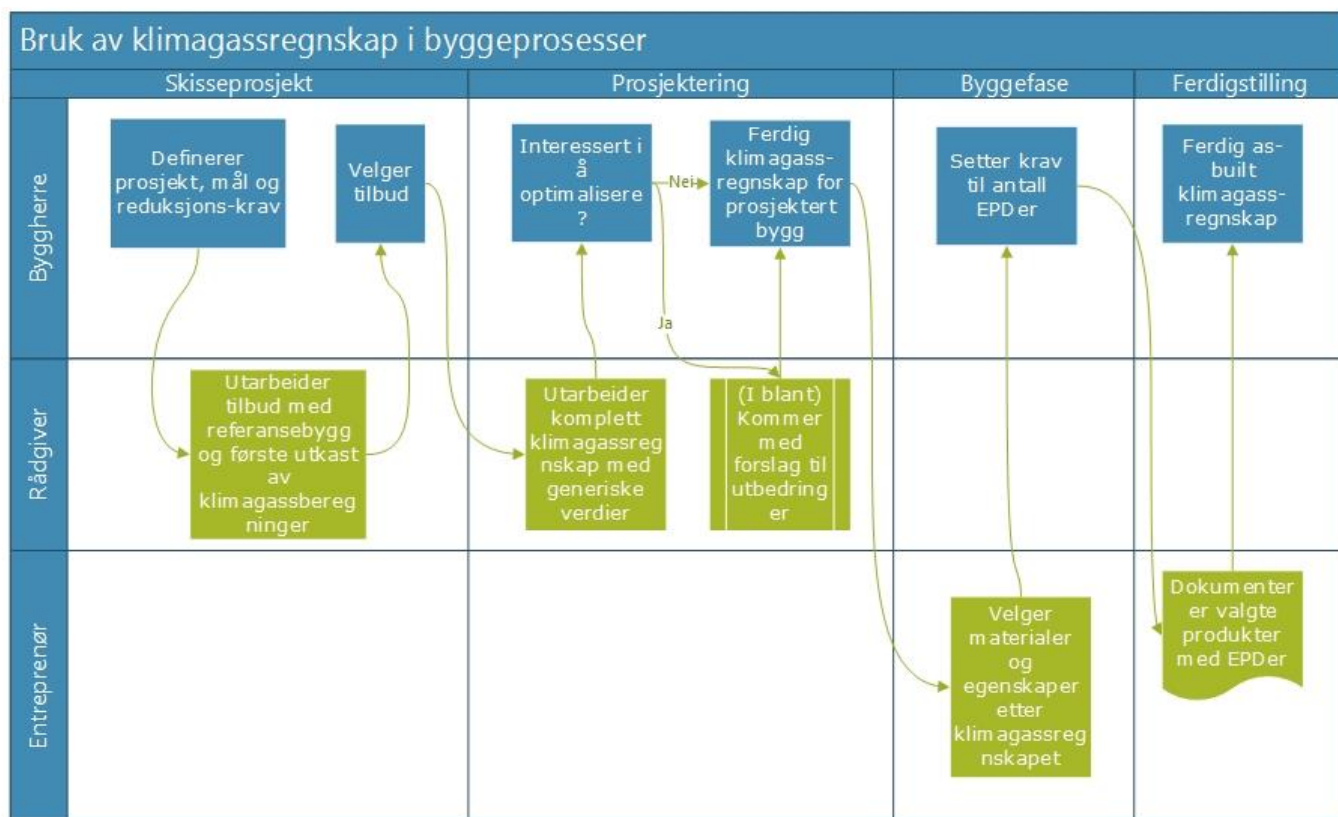
Byggherre-representantene var alle miljørådgivere. De fleste jobbet med både oppfølging av enkeltprosjekter og mer overordnet på klima- og miljøstrategi i bedriften.

Rådgiver-representantene jobbet alle med klimagassberegninger. De fleste, bortsett fra en, jobbet hovedsakelig med byggeprosjekter. Flere av rådgiver-representantene jobbet også med mer generell miljørådgivning og en var bærekraftsjef i bedriften.

Entreprenør-representanten var entrepris ansvarlig på sitt prosjekt og relativt ny i bedriften. Et av ansvarsområdene var å skaffe dokumentasjon til BREEAM-klassifiseringen av prosjektet.

5.2.1 Rollefordeling

Den generelle rollefordelingen og prosessen rundt klimagassberegningene, ut ifra tolkningen av intervjuene, er illustrert i Figur 38. Byggherrens krav, ambisjoner og hvilken grad de har mulighet til å følge opp, har mye å si for prosessen og hva slags arbeid som blir utført.



Figur 38 – Prosessen og rollefordeling ved klimagassberegninger

5.2.2 Klimagassberegninger blir gjennomført i ulike faser av byggeprosjektene

Intervjuene tyder på at det er stor variasjon i når klimagassberegningene blir utført for ulike prosjekter.

Rådgivere

Svarene fra de ulike rådgiverne er samlet i Tabell 10.

Tabell 10 - Faser rådgiverne utfører klimagassberegninger

	Forprosjekt/ tilbudsfase	«Som prosjektet»	«Som bygget»	«I drift»
R1	Noen ganger	Ofte	Ikke ofte	Aldri
R2	Mer og mer	Ofte	Noen ganger	Aldri
R3	Ofte	Ofte	Usikkert	Aldri
R4	Ofte for øyeblikket	I blant	I blant	Ofte for øyeblikket

Det ser ut som at det er en positiv utvikling i antall prosjekter som vil ha med rådgiver med fra tilbudsfase og at dette fører til større grad av optimalisering. Intervjuene tyder likevel på at klimagassberegninger ofte blir introdusert for sent i skisseprosjekt eller prosjektering til at rådgiverne kan få den påvirkningen de ønsker. Rådgiverne ønsker å være med tidligere, slik at de kan komme med innspill til klimagassreduserende tiltak før løsningene allerede er bestemt.

Det ser ut som at det ofte ikke prioriteres å utføre «i drift»-regnskap, og at de gangene klimagassberegninger for «i drift» blir utført blir det gjort av en annen rådgiver enn de som utførte klimagassberegninger for de andre fasene.

Byggherreorganisasjoner

Kravene som byggherre organisasjonen setter har mye å si for hva slags arbeid som blir utført, slik som vist i Figur 38. Hva slags krav de ulike byggherreorganisasjonene som har blitt intervjuet stiller, er oppsummert i Tabell 11.

Tabell 11 - Krav byggherreorganisasjonene setter til rådgiver eller entreprenør for klimagassberegninger i ulike faser av byggeprosjektene

	Forprosjekt/ tilbudsfase	«Som prosjektert»	«Som bygget»	«I drift»
B1	Usikkert, men høres ikke ut som at de stiller krav til dette	Alltid som krav, og er mest opptatt av å få inn dette	For Future Built prosjekter	For Future Built prosjekter
B2	Gjør beregningene selv	Alltid som krav	Usikkert	Gjør dette selv, ved hjelp av rapportering av energiforbruk
B3	Iblant som krav	Alltid som krav	Setter krav til dette, men har bare fått inn noen slike klimagassberegninger	Har ansvar for å gjøre dette selv, men har ennå ikke utarbeidet noen klimagassberegninger. Dette er mest fordi det ennå ikke har gått 2 år siden ferdigstillelse.
B4	Gjør beregningene selv	Alltid som krav	Alltid som krav	Aldri som krav

Blant byggherreorganisasjonene, er det tydelig at man ofte setter krav til at rådgiver eller entreprenør skal utføre regnskap for «som prosjektert» og «as-built». Av disse høres det ut som at klimagassberegninger for «som prosjektert» er den mest prioriterte oppgaven. En av byggherre-representantene forklarer at:

De siste årene har vi vært mest opptatt av å få «som prosjektert», fordi vi ønsker å vite hvordan vi ligger an. -B1

Det virker som at «i drift»-regnskap som regel ikke blir utført, selv om det blir nevnt at det kreves i Future built. Flere av byggherrene sier at selv om de har Future built prosjekter som har vært ferdigstilt i mer enn to år, så er «i drift»-regnskapene ennå ikke utført.

To av informantene fra byggherre organisasjoner sier at de gjør klimagassberegninger selv helt i tidlig fase for å finne ut hvordan man skal sette krav, hvor man skal lokalisere bygget og om man skal bygge nytt eller rehabilitere.

Entreprenør

Det virker som at entreprenøren sin rolle blir å utarbeide «som bygget» dokumentasjon som tilfredsstillende kravene som er satt av «som prosjektert» resultatene eller miljøsertifiseringssystemet som for eksempel BREEAM.

5.2.3 Optimalisering av klimagassberegningene

Intervjuene tyder på at klimagassberegningene til hvert prosjekt kunne vært ytterligere optimalisert, slik at byggene kunne ha utnyttet potensialet for klimagassreduksjon i større grad.

Rådgivere

Alle rådgiverne ønsker å synliggjøre hvilke muligheter som finnes for å redusere klimagassutslippene. Det er imidlertid ikke alltid hensiktsmessig fordi det noen ganger kun er krevd å ferdigstille klimagassberegningene som dokumentasjon. Flere av rådgiverne mener at de ofte kommer for sent inn i prosjektet til å kunne komme med endringsforslag, og ser at det kunne vært større muligheter for å optimalisere hvis de kommer inn i prosjektene tidligere.

Sensitivitetsanalyser blir gjerne brukt til å vurdere hvordan ulike anbefalinger kan påvirker totale utslippet. For eksempel kan utslipp for ulike valg av type fasadeløsning illustreres med en slik analyse. Sensitivitetsanalyser for enkeltkomponenter er imidlertid langt fra å optimalisere hele bygningskroppen.

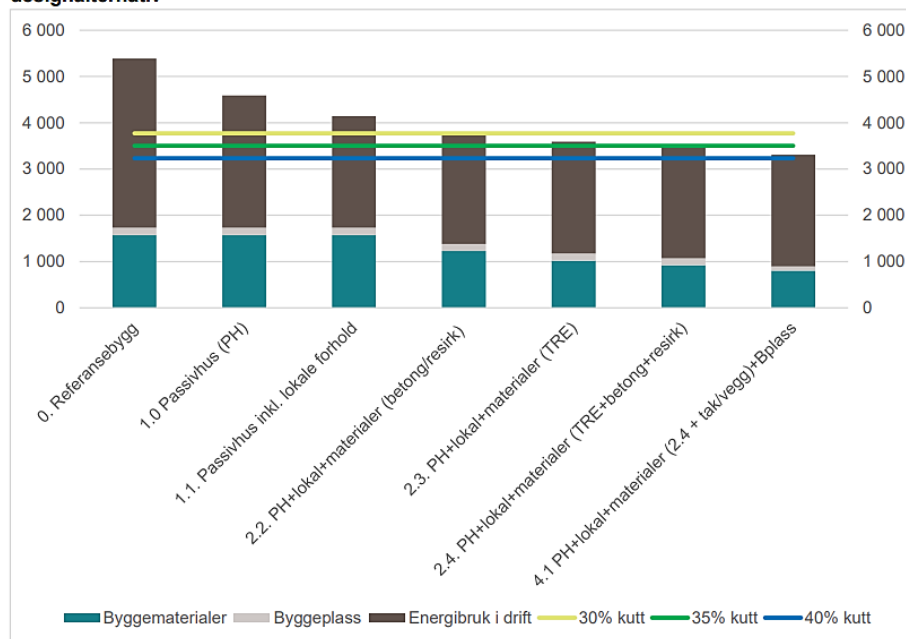
Byggherreorganisasjoner

To av byggherre-representantene sier at de tidvis er innom og følger opp, ved å stille spørsmål til for eksempel materialvalg. En byggherrerepresentant sier at de ikke er med på optimaliseringen i det hele tatt, og at det hovedsakelig er opp til entreprenøren og rådgiveren å optimalisere.

Flere av byggherrene setter iblant utslippskrav eller grenseverdier til spesifikke produktgrupper, som for eksempel massivtre, hulldekker, asfalt. Det er også flere byggherrer som sier at de krever lavkarbon klasse A for betong.

Statsbygg-representantene sier at det å sette de overordnede målene kan anses som en slags optimalisering, fordi målet som settes vil avgjøre hva slags tiltak som kan bli relevante. Et eksempel på hvordan disse målene blir satt er vist i Figur 39. Her er de alternative tiltakene for klimagassreduksjon presentert på x-aksen, og respektive utslipp kan brukes til å finne ut hvilken prosentverdi som skal settes som reduksjonsmål.

Figur 7.1 Eksempel på sammenstilling av utslipp (tonn CO₂e) fra et referansebygg og ulike designalternativ



Figur 39 - Eksempel på hvordan Statsbygg bestemmer sine reduksjonsmål

Entreprenør

Entreprenør-representanten finner gjerne EPDene til «som bygget» dokumentasjonen etter at produktet er brukt i prosjektet, noe som viser tydelig at materialvalgene ikke alltid blir optimalisert. Prosjektet til entreprenør-representanten skal imidlertid kun klassifiseres som BREEAM Good, noe som ikke er en så høy ambisjon. Det er derfor godt mulig at materialvalgene blir optimalisert ytterligere i prosjekter med høyere miljøambisjoner.

5.2.4 Ambisjonsnivå for klimagassberegningene

7 av 9 informanter har jobbet med BREEAM-prosjekter. Det virker imidlertid som at BREEAM-klassifisering blir benyttet på noen utvalgte bygg, men langt i fra alle prosjekter. En av rådgiver-representantene hadde få BREEAM-prosjekter fordi det krever mer ressurser enn det som er disponibelt. Prosjekter som skal BREEAM-sertifiseres, kan få poeng ved å gjøre en LCA uten å oppnå en dokumentert reduksjonsgrad og dermed uten referansebygg. Det er også en del av aktørene fra Oslo-området som sier de har jobbet med Future Built-prosjekter.

Alle byggherreorganisasjonene har reduksjonsmål for sine prosjekter. Målene varierer mellom 30% og 40% reduksjon i forhold til et referansebygg. To av byggherreorganisasjonene setter samme krav til alle sine prosjekter mens en av byggherreorganisasjonene setter kun krav til reduksjon for investeringer over 50 millioner. Statsbygg har et porteføljemål med en gjennomsnittlig reduksjon for alle sine prosjekter, og bestemmer det spesifikke målet for hvert prosjekt etter hva som er realistisk å oppnå innenfor rammene til prosjektet slik som vist i Figur 39.

5.2.5 Bruk av referansebygg

Reduksjonsmålene som byggherreorganisasjonene setter måles i forhold til et referansebygg. Det er virker imidlertid som at det er svært varierende hvordan referansebyggene blir definert og satt krav til. Det finnes heller ikke krav om hvordan referansebyggene skal defineres i NS3720. Strategiene de ulike informantene følger er oppsummert i Tabell 12.

Tabell 12 - Strategi for bruk av referansebygg

Rådgiverbedrifter	R1	Henviser ofte til Statsbygg sin veileder. Må som regel gjøre mange vurderinger selv.
	R2	Gjør minst mulig endringer i referansebygget som genereres automatisk i Carbon Designer. Internt diskuteres det om det skal etableres to referansebygg: et som er tilpasset og et som det ikke er gjort endringer på.
	R3	Ikke så ofte involvert i å utarbeide referanseprosjekter i sin bedrift. Bedriften er i en prosess hvor de lager referansebygg for de prosjektene de har. Tidligere brukte de klimagassregnskap.no, men nå bruker de et verktøy som de har utarbeidet selv og sjekker at det stemmer overens med One Click LCA.
	R4	Setter opp referansebygg som er skoeseformet og alltid i TEK17-standard.
Byggherre-organisasjoner	B1	Har hittil spurt om et referansebygg uten å definere det selv og ser at det er uheldig. Er nå i en prosess med å vurdere om de skal gi tydeligere krav for referansebygget eller erstatte referansebygget med et målkrav (i kg CO ₂ -ekv/m ²).
	B2	Har egen veileder for referansebygg. Opplever at det er viktig å ha kontroll på referansebygget og lager det derfor selv.
	B3	Krever tilpasset geometri på referansebygget, utover det er det rådgiverne som setter opp referansebygget.
	B4	Har egen veileder for hva som skal være med i et referansebygg.

Det finnes mange ulike utfordringer ved å definere referansebygg:

- Referansebygget skal tilpasses så lite som mulig, men samtidig er det ønskelig å få referansebygget representativt for det man skal bygge. Da kan det blant annet være nødvendig å tilpasse noe ved å for eksempel legge inn ekstra fundamenter. Dersom man uansett må ta med ekstra fundamenter for prosjektert bygg, så vil det bli upresist å ikke gjøre det i referansebygget
- Det er enklere å bruke et skoese-formet referansebygg, men et tilpasset referansebygg kan gi et mer rettferdig sammenligningsgrunnlag.
- I praksis vil det være mulig å jukse seg til å klare en reduksjonsgrad ved å sette opp et dårlig referansebygg. Selv om rådgiverne ikke sier at de jukser, virker det som at det er et problem at det teknisk sett er mulig
- Det er uenighet om man alltid skal sammenligne med TEK17. Det kan for eksempel bli en utfordring om man skal oppnå en reduksjonsgrad for et passivhus. Siden passivhuset vil ha et høyere utslipp på grunn av et høyere materialforbruk, vil reduksjonsgraden kunne være vanskeligere å nå dersom referansebygget er etter tekniske krav i stedet for passivhus. I slike tilfeller hender det at byggherren er uenig med referansebygget blir satt opp fordi de mener det er for konservativt.

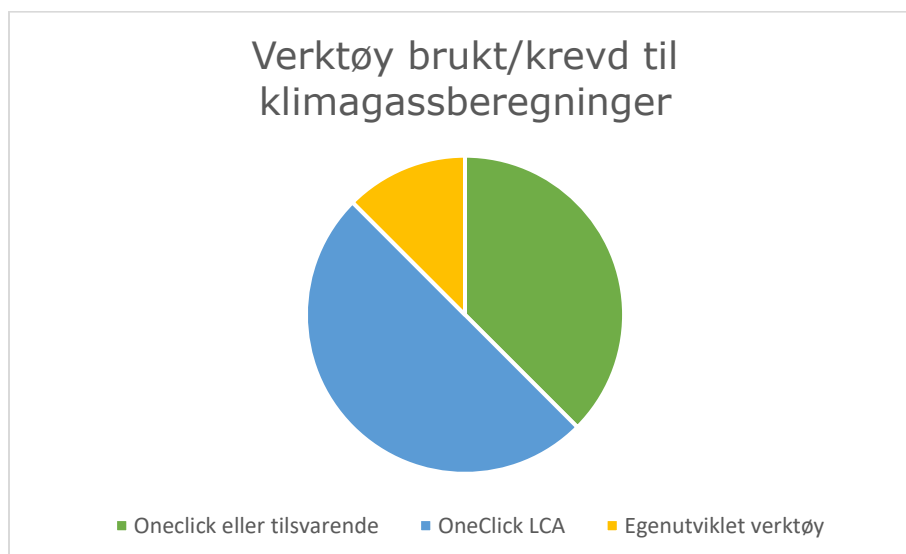
Et enkelt eksempel på hvordan referansebyggene defineres ulikt er presentert i Figur 40, som viser at det ikke er enighet om man skal bruke tilpasset eller skoeseformet referansebygg.



Figur 40 - Geometri brukt til referansebygg

5.2.6 Programvarer og metoder

Det virker som at One Click LCA er det vanligste verktøyet å bruke til klimagassberegninger i Norge. Byggherreorganisasjonene setter som regel krav om at man skal bruke One Click LCA eller tilsvarende, selv om One Click LCA var det mest foretrukne verktøyet. En av byggherreorganisasjonene forklarer at de som offentlig organisasjon ikke kan kreve at man bruker et spesifikt program, dersom programmet ikke er gratis. En byggherre-representant så problemer med at noen rådgivere bruker sitt egenutviklede program, blant annet fordi det da ikke nødvendigvis er direkte overførbart til entreprenørene sine rutiner og at løsningen ofte blir mindre åpen for innsyn. En annen byggherre-representant underbygger mener at det er gunstig for dem at rådgiveren bruker One Click LCA, fordi de da har mulighet og lisens til å gå inn for å se detaljer på de klimagassrapportene som utføres for dem. Statsbygg er den eneste av informantene som krever at alle prosjektene bruker One Click LCA. Figur 41 oppsummerer svarene hva slags verktøy rådgiverne og byggherrene bruker mest.



Figur 41 - Verktøy brukt til klimagassberegninger

Mengdeuttak fra IFC i Solibri er tydeligvis den eneste måten BIM-modellene regelmessig blir brukt i klimagassberegninger. En rådgiver forklarer at det er vanligst å få en IFC-modell, fordi andre rådgivere er redde for at man skal gjøre endringer på modeller dersom man får en Revit-fil. Riktig nok var det en av rådgiverne som hadde prøvd plug-in-metoden, men at det kun hadde skjedd en gang at en BIM-import var svært vellykket og da var det brukt en svært enkel modell.

Generelt sett virker det som at rådgiverne er negative til å bruke automatiske koblinger/importløsninger fra BIM-modellen fordi det er store mulige feilkilder som krever at man må dobbeltsjekke verdiene på nytt, at man ikke får tilfredsstillende innsikt i hva som ligger bak beregningene og dermed ikke kan føle seg trygge på at mengder som kommer ut er eksakte. En rådgiver forklarer at det er fordelaktig å bruke databaser som er knyttet til innkjøpte mengder som grunnlag fordi mengdene blir mer presise når penger er involvert.

Mye tyder på at det meste av klimagassberegninger blir gjort manuelt, bortsett fra automatisk beregning av referansebygg i Carbon Designer og mengdeuttak fra IFC i Solibri. Det spesifiseres fra samtlige rådgiverne at selv om man bruker en automatisk løsning blir det mye manuell korrigering og kvalitetssikring ved å gå gjennom alle elementene for å sjekke om det er riktig ut. Utfordringene som fremheves er at ikke alt nødvendigvis blir inkludert, at elementer blir navngitt forskjellig, at det er stor variasjon i hvor digitaliserte samarbeidspartnerne og kundene er og at det er stor variasjon i hva moderne inneholder. Dette sitatet viser hvordan feilkilder i BIM-modellen medfører usikkerhet knyttet til bruk av automatiske verktøy:

Man kan for eksempel få en tredjedel mer gulv enn tak, fordi det er lagt inn feil (i BIM-modellen). Det er skummelt hvis du tror at alt er automatisert. Jeg ville uansett ha brukt en del tid på å sjekke mengdene. Før man får en idiotsikker overføring fra BIM, og så ville jeg ha brukt en del manuelt arbeid.
- R4

Byggherreorganisasjonene gir uttrykk for at de krever at NS 3720 skal følges, men at de ikke setter krav til metoden utover det som står i standarden. De fleste byggherreorganisasjonene har et inntrykk av at BIM-import sjelden blir brukt, men i noen tilfeller blir testet. Statsbygg gjør mer enn de andre byggherreorganisasjonene, ved å kreve at mengdene fra BIM-modellen blir supplert med blant annet innkjøpte mengder for å inkludere kapp og svinn.

Det var ingen av informantene som hadde brukt LOD aktivt som et verktøy for å beskrive utviklingsgraden av elementene i BIM-modellen ved beregning av klimagassutslipp. Det var kun en av de som ble intervjuet som hadde hørt om det, og det var i forbindelse med sin masteroppgave.

5.2.7 Ulike livsløpsfaser/moduler blir inkludert

Rådgiverne er tydelige på at hva slags moduler som blir inkludert i klimagassberegningene ofte varierer fra prosjekt til prosjekt. A1-A3 inkluderes alltid, men systemgrensene er gjerne varierende ut over det. Modul D er som regel ikke med.

Byggherreorganisasjonene har ulike krav til sine prosjekter. To av byggherre-representantene er tydelige på at de følger det forhåndsdefinerte omfanget fra NS3720, med basis uten lokalisering. En av byggherreorganisasjonene har ikke hadde definert hva slags omfang rådgiverne skal bruke og en annen byggherreorganisasjon krever minimum A1-A3 og B6. Svarene fra informantene er oppsummert i Figur 42. Det at ikke alle bruker de samme modulene, som kan tydelig leses fra de grønne rutene i figuren, tyder på at klimagassrapportene for de ulike aktørene sine prosjekter ikke er sammenlignbare.

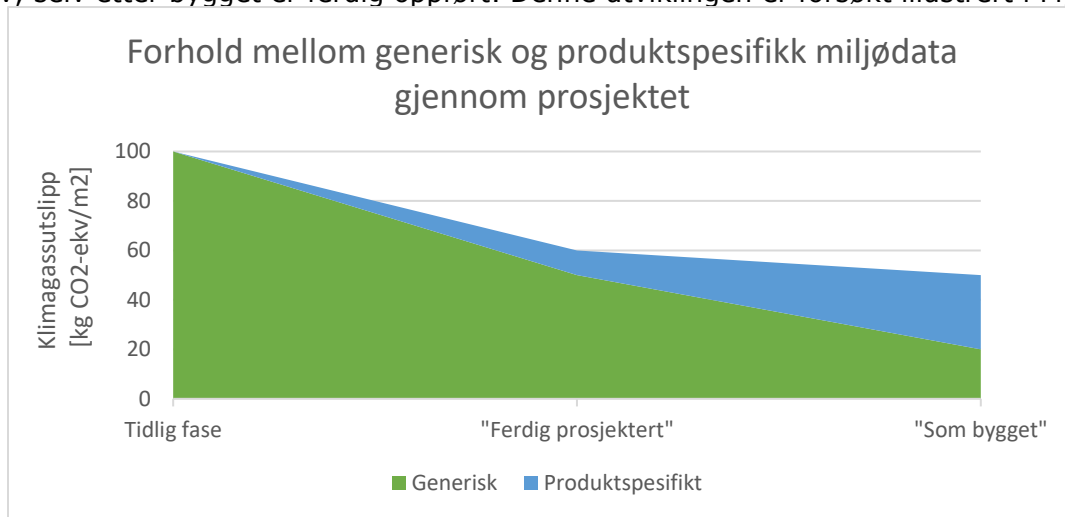
	Produktstadiet			Gjennomføringsstadiet		Bruksstadiet								Livsløpets sluttstadiet				Konsekvenser utover systemgrensen
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	
R1																		
R2																		
R3																		
R4																		(Eventuelt)
B1	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
B2																		(Eventuelt)
B3																		
B4																		(Eventuelt)
CD																		

Inkludert
 Ikke inkludert

Figur 42 - Moduler som vanligvis er inkludert eller satt krav til. CD står for Carbon Designer. R4, B2 og B4 bruker NS3720s forhåndsdefinerte omfang «Basis uten lokasjon»

5.2.8 Bruk av generisk og produktspesifikk data

I starten av prosjektene blir det primært brukt generisk data, fordi man ikke har informasjon eller bakgrunn for å velge produktspesifikke elementer. Generiske verdier er ofte høyere enn hva man kan oppnå ved valg av riktige produktspesifikke elementer. For å nå reduksjonsmålet prøver man gjerne derfor å få inn produktspesifikk data så fort som mulig. Det er likevel ikke vanlig at alle produktene får produktspesifikk informasjon knyttet til selv, selv etter bygget er ferdig oppført. Denne utviklingen er forsøkt illustrert i Figur 43.



Figur 43 - Illustrasjon for å vise hvordan forholdet mellom generisk og produktspesifikk miljødata utvikler seg gjennom prosjektet, og hvordan andelsfordelingen mellom disse påvirker det totale klimagassutslippet. Verdiene er tilfeldige og kun satt for å vise utviklingen som ble tydet ut ifra svarene fra intervjuene

Det blir iblant satt mer spesifikke krav til den generiske datamengden, som for eksempel at man skal benytte seg av lavkarbon klasse A betong eller en viss type treverk. Slike spesifikke

krav kan legges inn i kravspesifikasjonen uten at man vet hvilken leverandør eller produkt man skal bruke. En mulig utfordring med å spesifisere produkter i prosjekteringsfasen, er at dersom entreprenøren får dårlig tid kan det hende at de velger et annet produkt enn det som er spesifisert av rådgiveren fordi det er lettere tilgjengelig.

Det er tilsynelatende vanlig å sette krav til entreprenøren for hvor mange produkter og produktgrupper det skal leveres EPD til. Produktgruppene deles inn i henhold til bygningsdelstabellen. Byggherreorganisasjonene har ikke ha makt eller rett til å si at man ikke kan bruke produkter som ikke har EPD, fordi da vil lovlige produkter bli forbudt. Derfor kan de ikke kreve at samtlige produkter tilknyttes EPDer. Likevel vil det klimamessig være mer lønnsomt å velge de produktene som har EPD, fordi de generiske verdiene ofte er relativt høye.

Bransjen har tydeligvis fortsatt en lang vei å gå før EPDer blir direkte knyttet til hver enkelt bygningsdel i BIM-modellen. Det er ønskelig prioritere automatisering av beregning av utslipp knyttet til stål og betong, både fordi det er en stor jobb å gjøre manuelt og fordi det er i disse produktene det kan gjøres størst feil.

5.2.9 Inkludering av tekniske installasjoner og energisimulering

Det er ikke vanlig å kreve at tekniske installasjoner inkluderes i klimagassberegningene. En byggherreorganisasjon nevner at inkludering av tekniske installasjoner kun er nødvendig der ulike energiløsninger skal vurderes opp mot hverandre, for eksempel om man skal søke om fritak for å knytte seg til fjernvarme og derfor må vise at det finnes en miljømessig bedre løsning.

Tekniske installasjoner ofte ikke inkludert fordi det ikke finnes nok EPDer eller informasjon om disse utslippene. I tillegg er det ofte begrenset med tilgjengelig tid for å utføre klimagassberegningene.

3 av 4 rådgiverne har prøvd å inkludere tekniske installasjoner i sine klimagassberegninger. I disse tilfellene er hovedsakelig varmpumpe og solceller tatt med. En av rådgiverne sier at tekniske installasjoner gjerne tas med i beregningene, selv om det ikke er påkrevd, for å synliggjøre effekten på klimagassberegningene.

Det kan være en god ide å kreve EPDer for tekniske installasjoner i prosjekter for å tvinge markedet til å utarbeide EPDer for sine produkter. One Click har en beta-versjonen for beregning av tekniske installasjoner, men verdiene der er veldig høye. I tillegg er dataene som er i beta-versjonen til One Click, ikke godkjente EPDer.

Tekniske installasjoner kan stå for en stor andel av utslippene i et prosjekt, noe som med fordel kan fremheves. Inkludering av tekniske installasjoner kan for eksempel føre til at man kan vurdere naturlig ventilasjon i større grad enn å legge inn mer teknisk utstyr i fremtidige bygg. Et motargument for det er mulig å gjøre slike forbedringer er at det gjerne er strenge krav til f.eks. luftmengder, og at er dermed ikke nødvendigvis er så store forbedringspotensialer til å redusere størrelsen og omfanget på de tekniske anleggene.

Det virker som at energiberegninger gjerne blir behandlet av en annen avdelingen enn klimagassberegningene. De som utfører klimagassberegningene får gjerne levert en ferdigstilt rapport med de verdiene de skal bruke for energi. Flere av byggherrene påpeker at det er viktig for dem å få reell energi og effektbehov, fordi når man følger NS3701 i energiberegninger får man ikke realistiske verdier fordi blant annet driftstider blir styrt av brukere og er dermed ikke mulig å forutse. At byggherrene er opptatt av å få reell energi og effektbehov virker selvmotsigende, da det gjerne ikke prioriteres å få utarbeidet «i drift»-klimagassberegninger.

5.2.10 Behandling av usikkerhet

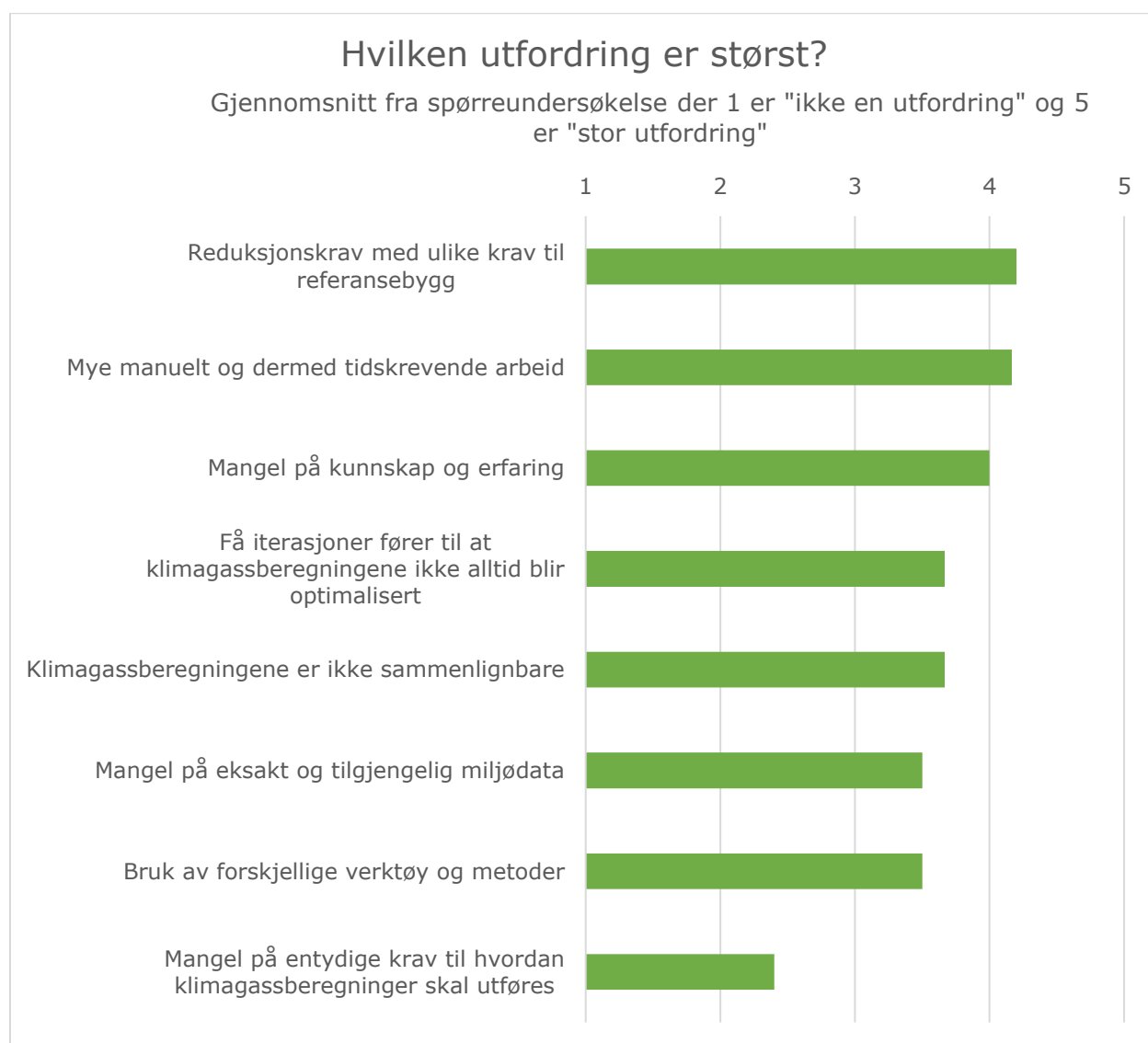
Usikkerhet blir sjelden behandlet i stor grad. Generelt sett blir usikkerhet inkludert mer kvalitativt i stedet for kvantitativt, ved å forklare antagelser i et underkapittel i beregningsrapporten. En rådgiver tror at LCC har kommet mye lenger enn LCA når det kommer til usikkerheter og en annen forklarer at det sjeldent er rom for å gjøre store usikkerhetsberegninger.

En rådgiver forklarer at deres verktøy for å håndtere usikkerhet er å stole på at de store entreprenørene med gode miljøoppfølgingsprogram følger opp seg selv internt. En annen rådgiver mener at klimagassberegninger uansett inneholder generelle tall og ikke eksakt vitenskap, og at det dermed ikke har så mye å si.

Statsbygg forklarer at ved å sette målene, slik som vist i Figur 39, er en slags usikkerhetshåndtering. Utover denne måten å sette mål på legger de ikke inn en usikkerhet slik de gjør for økonomi. Håndteringen av usikkerhet blir dermed basert på erfaringen som flergangsbyggherre og oppfølging underveis i prosjektet.

5.3 De største utfordringene

Det ble sendt ut en spørreundersøkelse for å verifisere resultatene som ble tolket ut ifra intervjuene og casestudiet, samt rangere hvilke utfordringene som er de største. Spørreundersøkelsen ga muligheten til å få en kvantitativ rangering av hvilke utfordringer som er oppfattet som størst av informantene. Det var 6 av 8 informanter som svarte på spørreundersøkelsen. Gjennomsnittsvarene for hvert av spørsmålene er presentert i Figur 44. Der fikk informantene mulighet til å rangere hver av utfordringene som har blitt beskrevet i denne oppgaven fra 1 til 5. Her betyr 1 «ikke en utfordring» mens 5 er «stor utfordring».



Figur 44 - Resultater fra spørreundersøkelse om hvilke utfordringer som er størst

Resultatene viser at mye manuelt og dermed tidskrevende arbeid, reduksjonskrav med ulike krav til referansebygg og at få iterasjoner fører til at klimagassberegningene ikke alltid blir optimalisert er de største utfordringene som er avdekket i denne oppgaven.

6 Diskusjon

I denne delen av oppgaven diskuteres de tre definerte forskningsspørsmålene.

6.1 Utførelse av klimagassberegninger

Det første forskningsspørsmålet er som følger:

Hvordan utføres klimagassberegninger i dag?

Klimagassberegninger blir hovedsakelig utført av rådgivere eller entreprenører på oppdrag fra en byggherreorganisasjon. I nyere tid er det blitt stadig mer vanlig å beregne klimagassutslippene allerede i tilbudsfasen. Mens klimagassberegninger for «ferdig prosjektert» og «as-built» synes å være en prioritert oppgave, blir klimagassberegninger «i drift» blir ofte nedprioritert.

Formålet med å utføre klimagassberegninger varierer og påvirker hvordan beregningene utføres. Prosjekter som har som formål oppnå en reduksjonsgrad må for eksempel dokumentere reduksjonsgraden i forhold til et referansebygg. Hvis formålet derimot er å klassifisere bygget innenfor en miljøsertifisering, som for eksempel BREEAM, må kategorien «Mat 01 – Bærekraftige materialer» bli dokumentert av gjennom klimagassberegninger.

Intervjuene viser at klimagassberegninger utføres for stadig flere byggeprosjekter og at måten de utføres på har endret seg over tid. I 2018 kom en ny standard, NS3720, som beskriver en standardisert måte å utføre klimagassberegninger på. Samme år ble det tidligere populære internettverktøyet klimagassregnskap.no avviklet. For å erstatte klimagassregnskap.no, har Statsbygg og mange andre gått over til One Click LCA, som er utviklet i henhold til NS3720 i et samarbeid med Statsbygg på det private markedet.

Litteraturen beskriver mange fremtidsrettede metoder som bruker BIM-integrert LCA. Disse metodene kan grovt deles inn i statisk mengdeuttak fra BIM-modell på den ene siden av skalaen, til en mer dynamisk plug-in-metode på den andre siden skalaen.

Rådgiverne som ble intervjuet bruker hovedsakelig mengdeuttak fra Solibri. Ellers blir beregningene stort sett gjort manuelt.

6.2 utfordringer med klimagassberegninger

Det andre forskningsspørsmålet lyder som følger:

Hva er de største utfordringene med utføring av klimagassberegninger for å lage norske bygg med lave klimagassutslipp i dag?

Det kortfattede svaret på forskningsspørsmålet, ut ifra hva resultatene til case- og intervjudelen viser, er oppsummert i Tabell 13.

Tabell 13 - Utfordringer med utføring av klimagassberegninger

Utfordring:	Kort forklaring:
Reduksjonskrav der det ikke finnes entydige krav til referansebygg	Intervjuene viser at de aller fleste prosjekter har et reduksjonskrav for klimagassutslipp i forhold til et referansebygg. Det er imidlertid ikke entydig hvordan referansebygget skal utformes og beregnes.
Mye manuelt og dermed tidskrevende arbeid	Intervjuene viser at mye av klimagassberegningene blir gjort manuelt og at dette er svært tidkrevende. Årsaker til dette er mangel på en universell navngiving på elementer i BIM-modellen og maskinlesbare EPDer som gjør at de fleste automatiske prosesser ikke er troverdige og må kvalitetssikres.
Mangel på kunnskap og erfaring	Mangel på kunnskap om klimagassberegninger hos mindre aktører kan være et hinder for å utføre klimagassberegninger i alle prosjekter.
Få iterasjoner fører til at klimagassberegningene ikke alltid blir optimalisert	Det ser ut som at det er en positiv utvikling i antall prosjekter som vil ha med rådgiver fra tilbudsfase og at dette fører til større grad av optimalisering. Likevel viser intervjuene at klimagassberegningene ofte ikke blir optimalisert gjennom flere iterasjoner. En av årsakene til at klimagassberegningene ikke blir optimalisert er at rådgiverne blir involvert for sent i prosessen og at mange valg allerede er tatt. En annen årsak er at mye tyder på at det er et mindretall prosjekter der man virkelig bestemmer seg for å «satse på miljø».
Mangel på eksakt og tilgjengelig miljødata	Det mangler EPDer for mange produkter. Det er en utfordring fordi det kan begrense dokumentasjonen av produkter eller valgfriheten blant produkter.
Klimagassberegningene er ikke sammenlignbare	Casestudiet viser at klimagassberegningene som utføres ofte ikke er sammenlignbare fordi de ikke har samme funksjon, systemavgrensning og bruker samme utslippsfaktorer. Det er en utfordring fordi det blir vanskelig å sammenligne klimagassutslippene for ulike prosjekter og sette resultatene opp mot de nasjonale og internasjonale målene for klimagassreduksjon.
Bruk av forskjellige verktøy og metoder	Intervjuene og casestudiet viser at metode og verktøy kan variere for ulike klimagassberegninger. De aller fleste bruker i dag One Click LCA som verktøy, men ikke alle. Dette medfører at prosessene kan bli mindre transparente og mindre sammenlignbare.
Mangel på entydige krav til hvordan klimagassberegninger skal utføres	Intervjuene og casestudiet tyder på at det mangler entydige krav til hvilke livsløpsfaser/moduler som skal inkluderes, hvilke utslippsfaktorer som skal benyttes, hvordan referansebygget skal beregnes og utformes osv. NS3720 kan være en løsning til denne utfordringen.

6.2.1 Mye manuelt og tidskrevende arbeid

Intervjuene viser at mye av klimagassberegningene blir gjort manuelt og at dette er svært tidskrevende. BIM-modeller blir sjelden aktivt brukt i klimagassberegningene av følgende årsaker:

- Modellene er ikke komplette, og mengdeuttakene må kontrolleres og suppleres i etterkant
- Elementene i modellen blir navngitt på en måte som gjør eksport utfordrende
- Det har oppstått store feil ved eksport fra modell tidligere, noe som har medført at man ikke stoler på de resultatene som kommer fra mengdeuttakene fra modell
- I dagens løsninger er det ofte ikke mulig å forstå hva som ligger bak verdiene som blir eksportert
- Det er nødvendig å kvalitetssikre mengdene til elementene ved bruk av BIM-integrert LCA siden resultatene ikke er til å stole på. Da kvalitetssikringen gjerne tar lang tid, blir det gjerne like raskt å gjøre hele klimagassberegningen manuelt fra starten av
- Plug-in er ikke mulig

Det kan tyde på at det er behov for en bedre kobling mellom teori og metodene som blir forsket på og det som faktisk utføres i bransjen. Et eksempel er at mens flere masteroppgaver fra NTNU omtaler LOD som en god måte å beskrive utviklingsnivå på elementene i en BIM-modell, så hadde kun én av åtte intervjuobjekter hørt om og brukt LOD - og det var i forbindelse med sin masteroppgave.

6.2.2 Reduksjonskrav ulike krav til referansebygg

Alle byggherre-representantene som ble intervjuet fortalte at de har klare reduksjonsmål for klimagassutslipp i sine byggeprosjekter. Et oppnådd reduksjonsmål må dokumenteres og sammenlignes med et referansebygg.

I NS3720 står det imidlertid ikke hvordan et referansebygg skal defineres. Byggherreorganisasjonen må derfor enten definerer referansebygget selv eller få andre til å gjøre det. To av de fire byggherreorganisasjonene som ble intervjuet har laget egne veiledere for hvordan referansebygget skal defineres. De to andre byggherreorganisasjonene lar imidlertid rådgiverne definere referansebyggene selv. En av disse tenker at å ikke sette krav til referansebyggene kan være uheldig, og de ser etter mulige endringer i sin egen strategi.

Casestudiet viser at klimagassberegningene stort sett ikke kan sammenlignes fordi referansebyggene er svært ulike, selv om bygningskategorien den samme for alle eksempelprosjektene. Resultatene i Figur 31 viser også at referansebyggene i rapportene hadde vært svært annerledes om man hadde brukt samme beregningsmetode, som for eksempel One Click sin funksjon Carbon designer.

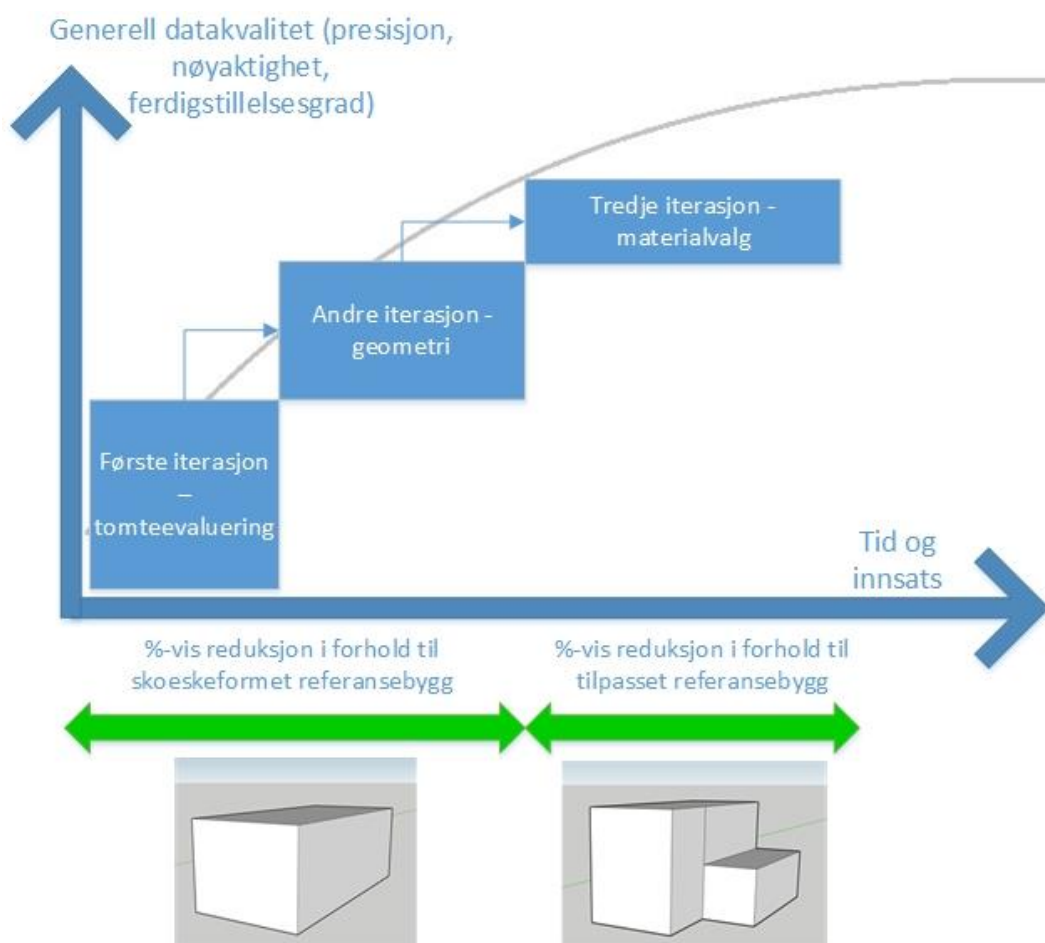
Når det ikke er finnes en entydig standard for hva klimagassreduksjonen skal beregnes i forhold til, er det vanskelig å vite hvorvidt man faktisk oppnår redusert klimagassutslipp i et bygg i forhold til andre lignende bygg. Denne utfordringen indikerer at reduksjonsmålet ikke nødvendigvis er et godt mål for miljøprestasjonene for et nybygg i forhold til andre bygg på markedet.

Formen på referansebygget er et eksempel på en definisjonssak som varierer mellom ulike aktører. Figur 37 viser at omtrent halvparten bruker et skoeske-formet referansebygg, mens den andre halvparten bruker tilpasset referansebygg etter den prosjekterte bygningskroppen.

Prosjekter med ulik form på referansebygget ikke er sammenlignbare. Skoeskeformen er mer energi- og materialeeffektiv og vil dermed gi lavere klimagassutslipp enn et bygg med tilpasset geometri. Dessuten vil ikke arkitektoniske valg bli tatt med i betraktningen i et tilpasset referansebygg fordi geometrien allerede er bestemt.

Det er ulike fordeler og ulemper med å bruke en skoese-form på referansebygget og en tilpasset form, da de fremhever forskjellige aspekter ved klimagassberegningene. I tidlig fase vil den skoese formede tilnærmingen ofte være mest gunstig for å synliggjøre hvordan arkitektoniske valg kan påvirke det totale klimagassutslippet. Senere, når det ikke lenger er mulig å endre på geometrien til bygningskroppen, vil skoese-tilnærmingen kunne undergrave påvirkningen av gode materialvalg. Da vil det være gunstigere å bruke den tilpassede formen hvor man får et mer realistisk bilde av hvor store material mengder som faktisk skal brukes.

Uansett hva slags form man bruker på referansebygget, må valget dokumenteres. Teoretisk sett kan man ha to ulike krav og lage to ulike referansebygg, slik som illustrert i Figur 42. På den måten kan man både høste fordelene med å ha et bevisst forhold til de arkitektoniske påvirkningene, og samtidig synliggjøre påvirkningen av gode materialvalg i senere faser.



Figur 45 - Teoretisk bruk av to ulike referansebygg

Det er også mulig å argumentere for at de ikke har så mye å si hvilken type referanse man bruker, så lenge alle bruker den samme.

Ut ifra intervjuene virker det som at det er gunstig for både byggherreorganisasjonene og rådgiver at referansebygget er definert av byggherren før en tilbudskonkurranse. På den måten kan man sikre at alle tilbud er sammenlignbare og at konkurransen er rettferdig. Ulempen med denne løsningen er at det er ressurskrevende for byggherren å definere et referansebygg og å følge opp at det brukes korrekt. Mindre byggherreorganisasjoner har sjelden ressurser til å sette opp egne referansebygg og følge opp at det blir fulgt.

De fleste informantene trekker fram at det i teorien går an å jukse seg til en god reduksjon. At det går an å jukse skaper utrygghet og en opplevelse av urettferdighet i tilbudskonkurransene, fordi det stilles spørsmål om konkurransen blir på et rettferdig grunnlag. I en tilbudskonkurranse bør det derfor sikres at referansene er like og at beregningene kan kontrolleres på en oversiktlig måte.

Det kan også diskuteres om referansebygget er et godt grunnlag for sammenligning generelt. En av rådgiverne som ble intervjuet sa:

Referansebyggene har vært helt nødvendige i en utviklingsfase, men det er jo ting de ikke tar opp i seg.

Et eksempel her er grunnforhold. Grunnforhold er noe som kan ha stor påvirkning på klimagassutslippet og som vil variere fra prosjekt til prosjekt. Et standard definert referansebygg vil ikke inkludere de variasjonene i grunnforhold som i praksis vil oppstå, og derfor justeres gjerne referansebygget etter grunnforholdene er på tomta.

6.2.3 Mangel på kunnskap og erfaring

De store og urbane aktørene fra intervjuene virker svært engasjerte og har rikelig med erfaring og kunnskap.

Klimagassberegninger kan likevel ikke betegnes som allmennkunnskap. Det kan se ut som at manglende kunnskap er et hinder for at mindre aktører prioriterer løsninger med lavere klimagassutslipp.

Det å få klimagassberegninger ut til alle, til hele byggebransjen, det er den største utfordringen. Da må det ikke bli altfor komplisert. De store rådgiverne og entreprenørene er ganske gode, i Oslo og de store byene, men du skal ikke så veldig langt ut fra de store byene før man ikke kan så mye og er veldig usikker. – R4

Intervjuene og casestudiet viser også at utførelsen av klimagassberegninger varierer i stor grad ut fra hvem som utfører dem.

Vi merker det er variert kompetanse rundt klimagassberegninger, at det er et nytt tema for noen. -B3

6.2.4 Få iterasjoner fører til at klimagassberegningene ikke alltid blir optimalisert

Som vist teorien, i Figur 11(EeBGuide, 2011), må man gjennomføre flere iterasjoner for å sikre god kvalitet på resultatene i klimagassberegningene. Som beskrevet i teorikapitlet er det mest kostnadseffektivt å gjøre endringer i utformingen av et bygg tidlig i prosjektet. Likevel viser intervjuene med ulike rådgivere at de ofte kommer for sent inn i prosjektene til å kunne bidra med gode endringsforslag som kan føre til klimagassreduksjon.

Hvis målet med klimagassberegningene er å bruke spesialkompetanse til å redusere utslippene i byggeprosjekter, er det en utfordring at kompetansen ikke blir utnyttet optimalt for å redusere utslippene. I flere tilfeller er det for sent eller så er byggherren kun interessert i å få klimagassberegninger til et allerede ferdig definert bygg.

Rådgiverne bidrar også med forslag til tiltak for å redusere klimagassutslippene (med tilhørende sensitivitetsanalyser for å vise i hvor stor grad endringene kan påvirke) senere i prosjektet. Flere av byggherreorganisasjonene oppgir at de også følger opp utførelsen av klimagassberegningene underveis i prosjektet.

Graden av optimalisering av klimagassutslipp i hvert prosjekt er i stor grad avhengig av viljen og satsningen til byggherren. En av informantene sier at «man skjærer kravene i noen pilotprosjekter, hvor man setter tyngre krav fordi man ser at her skal vi satse på miljø». Mye kan tyde på at det er et mindretall prosjekter hvor byggherren virkelig bestemmer seg for å «satse på miljø».

6.2.5 Mangel på miljødata

En stor utfordring er at det ennå ikke er etablert produktspesifikk miljødata, eller EPDer, for alle produkter. Mangel på miljødata fører blant annet til at generiske verdier blir brukt og at tekniske installasjoner gjerne ikke blir inkludert i beregningene. I tillegg er det en utfordring at de miljødeklarasjonene som finnes er hovedsakelig i form av PDFer, og dermed ikke er maskinlesbare. På den måten blir det mye jobb å koble opp produktspesifikk data for alle elementer i bygget, og kanskje mer tilfeldig hva slags klimagassutslipp man ender opp med til slutt.

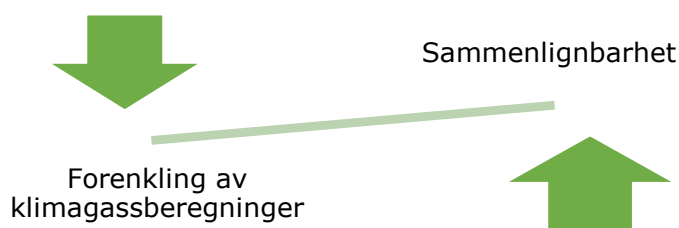
6.2.6 Klimagassberegninger er ikke sammenlignbare

Som definert i NS3720, er det kun mulig å sammenligne resultatene fra klimagassberegninger for ulike bygninger eller bygningsdeler dersom de har samme funksjon, systemavgrensning og like scenarioer/utslippsfaktorer.

Resultatene fra casestudiet viser derimot at rapportene er svært ulike når det kommer til innhold og forutsetninger. Ulikhetene gjør det nærmest umulig å sammenligne prosjekter med hverandre.

I tillegg er det ikke alltid så lett å finne ut hva slags forutsetninger som er blitt brukt i beregningene, da noen av rapportene er svært lite omfattende slik som vist i Figur 28 - Antall sider i rapportene for klimagassberegningene. Det at man ikke kan spore tilbake til hvordan beregningene er blitt gjort, kan gjøre det utfordrende å bruke resultatene i ettertid.

Et dilemma som blir påpekt i litteraturen (Soust-Verdaguer et al., 2016), er at forenklinger kan gjøre det vanskelig å sammenligne studier. Motsatt vil også økt sammenlignbarhet føre til at man ikke kan gjøre like mange forenklinger i klimagassberegningene, slik som illustrert i Figur 46. Dersom man ønsker å øke sammenlignbarheten mellom ulike prosjekter, vil dette dermed kunne gjøre klimagassberegningene mer komplekse. Det er ikke nødvendigvis gunstig, da klimagassberegninger i utgangspunktet er komplekse og forenkling av prosessen kan gjøre det lettere å utføre.



Figur 46 - Dilemmaet mellom forenklinger og sammenlignbarhet

6.2.7 Bruk av forskjellige verktøy og metoder

Som beskrevet i teorien finnes det mange ulike måter å utføre klimagassberegninger på, samt flere ulike verktøy.

Resultatene viser at det er en utfordring at ikke alle bruker de samme verktøyene til klimagassberegningene. Det at ikke alle bruker samme verktøy kan medføre redusert åpenhet, mindre transparente beregninger og ulike metoder.

Etter at klimagassregnskap.no (som var gratis) ble stengt ned, finnes det ikke lenger en gratis løsning som kan brukes av alle. Flere av byggherreorganisasjonene er tydelige på at de ikke kan kreve at rådgiverne eller entreprenørene bruker One Click LCA fordi det koster penger med lisens. Ut ifra en strukturert samtale med en entreprenør-representant virket det også som at det kunne være utfordrende å få tilgang på lisens. Barrieren som lisensen skaper, gjør at ikke alle som er involvert kan gå inn og sjekke hva som er inkludert i klimagassberegningene. Det virker som at en gratis løsning kunne ha gjort klimagassberegningene mer tilgjengelige og at man kunne dermed ha inkludert flere i prosessen med å redusere klimagassutslipp.

En annen utfordring med at flere ulike verktøy er i bruk, er at beregningene kan bli mindre transparente og at det blir vanskelig å vite hva som ligger bak beregningene.

Det at ulike verktøy blir brukt, kan også føre til at ulike metoder blir aktuelle. For eksempel er det populært å bruke Carbon Designer til å lage et referansebygg dersom man i utgangspunktet bruker verktøyet One Click. Dersom man bruker et annet verktøy, vil man derimot ikke ha den muligheten og kan dermed ikke være sikker på at resultatet til referansebygget vil bli identisk med det fra Carbon Designer.

6.2.8 Mangel på krav til klimagassberegninger

Det finnes flere standarder om hvordan LCA skal utføres, slik som NS3720 og ISO14140. I intervjuene med både rådgivere og byggherreorganisasjoner var det tydelig at NS3720 i stor grad har påvirket utførelsen av klimagassberegninger etter at den ble publisert i 2018. Likevel ser det ut som at ikke alle har fullstendig oversikt over hva som inngår i NS3720 og at det fortsatt er utfordringer rundt hva slags krav man skal sette til klimagassberegningene. En årsak til at ikke klimagassberegningene i casestudiet ikke følger NS3720 kan være at de mest sannsynlig ble utført før NS3720 ble publisert.

Fra rådgiveren sin side, må ofte mange antagelser gjøres på grunn av få og upresise krav fra kunden ved bestilling av klimagassberegninger. I en tilbudskonkurranse kan behovet for å gjøre antagelser oppleves urettferdig, da tilbud ikke nødvendigvis blir sammenlignbare på grunn av manglende krav til utførelsen.

Fra byggherreorganisasjonene sin side, derimot, synes særlig mindre aktører at det er utfordrende å sette gode krav som ikke fører til suboptimalisering. Siden det er i utgangspunktet er rådgiveren eller entreprenøren som sitter med spesialkompetanse på klimagassberegninger, kan det være utfordrende å vite hva man skal bestille, kreve og følge opp.

Blant byggherreorganisasjonene som ble intervjuet er det kun Statsbygg som bruker verktøyet One Click LCA eller lignende. Resten av byggherreorganisasjonene får entreprenører og rådgivere til å utføre arbeid for dem, og får gjerne en rapport som dokumentasjon og en gang iblant innsyn i beregningene i verktøyet. En årsak til at Statsbygg er den eneste som bruker verktøyet selv, kan være at de har vært med på å utarbeide verktøyet og dermed har bedre innsikt i funksjonene. Mangel på innsikt av hvordan man håndterer verktøyene kan være en et hinder for å sette presise og gode krav til utførelsen av klimagassberegningene.

Eksempler på områder det ofte mangler nødvendige krav er:

- Hvilke livsløpsfaser som skal inkluderes
- Hvilke utslippsfaktorer som skal brukes
- Hvordan referansebygget skal beregnes og utformes

NS3720 krever at minst to ulike scenarioer for elektrisitets forsyning skal benyttes, det ene scenarioet skal være en norsk forbruksmiks mens det andre skal være en europeisk forbruksmiks (se teorikapittelet s. 18). Likevel viser resultatene fra casen, at svært ulike utslippsfaktorer for energi blir brukt i de ulike beregningene og at de ulike faktorene kan ha stor påvirkning på de endelige resultatene. For at klimagassberegningene skal være sammenlignbare, må alle følge kravene som er satt i NS3720, ellers må det settes nye krav som alle kan følge.

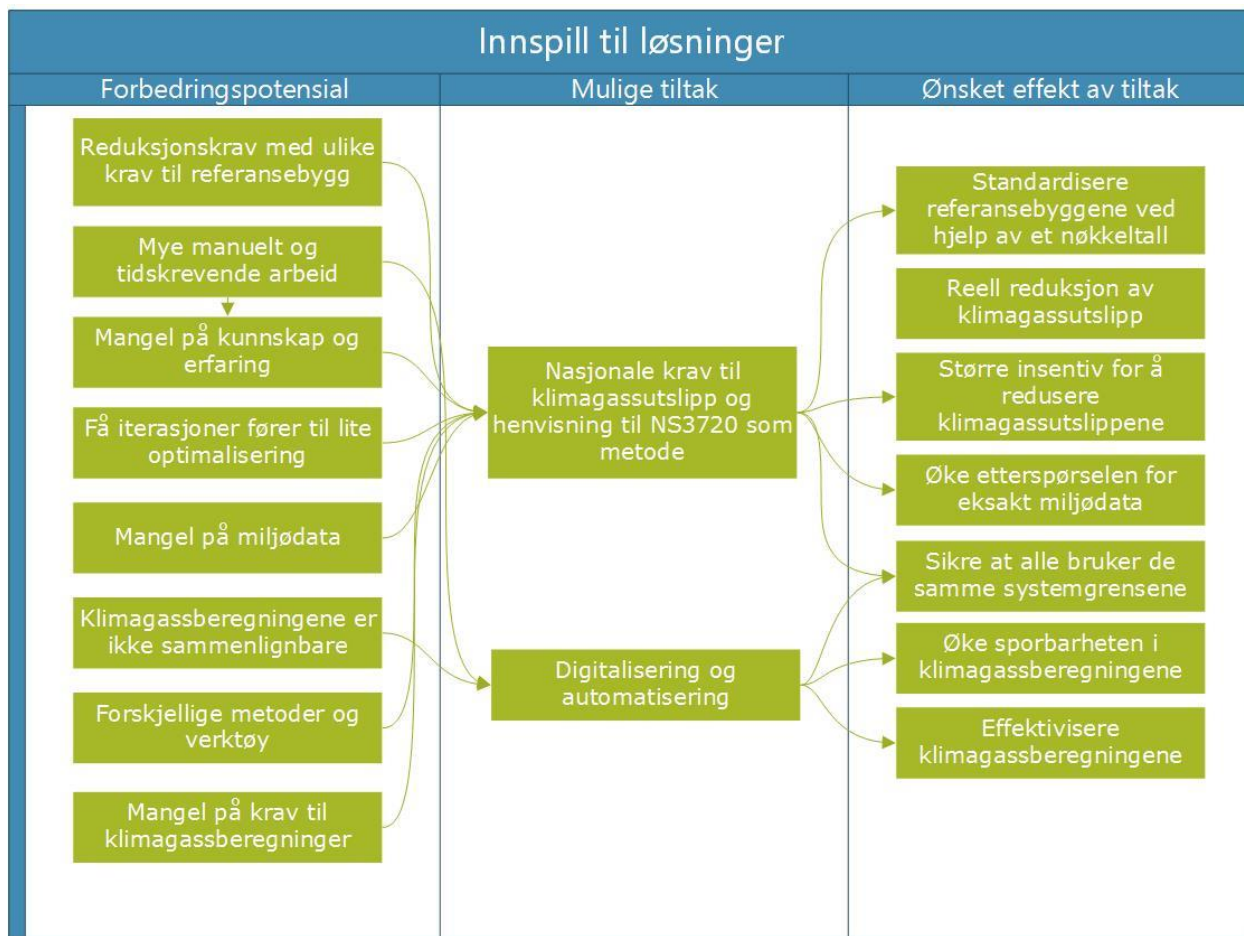
At denne utfordringen ble rangert som den minste i spørreundersøkelsen, kan tyde på at mangel på krav til klimagassberegninger er en utfordring som allerede er utbedret blant annet ved at NS3720 ble publisert.

6.3 Innspill til løsninger

Det siste forskningsspørsmålet er:

Hvilke nye krav og systemgrenser løse utfordringene?

For å svare på forskningsspørsmålet, må utfordringene som ble funnet i det første forskningsspørsmålet kobles til alternative løsninger. Innspill til løsninger er å etablere nasjonale krav knyttet til klimagassutslipp, fortsette utviklingen innen digitalisering og automatisering og å standardisere metoder og verktøy. Diagrammet i Figur 44 knytter de mulige løsningene til utfordringene som er avdekket, samt hva slags effekt som er ønsket av de ulike løsningene.



Figur 47 – Innspill til løsninger for de forbedringspotensialene som er funnet i oppgaven

6.3.1 Nasjonale krav

Litteraturen viser at internasjonale eksperter mener at grenseverdier for klimagassutslipp fra bygninger burde være lovpålagt for at man skal nå 1,5 grader målet i Parisavtalen (Frischknecht et al., 2019). At internasjonale eksperter har slike meninger kan være et argument for at nasjonale krav til reduksjon av klimagasser i byggeprosjekter kan være en løsning også i Norge.

Resultatene fra intervjuene og casestudiet viser at det ofte stilles for lite krav til at referansebyggene som brukes til å dokumentere en prosentvis reduksjon i klimagassutslipp. Løsningen på denne utfordringen kan være å sette mer standardiserte krav til referansebyggene.

Byggtekniske forskrift (TEK) kan for eksempel inkludere krav for hver bygningskategori til kg CO₂-ekvivalenter/år, enten per kvadratmeter eller per bruker. Grenseverdien i kravet kan settes fra et dynamisk gjennomsnitt av tidligere bygg med samme bygningskategori. Denne grenseverdien kan være en god løsning fordi den kan være et godt sammenligningsgrunnlag for hvor store klimagassutslipp et nytt bygg slipper ut sammenlignet med den eksisterende bygningsmassen.

Absolutte krav til klimagassutslipp for materialbruk i norske bygninger er også foreslått av ZEN Research Center(Wiik et al., 2020). ZEN Report No. 24 ble publisert rett før denne masteroppgaven skulle leveres inn, og rapporten underbygger i stor grad resultatene i denne masteroppgaven og forslaget om å sette absolutte krav til klimagassutslipp. At to uavhengige prosjekter kommer til omtrent samme konklusjon, kan tyde på at det er en aktuell løsning å sette absolutte krav til klimagassutslipp i stedet for å bruke dagens løsning med klimagassreduksjon i forhold til et referansebygg.

For å sikre at de samme metodene og systemgrensene blir brukt, bør et krav i TEK inneholde en henvisning til bruk av NS3720 i det veiledende leddet, slik som NS3031 blir henvist til i kravene til energieffektivitet i TEK17 (DiBK, 2017).

Grenseverdi ut fra et dynamiske gjennomsnitt

En mulig løsning er å etablere grenseverdier for klimagassutslipp per bygningskategori som et nasjonalt krav i stedet for å bruke dagens løsning med referansebygg. Tanken bak en slik grenseverdi er å sette absolutte krav ved å lage et dynamisk gjennomsnitt for klimagassutslippene til alle nybygg per bygningskategori. Ved å ha et gjennomsnitt for mange lignende bygg, kan man å få et bedre grunnlag for å sammenligne om man faktisk har klart å redusere klimagassutslippene i forhold til andre bygg.

For eksempel, så viser resultatene fra casestudiet at «som bygget» er gjennomsnittet for klimagassutslipp fra barnehagene er $4,97 \approx 5$ kg CO₂-ekvivalenter/m²/år for materialer. Da kunne det ha bli satt en grenseverdi i TEK, der ingen barnehagebygg får ha høyere klimagassutslipp enn 5 kg CO₂-ekvivalenter/m²/år for materialer. Lignende krav burde i så fall stilles til alle bygningskategorier, slik som i kravene til energieffektivitet i TEK17(DiBK, 2017). Et forslag til hvordan kravene kan settes opp er lagt ved i Vedlegg 10 – Forslag til hvordan grenseverdier for klimagassutslipp kan implementeres i TEK. I tillegg kunne det bli lagt inn som en veiledning om at klimagassberegningene må utføres i henhold til NS3720.

En løsning med grenseverdier ble uoppfordret etterspurt av flere av informantene i intervjuprosessen:

Jeg håper at bransjen kommer dit at de setter rammekrav for bygningsdeler, slik som man har rammekrav for energi. -R4

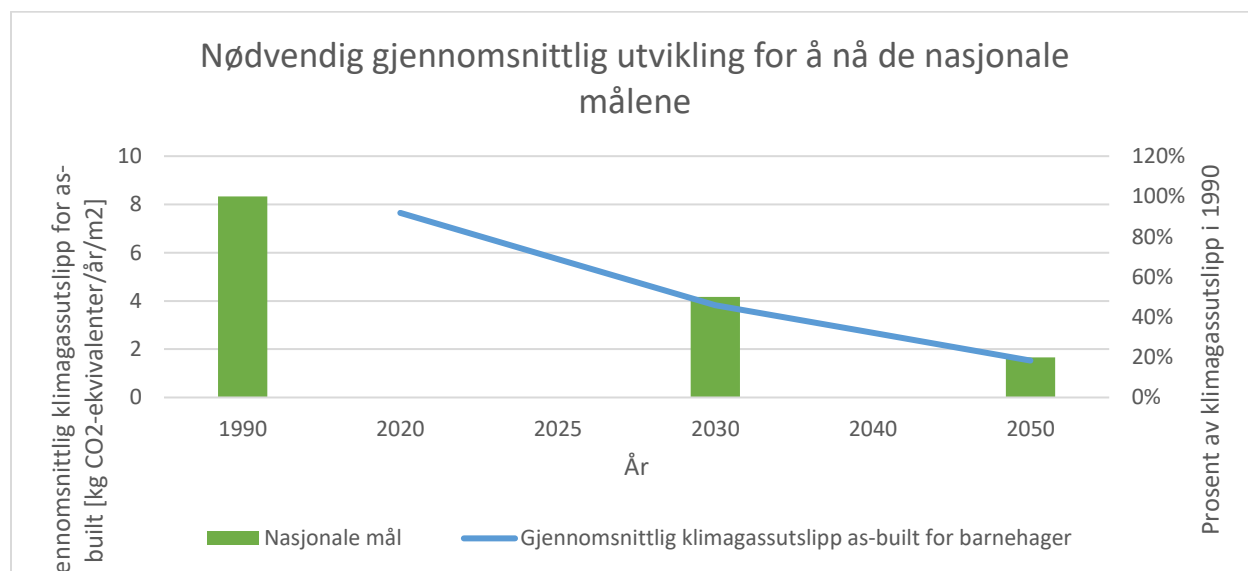
Vi har snakket om å finne noen nøkkeltall istedenfor, f.eks. for hver bygg kategori, som skole, barnehage, velferdssenter. At man har et nøkkeltall

med utslipp per kvadratmeter, per bruker eller lignende. Da har man et mer konkret måltall, at man skal like rundt et visst antall kg CO2 ekvivalenter per kvadrat. og da kan det være lettere å sammenligne mellom prosjekter og ulike kategorier. Jeg tror det er lurt. - B3

Sitatene kan tyde på at bransjen er klar for en slik utvikling.

Grenseverdiene kan baseres på et gjennomsnitt per kvadratmeter over levetiden, eller per bruker. Det finnes fordeler og ulemper med begge løsningene. For eksempel kan et snitt per kvadratmeter ikke gjenspeile hvor mange som bruker bygget. Et gjennomsnitt basert på antall brukere kan være et insentiv for å bygge mindre bygg enn det man trenger og derfor skape et behov for å bygge nytt tidligere.

Grenseverdien burde oppdateres over tid, siden gjennomsnittet for klimagassutslipp til bygg i Norge forhåpentligvis kommer til å reduseres i tråd med de nasjonale klimamålene. Konseptet for hvordan gjennomsnittet for klimagassutslipp gradvis burde reduseres i tråd med de nasjonale klimamålene er forsøkt illustrert i Figur 45. Denne figuren viser gjennomsnittet for klimagassutslipp «as-built» for energi og materialer i de rapportene som er blitt brukt i casen. Ulempen med disse tallene er, som beskrevet tidligere, at de ikke er sammenlignbare. Dette gjør at gjennomsnittet ikke nødvendigvis er realistisk, men kan ha store feilkilder.



Figur 48 - Nødvendig utvikling av gjennomsnitt for å nå de nasjonale målene. Gjennomsnittet på akselen til venstre er basert resultatene fra casestudiet

En forutsetning for at man skal kunne lage representative og realistiske grenseverdier ut fra et gjennomsnitt er at alle bygg må ha klimagassberegninger som er sammenlignbare. I tillegg bør man bruke «i drift»-resultater, da «som prosjektert» og «as-built» ikke gir helt eksakte tall.

Casestudiet i denne oppgaven har vist at det kan være vanskelig å få tak i gode nok data til å etablere et gjennomsnitt fra klimagassberegninger i dag. Resultatene fra casestudiet viser at de klimagassberegningene som har utført tidligere er basert på ulike metoder og verktøy som ikke har samme funksjon, systemavgrensning og like scenarier/utslippsfaktorer. Det vil si at fremtidige rapporter må ha like rammer for at man skal kunne lage et godt gjennomsnitt.

For å få et representativt gjennomsnitt så må både pilotprosjektene og standard bygg uten store miljø ambisjoner være inkludert. Da holder det ikke at kun pilot-prosjektene har fått utarbeidet klimagassberegninger.

En problemstilling som dukker opp med denne løsningen, er hva man skal gjøre med elementer som er svært ulike i hvert prosjekt. Et eksempel er grunnforhold. Grunnforhold har stor påvirkning på det endelige klimagassutslippet, kan ikke utbedres dersom tomte allerede er valgt og kan dermed gjøre det nærmest umulig å oppnå en god reduksjon i forhold til andre prosjekter med bedre grunnforhold.

Insentiv til å prioritere klimagassberegninger

Dersom man setter nasjonale krav til hvor mye klimagassutslipp bygninger i Norge kan ha, kan kravene gi byggherre organisasjoner et insentiv til å prioritere klimagassberegninger mer enn det gjør i dag.

Med et insentiv for å komme under en gitt grenseverdi for klimagassutslipp, vil det også bli mer ønskelig å optimalisere material, transport- og energivalgene for hvert prosjekt. Dermed vil det kunne bli mer aktuelt å gjøre beregningene i flere iterasjoner og involvere rådgivere og andre eksperter tidligere i prosessen.

Et nasjonalt krav vil omfavne hele landet, og kanskje dermed også flere områder enn der det prioriteres å ha reduksjonsmål for bygg i dag.

Øke etterspørselen for miljødata

Ved at alle bygg må dokumentere sitt klimagassutslipp, vil det også nødvendigvis etterspørselen på miljødata øke. Økt etterspørsel for miljødata kan føre til at det utarbeides EPDer for flere produkter

Bruke samme metode

For å sikre at klimagassberegninger er mulig å tolke og sammenligne med klimagassberegninger for lignende bygg, så er det viktigste å være transparent og ha en standard struktur på hva som er med i klimagassberegningene. Det er i utgangspunktet lagt til rette for standardisering av klimagassberegninger i NS3720, og det blir spennende å se om fremtidig bruk av denne standarden vil løse noen av utfordringene avdekket i denne oppgaven.

I tillegg bør det prioriteres å inkludere de bygningsdelene som har størst klimagassgassutslipp totalt bli prioritert i beregningene. Det er ikke et mål å inkludere absolutt alle delene av et bygg i klimagassberegningene. Det er heller ikke gjennomførbart i de prosjektene som finnes i dag. For at det skal være lett for mange å utføre klimagassberegninger, er det viktig at de standardiserte løsningene er enkle og lite tidskrevende.

6.3.2 Standardisere BIM-modellene og automatisere prosessen

Automatisering og bruk av digitale løsninger i form av BIM-integrert LCA, virker som en god løsning for å hindre at manuelt og tidskrevende arbeid gjør klimagassberegninger dyre og krevende å utføre.

Standardiserte BIM-modeller og integrasjoner vi kan stole på

For å få til en vellykket BIM-integrasjon i klimagassberegninger, må oppbygningen, navngivingen og innholdet i modellen være standardisert. Det er tydelig at man ikke kan bruke BIM-integrasjoner som kun for med seg noe og dermed blir det mye manuelt kontroll arbeid i etterkant. Derfor må BIM-modellene standardiseres.

Digitaliserte EPDer kan gjøre prosessen raskere

Dagens løsning med databaser for EPDer som er skrevet ut i PDF-er er en kilde til mye manuelt arbeid. Ved å digitalisere og tilgjengeliggjøre EPDer og annen miljødata, vil man muligens kunne spare tid og kostnader i flere ledd.

Automatisert prosess

En mer automatisert prosess kan føre til at klimagassberegninger vil kunne prioriteres oftere på grunn av redusert tidsbruk og kostnader, slik som illustrert i Figur 49



Figur 49 - Kan digitalisering føre til at klimagassberegninger blir prioritert?

7 Konklusjon

Byggebransjen er en av de sektorene som bidrar mest til negativ miljøpåvirkning i verden. For å nå de nasjonale og internasjonale målene for reduksjon av klimagassutslipp, er det viktig at bransjen utnytter potensialet for klimagassreduksjon så mye som mulig. Hensikten med denne oppgaven er å vurdere hvordan beregningene av klimagassutslipp fra nye bygg kan forbedres.

Hvordan klimagassberegninger utføres i dag

Klimagassberegninger blir hovedsakelig utført av rådgivere eller entreprenører på oppdrag fra en byggherreorganisasjon. Formålet med å utføre klimagassberegninger er som regel å oppnå en reduksjonsgrad i klimagassutslipp eller å klassifisere seg innenfor en miljøsertifisering som for eksempel BREEAM. Klimagassberegningene blir utført ulikt avhengig av hva formålet med analysen er. Prosjekter som skal oppnå en reduksjonsgrad, må dokumentere denne i forhold til et referansebygg.

Etter at klimagassregnskap.no ble avvirket i 2018 bruker de aller fleste One Click LCA som verktøy. Prosessen er i stor grad manuell, bortsett fra mengdeuttak fra modell og generering av referansebygg som ofte gjøres automatisk med Carbon Designer i One Click.

Intervjuene viser at det blir utført klimagassberegninger for flere og flere byggeprosjekter og at måten de blir utført på har blitt videreutviklet de siste årene. I 2018 kom en ny standard, for utføring av klimagassberegninger, NS3720. Denne nye standarden har forbedret og standardisert utførelsen av klimagassberegninger i stor grad.

Utfordringer

Resultatene i casestudiet og intervjuene, samt spørreundersøkelsen, tyder på at de største utfordringene med klimagassberegninger er:

- Reduksjonskrav der det ikke finnes entydige krav til referansebygg
- Mye manuelt og tidskrevende arbeid,
- Mangel på kunnskap og erfaring
- få iterasjoner fører til at klimagassberegningene ikke alltid blir optimalisert
- Klimagassberegningene er ikke sammenlignbare

Byggherrenes reduksjonsmål er ikke nødvendigvis et godt mål på nybyggets miljøprestasjoner. Siden referansebyggene i eksempelprosjektene ikke er sammenlignbare, blir det vanskelig å si med sikkerhet at byggene har et lavere klimagassutslipp enn med andre lignende bygg.

Innspill til løsninger

Viktige tiltak for å løse utfordringene overfor vil være å etablere nasjonale krav med standardiserte beregningsmetoder og å legge til rette for økt digitalisering og automatisering.

Nasjonale krav kan skape et insentiv til å prioritere klimagassberegninger med flere iterasjoner, få flere til å utføre klimagassberegninger og øke etterspørselen for miljødata. Denne oppgaven har vist at dynamiske grenseverdier kan være en bedre indikator for oppnåelse av nasjonale krav enn referansebyggene som brukes i dag.

Økt digitalisering og automatisering kan effektivisere prosessen og redusere mengden manuelt arbeid. Standardisering av BIM-modeller kan blant annet forbedre integrasjonen med klimagassberegninger. Digitaliserte og maskinlesbare EPDer kan gjøre klimagassberegningene enklere å utføre.

8 Videre arbeid

Et forslag til videre arbeid er å lage en større nasjonal database av sammenlignbare klimagassberegninger for å etablere gjennomsnitt for flere bygningskategorier. For å få dette til, må nok verktøyene og metodene som brukes til å utføre klimagassberegningene standardiseres mer enn de er i dag.

Det hadde vært interessant å intervju flere entreprenører enn det som ble gjort i denne oppgaven, fordi entreprenørene har nok en sentral del av den helhetlige prosessen rundt klimagassberegninger. Selv om man klarer å prosjektere bygg med lave klimagassutslipp, er det ikke dermed sikkert at man klarer å følge de prosjekterte planene i utførelsesfasen. Derfor er det viktig at også entreprenørene er med på klimagassberegningene.

Det kunne også vært interessant å utføre samme metode som i denne oppgaven, men med flere beregninger som følger NS3720. For det kan godt hende at NS3720 over tid kommer til å løse mange utfordringer som er pekt på i denne oppgaven.

9 Referanseliste

- ANDENÆS, E., KVANDE, T., MUTHANNA, M. T. & LOHNE, J. 2018. Performance of Blue-Green Roofs in Cold Climates: A Scoping Review. *Buildings*, 8.
- BIMFORUM 2013. Level of Development Specification - for Building Information Models.
- BIRGIT, T. K. H. F. E. S., BOURELLE, R. B. T. L. G. T. H. D. J. & CERVENKA, R. B. Z. 2014. A Norwegian ZEB-definition embodied emission. *ZEB Project report 17 - 2014*.
- BUENO, C. & FABRICIO, M. M. 2018. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in Construction*, 90, 188-200.
- 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, 332-346.
- BYGGFORSK, S. 2014. 470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper.
- BYGGFORSK, S. 2015. 470.102 Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA).
- CAVALLIERE, C., DELL'OSSO, G. R., PIERUCCI, A. & IANNONE, F. 2018. Life cycle assessment data structure for building information modelling. *Journal of Cleaner Production*, 199, 193-204.
- CAVALLIERE, C., HABERT, G., DELL'OSSO, G. R. & HOLLBERG, A. 2019a. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *Journal of Cleaner Production*, 211, 941-952.
- CAVALLIERE, C., HOLLBERG, A., DELL'OSSO, G. R. & HABERT, G. Consistent BIM-led LCA during the entire building design process. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 (SBE19 Graz), 11-14 Sept. 2019, 2019b UK. IOP Publishing, 012099 (9 pp.).
- COLLINGE, W. O., LANDIS, A. E., JONES, A. K., SCHAEFER, L. A. & BILEC, M. M. 2013. Dynamic life cycle assessment: Framework and application to an institutional building. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 538-552.
- COLLINGE, W. O., RICKENBACKER, H. J., LANDIS, A. E., THIEL, C. L. & BILEC, M. M. 2018. Dynamic Life Cycle Assessments of a Conventional Green Building and a Net Zero Energy Building: Exploration of Static, Dynamic, Attributional, and Consequential Electricity Grid Models. *Environmental Science and Technology*, 52, 11429-11438.
- DI BARI, R., JORGJI, O., HORN, R., GANTNER, J. & EBERTSHAUMLUSER, S. Step-by-step implementation of BIM-LCA: a case study analysis associating defined construction phases with their respective environmental impacts. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 (SBE19 Graz), 11-14 Sept. 2019, 2019 UK. IOP Publishing, 012105 (10 pp.).
- DIBK 2017. § 14-2. Krav til energieffektivitet. Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning.
- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. & LISTON, K. 2008. *BIM Handbook*, New Jersey, John Wiley & Sons.
- EEBGUIDE 2011. Part B: Buildings. Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy Efficient Buildings Initiative.

- EUROPEAN COMMISSION. 2019. *Energy performance of buildings directive, revised 2018* . Tilgjengelig fra:: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive> [Hentet].
- EVERETT, E. L. 2004. Masteroppgaven : hvordan begynne - og fullføre.
- FN-SAMBANDET. 2019. *FNs historie* . FN-sambandet. Tilgjengelig fra:: <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-historie> [Hentet].
- FN-SAMBANDET. 2020. *Parisavtalen* . FN-sambandet. Tilgjengelig fra:: <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler/Miljoe-og-klima/Parisavtalen> [Hentet 20.03. 2020].
- FORTH, K., BRAUN, A. & BORRMANN, A. BIM-integrated LCA - model analysis and implementation for practice. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 (SBE19 Graz), 11-14 Sept. 2019, 2019 UK. IOP Publishing, 012100 (9 pp.).
- FRANZ, B. & MESSNER, J. 2019. Evaluating the Impact of Building Information Modeling on Project Performance. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33.
- FRISCHKNECHT, R., BALOUKTSI, M., LÜTZKENDORF, T., AUMANN, A., BIRGISDOTTIR, H., RUSE, E. G., HOLLBERG, A., KUITTINEN, M., LAVAGNA, M., LUPIŠEK, A., PASSER, A., PEUPORTIER, B., RAMSEIER, L., RÖCK, M., TRIGAUX, D. & VANCOSO, D. 2019. Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions—71st LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 2272-2280.
- FUTURE BUILT. 2020. *Om Futurebuilt* . Future built. Tilgjengelig fra:: <https://www.futurebuilt.no/Om-oss> [Hentet 13.03. 2020].
- GENOVA, G. 2020. BIM-BASED LCA THROUGHOUT THE DESIGN PROCESS: A DYNAMIC APPROACH. *WIT Transactions on the Built Environment*, 192, 45-56.
- GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION 2019. 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. United Nations Environment Programme.
- GRØNN BYGGALLIANSE. 2019. *BREEAM* . Tilgjengelig fra:: <https://byggalliansen.no/sertifisering/breem/> [Hentet 25.02. 2020].
- GRØNN BYGGALLIANSE, N. E. 2016. Eiendomssektorens veikart mot 2050. Grønn Byggallianse, Norsk Eiendom,.
- HAFSLUND. 2020. *Strøm med opprinnelsesgaranti* . Hafslund Strøm. Tilgjengelig fra:: https://www.hafslundstrom.no/strom/bedrift/gront_valg/2057 [Hentet 14.05. 2020].
- HJELSETH, E. 2010. Exchange of Relevant Information in BIM Objects Defined by the Role- and Life-Cycle Information Model. *Architectural Engineering and Design Management*, 6, 279-287.
- HOLLBERG, A., GENOVA, G. & HABERT, G. 2020. Evaluation of BIM-based LCA results for building design. *Automation in Construction*, 109, 102972.
- HOULIHAN WIBERG, A., GEORGES, L., DOKKA, T. H., HAASE, M., TIME, B., LIEN, A. G., MELLEGÅRD, S. & MALTHA, M. 2014. A net zero emission concept analysis of a single-family house. *Energy and Buildings*, 74, 101-110.
- IEA 2019. Global Energy & CO2 Status Report - The latest trends in energy and emissions in 2018. France: International Energy Agency.

- JI, C., HONG, T., JEONG, J., KIM, J., LEE, M. & JEONG, K. 2016. Establishing environmental benchmarks to determine the environmental performance of elementary school buildings using LCA. *Energy and Buildings*, 127, 818-829.
- KLIMA- OG MILJØDEPARTEMENTET. 2020. *Klimaendringer og norsk klimapolitikk* . Regjeringen.no: Regjeringen.no. Tilgjengelig fra:: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/> [Hentet 20.03. 2020].
- KVALE, S. 1996. *InterViews: An Introduction to Qualitative Research Interviewing*, Thousand Oaks.
- LEVASSEUR, A., LESAGE, P., MARGNI, M., DESCHĚNES, L. & SAMSON, R. 2010. Considering time in LCA: Dynamic LCA and its application to global warming impact assessments. *Environmental Science and Technology*, 44, 3169-3174.
- LOVDATA 2018. Klimaloven. In: LOVDATA (ed.) *LOV-2017-06-16-60*.
- MARSZAL, A. J., HEISELBERG, P., BOURRELLE, J. S., MUSALL, E., VOSS, K., SARTORI, I. & NAPOLITANO, A. 2011. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43, 971-979.
- MASON, E. S. E. E. N. A. R. H. H. 2019. Regneregler for klimagassberegninger i Future Built Bygg og områder. Futurebuilt.no.
- MEEEX, 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, 228-236.
- MILJØDIREKTORATET. 2020. *Miljøstyring og miljøsertifisering* . Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra:: <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/miljostyring-miljosertifisering/> [Hentet 19.03. 2020].
- NSD. 2019. *Register over vitenskapelige publiseringskanaler* . Norsk senter for forskningsdata. Tilgjengelig fra:: <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/Forside> [Hentet 11.05. 2020].
- NVE. 2019. *Nasjonal varedeklarasjon 2018* . NVE: NVE. Tilgjengelig fra:: <https://www.nve.no/energiforsyning/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2018/> [Hentet 14.05. 2020].
- ONE CLICK LCA. 2015. *One Click LCA* . Helsinki: Bianova Ltd. Tilgjengelig fra:: <https://www.OneClicklca.com/> [Hentet 2019].
- ONE CLICK LCA. 2020. *Differences between klimagassregnskap.no and One Click LCA Norge NS 3720* . Tilgjengelig fra:: <https://www.OneClicklca.com/klimagassregnskap-no-and-norge-ns-3720-tool/#differences> [Hentet 29.05. 2020].
- OVERBEY, D. 2018. *Five Diagrams Every Design Team Should Know* . Building Enclosure. Tilgjengelig fra:: <https://www.buildingenclosureonline.com/blogs/14-the-be-blog/post/87371-five-diagrams-every-design-team-should-know> [Hentet].
- PURUP, P. B. & PETERSEN, S. 2020. Research framework for development of building performance simulation tools for early design stages. *Automation in Construction*, 109.
- RASMUSSEN, F. N., GANASSALI, S., ZIMMERMANN, R. K., LAVAGNA, M., CAMPIOLI, A. & BIRGISDÓTTIR, H. 2019. LCA benchmarks for residential buildings in Northern Italy and Denmark—learnings from comparing two different contexts. *Building Research and Information*, 47, 833-849.

- ROCK, M., PASSER, A., RAMON, D. & ALLACKER, K. The coupling of BIM and LCA—challenges identified through case study implementation. 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2018, October 28, 2018 - October 31, 2018, 2019 Ghent, Belgium. CRC Press/Balkema, 841-846.
- RYEN, A. 2002. *Det kvalitative intervjuet - Fra vitenskapsteori til feltarbeid*, Bergen, Fagbokforlaget.
- SANTOS, R., AGUIAR COSTA, A., SILVESTRE, J. D. & PYL, L. 2020. Development of a BIM-based Environmental and Economic Life Cycle Assessment tool. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121705.
- SCHLEGL, F., GANTNER, J., TRAUNSPURGER, R., ALBRECHT, S. & LEISTNER, P. 2019. LCA of buildings in Germany: Proposal for a future benchmark based on existing databases. *Energy and Buildings*, 194, 342-350.
- SEYIS, S. 2020. Mixed method review for integrating building information modeling and life-cycle assessments. *Building and Environment*, 173, 24.
- SINTEF BYGGFORSK. 2015. 470.102 *Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA)*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4144/metodiske_valg_og_problestillinger_ve_d_livsloepsvurdering_lca [Hentet 10.03. 2020].
- SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C. & GARCIA-MARTINEZ, A. 2017. Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110-120.
- SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C. & GARCÍA-MARTÍNEZ, A. 2016. Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. *Building and Environment*, 103, 215-227.
- STANDARD NORGE 2006a. Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006). Standard Norge.
- STANDARD NORGE 2006b. Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006). Den europeiske standardiseringsorganisasjonen.
- STANDARD NORGE 2018. NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger. Standard Norge.
- STANDARD NORGE 2019. NS 3451:2009+A1:2019 Bygningsdelstabell.
- STRØMMAN, A. H. 2010. *Methodological Essentials of Life Cycle Assessment*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, Industrial Ecology Programme.
- THUE, J. V. 2016. *Bygningsfysikk - grunnlag*, Trondheim, Fagbokforlaget.
- WASTIELS, L. & DECUYPERE, R. Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 (SBE19 Graz), 11-14 Sept. 2019, 2019 UK. IOP Publishing, 012101 (8 pp.).
- WIIK, M. K., SELVIG, E., FUGLSETH, M., RESCH, E., LAUSSELET, C., ANDRESEN, I., BRATTEBØ, H. & HAHN, U. 2020. KLIMAGASSKRAV TIL MATERIALBRUK I BYGNINGER - Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. In: NTNU, S. (ed.) *ZEN Report No. 24*. Research Center on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities.

ZIMMERMANN, M., ALTHAUS, H. J. & HAAS, A. 2005. Benchmarks for sustainable construction: A contribution to develop a standard. *Energy and Buildings*, 37, 1147-1157.

10 Vedlegg

Vedlegg 1 – Hovedforskjellene mellom One Click LCA og klimagassregnskap.no

Tabell 14 - Hovedforskjellene mellom One Click LCA og klimagassregnskap.no (oversatt fra engelsk)
(One Click LCA, 2020)

Parametere	One Click LCA Norge NS3720	Klimagassregnskap.no
Beregningsmetode	Basert på NS3720 (som igjen er basert på EN 15978)	Tilpassede metoder
Beregningsomfang	Basert på NS3720, alltid basert på et helhetlig bygningsperspektiv	Ulike moduler, som kan kombineres der det er ønskelig
Utslippsfaktorer	Alltid LCA-basert, CML IA 4.1. samsvar EN15804+A1, som CO ₂ ekvivalenter (som påkrevd av NS3720)	Blanding av direkte utslipp og LCA-baserte utslippsfaktorer. I noen tilfeller kun for CO ₂
Databaser	Generiske materialer og prosessdatabaser. Tilnærmet alle norske og europeiske EPDer	Begrenset database, EPDer kan legges til av sluttbruker.
Energi-standarder	TEK10, TEK17 og oppdaterte passivhusstandarder	TEK10 og daværende passivhusstandarder
Inkluderte effecter	Fossilt karbon, biogen karbon og karboneffekter av landarealendringer	Klimagasser
Materialberegninger	LCA-basert, inkluderer transport til byggeplass, byggefasen, bruksfasen og avhending «vugge til krav»	Materialproduksjon «vugge til port»
Referansebygninger	Bærekonstruksjoner skaleres basert på bygningens størrelse og design i henhold til RIB-anbefalinger. Materialvalg er et gjennomsnitt av dagens marked (2017/2018)	Bærekonstruksjon er forenklet og fundamentering er basert på bygningens høyde/størrelse. Materialvalg er basert på det markedsdominerende i 2010/2014.
Transportberegninger	Basert på NS3720, tillater uavhengig vurdering av ulike brukergrupper	Basert på dokumentasjon i klimagassregnskap.no. Transportavstander er delt på to (for eksempel transport av varer) og er ikke justerbare

Vedlegg 2 – Inkluderte livssyklusfaser i Carbon designer

Life-cycle stages NS 3720	Included in reference?	Explanations
A1-A3 Produktstadiet	Yes	Essential to include
A4 Transport	Yes	Can be standardized with Nordic defaults
A5 Anleggs, bygge- og monteringsarbeid	Yes	For construction site impacts, site clearing and land use changes see instructions above
B4 Utskiftning	Yes	Included, standardized via service life settings
B5 Ombygning	Yes	Same as above
B6 Energibruk i drift	Yes	Essential to include and use TEK17 scenario and not editing "systemvirkningsgrader"
B8 Transport i drift	Yes	Essential to include and use the settings applicable to the specific location where calculated
C3 Avfallsbehandling	Yes	Waste handling process as per EN 15978
C4 Avhending	Yes	Waste handling process as per EN 15978
B1 Bruk	No	This is largely carbonisation, which depends on how cementitious materials are in contact with air. Not possible to have a solid reference value for this at present.
B2 Vedlikehold	No	Excluded as no detailed reference for this.
B3 Reparasjon	No	Excluded as no detailed reference for this.
C1 Riving	No	No accurate reference presently available.
C2 Transport	No	No accurate reference presently available.
D Konsekvenser utover systemgrensen	No	It's not included in the totals, as it's external impacts (not in the life-cycle).

Vedlegg 3 - Strategier for BIM-integrert LCA

Tabell 15 Strategier for å bruke BIM-modeller til LCA (Wastiels and Decuyppere, 2019)

Strategi	Figur (Wastiels and Decuyppere, 2019)
Mengdeuttak, fra BIM-modell	<p>The diagram shows a workflow starting with BIM software. An arrow points to a document icon labeled 'Bill of Materials XML'. A second arrow points to a document icon labeled 'm² Bill of Quantities'. A third arrow points to a computer monitor labeled 'Dedicated LCA software'. Above this monitor are two database icons: 'generic database' and 'EPD database', both connected to a box labeled 'LCA profiles'. An arrow from the LCA software monitor points to a bar chart labeled 'LCA results'.</p>
Mengdeuttak fra IFC	<p>The diagram shows a workflow starting with BIM software. An arrow points to a document icon labeled 'IFC m²'. A second arrow points to a computer monitor labeled 'Dedicated LCA software'. Above this monitor are two database icons: 'generic database' and 'EPD database', both connected to a box labeled 'LCA profiles'. An arrow from the LCA software monitor points to a bar chart labeled 'LCA results'.</p>
Mengdeuttak fra IFC med BIM-visningsprogram	<p>The diagram shows a workflow starting with BIM software. An arrow points to a document icon labeled 'IFC m²'. A second arrow points to a computer monitor labeled 'BIM viewer'. Above the BIM viewer is a box labeled 'LCA profiles'. A third arrow points to a computer monitor labeled 'Dedicated LCA software'. Above this monitor are two database icons: 'generic database' and 'EPD database', both connected to a box labeled 'LCA profiles'. An arrow from the LCA software monitor points to a bar chart labeled 'LCA results'.</p>
BIM plug-in	<p>The diagram shows a workflow starting with BIM software. An arrow points to a box labeled 'LCA Plugin'. Inside the plugin box, there is a box labeled 'LCA profiles' and a circular arrow labeled 'LCA'. An arrow from the plugin box points to a bar chart labeled 'LCA results'.</p>
BIM-objekter som er beriket med LCA-basert informasjon	<p>The diagram shows a workflow starting with two sources of 'LCA profiles': 'BIM object Manufacturer specific' and 'BIM object Generic'. Arrows from both point to a computer monitor labeled 'BIM software'. An arrow from the BIM software monitor points to a document icon labeled 'IFC m² + profiles'. A second arrow points to a computer monitor labeled 'Dedicated LCA software'. Above this monitor is a box labeled 'LCA Plugin' containing a circular arrow labeled 'LCA'. An arrow from the LCA software monitor points to a bar chart labeled 'LCA results'.</p>

Vedlegg 4 - Fordeler og ulemper med BIM-integrert LCA

Tabell 16 - Fordeler med integrert bruk av BIM og LCA(Oversatte punkter fra tabellen til Seyis 2020)

Beslutningstaking	Valg av materialer	Bærekraftig ytelse	Avfallsreduksjon
<ul style="list-style-type: none"> • Redusere de negative miljøpåvirkningene av bygninger i de tidlige stadiene av prosjekteringsprosessen • <u>Prioritet 2 - Integrere LCA-resultater i beslutningsprosessen</u> • Støtte samarbeid i tverrfaglige team • <u>Prioritet 1 - Støtte beslutningstakerne i de tidlige stadiene av prosjekteringsprosessen</u> • Optimalisering av datainnsamling for bygningers LCA-relaterte ytelse • Gjennomføre miljømessige og vitenskapelige vurderinger under byggeprosessen • Tilføre kvantitative forutsigelser av ytelse for LCA-verktøyene • Utarbeide veldig raske resultater gjennom forenklinger gitt av BIM-baserte bærekraftverktøy • Gi prosjekteringsveiledning basert på den iboende energien til bygningselementer 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Prioritet 3 - Mulighet til å sammenligne ulike alternative materialer og produkter</u> • Redusere karbonutslipp i prosjektering og/eller konstruksjon og/eller rivningsprosess • Prosjektore bygninger med lavemitterende materialer (dvs. materiale inkludert lavflyktig organisk forbindelse (VOC)) • Bruke mer bærekraftige materialer under produksjon og renovering av bygg 	<ul style="list-style-type: none"> • Forbedre bærekraftsytelsen for bygninger • Gjennomføre detaljerte energianalys er i tidlige stadier av prosjekteringsprosessen 	<ul style="list-style-type: none"> • Sikre en effektiv metode for å analysere operasjonelt karbonutslipp • Observere og redusere karbonutslipp under transport av bygningsmaterialer (kjøretøy osv.) • Undersøke potensialet til vanninnhøsting i bygninger • Prosjektore bygninger for å redusere totalt avfall av materialer etter riving • Prosjektore bygninger for å redusere vannforbruket gjennom hele livssyklusen • Å redusere det globale oppvarmingspotensialet forårsaket av bygninger

Tabell 17 - Ulemper med integrert bruk av BIM og LCA(Oversatte punkter fra tabellen til Seyis 2020)

Standardisering	Data Processing
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Prioritet 2 – Mangel på standardisering av LCA prosedyrer</u> • Mangel på sammenlignbare studier på fagområdet 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Prioritet 1 – Mangel på interoperabilitet mellom LCA og BIM verktøy</u> • Utfordringer/ begrensninger med bruk av BIM-baserte verktøy for bærekrafts mål • Utfordringer/kompleksitet i datakartlegging i forbindelse med å integrere en hel LCA-applikasjon i BIM-plattformen • Utfordringer/kompleksitet rundt det å tilføre, eksportere og justere nødvendig data som trengs i BIM-baserte LCA-applikasjoner • <u>Prioritet 3 - Manglende bygningsinformasjonsmodelldata for fullstendige LCA-applikasjoner</u>

Vedlegg 5 – Inngangsdata og resultater for beregninger i Carbon Designer

Tabell 18 - Inngangsdata og resultater for beregninger i Carbon Designer

	BTA	Oppvarmet BRA	Etasjer	Antall av etasjene som er under- jordiske	Referanse i Carbon designer [kg/m ²]	Referanse i Carbon designer [kg CO ₂ - ekv/m ² /60år]	Beregnet referanse i rapport for materialer og energi [kg CO ₂ - ekv/m ² /år]
Kistefoss barnehage	1462	1220	1		951	15,9	25,0
Fjell barnehage	830	755	2	1	968	16,1	54,3
Ydalir barnehage	2140	1732	2		846	14,1	20,6
Kilden barnehage	2432	1702	3	1	757	12,6	16,6
Nye Kolstad barnehage	2180	2045	3	1	920	15,3	15,1
Hasselhaugen barnehage	838	720	2		924	15,4	39,9
Bogerud gård barnehage	2129	1776	2		864	14,4	20,9

Vedlegg 6 - Sammenligning av referansebygg for eksempelprosjekter

TEK	Miljøsertifisering eller ambisjonsnivå	Verktøy brukt	Elinnks benyttet	Utslipp referansebygg		Utslipp ferdig prosjektert		Utslipp as-built		Utslipp i drift				
				Materialer	Stasjonær energi	Materialer	Stasjonær energi	Materialer	Stasjonær energi	Materialer	Stasjonær energi	Materialer	Stasjonær energi	Transport
				[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/år/m ²]
TEK10	Future built	klimagassregnskap.no, versjon 2, 3 og 4	Utslippsfaktorer klimagassregnskap.no ZEB-faktor = 0,123kg CO ₂ eq/kWh	10,00	15,00	26,00	7,00	7,00	-1,00	14,00	7,00	-1,00	14,00	7,00
TEK07	Future built	klimagassregnskap.no, versjon 5	Utslippsfaktorer klimagassregnskap.no ZEB-faktor = 0,123kg CO ₂ eq/kWh	13,98	40,30	11,80	7,47	7,47	16,10	16,05	7,47	16,10	16,05	7,47
TEK10	Future built	klimagassregnskap.no, versjon 5	Utslippsfaktorer klimagassregnskap.no ZEB-faktor = 0,123kg CO ₂ eq/kWh	6,60	14,00	20,40	3,70	3,70	4,80	10,70	3,70	4,80	10,70	3,70
TEK10	Future built og BREEAM	klimagassregnskap.no	EUS 2-gradersmål pr. 2018 (ca. 0.91 kg CO ₂ -ekv/kWh)	5,6 (skoeske)	11,00	5,10	4,20	4,20	-0,10	4,20	5,40	-0,10	4,20	5,40
TEK17	BREEAM	OneClick LCA	Scenario 1 NS3720: NO-el (ca. 0.024 kgCO ₂ /kWh)	10,70	4,40		6,10	6,10	4,20			4,20		
TEK17	BREEAM	OneClick LCA	Scenario 2 NS3720: EU-el (0,195kgCO ₂ /kWh)	10,70	35,10		6,10	6,10	16,30			16,30		
TEK17	BREEAM	OneClick LCA	ISY Calcus 2018, Norsk energimiks av importert og egenprodusert strøm = 0,297 CO ₂ eq/kWh	5,49	34,45		5,49	5,49	-1,02		3,68	-1,02		3,68
TEK17	BREEAM	OneClick LCA		2,91										
TEK17	BREEAM	OneClick LCA		4,78	16,11						2,73			2,73

Figur 50 - Sammenligning mellom referansebygg for eksempelprosjekter

Vedlegg 7 - utfordringer med klimagassberegninger

Følgende utfordringer er nevnt i intervjuene, og deretter oppsummert i diskusjonen:

- Det er utfordrende å sette krav på en god måte, slik at man ikke suboptimaliserer. Her trekkes det frem et eksempel der det kan være problematisk å be spesifikt om for eksempel massiv tre eller en type betong, fordi produkter ikke nødvendigvis kan erstattes en til en. Dersom brannkrav, akustikk krav eller andre hensyn gir nye forutsetninger, kan man ende opp med ekstra materialer selv om man har valgt miljøvennlige produkter.
- Klimagassberegninger i dag blir ikke diskontert over tid. Hvis et bygg har 40-60 års perspektiv, da teller utslippene i år 60 like mye som utslippene i år 0. Dette på tross av at man ikke vet hvordan man bruker bygget i år 60, mens man vet akkurat hvor mye utslipp man har på material bruk i år 0. Og det samme gjelder for transport, hvor man teller transporten i år 60 like mye som den som transporten i dag, selv om man ikke vet noe om hvordan folk kommer seg på jobben i år 2080. Statsbygg tar imidlertid dette med endrede transportsystemer med i beregningene.
- Resultatene til klimagassberegningene i stor grad varierer ut ifra hvilket entreprenør- eller rådgiverfirma som utfører dem. Dette er utfordrende fordi det er veldig usikkert om man kan stole på om beregningene er gode nok, selv om man forventer at de som utfører klimagassberegningene skal være eksperter og har detaljkompetanse på det området.
- Kvalitetssikring og godkjenning av lange rapporter kan være utfordrende. Dette gjelder særlig om ikke antagelser er tydelig spesifisert.
- One Click inkluderer i liten grad inkluderer klimabelastningen ved å rive bygg, og dermed gir et skjevt bilde av om det er fordelaktig å rive eller bygge nytt.
- One Click kan få treverk til å slå ut som en dårligere miljøløsning enn stål og betong i en klimagassberegning.
- Rådgiverne kommer ikke tidlig nok inn i prosjektene
- Det gjøres mange antagelser av rådgiveren, noe som kan skape usikkerheter, for eksempel når det kommer til referansebygg. Siden det er få føringer på hva som er greit, så er det utfordrende at man kan se at andre kan jukse seg til en stor reduksjon. Det er derfor ønsket å få tydeligere føringer for hvordan man skal gjøre beregninger.
- På den tekniske siden så er BIM-integrasjonen med One Click en utfordring, fordi det ikke fungerer godt nok og dermed medfører dette mye manuelt arbeid.
- Det blir stilt for lite og upresise krav fra kunden, blant annet er det for lite krav til referansebygg. En årsak til dette er at de ikke kjenner til verktøyet og LCA godt nok. Det burde være en felles referanse for alle i en tilbudsfasen, som man skal måle utslippsreduksjonen fra. For at dette skal gå an må referansebygget være veldefinert. Det burde imidlertid ikke stilles presise krav i den forstand at de skal be om massiv tre, limtre eller en spesiell type hulldekke. Det burde settes en prosentvis reduksjon og sikre at referansen er på plass slik at man er enige og eventuelt kan diskutere endringer sammen.
- I teorien kan man endre på parametere i beregningene uten at noen merker det, hvis man ikke bruker veldig mye energi på å kontrollere.
- Man bruker ulike referansebygg og at den bakgrunnsdataen man bruker ikke er transparente nok. Dermed blir ikke prosjektene 100% sammenlignbare.
- Det er ikke er nok allmennkunnskap og klimagassberegninger. I Oslo-området og i store byer, er det blitt mer vanlig å utføre klimagassberegninger, men i mindre kommuner og områder er det fortsatt fremmed for mange.
- På den tekniske siden blir eksport fra BIM-modell og problemer med dette trukket fram som den største utfordringen. Det blir igjen presisert at for at dette skal kunne brukes så må man kunne stole på at de mengdene som kommer ut er korrekte.

Vedlegg 8 - Utvikling i fremtiden

Følgende svar ble gitt for hva informantene tror blir utviklingen i fremtiden. Svarene har blitt brukt i diskusjonen:

- Designer bygget digitalt før man bygger det, slik at man kan sammenligne ulike materialvalg og så videre. Byggene skal være arealeffektive, framtidsrettet og energieffektive og presiserer at det er viktig å se alle disse aspektene mot hverandre, ikke «spare seg til fant» eller suboptimalisere for et kort perspektiv.
- Det kommer flere standardiseringer for hvordan man skal bygge et bygg. I tillegg blir byggeprosessene blir mer modulbaserte slik at det blir lettere å gjøre endringer i ettertid, for eksempel dersom man skal endre bruksområde eller legge til en etasje. På den måten kan man legge til rette for å gjøre endringer i stedet for å rive alt.
- Ombruk blir viktigere fremtiden, fordi ressurser er begrenset og dermed kommer brukte materialer til å få høyere verdi.
- Man vil legge mye mindre vekt på energi og transport, og ha større fokus på materialer. Dette er blant annet fordi man har bedre kontroll på materialer da det er mye mindre usikkerheter. Men må satse på det som får utslippene ned her og nå, fordi det haster å gjøre noe med klimaendringene. Både matematisk og ingeniørmessig gir det mening å diskontere for usikkerhet. Fordi etter 20-30 år vet man lite om fremtiden, mens vi vet mye mer om det som skjer nå. I tillegg må utslippene ned nå, fordi i 2080 kan det være for sent og da spiller det ingen rolle om man har minusutslipp.
- Det kommer til å komme en standard eller føringer for hva man skal sammenligne med, kanskje i forhold til et referansebygg. Det blir også sagt at DiBK «snuser» litt på det.
- I fremtiden må regne på om det lønner seg klimamessig og bygge nytt eller rehabilitere. I tillegg må man «bygge ned for gjenbruk», fordi det i dag er enormt vanskelig å gjenbruke materialer fordi dokumentasjon og administrative rutiner står i veien.
- Flere livsløpsfaser/moduler blir tatt med inn i beregningene slik at man i større grad kan se et helhetlig bilde.
- Det kommer endringer i bruk av referansebygg fordi det er diffust og at det ikke nødvendigvis er et godt mål for om man får et grønt eller miljøvennlig bygg. For selv om man har klart å redusere 50%, så utslippene kan være veldig høye avhengig av hvordan du har satt opp regnskapet ditt. For eksempel kan man finne noen nøkkeltall istedenfor, f.eks. for hver bygg kategori for eksempel skole, barnehage, velferdssenter. Hvis man har et mer konkret måltall kan det være lettere å sammenligne mellom prosjekter og ulike kategorier.
- BIM vil gjøre prosessen enklere.
- Flere og flere blir opptatt av klimagassberegninger og miljø rådgivning, fordi det blir mer og mer å gjøre. I tillegg blir det kanskje mer generell miljørådgivning, hvor utbyggere vil lære mer om klimagass.
- Optimaliseringsmodeller og maskinlæring vil bli aktuelt og at det generelt sett vil bli gjort flere klimagassberegninger.
- Det burde være en god balanse mellom «pisk og gulrot», når det kommer til klimagassberegninger. Et eksempel på «pisk», kunne være at det kom et krav i forskriftene. Et eksempel på «gulrot», kunne være forbildeprosjektene til for eksempel Future built.

Vedlegg 9 – Egen vurdering av funksjonaliteter i One Click LCA

Tabell 19 - Egen vurdering av funksjonaliteter i One Click LCA

Metode	Samlet vurdering	Fordeler	Ulemper	Usikkerheter
Manuell inntastning	Tar uten tvil lengst tid, da det er en omfattende prosess velge alle materialer og finne tilhørende mengder.	Ved å taste inn alt manuelt, får man et bevisst forhold til alle materialvalg. Dette kan kanskje medføre at man tar mer miljømessige valg på alle materialer.	Kan være utfordrende å få med alt, da man må ha svært mye informasjon for å kunne beregne alle mengder.	Det oppfattes som lett å glemme enkelte bygningsdeler. Det er flere spesifikke produkter som ikke finnes i systemet, noe som gjør at man må bruke andre produkter enn det som er tilfellet.
Cabon Designer	Enkelt å bruke, og et godt verktøy for å kunne få oversikt. Er et visuelt verktøy som på enkel måte viser visuelt hvordan endringer i materialvalg påvirker totalresultatene.	Alle bygningsdeler blir inkludert, og dette kan sikre et mer realistisk helhetsinntrykk. Dersom feil materialer blir valgt automatisk, er dette mulig å endre manuelt i etterkant.	Bygningskroppen blir definert som kvadratisk, noe som kan være urealistisk dersom man har et atrium eller en annenbygningssform.	Generiske bygningskomponenter er hovedsakelig brukt. Dette er gjennomsnittlige verdier fra produktspesifikke data og tekniske krav, og vil dermed være et mindre nøyaktig estimat. Dette gjelder også bygningsteknologi (elektrisitet, ventilasjon, varme og vannforsyning).
One Click Revit plug-in	Importeringsprosessen går raskt, men det kan ta mye tid å koble de importerte elementene til kjente ressurser i One Click. Kvaliteten av resultatene blir i stor grad avhengig av kvaliteten på modellen.	Formen til bygget og tilsvarende mengder fra modellen blir inkludert	Elektrisitetbehov blir ikke automatisk lagt inn. Dette er obligatorisk inngangsdata for å få resultater i One Click.	Det er flere elementer som ikke blir automatisk kartlagt i importprosessen, som kan medføre feil.

Vedlegg 10 – Forslag til hvordan grenseverdier for klimagassutslipp kan implementeres i TEK

Tabell 20 - Forslag til energi og miljørammer, basert på kravene til energieffektivitet i TEK17 DiBK, 2017).

Bygningskategori	Totalt netto energibehov [kWh/m ² oppvarmet BRA per år]	Totalt klimagassutslipp for materialer [kg CO ₂ -ekvivalenter/m ² /år]
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² oppvarmet BRA	100 + 1600/m ² oppvarmet BRA	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Boligblokk	95	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Barnehage	135	5
Kontorbygning	115	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Skolebygning	110	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Universitet/høyskole	125	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Sykehus	225 (265)	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Sykehjem	195 (230)	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Hotellbygning	170	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Idrettsbygning	145	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Forretningsbygning	180	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Kulturbygning	130	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg
Lett industri/verksteder	140 (160)	Basert på gjennomsnitt av eksisterende bygg