



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realtek og teknologi

Effekten av massivtre på klimagassutslipp og økonomiske kostnader forbundet med skoler gjennom et livsløp

The Effect of Timber on Greenhouse Gas
Emissions and Economic Costs Associated With
Schools Throughout a Life Cycle

Kristian Fridtjof Funderud
Industriell økonomi

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på min mastergrad i industriell økonomi med fordypning i byggeteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er skrevet våren 2022 og handler om hvordan massivtre påvirker klimagassutslipp og livssyklus kostnader forbundet med skoler. Som student ved Norges bærekraftsuniversitet falt det seg naturlig å skrive masteroppgave om et tema innen bærekraft. Med lite norsk forskning på området omkring hvilke byggematerialer som lønner seg for skoler virket det som et spennende tema å fordype seg i.

Takk til mine veiledere, Thomas Kringlebotn Thiis og Efthymia Ratsou Stæhr, for god veiledning og hjelp. Takk til entreprenører og arkitektfirmaer som har bidratt med modeller og energirapporter. Tusen takk til min kjæreste for gode innspill, vinklinger, tips og korrekturlesning. Hjertelig takk til familien for god støtte gjennom hele skolegangen.

Til slutt vil jeg også takke alle medstudenter på NMBU. Spesielt takk til medlemmer av Studentstorbandet ved NMBU, klassekamerater, samt frivillige under UKA og på Samfunnet. I tillegg vil jeg takke kollokviegruppa, Buttsveis, for å gjøre skolearbeidet til en fryd. Dere har alle bidratt til å gjøre studietiden her på NMBU enestående. Dere vil alle bli savnet. Takk!

Ås, 15. mai 2022

Kristian Fridtjof Funderud

Sammendrag

I denne studien har fire ferdigbygde skoler bestående av massivtre blitt analysert for å vurdere hvordan det påvirker klimagassutslipp og økonomiske kostnader gjennom et livsløpsperspektiv. For å få svar på dette er de eksisterende oppbygningene i massivtre sammenlignet med en alternativ oppbygning. Den alternative oppbygningen har lik utforming, men følgende endringer: Bæresystemet er endret fra limtre til stål, massivtredekker har blitt erstattet med hulldekker i betong, og vegger i massivtre har blitt byttet til vegger med gips, stendere og isolasjon. LCA og LCC-beregninger er utført ved hjelp av programvaren One Click LCA.

Analysen av livssyklus kostnadene viser at oppbygningene i massivtre er 369 – 3 171 kr/m² dyrere. Oppbygningene i massivtre har et utslipp på 629 – 724 kg CO₂-e/m². Sammenlignet med den alternative oppbygningen sparer oppbygningene i massivtre miljøet i to av fire tilfeller, med henholdsvis 15 og 29 kg CO₂-e/m². I det tredje tilfellet er endringen tilnærmet null og i det siste tilfellet øker utslippene med 10 kg CO₂-e/m². Med klimavennlige valg er det altså mulig å bygge skoler med lavt klimagassutslipp både med og uten massivtre. Resultatene fra analysen av klimagassutslippene viser at det ikke er de rapporterte klimagassutslippene som utgjør den store forskjellen, men at massivtre i større grad påvirker utslippene som ikke blir inkludert i det rapporterte CO₂-avtrykket, som biogent karbonlagring og virkninger utenfor systemgrensene, modul D.

Massivtre fremfor alternativ oppbygning øker de positive virkningene som skjer utenfor systemgrensene i modul D med 51 – 148 kg CO₂-e/m². Samtidig øker biogent karbonlagring med 102 – 296 kg CO₂-e/m². Differansen i de rapporterte utslippene fra de to oppbygningene er 2 – 29 kg CO₂-e/m², dermed er det tydelig at den store forskjellen mellom oppbygningene er modul D og biogent karbonlagring. Det er fortsatt knyttet en rekke usikkerheter til beregning av klimagassutslipp fra bygninger. Likevel konkluderer studien med at den klimamessige påvirkningen ved bruk av massivtre i stor grad avhenger av hvordan de positive virkningene utenfor systemgrensen og biogent karbonlagring vektlegges. Verdsetting av disse aspektene taler for bruk av massivtre, men det må sees i sammenheng med de økte kostnadene.

Abstract

This paper has studied four schools constructed in timber. The purpose is to evaluate how timber affects the greenhouse gas emissions and the economic costs throughout the life cycle. To answer how timber affects the two aspects, the existing timber schools are compared to one alternative building structure. The alternative structure has the same shape, but with the following changes: The bearing system is changed from glue laminated timber to steel, the slabs in cross-laminated timber (CLT) have been replaced by hollow-core element floor and the walls of CLT are exchanged with walls of gypsum, stands and isolation. The LCA and LCC calculations are performed using the software One Click LCA.

The analysis of the life cycle costs shows that the constructions of timber are 369 – 3 171 kr/m² more expensive. The timber constructions have an emission of 629 – 724 kg CO₂-e/m². Compared to the alternative structure, the structures of timber save the environment in two out of four cases, with respectively 15 and 29 kg CO₂-e/m². In the third case the change is close to zero and in the last case the emissions rise by 10 kg CO₂-e/m². This means, that with the right choices, it is possible to build schools with low emissions, both with and without timber. The result from the analysis of the emissions shows that it is not the reported emissions which make the big difference, but rather the consequences which are not included in the total greenhouse gas emissions, like biogenic carbon storage and the benefits beyond the system boundary, module D.

By choosing a structure in timber instead of the alternative structure the benefits beyond the system boundary in module D will increase by 51 – 148 kg CO₂-e/m². At the same time, the biogenic carbon storage increases by 102 – 296 kg CO₂-e/m². The differences in emissions from the two structures are 2 – 29 kg CO₂-e/m². Considering this it is clear that the big difference between the structures are module D and biogenic carbon storage. There are still a number of uncertainties connected to the calculation of emissions from buildings. Nevertheless, the study concludes that the climate impact by use of timber mostly depends on how the benefits beyond the system boundary and biogenic carbon storage are appreciated. Appreciation of these aspects supports the claim of using timber, but it must be evaluated together with the higher costs.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Figurliste	viii
Tabelliste	ix
Ord og begreper	x
1 Innledning	1
1.1 <i>Bakgrunn</i>	1
1.2 <i>Problemstilling og forskningsspørsmål</i>	3
1.3 <i>Avgrensninger</i>	3
1.4 <i>Masteroppgavens struktur</i>	5
2 Teori	6
2.1 <i>Livsløpsvurdering</i>	6
2.2 <i>Livsløpsvurdering av bygninger</i>	6
2.3 <i>Tre</i>	12
2.4 <i>Betong</i>	13
2.5 <i>Stål</i>	14
2.6 <i>Karbonfangst og -lagring</i>	15
2.7 <i>Livsløpskostnader, LCC</i>	15
2.8 <i>One Click LCA</i>	17
2.9 <i>Tidligere sammenligninger av klimagassutslipp fra bygninger i tre, betong og stål</i>	18
2.10 <i>Tidligere livsløpsvurderinger av skoler</i>	19
3 Metode	21
3.1 <i>Valg av forskningsmetode</i>	21
3.2 <i>Gjennomføring av livsløpsvurderinger av oppbygningene i massivtre</i>	22
3.3 <i>Gjennomføring av livsløpsvurderinger av de alternative oppbygningene</i>	26
3.4 <i>Gjennomføring av LCC-beregninger</i>	28
3.5 <i>Sensitivitetsanalyse</i>	29
3.6 <i>Kvalitetssjekk</i>	30

4	Case	31
4.1	<i>Flesberg skole.....</i>	31
4.2	<i>Bamble ungdomsskole</i>	33
4.3	<i>Huseby skoler</i>	35
4.4	<i>Nordre Ål skole.....</i>	37
5	Resultater	39
5.1	<i>Flesberg skole.....</i>	39
5.2	<i>Bamble ungdomsskole</i>	42
5.3	<i>Huseby skoler</i>	45
5.4	<i>Nordre Ål skole.....</i>	48
5.5	<i>Sammenstilling av de ulike skolene</i>	51
5.6	<i>Sensitivitetsanalyse.....</i>	54
6	Diskusjon.....	59
6.1	<i>Hvor store klimagassutslipp er knyttet til skoler bygget i massivtre og betong sammenlignet med andre oppbygninger?.....</i>	59
6.2	<i>Hvor store klimagassutslipp står de ulike fasene av livsløpet for ved ulike oppbygninger?</i>	60
6.3	<i>Hvor store klimagassutslipp er knyttet til de ulike bygningsdelene for ulike oppbygninger?.....</i>	62
6.4	<i>Hvilke faktorer har betydelig påvirkning på klimagassutslippene fra skoler?</i>	62
6.5	<i>Hvordan påvirker bruk av massivtre livssyklus kostnadene til skoler?</i>	63
6.6	<i>Usikkerheter</i>	64
7	Konklusjon.....	71
8	Videre arbeid.....	73
	Referanser	74
	Vedlegg	81
	<i>Vedlegg A: Materialinput i One Click LCA, Flesberg skole</i>	82
	<i>Vedlegg B: Materialinput i One Click LCA, Bamble ungdomsskole</i>	87
	<i>Vedlegg C: Materialinput i One Click LCA, Huseby skoler.....</i>	92
	<i>Vedlegg D: Materialinput i One Click LCA, Nordre Ål skole</i>	98
	<i>Vedlegg E: Produktvalg i One Click LCA</i>	103

Figurliste

Figur 1. Organisering av forskjellige moduler som benyttes for å vurdere bygninger, hentet fra NS 3720 (Standard Norge, 2018a).....	8
Figur 2. Utklipp fra Solibri, Flesberg skole.....	31
Figur 3. Utklipp fra Solibri, Bamble ungdomsskole	33
Figur 4. Utklipp fra Solibri, Huseby skoler	35
Figur 5. Utklipp fra Solibri, Nordre Ål skole.....	37
Figur 6. Kg CO ₂ -e/m ² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Flesberg skole.....	40
Figur 7. Kg CO ₂ -e/m ² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Flesberg skole.....	40
Figur 8. Livssyklus kostnader for Flesberg skole i kr/m ² /år for begge oppbygninger	41
Figur 9. Livssyklus kostnader i kr/m ² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Flesberg skole.....	41
Figur 10. Kg CO ₂ -e/m ² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Bamble ungdomsskole.....	42
Figur 11. Kg CO ₂ -e/m ² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Bamble ungdomsskole.....	43
Figur 12. Livssyklus kostnader for Bamble ungdomsskole i kr/m ² /år for begge oppbygninger	44
Figur 13. Livssyklus kostnader i kr/m ² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Bamble ungdomsskole.....	44
Figur 14. Kg CO ₂ -e/m ² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Huseby skoler.....	45
Figur 15. Kg CO ₂ -e/m ² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Huseby skoler.....	46
Figur 16. Livssyklus kostnader for Huseby skoler i kr/m ² /år for begge oppbygninger	47
Figur 17. Livssyklus kostnader i kr/m ² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Huseby skoler	47
Figur 18. Kg CO ₂ -e/m ² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Nordre Ål skole.....	48
Figur 19. Kg CO ₂ -e/m ² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Nordre Ål skole	49
Figur 20. Livssyklus kostnader for Nordre Ål skole i kr/m ² /år for begge oppbygninger.....	50
Figur 21. Livssyklus kostnader i kr/m ² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Nordre Ål skole.....	50
Figur 22. Endring i kg CO ₂ -e/m ² for hver LCA-modul. Figuren viser hvilke endringer som skjer dersom oppbygning av massivtre velges fremfor den alternative oppbygningen.	51
Figur 23. Fordeling av utslipp mellom utslipp til materialer, energibruk i drift (B6) og transport i drift (B8) for alle skolene, presentert i kg CO ₂ -e/m ²	52
Figur 24. Endring i kg CO ₂ -e/m ² for hver bygningsdel. Figuren viser hvilke endringer som skjer dersom oppbygning av massivtre velges fremfor den alternative oppbygningen.	53
Figur 25. Endring i kr/m ² for hver LCA-modul. Figuren viser hvilke endringer som skjer dersom oppbygning av massivtre velges fremfor den alternative oppbygningen.	53
Figur 26. Materialutslipp i kg CO ₂ -e/m ² for oppbygningen i massivtre ved ulike betongtyper.	54
Figur 27. Materialutslipp i kg CO ₂ -e/m ² for den alternative oppbygningen ved ulike typer hulldekker.....	55
Figur 28. Materialutslipp i kg CO ₂ -e/m ² for oppbygningen i massivtre ved ulike produsenter av krysslimt tre... ..	55
Figur 29. Utslipp forbundet med massivtre for oppbygningen i massivtre i kg CO ₂ -e/m ² ved massivtre fraktet fra Norge og Mellom-Europa.....	56
Figur 30. Materialutslipp i kg CO ₂ -e/m ² for den alternative oppbygningen ved fire ulike resirkuleringsgrader av stål	57
Figur 31. Materialutslipp i kg CO ₂ -e/m ² for den alternative oppbygningen ved ulike stålmengder.....	57
Figur 32. Kg CO ₂ -e/m ² /år ved ulike beregningsperioder for begge oppbygninger av alle skolene	58
Figur 33. Kr/m ² /år ved ulike beregningsperioder for begge oppbygninger av alle skolene	58

Tabelliste

Tabell 1. Begreper med forklaringer.....	x
Tabell 2. Beskrivelse av oppbygning og innhold i masteroppgaven	5
Tabell 3. Sammenligning av 1 m ³ av krysslimt tre, betong og stål for å understreke viktigheten av funksjonell enhet ved sammenligning.....	7
Tabell 4. Materialvalg gjort i One Click LCA.....	23
Tabell 5. Oversikt over reisemetoder til de ulike skolene	24
Tabell 6. Energiforbruk for alle skolene	26
Tabell 7. Oppbygning av de alternative inner- og ytterveggene.....	27
Tabell 8. Arealer som ligger til grunn for beregninger av de alternative oppbygningene.	28
Tabell 9. Prosjektinformasjon Flesberg skole, informasjon hentet fra (Joelson, 2019).....	31
Tabell 10. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Flesberg skole	32
Tabell 11. Prosjektinformasjon Bamble ungdomsskole, informasjon hentet fra (Backe Vestfold Telemark, u.å.; Aarhus, 2021)	33
Tabell 12. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Bamble ungdomsskole.....	34
Tabell 13. Prosjektinformasjon Huseby skoler, informasjon hentet fra (Gravås, 2021; Larssen, 2021; Trenytt, 2021).....	35
Tabell 14. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Huseby skoler.....	36
Tabell 15. Prosjektinformasjon Nordre Ål skole, informasjon hentet fra (Hindklev, 2019; Holen, 2022).....	37
Tabell 16. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Nordre Ål skole	38

Ord og begreper

Tabell 1. Begreper med forklaringer

Begrep	Lignende begreper benyttet i oppgaven	Betydning
BRA	Bruksareal	Arealet av den innvendige delen av bygningen hvor takhøyden er over 1,9 meter
BTA	Bruttoareal	Bygningens fulle areal, medregnet yttervegger
CO ₂ -ekvivalenter	Utslippsfaktor, faktor	Beregningsfaktor som antyder hvor stort utslipp som er knyttet til en prosess eller et produkt
EPD	Environmental Product Declaration, miljødeklarasjon	Oppsummering av miljøprestasjonen til et produkt gjennom hele livsløpet
Klimagassutslipp	CO ₂ -utslipp, utslipp, karbonutslipp	Utslipp til luft av klimagasser. I denne studien omregnet til kg CO ₂ -e
LCC	Analyse av livssyklus kostnader	Kostnadene forbundet med et bygg gjennom hele livsløpet
LCA	Livsløpsvurdering	Analyse som vurderer miljøpåvirkningen til et produkt gjennom hele livsløpet
Moduler	LCA-moduler, faser	Ulike faser av livsløpet til et produkt
PCR	Produktkategoriregler	Metodebeskrivelse for hvordan EPDer for byggevarer skal beregnes, verifiseres og presenteres
Systemgrense		Avgrensning for hva som inkluderes i analysen, både tid og sted

1 Innledning

Innledningen tar for seg bakgrunnen for oppgaven, samt presentasjon av problemstillingen og forskningsspørsmål. Kapittelet tar også for seg avgrensninger og strukturen i oppgaven.

1.1 Bakgrunn

Dersom alle mennesker på jorden hadde hatt samme forbruk som en gjennomsnittlig innbygger i Norge ville vi trenge 3,4 jordkloder (FN sambandet, 2021b). En kjent definisjon på bærekraftig utvikling er «en utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov» (FN sambandet, 2021a). Bærekraftig utvikling har tre dimensjoner: Klima og miljø, økonomi og sosiale forhold. Det er sammenhengen mellom disse som avgjør om noe er bærekraftig.

Dimensjon nummer én handler om at vi må løse klimakrisen (FN sambandet, 2021a). Global oppvarming som følge av klimagassutslipp er en av de største utfordringene verden står ovenfor og byggenæringen har et stort ansvar. Bygninger er ansvarlig for 40 % av EUs energibruk og 36 % av de energirelaterte klimagassutslippene (European Commission, 2021). Parisavtalen ble inngått i 2015 og er en internasjonal avtale som skal sørge for at verdens land klarer å begrense klimaendringene (FN sambandet, 2020). Et av hovedpunktene i avtalen er at det ikke skal bli mer enn 2 grader varmere, og helst ikke mer enn 1,5. For å klare dette må klimagassutslippene reduseres betydelig. Norge har forpliktet seg til å redusere utslipp av klimagasser med minst 50 % i 2030, og 90 % innen 2050 sammenlignet med nivået i 1990 (Klima- og miljødepartementet, 2021). Med 36 % av de energirelaterte utslippene er byggenæringen en viktig bidragsyter i reduksjonen av klimagassutslipp.

Utslipp fra bygninger kan i hovedsak deles i to: Utslipp til materialer og utslipp til drift (Adams et al., 2019). Tidligere har utslippene forbundet med driften av bygninger fått størst oppmerksomhet. Karbonutslipp knyttet til drift har gått ned, og vil fortsette å synke. Dette skyldes blant annet både mer energieffektive bygg og mindre karbonbruk i energisektoren. Stortinget har vedtatt å utarbeide en plan for 10 TWh energisparing i bygg innen 2030 (Stortinget, 2017). Lignende krav eksisterer ikke for materialbruk. Forskning viser at mer energieffektive bygninger har en større andel av klimagassutslippene sine knyttet til materialbruk, 55 – 87 %, enn andre bygninger (Wiik et al., 2018; Wiik et al., 2020). WGBC mener at dersom utviklingen fortsetter vil halvparten av utslippene fra bygg ha skjedd før

bygget tas i bruk innen 2050 (Adams et al., 2019). Som følge av dette har det blitt større fokus på materialutslipp, både til produksjon og avhending. Derfor blir nå oftere hele livsløpet inkludert når miljøpåvirkningen fra et bygg blir analysert. På den måten skapes et mer reelt bilde av de totale klimagassutslippene.

En livsløpsvurdering er en god metode for å analysere de totale utslippene til bygninger gjennom livsløpet. En slik analyse bidrar til å finne de totalt sett beste løsningene for miljøet. Livsløpsvurderinger har blitt et populært verktøy og ser ut til å bli en større del av bransjen fremover. BREEAM og LEED er to av mange sertifiseringsordninger som benytter livsløpsvurderinger for å vurdere bygningers miljøprestasjon (BREEAM NOR, 2022; Singh, 2017). I tillegg benytter den nye klassifiseringsordningen EUs taksonomi livsløpsvurderinger (European Commission, u.å).

Dimensjon to i bærekraftig utvikling handler om å sikre økonomisk trygghet for mennesker og samfunn (FN sambandet, 2021a). Dette innebærer blant annet å benytte ressursene våre på en mer effektiv og bærekraftig måte. Derfor er det viktig å også ta hensyn til denne dimensjonen i vurderingen av hvilke bygninger som er mest bærekraftige. For å vurdere bygningers økonomiske prestasjon er det hensiktsmessig å gjennomføre en vurdering av de totale livsløpskostnadene. En slik vurdering tar hensyn til anskaffelseskostnader, kostnader gjennom bruksperioden og rivning (Standard Norge, 2019). Ved å gjøre dette skapes et mer helhetlig bilde på de totale kostnadene forbundet med bygningen.

I 2013 ble krysslimt tre brukt i 12 % av nye skolebygninger i Norge, i 2021 har dette tallet steget til over 40 % (Byggfakta, 2022). Forskning tyder på at trematerialer ofte kan ha mindre påvirkning på klimaet enn betong (Lotherington, 2015; Skullestad et al., 2016). Samtidig viser en svensk studie at det er mulig å skape bygninger med lave klimagassutslipp i både massivtre og betong (Homleid, 2017).

En rapport fra Byggfakta fastslår at det er store investeringsplaner for igangsettelse av skolebygg i 2022 (Byggfakta, 2022). Slik det ser ut nå er det planlagt 902 prosjekter og en investering på 135 milliarder norske kroner. I perioden 2021-2025 er det antatt at skolebygninger vil stå for 3,6 % av alle bygg- og anleggsprosjekter i Norge (Byggfakta, 2021). Det er gjort mange livsløpsvurderinger som ser på hvilke materialer som gir blant annet boliger og kontorer lavest klimagassutslipp (Liang et al., 2020; Rønning et al., 2019;

Skullestad et al., 2016). Slike vurderinger er ikke blitt gjort i like stor grad for skolebygninger. Dette, kombinert med mer bruk av massivtre, gjør det interessant å utføre en studie som sammenligner skoler bygget av massivtre med skoler bestående av mer tradisjonelle bygningsmaterialer.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Formålet med studien er å undersøke hvordan bruk av massivtre i skolebygninger påvirker de totale klimagassutslippene og de totale kostnadene. I tillegg er det ønskelig å se hvordan klimagassutslippene fordeler seg på de ulike bygningsdelene og de forskjellige stadiene av livsløpet. Dette leder opp til problemstillingen:

Hvordan påvirker bruk av massivtre klimagassutslippene og de økonomiske kostnadene forbundet med skolebygninger gjennom et livsløpsperspektiv?

For å besvare problemstillingen er det definert fem forskningsspørsmål:

1. Hvor store klimagassutslipp er knyttet til skoler bygget i massivtre og betong sammenlignet med andre oppbygninger?
2. Hvor store klimagassutslipp står de ulike fasene av livsløpet for ved ulike oppbygninger?
3. Hvor store klimagassutslipp er knyttet til de ulike bygningsdelene for ulike oppbygninger?
4. Hvilke faktorer har betydelig påvirkning på klimagassutslippene fra skoler?
5. Hvordan påvirker bruk av massivtre livssyklus kostnadene til skoler?

De tre første forskningsspørsmålene vil bli analysert ved hjelp av livsløpsvurderinger gjennomført i One Click LCA. Det fjerde blir besvart gjennom en sensitivitetsanalyse. For å besvare det femte spørsmålet vil One Click LCA sin funksjon for å beregne livssyklus kostnader bli benyttet.

1.3 Avgrensninger

I studien vil livsløpsvurderinger fra skoler i massivtre sammenlignes med en alternativ, fiktiv oppbygning som består av andre aktuelle byggematerialer. Fokuset har ikke vært å utføre en så nøyaktig livsløpsvurdering av de eksisterende, massivtreoppbygningene som mulig, men

heller på hvordan massivtre påvirker de totale klimagassutslippene. Derfor har det ikke blitt lagt stor vekt på å innhente de eksakte produktvalgene fra prosjektene, men snarere EPDer til produkter som er utstrakt i bruk. Det er valgt generiske verdier der det er funnet hensiktsmessig. Alle skolene har så langt det lar seg gjøre blitt tildelt de samme materialene. Valgene er tatt for å sikre et godt sammenligningsgrunnlag.

For å skaffe best mulig oversikt over de totale klimagassutslippene er de fleste moduler inkludert. I livsløpsvurderingene rapporteres modulene A1-A5, B1, B4-B6, B8, C1-C4 sammen, samt modul D separat. Karbonatisering rapporteres i modul B1. Biogent karbonlagring rapporteres i likhet med modul D separat. Det er valgt å ikke inkludere modulene B2 (vedlikehold), B3 (reparasjon) og B7 (vannbruk i drift). Modulene B2 og B3 har vist seg vanskelig å skaffe nøyaktig nok informasjon rundt. B7 skal ikke rapporteres i henhold til NS 3720 (Standard Norge, 2018b). Det er heller ikke utført beregninger for landeffekter, da dette i stor grad vil variere fra prosjekt til prosjekt, og ikke påvirkes av hvorvidt skolen oppføres i massivtre eller ikke. Modul B6 og B8, henholdsvis energibruk og transport i driftsfasen, er inkludert selv om disse ikke nødvendigvis blir påvirket av massivtre. De er tatt med for å sette utslipp til materialer i kontekst og om mulig se noen sammenhenger mellom materialbruk og energibruk i drift.

Livsløpsvurderingene tar for seg alle bygningselementene som eksisterer i de ulike modellene. Modellene har ulik detaljeringsgrad, dette vil påvirke resultatene. Felles for alle skolene er at møblering ikke er inkludert, kun faste installasjoner som amfi, tribuner, scener og lignende. Det er også ulikt hvor mye av fundamenteringen som er inkludert i modellen. Dette gjør at sammenligningsgrunnlaget på tvers av skolene er svekket. Det viktigste har vært å se hvordan utslippene og kostnadene tilhørende hver enkelt skole endrer seg avhengig av bygningmaterialene. Derfor har alt som ikke har med inner- og yttervegger, bæresystem og dekker blitt holdt likt i analysene. Hovedpoenget har ikke vært å lage en helt korrekt LCA for hver skole, men heller utforske hvordan massivtre påvirker utslipp og kostnader. Dette er gjennomgående i hele studien.

1.4 Masteroppgavens struktur

For å bedre forstå tanken bak oppbygningen av masteroppgaven er det laget en tabell som tar for seg strukturen. Tabell 2 presenterer oppbygningen av oppgaven og beskriver innholdet i de ulike kapitlene.

Tabell 2. Beskrivelse av oppbygning og innhold i masteroppgaven

Kapittel	Innhold
1 Innledning	Presentasjon av studiens bakgrunn, avgrensning og struktur. I tillegg introduseres problemstillingen og forskningsspørsmålene
2 Teori	Introduksjon av relevant teori og tidligere forskning som er grunnleggende for forståelse og kontekst av denne studien
3 Metode	Beskrivelse av valg, samt utførelse og grunnlag for analysene
4 Case	Gjennomgang av skolene i studien og deres oppbygninger
5 Resultater	Presentasjon av resultatene. Først for hver enkelt skole og dets oppbygninger, deretter for skolene sett i sammenheng og til slutt resultater fra sensitivitetsanalysen
6 Diskusjon	Diskusjon av resultater, funn, forutsetninger og bakgrunnsdata. Livsløpsvurderinger som metode blir også diskutert. De første fem delkapitlene i diskusjonen tar for seg de fem forskningsspørsmålene
7 Konklusjon	Oppsummering av de mest relevante funnene i studien og konkluderer
8 Videre arbeid	Gir forslag til relevant videre arbeid og belyser problemstillinger som kan være aktuelle å undersøke
Vedlegg	Relevant tilleggsinformasjon som henvises til gjennom oppgaven

2 Teori

Teorikapittelet tar for seg teori som er relevant for å forstå både studien, livsløpsvurderinger og analyse av livssyklus-kostnader. I tillegg inneholder kapittelet tidligere forskning på området og utfordringer eller begrensninger disse forbinder med livsløpsvurderinger.

2.1 Livsløpsvurdering

En livsløpsvurdering, ofte kalt LCA, er en sammenstilling og evaluering av inn- og utgangsfaktorer, samt de potensielle miljøpåvirkningene til et produkt eller system gjennom dets livsløp (Standard Norge, 2018b). En slik analyse kan benyttes for å velge de produkter og produsenter som har minst negativ påvirkning på miljøet.

Metoden for livsløpsvurderinger består av fire faser. Den første fasen av en livsløpsvurdering er fastsetting av hensikt og omfang. I denne fasen settes systemgrensen som angir hva som inngår i analysen og ikke. Nummer to er livsløpsregnskapsfasen. Dette innebærer innsamling av mengder av materialer og energi som går med til produksjon, og hvor mye avfall og utslipp som produseres. Den tredje fasen, livsløpsffektvurderingsfasen, skal synliggjøre de potensielle miljømessige konsekvensene fra forbruk av energi, materialer og ulike utslipp. Siste fase, tolkningsfasen, går ut på å lage et sammendrag av resultatene fra fase to og tre, samt trekke konklusjoner, forklare begrensninger og gi anbefalinger. Resultatene må sees i sammenheng med hensikten av studien (SINTEF Byggforsk, 2014; Standard Norge, 2006).

2.2 Livsløpsvurdering av bygninger

Ved livsløpsvurderinger av bygninger beregnes de potensielle miljøpåvirkningene til bygningene. NS 3720, *Metode for klimagassberegninger for bygninger*, er utarbeidet for Norge. NS 3720 er basert på NS-EN 15978 *Bærekraftige byggverk – Vurderinger av bygningers miljøprestasjon – Beregningsmetode* (Standard Norge, 2011, 2018b).

Sammenlignet med NS-EN 15978 utvider NS 3720 systemgrensen ved å inkludere transport i driftsfasen, men er begrenset til beregning av klimagasser. NS-EN 15978 tar i tillegg hensyn til blant annet forsurningspotensial for land og vann, uttømmingspotensial for stratosfærisk ozonlag og eutrofieringspotensial. Resultatet fra livsløpsvurderinger gjennomført etter NS 3720 er i kg CO₂-e, kilogram CO₂-ekvivalenter. Sammenlignet med livsløpsvurderinger av produkter er livsløpsvurderinger av bygninger en ny vitenskap. Standarden for utførelse av livsløpsvurderinger av produkter kom for første gang i 1998 (Standard Norge, u.å.). Til

sammenligning ble standarden for vurdering av bygningers miljøpåvirkning utgitt i 2011 (Standard Norge, 2011).

2.2.1 GWP - globalt oppvarmingspotensial

Global warming potential (GWP) er utviklet for å kunne sammenligne påvirkningen av ulike klimagasser. Den norske oversettelsen er globale oppvarmingspotensialer. GWP uttrykkes i CO₂-ekvivalenter og er et mål på oppvarmingseffekten de ulike drivhusgassene har på atmosfæren over en viss tidsperiode. FN opererer for eksempel med at metan har 21 ganger så stort potensiale som CO₂ over hundre år (United Nations, u.å.).

2.2.2 Funksjonell enhet

I en livsløpsvurdering er en funksjonell enhet en referansenhet. Ved hjelp av en funksjonell enhet er det mulig å sammenligne ulike produkter og konstruksjoner. Den knytter produktet til en funksjon og tar for seg hele livsløpet. Eksempler på funksjonelle enheter er en byggevare med gitte mål med en gitt U-verdi og levetid eller ytterveggsløsning og bygning med gitte tekniske krav og levetid. For skolebygninger kan det også være aktuelt å benytte miljøpåvirkning pr. elev fremfor miljøpåvirkning pr. kvadratmeter. Dersom kun en del av livsløpet blir analysert kan det ikke fastsettes en funksjonell enhet. I slike tilfeller benyttes en deklarerert enhet, for eksempel 1 kg eller 1 m³. Dette muliggjør ikke sammenligning på samme måte som en funksjonell enhet (SINTEF Byggforsk, 2014, 2015).

Tabell 3. Sammenligning av 1 m³ av krysslimt tre, betong og stål for å understreke viktigheten av funksjonell enhet ved sammenligning.

Tall hentet fra (NorBetong AS, 2019; Norsk Stål AS, 2020; Splitkon AS, 2020)

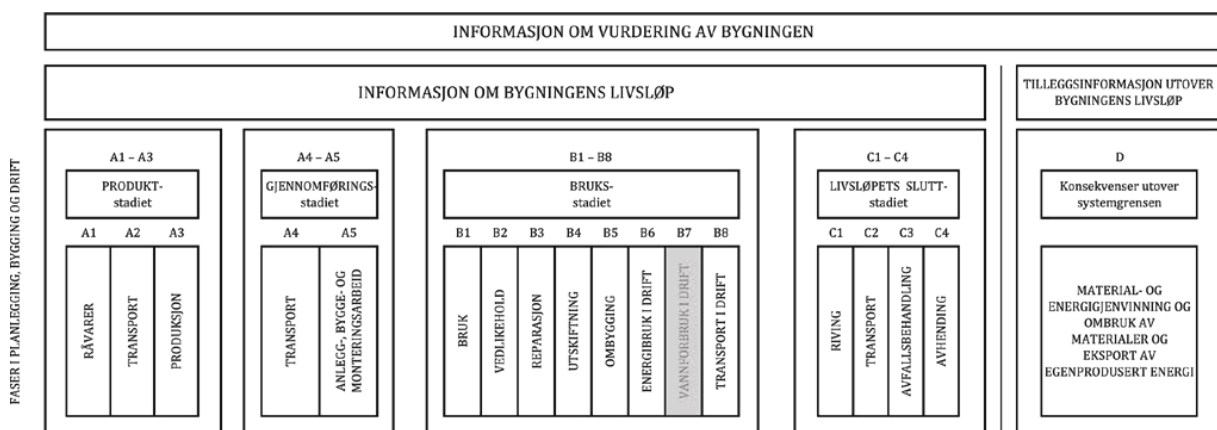
	1 m ³ krysslimt tre (kg CO ₂ -e)	1 m ³ betong (kg CO ₂ -e)	1 m ³ stål (kg CO ₂ -e)
Globalt oppvarmingspotensial A1-A3	90	211	19 547

Viktigheten av funksjonell enhet er understreket i Tabell 3. Tabellen er utformet på bakgrunn av EPDer publisert av EPD Norge (NorBetong AS, 2019; Norsk Stål AS, 2020; Splitkon AS, 2020). Produsentene benyttet i tabellen er Splitkon, NorBetong og Norsk Stål. Tabellen viser CO₂-utslippene knyttet til 1 m³ av krysslimt tre, betong og stål. Som det kommer frem av tabellen er det store forskjeller i utslipp knyttet til 1 m³ av de respektive materialene. Det som

ikke fremkommer av tabellen er derimot hvor store mengder av hvert materiale som kreves for å ha samme funksjon. Dermed er ikke tallene i Tabell 3 sammenlignbare.

2.2.3 Modulene i NS 3720

I NS 3720 er bygningers livsløp delt opp i ulike moduler, og utslippet skal rapporteres i den modulen utslippet oppstår. Livsløpet deles opp i modulene A1-C4. Modul D omfatter tilleggsinformasjon utover bygningens livsløp. Oppdelingen gjør det blant annet lettere å se hvilke deler av livsløpet som står for hvilke utslipp. Figur 1 viser en kronologisk oversikt over modulene i NS 3720.



Figur 1. Organisering av forskjellige moduler som benyttes for å vurdere bygninger, hentet fra NS 3720 (Standard Norge, 2018a)

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162>
 "Figur 2 fra NS 3720:2018 er gjengitt av Kristian Fridtjof Funderud til bruk i oppgaven «Effekten av massivtre på klimagassutslipp og økonomiske kostnader forbundet med skoler gjennom et livsløp» med tillatelse fra Standard Online AS mai 2022. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no."

Modulene A1-A5 er knyttet til produksjonen av bygninger. A1-A3 er definert som produktstadiet, og inneholder råvarer, transport og produksjon. Miljøinformasjonen for denne fasen kan oppdrives i produktets EPD. A4-A5 er gjennomføringsstadiet, og dekker stadiet fra byggevarene forlater fabrikk til bygningen er ferdigstilt. Modul A4 gjelder transport av produkter, materialer, tjenester og utstyr til og fra byggeplassen. Utslippene knyttet til anleggs-, bygge- og monteringsarbeid rapporteres i modul A5. I A5 skal også landeffekter inkluderes. (Standard Norge, 2011, 2018b)

Landeffekter er klimagassutslipp som oppstår når vegetasjon og jordsmonn fjernes eller flyttes. Det kan også oppstå når jordsmonn og myr dreneres. Dette fører til at lagret karbon,

bundet metan og lystgass frigjøres. Beregning av landeffekter gjøres ved å beregne endring i lagret karbon i vegetasjon og jordsmonn før og etter bygningens og tomtens ferdigstillelse. Klimagassutslipp, eller opptak av karbon, knyttet til landeffekter skal også rapporteres separat (Standard Norge, 2011, 2018b).

Bruksstadiet er definert som modulene B1-B8. B1 er utslipp knyttet til bruksstadiet, utenom energi og vann. For eksempel utslipp av miljøskadelige stoffer. Modul B2, B3 og B4 er relatert til henholdsvis vedlikehold, reparasjon og utskiftning. Disse skal ta hensyn til byggherrens krav, planlegging av levetid, krav som følger av NS-EN 15804, produsentens informasjon og bruksmønster. B5 er ombygging, og skal inkludere alle aktiviteter med miljøpåvirkning og miljøaspekter som kommer fra ombyggingsprosessen, i samsvar med systemgrensene. Utslippene i modul B6, energibruk i drift, skal minimum inkludere forbruk av energi til oppvarming, kjøling, ventilasjon, varmtvann i husholdninger, belysning og styring. Modul B7 er knyttet til vannforbruk. Modulen er ikke inkludert i NS 3720, men oppvarming av forbruksvann inngår i B6. Utslipp relatert til transport i driftsfasen skal rapporteres i den nye modulen B8. Utslippene som rapporteres her er summen av utslipp fra personbiler og kollektive transportmidler knyttet til bruk av bygningen, samt vare- og avfallstransport. B8 skal danne grunnlag for vurdering av ulike lokaliseringer og valg av transportløsninger inkluderes i NS 3720, men er ikke inkludert i NS-EN 15978 (Standard Norge, 2011, 2018b).

Livsløpets slutt-stadium er delt inn i modulene C1-C4. I modul C1, dekonstruksjon, skal utslipp knyttet til rivning og dekonstruksjon på byggeplassen rapporteres. Transport til avhending eller ut til systemgrensen hører inn under C2. Avfallsbehandling, modul C3, er knyttet til alle prosesser for avfallshåndtering, som for eksempel sortering, forberedelse av gjenbruk, resirkulering og gjenbruk. C3 slutter der utgangsfaktoren fra demontering, dekonstruksjon eller rivning av bygningen slutter å være avfall. Modul C4 omfatter alle prosesser eller aktiviteter som er nødvendig før disponering, som ikke er omfattet av C1-C3, i tillegg til selve disponeringen. Det kan for eksempel være nøytralisering, forbrenning, deponering eller emballering (Standard Norge, 2011, 2018b).

Konsekvenser utover systemgrensen rapporteres i modul D. I denne modulen inngår blant annet konsekvenser knyttet til eksportert energi, ombruk, resirkulering og energigjenvinning. Resultatene fra modul D rapporteres separat (Standard Norge, 2011, 2018b).

2.2.4 Resultater fra NS 3720

Resultatene fra en livsløpsvurdering gjennomført etter NS 3720 deles i tre: Totalt globalt oppvarmingspotensial (GWP_{tot}), totalt globalt oppvarmingspotensial fra biologisk karbon (GWP_{bio}) og totalt globalt oppvarmingspotensial knyttet til landeffekter (GWP_{LULUC}). Alle disse rapporteres i kg CO₂-e. Innenfor disse tre delene blir utslippene allokert til de tilhørende modulene, A-D (Standard Norge, 2018b).

2.2.5 Input i livsløpsvurderinger

En livsløpsvurdering består av ulike input som alle bidrar til det endelige resultatet, som for eksempel EPDer fra materialene, transport, levetid, energibruk i drift og energikilder.

EPD står for Environmental Product Declaration. Forkortelsen EPD benyttes både i Norge og internasjonalt (EPD Norge, u.å.). Miljødeklarasjonen er et dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte (Standard Norge, 2010). Arbeidet med en EPD gjøres på bakgrunn av en LCA etter ISO-standardene 14040 og 14044. Krav til hvordan en EPD skal utformes er spesifisert i ISO 14025. En EPD må minst inneholde forbruk av ressurser, inkludert energi, vann og fornybare ressurser. I tillegg skal utslipp til luft, vann og jord inkluderes. EPDen skal inneholde alle prosesser og utslippsposter som kommer som en konsekvens av å produsere varen. Prosessen med å spore all transport, produksjon av komponenter, energibruk og utslipp til luft er kompleks (Athena Sustainable Materials Institute, u.å.). Hvilke moduler som er inkludert i en EPD varierer, da noen moduler er valgfrie eller ikke relevante (Standard Norge, 2010). Hovedhensikten med en EPD er at kunden skal kunne sammenligne miljøprofil på ulike produkter uavhengig av region eller land, og på bakgrunn av dette ta et valg. For at dette skal være mulig er det nødvendig med standardiserte metoder.

Ifølge NS 3720 skal klimagassberegninger utføres på grunnlag av påkrevd levetid gitt i byggherrens spesifisering (Standard Norge, 2018b). Dersom byggherre ikke oppgir påkrevd levetid benyttes 60 års levetid. Påkrevd levetid påvirker klimagassutslippene blant annet fordi antall utskiftninger for produkter, komponenter og bygningsdeler avhenger av den påkrevde levetiden. I tillegg vil levetiden påvirke utslipp pr. år.

Det er forbundet store CO₂-utslipp med transport (Wiik et al., 2020). NS 3720 inkluderer både transport av materialer og av mennesker i livsløpsvurderingen (Standard Norge, 2018b). For å

få en god analyse er det viktig å kartlegge hvor langt materialene må transporteres for å komme frem til byggeplassen. Det er også knyttet betydelige utslipp til energibruken som går med til å drifte et bygg (Adams et al., 2019). Dette er blant annet energi brukt til oppvarming, kjøling, ventilasjon, varmtvann og belysning. Beregninger av energibehov skal utføres etter gitte standarder eller etter målinger for faktisk forbruk dersom bygningen er tatt i bruk (Standard Norge, 2018b).

Ulike energikilder har ulike utslippsfaktorer assosiert med seg. Utslippsfaktorene har benevnningen g/kWh og gjør det mulig å sammenligne utslippene knyttet til de ulike energikildene. Faktorene for vindkraft varierer fra 3 – 41 g/kWh. For kullkraft kan faktoren være 660 – 1 300 g/kWh. I NS 3720 er det utarbeidet to ulike scenarier for elektrisitetsforsyningen. Begge scenarioene skal benyttes. Scenario 1, norsk forbruksmiks, har en utslippsfaktor på 18 g/kWh. Scenario 2, europeisk forbruksmiks, har i NS 3720 en beregnet utslippsfaktor på 136 g/kWh. Begge utslippsfaktorene er et gjennomsnitt for perioden 2015 til 2075. Siden det antas at karbonbruken i energiproduksjonen vil reduseres i tiden fremover betyr dette at utslippene pr. dags dato vil være større enn det utslippsfaktorene tilsier (Standard Norge, 2018b).

2.2.6 Utslipp knyttet til materialer og drift

Utslipp fra bygninger blir ofte delt i to, utslipp knyttet til materialer og utslipp knyttet til drift (Adams et al., 2019). På engelsk blir de kalt *embodied* og *operational emissions*. Forenklet sagt er dette henholdsvis utslipp fra produksjon av bygningen og utslipp fra bruk av bygningen. Tall fra FNs miljøprogram viser at karbonutslippene fra de to delene, utslipp til materialer og utslipp til drift, er henholdsvis 26 % og 74 % (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020).

Utslippene i forbindelse med materialer er knyttet til kjemiske reaksjoner og karbonlagring i produksjonsfasen samt utslippene fra energi som går til å produsere materialene (Ibn-Mohammed et al., 2013). Dette er energien som er brukt til blant annet transport og konstruksjon, samt å utvinne råmaterialer og prosessere materialer. Utslipp knyttet til energibruk i drift utgjør karbonutslippene knyttet til produksjonen av energi som benyttes for å drive en bygning (Adams et al., 2019; Ibn-Mohammed et al., 2013). Dette inkluderer blant annet energi til oppvarming, kjøling, lys og hvitevarer. I NS 3720 er dette modul B6 (Standard Norge, 2018b). Tidligere har størst fokus vært rettet mot energibruk i drift (Adams

et al., 2019). Dette fører til mer materialbruk og ytterligere materialutslipp. Målet må være å finne det punktet hvor utslippene til materialer og drift totalt sett blir minst mulig.

2.2.7 Livsløpsvurdering av bygninger i byggteknisk forskrift

Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har i forbindelse med videreutvikling av TEK bestilt en utredning fra Asplan Viak om muligheter, suksessfaktorer og konsekvenser av å stille livsløpsbaserte miljøkrav i TEK (Fuglseth et al., 2018). I dagens TEK stilles det ikke krav til livsløpsbasert miljøprestasjon for bygninger. Utredningen foreslår blant annet en trinnvis innføring av krav til klimagassberegninger med et mål om å innføre ramme- og tiltakskrav. Rapporten poengterer kompleksiteten og usikkerheten knyttet til beregningene. Som rammekrav foreslås det å sette krav til A1-A3, A4 (dersom det er juridisk mulig), B1-B5, B6 og C3-C4. Tiltakskravene er foreslått å inkludere materialproduksjon og utskiftning (A1-A3 + B4). Den tradisjonelt sett store modulen B8, transport i drift, er utelukket da den i liten grad blir påvirket av bygningskroppens utforming, og ligger utenfor systemgrensene for hva som kan reguleres i TEK. De endelige forslagene til endring i byggteknisk forskrift ble sendt på høring og er nå til behandling (Direktoratet for byggkvalitet, 2021).

2.3 Tre

Gjennom fotosyntesen binder trær og andre vekster CO₂ i biomassen. Ved forbrenning eller forråtnelse frigis store deler av karbonet til atmosfæren. Resten av karbonet er lagret i jordsmonnet. Anslagsvis er 80 % av det totale karbonlagret i norsk skog lagret i jorda. Estimater viser et netto opptak i skogen er 30 millioner tonn CO₂-ekvivalenter pr. år. Dette tilsvarer over 50 % av de menneskeskapte utslippene i Norge (Bergseng et al., 2016).

Biogent karbon er karbonet som blir tatt opp og lagret i treet gjennom fotosyntesen (Tellnes, u.å). Dersom hogstmodne trær blir brukt til produksjon av byggematerialer vil karbonlagringen øke ytterligere, fordi utslippet blir utsatt i flere tiår (Treindustrien, 2013). Det er ulike måter å beregne biogent karbon på (Hoxha et al., 2020). Mange livsløpsvurderinger velger å forenkle, og holder biogent karbon utenfor, 0/0 metoden. En annen mulighet er å ha et negativt klimagassutslipp i råvarefasen, med et tilsvarende utslipp ved avhendingsfasen. Metoden er også kjent som -1/+1. Netto utslipp ved de to metodene vil være lik. Et hyppig diskutert tema i forskning de siste årene er hvorvidt biogent karbon har en reel klimaeffekt selv om det bare er midlertidig lagring. Flere studier mener dette, men det er ingen felles

enighet om hvordan dette skal beregnes (Breton et al., 2018; Hoxha et al., 2020; Levasseur et al., 2013).

Selv om trær binder karbon, er det også knyttet CO₂-utslipp til produksjon av byggematerialer. Det er knyttet utslipp til felling, transport og bearbeiding av tømmer. Treindustrien utnytter biprodukter fra produksjonen, som bark og flis, for å dekke store deler av energibehovet. Tall fra Norsk Treteknisk Institutt viser at 66 % av energibruken i trelastindustrien kommer fra bioenergi, 27 % fra elektrisitet og 7 % fra fossil energi (Tellnes, u.å).

2.4 Betong

Betong består av tre deler: Vann, sement og tilslag. Sementproduksjon stod i 2018 for utslipp av omtrent 1,5 milliarder tonn CO₂ (Andrew, 2018). Dette tilsvarer omtrent fire prosent av verdens totale CO₂-utslipp fra fossile kilder i 2017. Utslippene fra sementproduksjon kommer fra tre utslippsposter (Norsk Betongforenings Miljøkomité, 2009). Det er kalsinering av kalkstein, termisk energi og mekanisk energi. Kalsinering av kalkstein er en del av prosessen for å produsere Portland klinker. Utslippene knyttet til produksjonen hos en enkelt leverandør vil variere sterkt. Utslippene avhenger blant annet av klinkerandelen i sementen, utslipp fra elektrisitetsforbruket til mekanisk energi, effektiviten i produksjonen og bruk av alternative energiformer til termisk energi.

Et tiltak for å redusere CO₂-utslippene knyttet til sementproduksjon er å erstatte en av hovedingrediensen i sement, Portland klinker, med substituttmaterialer. Substituttmaterialer er materialer som har lignende kjemisk sammensetning. Disse materialene er ofte restmaterialer fra annen industri, som ellers ville blitt kastet. Dermed er det ikke knyttet CO₂-utslipp til disse materialene i henhold til internasjonale standarder. Eksempler på substituttmaterialer er flygeaske og slagg. Substituttgraden i Norcems hovedprodukt, Norcem Standard FA sement, er 22 %. Dette fører til omkring 20 % reduksjon i CO₂-utslipp pr. tonn sement, sammenlignet med sement uten substituttmaterialer (Thyholdt et al., 2018).

Et annet tiltak er å benytte mer miljøvennlig brennstoff. For å oppnå de høye temperaturene som kreves for å produsere sement blir ofte fossile brensler som kull, koks og naturgass benyttet. Avfall og biobrennstoff er eksempler på alternativt brennstoff. Ellers nevnes

energieffektivitet, alternative typer sement samt karbonfangst og lagring som tiltak for å redusere CO₂-utslippene pr. tonn produsert sement (Vågerö et al., 2021).

Utslipp fra sement produsert i Norge, Europa og Amerika er henholdsvis 741, 803 og 1 040 kg CO₂-ekvivalenter pr. tonn sement (ECRA, 2020; Norcem AS, 2020; Portland Cement Association, 2016). Grunnene til de relativt lave utslippene fra sementen produsert i Norge er sammensatte. Blant annet skyldes det bruk av en betydelig andel avfallsbasert biologisk brennstoff og en økende andel substituttmaterialer i Norge (Thyholdt et al., 2018).

I løpet av betongens livsløp vil CO₂ fra omgivelsene diffundere inn i betongen, kalt karbonatisering (Lyng et al., 2014). I følge NS 3720 skal karbonatisering inkluderes i beregningene (Standard Norge, 2018b). Østfoldforskning har gjennomført en studie som viser at en typisk innervegg av betong, med M60 og 100 års levetid, vil redusere GWP med 10 % dersom CO₂ opptak fra karbonatisering blir tatt med i vurderingen (Lyng et al., 2014). Ved 60 års levetid blir reduksjonen 8 %. For hulldekker med 100 og 80 års levetid er reduksjonen henholdsvis 16 % og 12 %. Mengden av karbon som tas opp og hastigheten på dette avhenger av faktorer som betongtype, overflateareal, overflatebehandling og miljøet rundt (Engelsen & Justnes, 2014). Overflater uten belegg karbonatiserer i et høyere tempo enn belagt betong.

Karbonatisering er ikke nødvendigvis gunstig, det fører til at pH-en i betongen synker og armeringen blir mer utsatt for korrosjon (Svendsen & Torblaa, 1989). Stål som rustet øker i volum og kan få betongflak til å falle av. Videre fører dette til at betongens kapasitet reduseres. For å unngå dette er det minimumskrav til betongkvalitet og armerings-overdekning i regelverket (Norsk Betongforenings Miljøkomité, 2014). På grunn av momentene nevnt over er karbonatisering en uønsket prosess.

2.5 Stål

Stål er i hovedsak en legering av jern og karbon, men kan også inneholde en rekke andre legeringselementer (Norsk stål, u.å.). Stål er blant de viktigste bygge- og produksjonsmaterialene i verden. En av fordelene med stål er at det kan tilpasses slik at det får ulike egenskaper. Dermed har materialet forskjellige bruksområder. Ulempen med stål er de store utslippene av CO₂ i produksjonsfasen. Resirkulering av stål krever 60 % mindre energi og har 70 % mindre utslipp av CO₂ enn malmbasert produksjon. På grunn av blant annet voksende befolkning og at stålprodukter kan benyttes i lang tid er det stor etterspørsel

etter nytt stål (Norsk stål, u.å.; World Steel Association, u.å.). Derfor eksisterer det ikke nok resirkulert stål til at alt kan produseres fra resirkulert stål. Dermed er det fortsatt behov for at det utvinnes ny jernmalm.

Verdens stålindustri har blitt sagt å spille en viktig rolle i bekjempelsen av klimaendringene (Organisation for Economic Co-operation and Development, u.å.). Jern- og stålindustrien slipper ut store mengder CO₂ (International Energy Agency, 2020). Industrien står for 7 % av energisektorens totale CO₂-utslipp, og er en stor forbruker av kull.

2.6 Karbonfangst og -lagring

Karbonfangst- og lagring blir også ofte referert til med forkortelsen CCS, *carbon capture and storage*. Karbonfangst og -lagring er sett på som en nøkkel for å redusere karboninnholdet i atmosfæren (Global CCS Institute, u.å.). Metoden består av tre hovedsteg. Stegene er fangst, transport og lagring av CO₂. Først blir CO₂ fanget ved utslippskilden. Deretter blir gassen komprimert og fraktet via rør, lastebil, skip eller andre passende måter til lagringsplassen. Til slutt blir CO₂ injisert i underjordiske bergformasjoner på vanligvis en kilometers dyp eller mer. En studie gjort av kostnader, barrierer og potensial for karbonfangst og lagring konkluderer med at kostnader er det største hinderet i kort og mellomlangt perspektiv, men at det er kostnadseffektivt sammenlignet med andre skadebegrensende tiltak (Budinis et al., 2018).

Norge ligger langt fremme i prosessen med karbonfangst og -lagring. Våren 2024 er det planlagt at Norcems karbonfangstanlegg i Brevik skal være ferdigstilt. Det skal ha mulighet til å fange og lagre 400 000 tonn CO₂. Fra fangstanlegget skal CO₂ fraktes med båt til Naturgassparken i Øygarden. Derfra fraktes gassen i rør til den permanente lagringsplassen i geologiske formasjoner i Nordsjøen. Når fangstanlegget er ferdig, vil det gjøre fabrikken til verdens første sementfabrikk med fullskala karbonfangst (Norcem, u.å.).

2.7 Livsløpskostnader, LCC

Livsløpskostnad defineres som kostnaden ved en bygning eller en del av byggverk gjennom livsløpet, der tekniske og funksjonelle krav oppfylles. Dette innebærer både konstruksjons-, drift- og vedlikeholdskostnader. Formålet med å analysere livsløpskostnadene er å vurdere bygningens økonomiske prestasjon som en del av den totale vurderingen i et bærekraftperspektiv (Standard Norge, 2020).

2.7.1 LCC-beregninger etter NS-EN 16627

I likhet med livsløpsvurderinger benytter LCC-beregninger «modularitetsprinsippet», med modulene A-D. Dette betyr at de prosessene som påvirker den økonomiske prestasjonen til bygningen skal tilordnes den modulen der de skjer. I modul A0 til C4 skal økonomiske innvirkninger som er direkte knyttet opp mot prosesser og operasjoner som finner sted innenfor bygningens systemgrense rapporteres. Akkurat som for livsløpsvurderinger rapporteres det som foregår utenfor systemgrensene i modul D. Dette kan være inntekter i forbindelse med eksportert energi og sekundære materialer, sekundære brensler eller sekundære produkter som er et resultat av gjenbruk, resirkulering og energigjenvinning (Standard Norge, 2020).

2.7.2 Diskonteringsrente

For å sammenligne ulike alternativer opp mot hverandre er det gunstig å beregne nåverdi av livsløpskostnadene. Siden penger i fremtiden ikke er verdt like mye som penger i dag har hvilket tidspunkt ulike inntekter og kostnader inntreffer noe å si. Dermed er det nødvendig å regne nåverdien av fremtidige kontantstrømmer. I denne omregningen står diskonteringsbegrepet sentralt. Diskonteringsfaktoren er en omregningsfaktor som benyttes for å uttrykke økonomiske størrelser på ulike tidspunkt i samme verdienhet (Hagen, 2011).

I vurderingen av livsløpskostnader har valg av diskonteringsrente stor innvirkning på utfallet av beregningene. For sammenligningsformål skal diskonteringsrenten være 3 %. Det er også mulig å gjennomføre ytterligere beregninger med ulike renter. Både kommersielle, politiske, lovgivende og bærekraftsrelaterte mål eller krav kan være grunn til å velge ulike diskonteringsrenter (Standard Norge, 2020).

2.7.3 Tidligere sammenligninger av livsløpskostnader fra bygninger i tre, betong og stål

I en studie fra USA ble livsløpskostnader for en tolv etasjer høy bygning analysert. Bygningen inneholder både kontorer og leiligheter. To ulike konstruksjonsmaterialer ble analysert, massivtre og betong. De to bygningene ble analysert i fem forskjellige scenarier. I de ulike scenariene varierte levetid og analyseperiode. I tre av tilfellene viste det seg at bygningen i betong hadde de laveste livsløpskostnadene. I de to resterende kom massivtre best ut. Forskjellene mellom alternativene varierte fra 2,4 – 12 % (Gu et al., 2020).

En rekke australske forskere gjennomførte et LCC-studie hvor de sammenlignet to åtte etasjers leilighetsbygninger, en i betong og en i massivtre. Bygningene ble plassert i tre forskjellige australske byer. Studien konkluderer med at livssyklus kostnadene til bygningene i massivtre er 0,9 - 1,3 % lavere enn for betongbygningene. De kom også frem til at bygningene i massivtre hadde lavere investeringskostnader, men høyere drift- og vedlikeholdskostnader. Drift- og vedlikeholdskostnadene var også svært sensitive til diskonteringsrenten (Jayalath et al., 2020).

2.8 One Click LCA

One Click LCA er en programvare som benyttes både for å utføre livssyklusanalyser på hele bygg, for å utforme EPDer til produkter og gjennomføre beregninger av livsløpskostnader. Programvaren ble utviklet i 2001, er utbredt og har som mål å redusere karbonutslipp fra byggebransjen (One Click LCA, u.å.-d).

2.8.1 NS 3720 i One Click LCA

One Click LCA kan utføre livsløpsvurderinger i henhold til NS 3720 (One Click LCA, u.å.-c). For å få en mest mulig nøyaktig livsløpsanalyse er det viktig å benytte spesifikk materialdata så langt det lar seg gjøre. Det kan være store forskjeller knyttet til klimagassutslippene til to ulike produkter med samme funksjon. One Click LCA har generiske data for en rekke ulike produkter som kan benyttes i tilfeller hvor EPDen til et spesifikt produkt fra én bestemt leverandør ikke lar seg oppdrive, eller ikke eksisterer. EPDene og den generiske dataen benyttes til å utføre beregningene. Beregningen og resultatene blir utført og rapportert i henhold til NS 3720.

2.8.2 LCC i One Click LCA

One Click LCA kan også gjennomføre LCC-beregninger (One Click LCA, u.å.-a). For å utføre utregningene så detaljert som mulig er det nødvendig å benytte så nøyaktig data som mulig. Programvaren har forhåndsinnlastede verdier for ulike land som benyttes i beregningene (Masson, 2021). Dette er verdier som blant annet valutakurs, kostnadsindeks, timelønn, inflasjon og diskonteringsrente. I de tilfeller der det gjennomføres både en livsløpsvurdering og en beregning av livsløpskostnadene importerer One Click LCA bygningsmaterialer med tilhørende EPDer fra livsløpsvurderingen og benytter dette som grunnlag for å beregne kostnadene. Deretter blir resultatene rapportert samlet og delt opp i tilhørende moduler.

2.8.3 Funksjoner i One Click LCA

One Click LCA har mulighet til å innhente informasjon direkte fra over 15 forskjellige BIM-verktøy. Programvaren overholder kravene og kan benyttes som LCA-verktøy for over 50 ulike sertifiseringer. Deriblant BREEAM og LEED. I tillegg har programmet den største databasen knyttet til miljødata i byggenæringen. Dataen blir innhentet fra mange ulike EPD plattformer, blant annet EPD Norge (One Click LCA, u.å.-e).

Business og Expert lisensene til One Click LCA kommer med to sjekker: En modell-sjekker som analyserer inputs og en LCA-sjekk som vurderer kvaliteten av resultatene fra livsløpsvurderingen. Modell-sjekken verifiserer blant annet at inputen inneholder bygningselementer som eksisterer i de fleste bygg, som bjelker og søyler. LCA-sjekken poengterer derimot klare tekniske feil, som å ikke ha nok armering i forhold til betongen, og at ulike mengder virker reelle (One Click LCA, u.å.-b).

2.9 Tidligere sammenligninger av klimagassutslipp fra bygninger i tre, betong og stål

Det er utført flere sammenlignende LCA studier av tre, betong og stål tidligere. Blant annet en australsk studie av bærebjelker, fra vugge-til-grav (El Hanandeh et al., 2017). Studien konkluderer med at bærebjelken i betong har over tre ganger så stort oppvarmingspotensial som bjelken i tre. En studie tar også for seg hele bygninger i tre og betong, fra 3 til 21 etasjer (Skullestad et al., 2016). Resultatene viser at bygningene i tre ville gitt 34 – 84 % lavere klimagassutslipp enn bygningene i betong. Forfatterne påpeker at resultatene kun er representative for et nordisk elektrisitetsmarked. I januar 2020 ble det utgitt en analyse av en tolv etasjer høy bygning på 8 360 m² (Liang et al., 2020). Bygningen er laget for både leiligheter og kontorer i Portland, Oregon. Den konkluderer med at sammenlignet med en betongbygning ville en i massivtre redusere det globale oppvarmingspotensialet med 18 %. Analysen tok for seg modulene A1-A5, men påpeker at videre forskning også bør ta for seg livsløpets slutfaser, C1-C4.

Etter ønske fra Betongelementforeningen har Østfoldforskning gjennomført livsløpsvurderinger som sammenligner kontorbygninger i tre og betong på 4, 8 og 16 etasjer lokalisert i enten Kristiansand eller Trondheim. Resultatene viser at for konstruksjonene på fire etasjer har trekonstruksjonene lavest utslipp. Østfoldforskning kommer også frem til at forskjellene avtar med høyde. I bygningene med 16 etasjer er utslippsnivået relativt likt. Disse analysene er basert på et gjennomsnitt av EPDer fra fire ulike betongprodusenter. Dersom

analysene i stedet baseres på betongproduktene med lavest CO₂-utslipp har betongkonstruksjonene de laveste utslippene for byggene på 16 etasjer, mens tre fortsatt har lavere utslipp for bygningene i fire etasjer. Østfoldforskning bemerker at resultatene ikke er generaliserbare til alle typer bygningsformål eller bygningsdeler, og at hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene bl.a. avhenger av konteksten for hvert enkelt bygg (Rønning et al., 2019).

2.10 Tidligere livsløpsvurderinger av skoler

Zen Research Centre publiserte i 2020 en sammenstilling av livsløpsvurderinger av 130 prosjekter fra 2009-2020, hvor 39 av disse var skoler på ulike plasseringer i Norge. Medianen av livsløpsvurderingene for skolene er 4,5 kg CO₂-e/m²/år. Modulene A1-A3 og B4 ble inkludert i analysene. En levetid på 60 år resulterer i utslipp på 270 kg CO₂-e/m². Rapporten presiserer kompleksiteten og mengden prosesser som inngår i en livsløpsvurdering. Forfatterne påpeker usikkerheten ved at en rekke parametere som inngår i en analyse vil variere og at livsløpsanalyser som skal gjennomføres av ulike aktører vil føre til ulike resultater. Derfor mener de at eventuelle utslippskrav må være robuste nok til å ta hensyn til dette. Forfatterne vektlegger klimagassutslipp fra produksjonsfasen siden utslippene skjer nå og er viktig å redusere for å nå klimamålene. I tillegg nevnes kompleksiteten i beregningene, bedre utnyttelse av biogent karbonlagring og usikkerheter knyttet til teknologisk utvikling i diskusjonen. Forfatterne påpeker også at teknologiutvikling vil gi reduserte utslipp fra produksjon og transport av bygningsmaterialer i fremtiden (Wiik et al., 2020).

Livsløpsvurdering av Vættaskóli-Engi skole i Reykjavik på Island ble publisert i 2016 og har et beregnet CO₂-utslipp på 255 kg CO₂-e/m². Skolen er hovedsakelig konstruert i betong, har et bruttoareal på 5 000 m² og ble påbegynt i 1996. I denne vurderingen ble modulene A1-A4 analysert. Forskerne påpeker at transport stod for 5 % av det totale globale oppvarmingspotensialet, noe som var overraskende lite med tanke på den lange transportavstanden. Transport hadde derimot stor påvirkning på forsureningspotensialet for land og vann, samt eutrofieringspotensialet (Emami et al., 2016).

I 2016 ble det publisert en studie av 23 grunnskoler i Sør-Korea. Gjennomsnittlig utslipp fra disse skolene er 3 170 kg CO₂-e/m². Disse studiene har ikke benyttet EN 15978. I vurderingen er materialer, transport, konstruksjon, drift og avhending inkludert. Materialer og

drift var de største postene med henholdsvis 25 % og 72 % av de totale CO₂-utslippene (Ji et al., 2016).

Sammenligning av livsløpsvurderinger er en vanskelig øvelse av flere grunner. For det første følger ikke alle analyser de samme standardene. For det andre inkluderer ikke studiene nødvendigvis de samme modulene. For det tredje er det ikke den samme energimiksen i alle land, noe som i stor grad vil påvirke resultatet. I tillegg burde blant annet størrelse, plassering, klima og funksjoner være sammenlignbart dersom en sammenligning skal gi god nok verdi. Anne Rønning fra Østfoldforskning hevder livsløpsvurderinger ofte kan være mangelfulle eller feil blant annet fordi det ikke settes i riktig kontekst. Dermed er hun ikke sikker på at alle vurderinger som blir gjort nødvendigvis gir de mest bærekraftige byggene. Rønning påpeker også viktigheten av kompetanse i forbindelse med gjennomføring av livsløpsvurderinger (Homleid, 2017).

3 Metode

Kapittel 3 tar for seg de metodiske valgene i studien. Første del handler om valg av forskningsmetode. Resten av kapittelet forklarer hvordan data er samlet inn, hvordan analysene er utført og hvilke valg som er tatt for å frembringe resultatene.

3.1 Valg av forskningsmetode

Hensikten med forskning er å frembringe gyldig og troverdig kunnskap om virkeligheten. For å få til dette kreves det en strategi for hvordan det skal gjøres (Jacobsen, 2015). I besvarelse av problemstillingen ble det valgt å benytte kvantitativ metode og One Click LCA.

Ved valg av metode ble det vurdert hvilken metode som best mulig kan besvare problemstillingen. Både kvantitativ og kvalitativ metode ble vurdert. Den kvantitative tilnærmingen har som utgangspunkt at metoder og instrumenter kan gi oss informasjon om virkeligheten i tall. I motsetning til den kvalitative tilnærmingen som har som utgangspunkt at virkeligheten er for kompleks til å reduseres til tall (Jacobsen, 2015).

Studien ønsker å si noe om hvordan bruk av massivtre i skolebygninger påvirker klimagassutslipp og livssyklus kostnader. Både klimagassutslipp og livssyklus kostnader krever beregninger for å komme med en konklusjon. I tillegg er begge parameterne kompliserte og vanskelige for eventuelle intervjuobjekter å si noe om uten å ha gjennomført egne analyser. Siden det ikke er funnet noen som har gjort slike analyser før, og på grunn av kravet til beregninger, ble det valgt en kvantitativ tilnærming.

For å få svar på studien ved hjelp av kvantitativ metode kreves det et verktøy. Ulike programvarer for å gjennomføre livsløpsvurderinger og analysere livssyklus kostnadene ble vurdert før One Click LCA ble valgt. Programvaren ble valgt fordi den er utbredt i bransjen, tilbyr et stort utvalg av EPDer, har BIM-integrering, kan gjøre LCA i henhold til NS 3720 og kan gjennomføre LCC-analyser parallelt med livsløpsvurderinger.

Videre ble det utviklet en fremgangsmåte for å kunne si noe om hvordan bruk av massivtre påvirker klimagassutslipp og livssyklus kostnader. En fremgangsmåte kunne vært å analysere skoler som er bygget med forskjellige materialer og sammenlignet disse. Fordelen med dette er at mengder og konstruksjon ville blitt korrekt. Ulempen er at det er knyttet usikkerhet til

hvordan faktorer som blant annet beliggenhet, størrelse, resirkuleringsgrad og miljøvalg vil påvirke livsløpsvurderingen. Den valgte fremgangsmåten går ut på å analysere en allerede bygget skole av massivtre, for deretter å bytte ut massivtreet med andre aktuelle materialer, og så gjennomføre en livsløpsvurdering av dette. Det blir altså sammenlignet to oppbygninger av hver skole, en oppbygning av massivtre og en alternativ oppbygning. På denne måten vil usikkerhetsmomentene nevnt over minimeres og fokuset blir kun satt på hvordan bruk av massivtre påvirker klimagassutslipp og livssyklus-kostnader.

3.2 Gjennomføring av livsløpsvurderinger av oppbygningene i massivtre

For å danne et sammenligningsgrunnlag for den alternative oppbygningen ble det først gjennomført en livsløpsvurdering av oppbygningene i massivtre. Modeller fra entreprenører og arkitekter ble innhentet for de respektive skolene. Deretter ble mengder importert til One Click LCA før de ble knyttet til produkter.

3.2.1 Anskaffelse av modeller og EPD

For å skaffe et så reelt bilde på klimagassutslippene som mulig var det viktig å skaffe riktig informasjon om mengder og materialer. Mengdene ble hentet ut fra IFC-modeller. Det ble valgt et sett med produkter som ble brukt på alle skolene. Her ble det forsøkt å finne produkter som er anerkjente og hverken dårligst eller best på miljø. På den måten ble det mulig å se hvordan materialer med både høyere og lavere klimagasspåvirkning slo ut.

3.2.2 Importering av modeller til One Click LCA

One Click LCA har en rekke muligheter for å hente informasjon om mengder og materialer rett fra BIM-filer. I denne studien ble det valgt å importere data gjennom Excel. For å eksportere data til Excel ble det skrevet ut lister fra Archicad eller Solibri. Disse ble videre kopiert inn i Excel. Ved å laste ned en egen Excel-mal fra One Click LCA kan programmet selv hente ut den nødvendige informasjonen fra Excel-arket. I Excel-arket blir materialene knyttet til riktig bygningsdel i henhold til NS 3451 (Standard Norge, 2022). Bygningsdelene som benyttes i studien er «grunn og fundamenter (21)», «bæresystemer (22)», «yttervegger (23)», «innervegger (24)», «dekker (25)», «yttertak (26)», «fast inventar (27)» og «trapper, balkonger, m.m. (28)». I tillegg er kategorien «bygning, generelt (20)» brukt i de tilfellene det ikke har vært mulig å oppdrive tilstrekkelig informasjon til å knytte materialene til riktig bygningsdel. Etter å ha eksportert data til Excel ble det videre importert til One Click LCA. Ved importering sorterer og grupperer One Click LCA materialene ut fra valg brukeren har

gjort. Deretter knyttes de ulike byggematerialene til EPDer. Tabell 4 presenterer hvilke produkter som er valgt for de mest brukte materialene.

Tabell 4. Materialvalg gjort i One Click LCA

Materiale	Produkt	Produsent
Krysslimt tre	Krysslimt tre, 420 kg/m ³	Splitkon
Limtre	Standard limtrebjelke, 470 kg/m ³	Moelven limtre
Trykkfast isolasjon	EPS-isolasjon	EPS gruppen
Isolasjon	Glava glassull, Proff 34	Glava
Trinnlydplate	Glava glassull, trinnlydplate	Glava
Hulldekker	Hulldekker, Lavkarbonklasse A	Contiga AS
Betong	Generiske verdier, Lavkarbonklasse B	-
Stål	Generiske verdier, 80 % resirkulert	-

Modellene var ikke like detaljerte og korrekte. For det første var det ulikt om modellene inneholdt fundamentet eller ikke. Dette svekker muligheten til å sammenligne skolene med hverandre. For det andre inneholdt modellene tydelige feil, som for eksempel et tak på et sykkelkur som bestod av 124 mm tykt, massivt stål. Dette gir store utslag på livsløpsvurderingene. I slike tilfeller ble materialmengdene endret til mer realistiske verdier.

3.2.3 Oppdeling av kompositter

Ved eksportering fra Solibri ble ikke alle kompositter brutt opp. For eksempel ble en vegg bestående av ulike sjikt ikke delt opp i de ulike materialene, men heller sortert som et eget materiale. For å løse dette problemet ble komposittene lokalisert i BIM-modellen for å finne tykkelsen til hvert sjikt. Herfra ble komposittene manuelt delt opp ved å legge til rader i Excel med materiale og tilhørende volum før den opprinnelige kompositten ble fjernet. Volumet ble funnet ved å multiplisere tykkelsen av sjiktet med arealet til bygningselementet. Dette fungerte for de aller fleste materialene, med unntak av lekter.

For å beregne volummengder av lekter vil ikke metoden over virke. Siden lekter ofte har en senteravstand på 600 mm vil tykkelsen av sjiktet multiplisert med arealet av bygningselementet ikke gi det korrekte volumet. Lekter på 48 mm og senteravstand 600 mm er beregnet til å være åtte prosent av mengden dersom senteravstanden blir sett bort fra, og hele arealet var dekket av lekter. For å korrigere for dette ble det originale volumet av lektene

omregnet med faktoren 0,08. Dette ble gjort både for massivtreoppbygningen og den alternative oppbygningen.

3.2.4 Transport i drift

Modul B8, transport i drift, plottes inn i en egen fane i One Click LCA. Her blir det lastet inn forhåndsdefinerte avstander og reisemåter basert på lokasjonen av bygningen. På grunn av lite detaljert data utenfor Oslo og Akershus er alle reiser knyttet til bolig, handel, skole, kontor og lignende slått sammen for de andre områdene. Dette gjør at de forhåndsdefinerte parameterne ikke er nøyaktige nok. Fra de lokale reisevaneundersøkelsene sammensatt av One Click LCA ble det kun tatt med gjennomsnittlig reiseavstand. Forhåndsdefinerte utslippsfaktorer og reisevaner i One Click LCA er basert på rapporter fra Transportøkonomisk institutt, LIPASTO og One Click LCA sine egne beregninger (Fridstrøm & Østli, 2016; Lipasto, 2016)

På grunn av lite detaljerte reisevaneundersøkelser ble skolene eller kommunene i denne undersøkelsen kontaktet for å få et mer realistisk bilde på hvordan elever kommer seg til skolen (M. Bjerkeset, personlig kommunikasjon, 28.03.2022; J.B. Johnsen, personlig kommunikasjon, 28.03.2022; E.-B. Y. Holen, personlig kommunikasjon, 28.03.2022; I. A. Skjervheim, personlig kommunikasjon, 29.03.2022). Svaret ble gitt i antall elever med tildelt skoleskyss. Det ble også diskutert med kontaktpersonene hvordan de resterende elevene kom seg til skolen. Dette viste seg i stor grad å være enten til fots eller med sykkel. Resultatene fra samtalene vises i Tabell 5. Det ble antatt forventede utslippstall knyttet til transportmetoder for de neste 60 årene, at alle ansatte kjørte bil og 190 åpningsdager i året.

Tabell 5. Oversikt over reisemetoder til de ulike skolene

Skole	Bil	Buss	Gående/syklende
Flesberg skole	13 %	64 %	23 %
Bamble ungdomsskole	13 %	46 %	41 %
Huseby skoler	16 %	6 %	78 %
Nordre Ål skole	13 %	3 %	84 %

3.2.5 Byggeplassdrift

Utslipp i forbindelse med drift av byggeplass rapporteres i modul A5 og har en egen inputfane i One Click LCA. På grunn av manglende informasjon ble det valgt å benytte forhåndsdefinerte utslipp beregnet fra prosjektets BTA. Utslippene er hentet fra rapporter

utført av One Click LCA som baserer seg på Ecoinvent og International Energy Agency (Wernet et al., 2016). Det ble valgt å benytte tall for byggeplass med 100 % biodiesel og samme utslipp pr. BTA for alle skolene i analysen. Dette er valgt blant annet fordi det fra 2022 er forbud mot bruk av fossil olje til oppvarming og tørking på norske byggeplasser (Miljødirektoratet, 2021). I tillegg har Miljødirektoratet utarbeidet en veileder for å stille krav til utslippsfrie og fossilfrie byggeplasser (Miljødirektoratet, 2022). Dette tyder på at fossilfrie byggeplasser er meget aktuelt i fremtiden.

3.2.6 Karbonatisering

Ifølge NS 3720 skal karbon som opptas i produktene, som ved karbonatisering, inkluderes i beregningene (Standard Norge, 2018b). I One Click LCA legges total masse av betong på prosjektet inn i en egen inputfane. Alle betongmengder for prosjektene er oppgitt i kubikkmeter. For å gjøre om fra volum til masse ble det benyttet tettheten oppgitt i EPDene, 2 400 kg/m³. Faktoren for karbonopptaket i One Click LCA er hentet fra FutureBuilt sin rapport om kriterier, regneregler og dokumentasjonskrav (Andresen et al., 2020).

Karbonatisering rapporteres i modul B1 Bruk, og har negativt fortegn, altså negative utslipp som er positivt for klimaet. Betongmengdene i de ulike oppbygningene av samme skole er forholdsvis lik. Det har derfor ikke stor påvirkning på sammenligningen, men bidrar til en mer komplett livsløpsvurdering. I presentasjonen av resultatene vil karbonatisering i hovedsak inkluderes når de totale utslippene presenteres, samtidig er det funnet hensiktsmessig å utelukke det i forbindelse med materialutslipp.

3.2.7 Annen input i One Click LCA

One Click LCA benytter informasjon om energiforbruk i beregningene. Ved beregning av klimagassutslipp i forbindelse med energiforbruk ble det innhentet energisimuleringer fra de respektive skolene (Asplan Viak AS, 2020a, 2020b, 2020c; Hent, 2021; Holmen, 2017; Norconsult AS, 2021a, 2021b; Sweco Norge AS, 2019). Resultatene er presentert i Tabell 6. I NS 3720 står det spesifisert hvilke to utslippsfaktorer som skal benyttes for elektrisitet. For å begrense omfanget av studien er det valgt å benytte treårsgjennomsnittet for Norge fra 2016 til 2018 i One Click LCA, som er 30,2 g/kWh. Utslippsfaktoren kommer fra beregninger gjort av One Click LCA basert på Ecoinvent og International Energy Agency (Wernet et al., 2016).

Tabell 6. Energiforbruk for alle skolene

Skole	Årlig energiforbruk, elektrisitet (kWh)	Årlig energiforbruk, fjernvarme (kWh)	Totalt årlig energiforbruk, (kWh)
Flesberg skole	960 574	0	960 574
Bamble ungdomsskole	867 932	0	867 932
Huseby skoler	468 694	383 477	852 171
Nordre Ål skole	491 774	303 805	795 579

Programvaren behøver i tillegg informasjon om arealer, beregningsperiode og transportavstander. Arealer ble hentet fra modeller, energirapporter og generell informasjon om skolene. Beregningsperiode er satt til 60 år, som beskrevet i NS 3720 (Standard Norge, 2018b). For å se hvilke utslag beregningsperiode gjør ble den endret i sensitivitetsanalysen. I studien ble det valgt å ta utgangspunkt i transportavstandene i One Click LCA. I sensitivitetsanalysen ble transportavstandene endret for å se hvilke utslag dette gjorde på det totale klimagassutslippet. Ved beregning av utslipp for transport av materialer, utslipp i forbindelse med konstruksjon av materialer og utslipp knyttet til slutten av livet benytter One Click LCA blant annet forhåndsdefinerte faktorer. For eksempel benyttes en faktor for kapp og svinn for ulike materialgrupper. Denne er, dersom ingen endringer gjøres, lik for massivtre og konstruksjonsvirke.

3.3 Gjennomføring av livsløpsvurderinger av de alternative oppbygningene

For å kunne si noe om hvordan massivtre påvirker klimagassutslipp og kostnader må det sammenlignes med et alternativ. For å gjøre dette ble innervegger, yttervegger, bæresystem og massivtreet i dekker byttet ut. Utvendig platekledning på Bamble ungdomsskole ble beholdt da denne stod for store utslipp, og ikke blir påvirket av massivtrebruk. Utenom disse endringene ble alt annet holdt likt, både energiforbruk, strømmiks, arealer, beregningsperiode, transportavstand og EPDer.

3.3.1 Alternative bygningsdeler

Alternativ oppbygning av bygningsdelene ble utarbeidet gjennom studie av ulike kilder. Vegger ble studert gjennom både ferdig oppbygde elementer i Archicad og gjennom eksisterende elementer i modellene. Innervegg 15 (IV15) og yttervegg 8 (YV08) fra Flesberg skole er benyttet som utgangspunkt. Det er antatt at disse veggene tilfredsstiller kravene som stilles til inner- og yttervegger for skoler. Tabell 7 viser materialer, sjikttykkelse og mengde

tilhørende de alternative inner- og ytterveggene. Innerveggene er konstruert med stendere og sviller av stål. Kubikkmeter pr. kvadratmeter (m^3/m^2) for de ulike oppbygningene er beregnet. For eksempel for en vegg med stendere ble treandelen i et tenkt snitt i en kvadratmeter vegg regnet ut og multiplisert med tykkelsen til sjiktet. Siden bæresystemet også blir endret trenger ikke disse veggene ta opp krefter på samme måte som tidligere.

Tabell 7. Oppbygning av de alternative inner- og ytterveggene

Ny innerveggkonstruksjon							
Materiale	Gips	OSB-plate	Isolasjon	OSB-plate	Gips	Stål	
Sjikttykkelse (mm)	13	12	100	12	13	-	
Mengde (m^3/m^2)	0,013	0,012	0,100	0,012	0,013	0,002	
Ny ytterveggkonstruksjon							
Materiale	Kledning	Lekt	Vind-sperre	Isolasjon	Stender og svill	Damp-sperre	Gips
Sjikttykkelse (mm)	19	23	12	198+48	198+48	1	13
Mengde (m^3/m^2)	0,019	0,002	0,012	0,217	0,029	0,000	0,013

Bæresystemet i den alternative konstruksjonen er av stål. For å finne et estimat på stålmengder ble prosjektene Nye Fjellhamar skole og Åsgård skole analysert. Modeller og tegninger fra Contiga ble innhentet for å beregne antall kg stål pr. kvadratmeter skole. Snittet av disse skolene, $15,5 \text{ kg/m}^2$, er benyttet som grunnlag i beregningene. I sensitivitetsanalysen ble endring i stålmengde analysert.

De alternative dekkene er hulldekker i betong. I prosessen med å finne riktige dimensjoner på disse ble både datablader for massivtredekker og hulldekker analysert, samt modellene for de ulike skolene (Norsk Treteknisk Institutt, 2006; Spenncon, u.å.). Analysen av datablader for både massivtredekker og hulldekker i betong viste at 200 mm tykt hulldekke hadde god nok kapasitet for både lastene og spennene det vil bli utsatt for. Det er kun massivtre delen av dekkene som blir erstattet. Resten forblir uendret.

3.3.2 Beregning av arealer

I arbeidet med å finne riktige mengder i den alternative konstruksjonen er arealene av bygningsdelene essensielt. For å finne arealer av innervegger og massivtredekker ble lister fra

Archicad eller Solibri skrevet ut og analysert. Ytterveggarealer og BRA ble beregnet på bakgrunn av energirapporter, energiattester og Solibri modeller (Asplan Viak AS, 2020a, 2020b, 2020c; Hent, 2021; Holmen, 2017; Norconsult AS, 2021a, 2021b; Sweco Norge AS, 2019). Aktuelle arealer for de ulike skolene er vist i Tabell 8.

Siden denne studien fokuserer på hvordan massivtre påvirker klimagassutslipp og livssyklus kostnader, var det viktig at det i hovedsak var massivtreet som ble byttet ut. Derfor ble vegger i betong beholdt. For å beregne hvor stort veggareal som skulle byttes ut ble areal av betongvegger funnet i modellene og trukket fra det totale veggarealet.

Tabell 8. Arealer som ligger til grunn for beregninger av de alternative oppbygningene.

	Flesberg skole	Bamble ungdomsskole	Huseby skoler	Nordre Ål skole
Areal innervegger (m ²)	6 850	14 509	12 335	9 097
Areal yttervegger (m ²)	4 295	6 277	4 187	3 566
Areal yttervegger i betong (m ²)	1 046	4 334	2 959	0
Areal massivtredekker (m ²)	2 695	5 296	9 090	3 624
BRA (m ²)	8 884	14 565	13 688	8 109
BTA (m ²)	9 222	15 359	15 000	8 400

3.3.3 Praktisk gjennomføring av livsløpsvurderinger av de alternative oppbygningene

One Click LCA har en funksjon som gjør det mulig å opprette ulike design innenfor samme prosjekt. Denne funksjonen ble benyttet for å lage de alternative oppbygningene uten massivtre. Ut fra beregnede mengder pr. kvadratmeter vist i Tabell 7 er totale mengder regnet ut på bakgrunn av arealer vist i Tabell 8. Etter å ha beregnet mengdene tilhørende de nye bygningselementene ble Excel-arket som ble brukt til importering redigert. Materialene som tilhører bygningselementene i oppbygningen av massivtre ble fjernet og erstattet med materialene tilhørende de alternative bygningselementene. Videre ble Excel-arket importert i One Click LCA på samme måte som tidligere. Det ble lagt vekt på at samme sett med EPDer ble valgt for alle analysene.

3.4 Gjennomføring av LCC-beregninger

I One Click LCA ble verktøyene «Klimagassutslipp, NS 3720» og «Livssyklus kostnad» benyttet. Ved å gjøre disse beregningene i samme design benytter One Click LCA bygningmaterialer fra livsløpsvurderingen som grunnlag i LCC-beregningene. Dermed

henter programvaren både mengder av de ulike bygningsmaterialene og EPDer, med tilhørende utskiftningsrater, fra vurderingen av klimagassutslipp.

For at utregningen av livssyklus kostnadene skal fullføres må en rekke LCC parametere defineres. Som nevnt har One Click LCA forhåndsdefinerte kostnadsparametere for ulike regioner, deriblant Norge. Med unntak av diskonteringsrenten ble de forhåndsinnstilte kostnadsparametere benyttet. Diskonteringsrenten ble satt til 3 %, slik den skal for LCC analyser som skal benyttes som sammenligningsgrunnlag (Standard Norge, 2020).

One Click LCA baserer LCC-analysene på ulike databaser. Materialpriser er basert på prishåndbøker og statistikker (AECOM, 2017; Arkitektenakmmern, 2014; Arkitektenkammern, 2014). Vedlikeholdskostnader bygger på utgivelser fra Whitestone Research Corporation (Lufkin et al., 2013; Lufkin et al., 2014). Både materialpriser og vedlikeholdskostnader er justert med hensyn til lønn og kostnadsindekser. Arbeidskostnadene er basert på den internasjonale arbeidsorganisasjonens tall fra 2016 om arbeidskostnader. Ved beregning av kostnader ved slutten av livet benyttes en prosentandel av kapitalkostnaden. Prosentatsen er basert på tidligere prosjekter (Masson, 2021).

I studien er det valgt å kun inkludere kostnader forbundet med bygningen, ikke andre kapital- eller driftskostnader. Hovedgrunnen til utelatelsen av andre kapital- og driftskostnader er at disse kostnadene i liten grad påvirkes av massivtrebruk. Modulene som er inkludert er konstruksjon (A0-A5), utskiftning/renovering (B4-B5), operativ energibruk (B6) og slutten på livet (C1-C4).

3.5 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalysen ble gjennomført ved å opprette ulike design i One Click LCA. Designet som skulle analyseres ble i sin helhet kopiert og lagt inn i det nye designet. Videre ble de aktuelle parameterne endret før beregningene ble utført på nytt. Sensitivitetsanalysen ble utført på både oppbygningen i massivtre og den alternative oppbygningen, avhengig av hvilken oppbygning det var mest hensiktsmessig å analysere. I sensitivitetsanalysen ble blant annet beregningsperiode, betongtype, produsent av krysslimt tre, resirkuleringsgrad av stål, transportavstander, stålmengder og type hulldekke analysert.

3.6 Kvalitetssjekk

For å kvalitetssikre analysene ble den innebygde kvalitetssjekken i One Click LCA benyttet. Denne analyserer mengder av bygningsmaterialer opp mot BTA. Dersom en importering ikke oppfylte kravene, ble listene analysert på nytt, feil ble funnet og listene ble importert på nytt. Alle skolene bestod denne kvalitetssjekken med karakter A eller B.

4 Case

I dette kapittelet presenteres de ulike skolene i studien hver for seg. Først presenteres bygningsinformasjon, funksjoner og fakta om oppbygningene av massivtre, altså slik skolene opprinnelig er bygget. Deretter presenteres mengder tilhørende den alternative oppbygningen for hver skole.

4.1 Flesberg skole



Figur 2. Utklipp fra Solibri, Flesberg skole

Flesberg skole er en barne- og ungdomsskole på Stevningsmoen som ble tatt i bruk til skolestart 2019. Byggeprosjektet består av skolebygning, idretts- og svømmehall. Den er bygget for halvannen parallell, altså 15 klasser, og er dimensjonert for 420 elever. Et utklipp av modellen vises i Figur 2. Byggherre var Kongsberg Kommunale Eiendom KF og totalentreprenør var Backe Stor-Oslo. Prosjektkostnad er oppgitt til 261 mill. kr. eks. mva. Prosjektinformasjon er oppsummert i Tabell 9 (Joelson, 2019).

Tabell 9. Prosjektinformasjon Flesberg skole, informasjon hentet fra (Joelson, 2019)

Flesberg skole	
Type skole	Barne- og ungdomsskole
Fasiliteter	Idrettshall og svømmehall
Byggherre	Kongsberg Kommunale Eiendom KF
Entreprenør	Backe Stor-Oslo
Arkitekt	SPINN Arkitekter
Prosjektkostnad	261 mill. kr. eks. mva.
Ferdigstillelsesdato	August 2019
Areal	8 884 m ² (BRA)
Antall etasjer	2
Antall elever	420

4.1.1 Oppbygning i massivtre

Prosjektet har et totalt BRA på 9 222 m², består av to undervisningsfløyer, idrettshall og svømmehall. Alle fløyene er knyttet sammen i sentralrommet med amfi innenfor hovedinngangen. Flesberg skole har et unikt svømmehallkonsept. Med unntak av sålen i lavkarbonbetong er hele hallen i massivtre. I taket er det benyttet 26 meter lange og opptil 2,3 meter høye bjelker i massivtre. Idrettshallen inneholder tribuner, garderobeanlegg og håndballbane på 25x45 meter (Flesberg kommune, u.å.; Joelson, 2019).

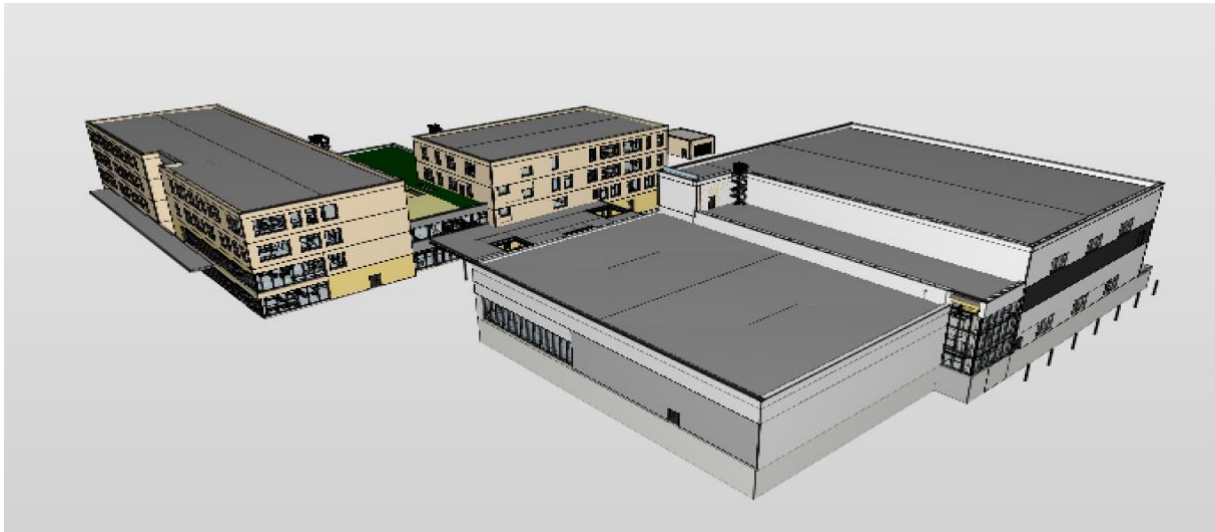
4.1.2 Alternativ oppbygning

I den alternative oppbygningen av Flesberg skole ble innervegger, yttervegger som ikke bestod av betong, bæresystem og massivtreet i dekker fjernet. Glass i yttervegger ble beholdt. Fjernede vegger ble erstattet med oppbygningene i kapittel 3.3.1. Totale materialmengder for veggene i den alternative oppbygningen er vist i Tabell 10. I tillegg ble det satt opp bæresystem som beskrevet i kapittel 3.3.1. Dette resulterte i 19,1 m³ med stål. Massivtredekker ble erstattet med 2 695 m² hulldekker.

Tabell 10. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Flesberg skole

Mengder innervegger Flesberg skole						
Materiale	Isolasjon		Gips	OSB-plate		Stål
Mengde (m ³)	685		178	164		14
Mengder yttervegger Flesberg skole						
Materiale	Kledning	Lekt	Vindsperre	Isolasjon	Gips	Trestender
Mengde (m ³)	62	6	39	705	42	125

4.2 Bamble ungdomsskole



Figur 3. Utklipp fra Solibri, Bamble ungdomsskole

Bamble ungdomsskole er en ungdomsskole plassert på Grasmyr i Bamble kommune. Skolen ble tatt i bruk i august 2021 og er en samlokalisering av de fem tidligere ungdomsskolene i kommunen. I tillegg til undervisningslokaler er det bygget to idrettshaller og en svømmehall. Normal kapasitet på skolen er 540 elever og Figur 3 viser utklipp av modellen. Byggherre var Bamble kommune og totalentreprenør var Backe Vestfold Telemark. Kontraktsummen er oppgitt til 375 mill. kr. eks. mva. Ytterligere prosjektinformasjon kan oppdrives i Tabell 11 (Backe Vestfold Telemark, u.å.; Aarhus, 2021).

Tabell 11. Prosjektinformasjon Bamble ungdomsskole, informasjon hentet fra (Backe Vestfold Telemark, u.å.; Aarhus, 2021)

Bamble ungdomsskole	
Type skole	Ungdomsskole
Fasiliteter	To idrettshaller, svømmehall og kultursal
Byggherre	Bamble kommune
Entreprenør	Backe Vestfold Telemark
Arkitekt	SPINN Arkitekter
Kontraktssum	375 mill. kr. eks. mva.
Ferdigstillelsesdato	August 2021
Areal	14 565 m ² (BRA)
Antall etasjer	4
Antall elever	540

4.2.1 Oppbygning i massivtre

Totalt har prosjektet et bruttoareal på 14 800 m² og består av to deler, et skolebygg og et idrettsbygg. Skolebygget inneholder også en kulturdel, som blant annet inneholder sal med 280 sitteplasser. Idrettsbygget inneholder to flerbrukshaller bygget oppå hverandre og et 25 meters basseng. Skolebygget er konstruert med massivtre i yttervegger, dekker og i en del innervegger. Søyler og dragere er i limtre. Idrettshallen består av mer betong, selv om den øverste idrettshallen er i KL-tre. Svømmehallen er også bygget i betong. Taket i både idrettshallen og svømmehallen består av 28 meter lange og to meter høye limtretragere (Backe Vestfold Telemark, u.å.; Aarhus, 2021).

4.2.2 Alternativ oppbygning

I utarbeidelse av den alternative oppbygningen av Bamble ungdomsskole ble innervegger, yttervegger som ikke bestod av betong, bæresystem og dekker i massivtre fjernet. Den originale platekledningen og glass ble beholdt. Amfiet av massivtre ble ikke byttet ut, da dette ikke inngår i denne studien. Mengdene tilhørende veggkonstruksjonene i den alternative oppbygningen vises i Tabell 12. Bæresystemet ble erstattet med 32 m³ stål. Arealet av hulldekker ble beregnet til 5 296 m².

Tabell 12. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Bamble ungdomsskole

Mengder innervegger Bamble ungdomsskole						
Materiale	Isolasjon		Gips	OSB-plate		Stål
Mengde (m ³)	1 451		377	348		29
Mengder yttervegger Bamble ungdomsskole						
Materiale	Kledning	Lekt	Vindsperre	Isolasjon	Gips	Trestender
Mengde (m ³)	-	4	23	422	25	56

4.3 Huseby skoler



Figur 4. Utklipp fra Solibri, Huseby skoler

Huseby skoler består av både barne- og ungdomsskole og erstatter tre tidligere skoler. I tillegg har Huseby skoler et tegnspråklig grunnskoletilbud. Skolene ble åpnet i oktober 2021.

Barneskolen og ungdomsskolen har plass til henholdsvis 700 og 450 elever. Skolene er bygget i passivhusstandard, har energimerke A og er klassifisert som BREEAM *Very Good*.

Utklipp av modellen presenteres i Figur 4. Byggherre var Trondheim kommune og totalentreprenør var HENT. Kontraktssummen er oppgitt til 335 mill. kr. eks. mva. En oppsummering av prosjektinformasjonen er presentert i Tabell 13 (Gravås, 2021; Larssen, 2021; Trenytt, 2021).

Tabell 13. Prosjektinformasjon Huseby skoler, informasjon hentet fra (Gravås, 2021; Larssen, 2021; Trenytt, 2021)

Huseby skoler	
Type skole	Barne- og ungdomsskole
Fasiliteter	Aula
Byggherre	Trondheim kommune
Entreprenør	HENT
Arkitekt	Filter Arkitekter og SPINN arkitekter
Kontraktssum	335 mill. kr. eks. mva.
Ferdigstillelsesdato	Oktober 2021
Areal	13 688 m ² (BRA)
Antall etasjer	3 og 4
Antall elever	1 150

4.3.1 Oppbygning av massivtre

Samlet sett har skolene et bruttoareal på omtrent 15 000 m² og består av tre fløyer.

Barneskolen holder til i den sørlige, tre etasjer høye fløya. Ungdomsskolen disponerer fire etasjer i delen lengst i nord. De to fløyene blir bundet sammen av den midtre fløya som blant annet inneholder administrasjon og lærerarbeidsplasser. Skolen er bygget i massivtre og de fleste overflater er i tre. Overflatene består av massivtre, tresjiktplater, spilepanel og finerplater (Gravås, 2021; Larssen, 2021; Trenytt, 2021).

4.3.2 Alternativ oppbygning

I den alternative oppbygningen av Huseby skoler ble innervegger, yttervegger som ikke bestod av betong, bæresystem og massivtre i dekker fjernet. Glass ble beholdt. Veggene ble erstattet med mengdene vist i Tabell 14. Bæresystemet i den alternative oppbygningen består av 31 m³ stål og hulldekkearealet er 9 090 m².

Tabell 14. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Huseby skoler

Mengder innervegger Huseby skoler						
Materiale	Isolasjon		Gips	OSB-plate		Stål
Mengde (m ³)	1 234		321	296		25
Mengder yttervegger Huseby skoler						
Materiale	Kledning	Lekt	Vindsperre	Isolasjon	Gips	Trestender
Mengde (m ³)	23	2	15	266	16	36

4.4 Nordre Ål skole



Figur 5. Utklipp fra Solibri, Nordre Ål skole

Nordre Ål skole er den største barneskolen i Lillehammer. Den erstatter to tidligere skoler og stod klar til skolestart i 2019. Skolen har 24 klasserom og er dimensjonert for 672 elever. Figur 5 viser et utklipp fra modellen. Byggherre, Lillehammer kommune, hadde et mål om utstrakt bruk av tre i prosjektet, og samarbeidet tett med Veidekke Entreprenør Indre Østland. Kontraktssummen er oppgitt til 262 mill. kr. eks. mva. Ytterligere prosjektinformasjon er presentert i Tabell 15 (Hindklev, 2019; Holen, 2022).

Tabell 15. Prosjektinformasjon Nordre Ål skole, informasjon hentet fra (Hindklev, 2019; Holen, 2022)

Nordre Ål skole	
Type skole	Barneskole
Fasiliteter	Flerbrukshall
Byggherre	Lillehammer kommune
Entreprenør	Veidekke Entreprenør Indre Østland
Arkitekt	VIS-Å-VIS
Kontraktssum	262 mill. kr. eks. mva.
Ferdigstillelsesdato	Skolestart 2019
Areal	8 109 m ² (BRA)
Antall etasjer	3
Antall elever	524

4.4.1 Oppbygning av massivtre

Nordre Ål skole har et bruttoareal på 8 400 m² over tre plan, og inkluderer også en flerbrukshall. Limtredegerne i flerbrukshallen er 27 meter lange og 2,5 meter høye. I den nederste etasjen er det benyttet betong, samt noe hulldekker. Utenom dette er det i stor grad benyttet tre, med unntak av heissjakt og trappehus i betong. Utvendig er bygget kledd i ubehandlet malmfuru med innslag av fasadeplater i ulike farger (Hindklev, 2019; Holen, 2022).

4.4.2 Alternativ oppbygning

I opprettelsen av den alternative oppbygningen av Nordre Ål skole ble inner- og yttervegger, bæresystem, og massivtredekker fjernet. Glass ble beholdt. Inner- og yttervegger ble erstattet med mengdene i Tabell 16. Bæresystemet ble byttet ut med 17,4 m³ stål og massivtredekkene ble endret til 3 624 m² hulldekker.

Tabell 16. Materialmengder tilhørende veggene i den alternative oppbygningen av Nordre Ål skole

Mengder innervegger Nordre Ål skole						
Materiale	Isolasjon		Gips	OSB-plate		Stål
Mengde (m ³)	910		237	218		18
Mengder yttervegger Nordre Ål skole						
Materiale	Kledning	Lekt	Vindsperre	Isolasjon	Gips	Trestender
Mengde (m ³)	68	7	43	774	46	103

5 Resultater

I kapittelet som følger vil resultatene fra analysene bli presentert. Først vil klimagassutslipp og livssyklus kostnader for begge oppbygningene fra alle skolene bli lagt frem. Deretter vil resultatene fra de ulike skolene sammenstilles for å forsøke og se trender. For å få mer sammenlignbare tall er klimagassutslippene normalisert ved å oppgi de i kg CO₂-e/m². Normaliseringen er gjort på bakgrunn av BRA.

I tilfellene der det henvises til totale utslipp inkluderer dette modulene A1-A5, B1, B4-B6, B8 og C1-C4. Der det refereres til materialutslipp inkluderer modulene A1-A5, B4-B5 og C1-C4. I tillegg er det verdt å understreke at både negative utslipp og reduksjon i utslipp er positivt for klimaet.

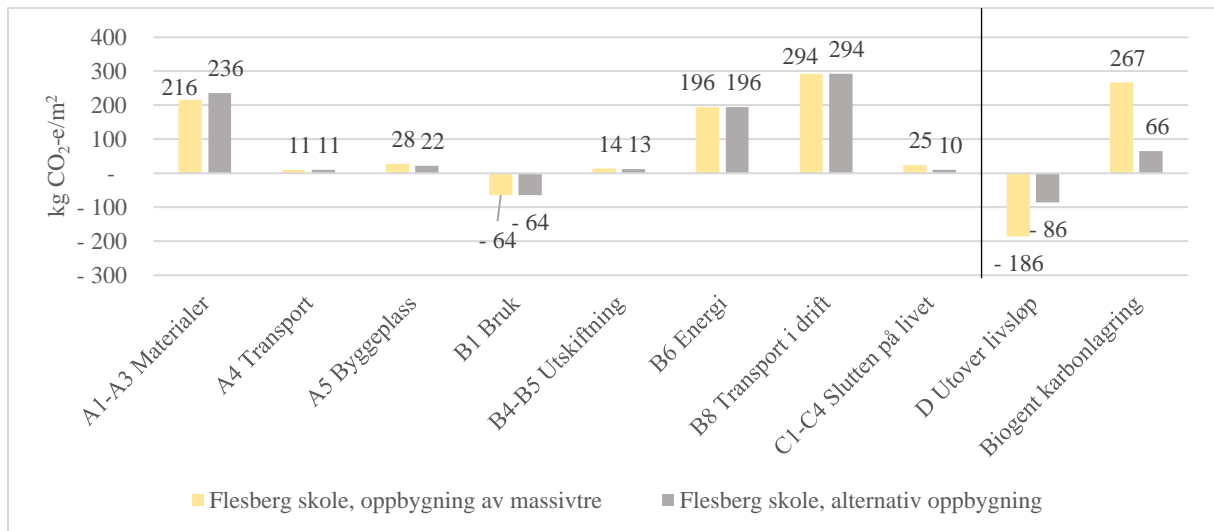
5.1 Flesberg skole

Videre følger resultatene fra Flesberg skole. Grunnlaget for beregningene er lagt ved i vedlegg A. Først presenteres utslippene tilhørende hver LCA-modul, så for hver bygningsdel og til slutt livssyklus kostnadene.

5.1.1 Resultater for hver modul

Massivtreoppbygningen av Flesberg skole har et beregnet totalutslipp på 719 kg CO₂-e/m². Den alternative oppbygningen har til sammenligning 717 kg CO₂-e/m². Materialutslippene er 294 og 292 kg CO₂-e/m² for henholdsvis oppbygning i massivtre og den alternative oppbygningen. I Figur 6 fremstilles utslippene forbundet med hver LCA-modul. De største ulikhetene mellom de to oppbygningene er modulene A1-A3, A5 og C1-C4. Modulene A1-A3 reduseres med 20 kg CO₂-e/m² ved oppbygning i massivtre, samtidig som A5 og C1-C4 øker med henholdsvis 6 og 15 kg CO₂-e/m². Det er også verdt å nevne at utskiftning, B4-B5, øker med 1 kg CO₂-e/m² ved valg av massivtreoppbygning.

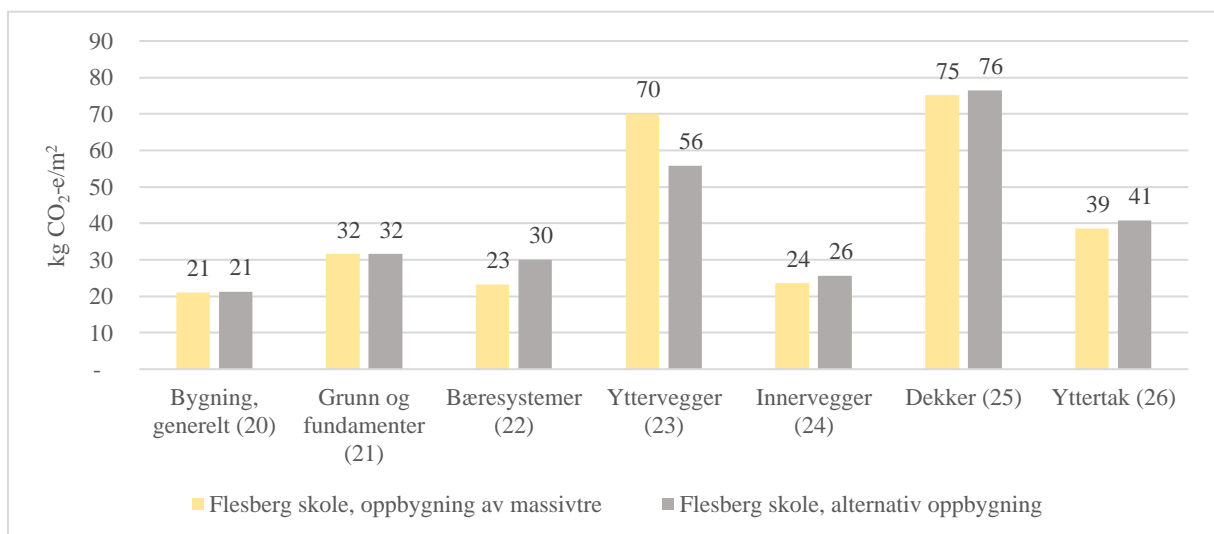
Større forskjell vises likevel i modul D. De positive konsekvensene som skjer utenfor systemgrensene øker med 100 kg CO₂-e/m² ved oppbygning i massivtre sammenlignet med den alternative. Dette vises i Figur 6. Modul D er ikke tatt med i beregningene av de originale utslippene. Biogent karbonlagring for de ulike oppbygningene av Flesberg skole er inkludert i Figur 6. Oppbygningen i massivtre og den alternative oppbygningen lagrer henholdsvis 267 og 66 kg CO₂-e/m². Økning ved valg av massivtre er 201 kg CO₂-e, altså 300 %.



Figur 6. Kg CO₂-e/m² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Flesberg skole

5.1.2 Resultater for hver bygningsdel

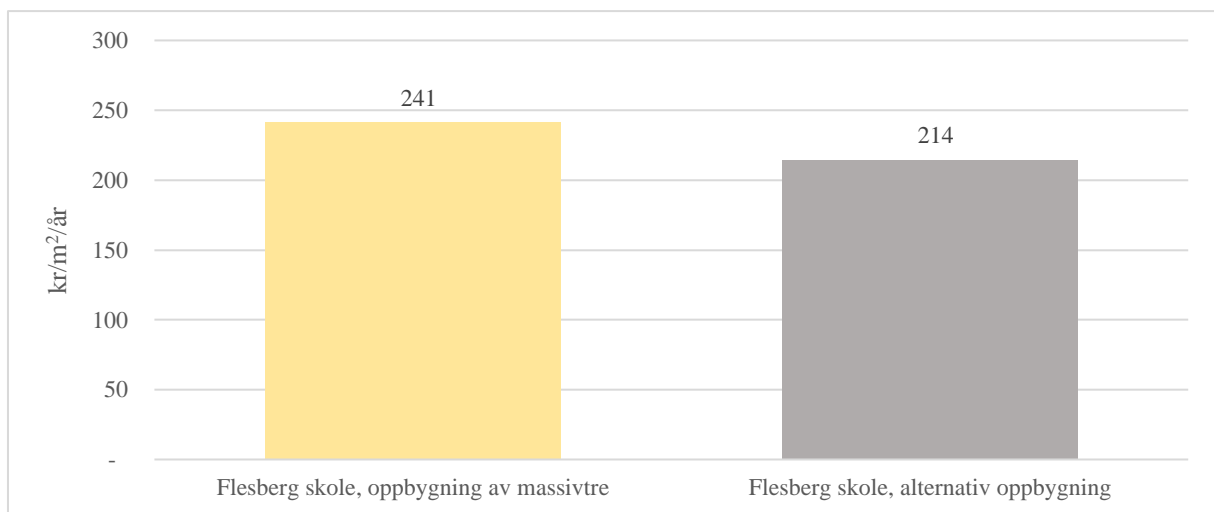
Utslippene knyttet til hver bygningsdel er presentert i Figur 7. Figuren viser at det er knyttet størst utslipp til yttervegger og dekker. De største forskjellene mellom de to oppbygningene er utslipp knyttet til bæresystem og yttervegger. Massivtreoppbygningen har 7 kg CO₂-e/m² lavere utslipp knyttet til bæresystem sammenlignet med den alternative oppbygningen. For yttervegger øker utslippene med 14 kg CO₂-e/m². Det skjer også små endringer for utslippene i forbindelse med innervegger og dekker, en reduksjon på henholdsvis 2 og 1 kg CO₂-e/m² for oppbygningen i massivtre.



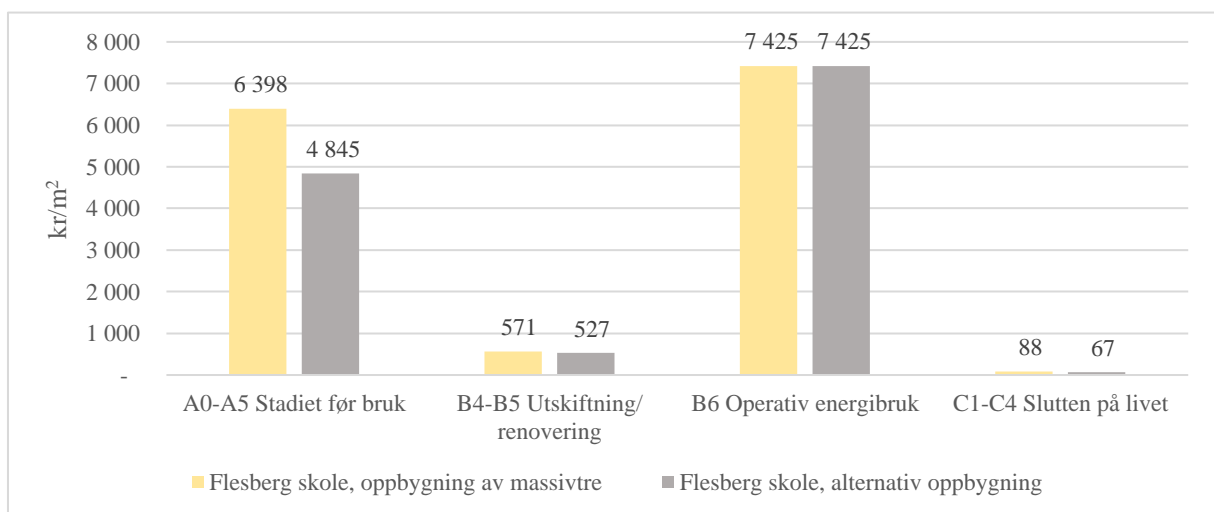
Figur 7. Kg CO₂-e/m² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Flesberg skole

5.1.3 Livssyklus kostnader

Figur 8 presenterer livssyklus kostnadene for de ulike oppbygningene pr. kvadratmeter pr. år for en beregningsperiode på 60 år. Massivtreoppbygningen har en beregnet kostnad på 241 kr/m²/år, samtidig som den alternative oppbygningen har 214 kr/m²/år. Dette vil si at livssyklus kostnadene for oppbygningen i massivtre er 13 % dyrere enn den alternative. I Figur 9 fremstilles kostnadene mer detaljert. Her kommer det frem at det er kostnadsøkninger i alle modulene som blir påvirket av massivtre i denne studien. Den største kostnadsøkningen skjer i modulene A0-A5 hvor kostnadene øker med 1 553 kr/m². For B4-B5 og C1-C4 synker kostnadene med henholdsvis 44 og 21 kr/m².



Figur 8. Livssyklus kostnader for Flesberg skole i kr/m²/år for begge oppbygninger



Figur 9. Livssyklus kostnader i kr/m² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Flesberg skole

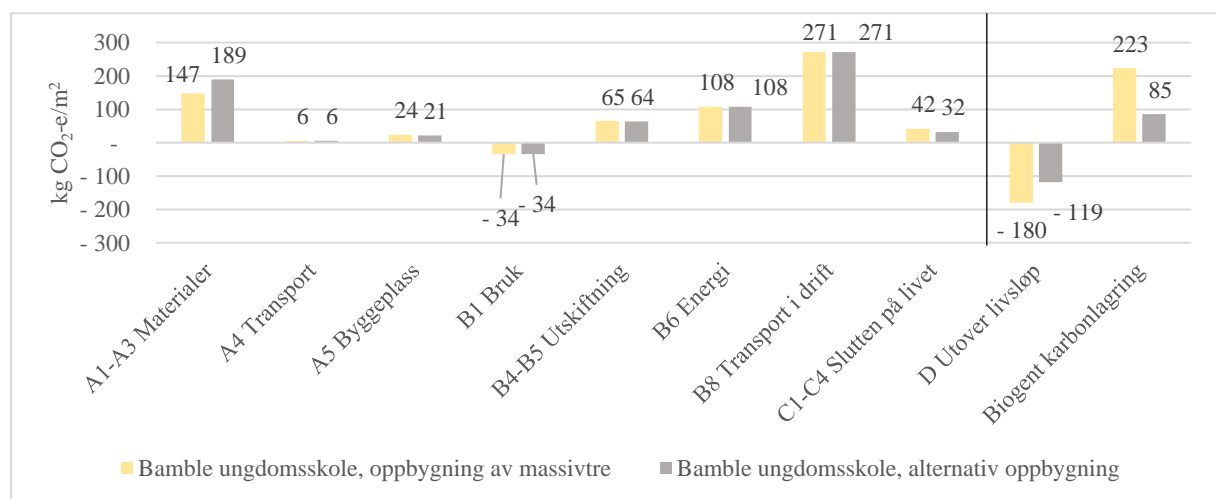
5.2 Bamble ungdomsskole

Videre presenteres resultatene fra Bamble ungdomsskole. Grunnlaget for beregningene er lagt ved i vedlegg B. Først presenteres utslipp for hver modul, deretter for hver bygningsdel og til slutt livssyklus kostnadene.

5.2.1 Resultater for hver modul

Massivtreoppbygningen av Bamble ungdomsskole har et beregnet klimagassutslipp på 629 kg CO₂-e/m². Dette er lavere enn for den alternative oppbygningen som har 658 kg CO₂-e/m². Materialutslippene er henholdsvis 284 og 314 kg CO₂-e/m². I Figur 10 presenteres klimagassutslippene forbundet med hver modul. Oppbygningen i massivtre har 42 kg CO₂-e/m² lavere utslipp til produksjon av materialer (A1-A3) enn den alternative oppbygningen. Samtidig øker utslippene for konstruksjon (A5), utskiftning (B4-B5) og slutten på livet (C1-C4) med henholdsvis 3, 1 og 10 kg CO₂-e/m².

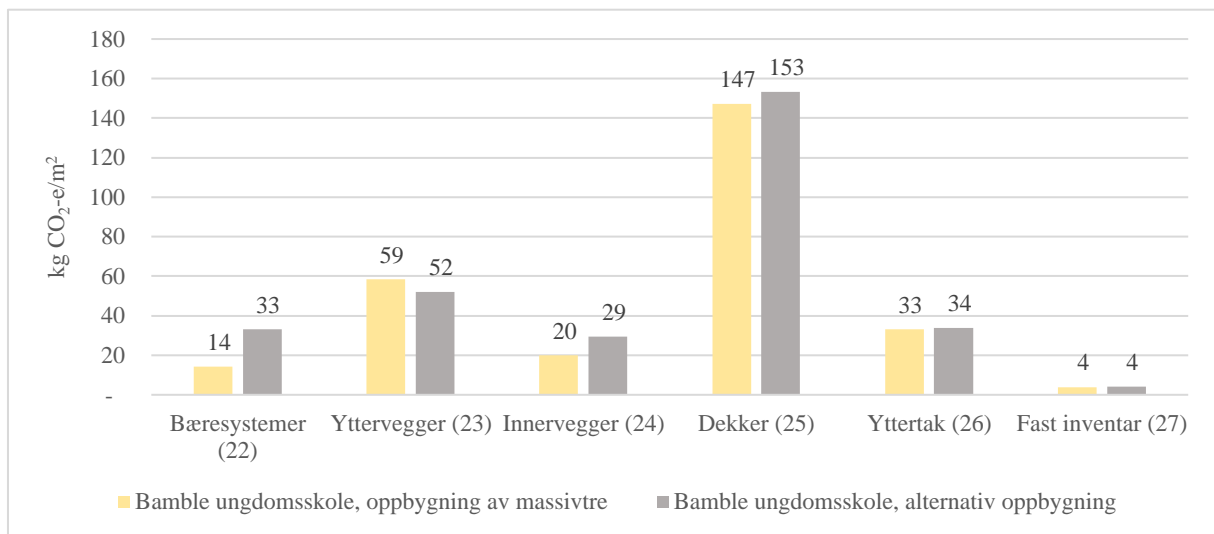
De positive virkningene i modul D endres betydelig. Ved massivtreoppbygning er de positive virkningene 61 kg CO₂-e/m² høyere enn for den alternative oppbygningen, Dette er en økning på 50 %. Karbon lagret i de to oppbygningen av Bamble ungdomsskole er også presentert i Figur 10. For massivtreoppbygningen blir det lagret 223 kg CO₂-e/m². Tilsvarende tall for den alternative oppbygningen er 85 kg CO₂-e/m². Ved valg av oppbygningen i massivtre øker lagringen av karbon med 138 kg CO₂-e/m², eller 162 %. Hverken modul D eller biogent karbonlagring er inkludert i det totale utslippstallet, men vises i Figur 10.



Figur 10. Kg CO₂-e/m² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Bamble ungdomsskole

5.2.2 Resultater for hver bygningsdel

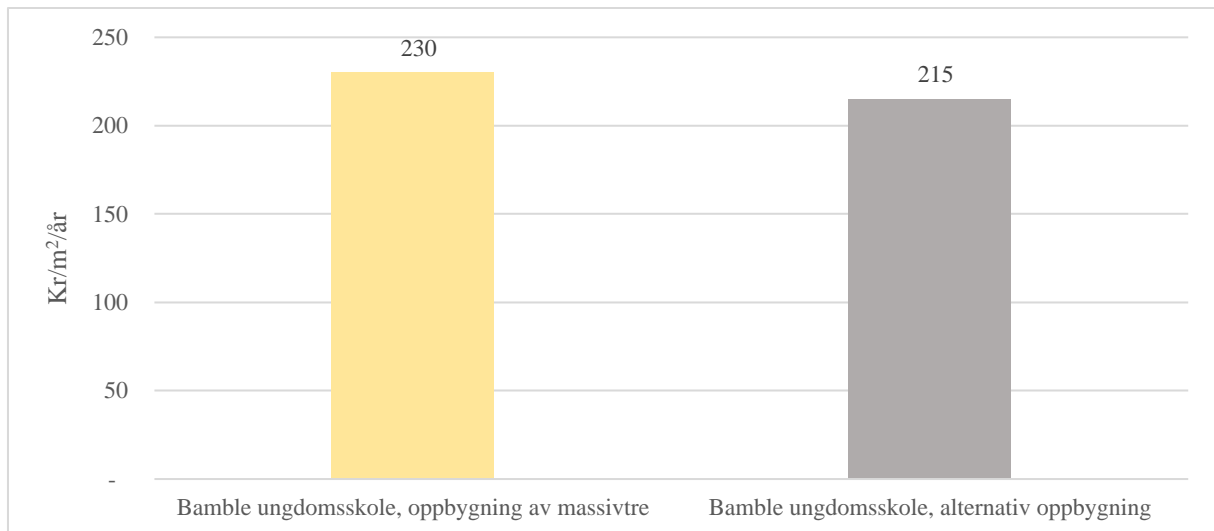
Figur 11 presenterer klimagassutslippene forbundet med de ulike bygningsdelene. Det er knyttet klart mest utslipp til dekker, deretter yttervegger. Oppbygningen i massivtre har 7 kg CO₂-e/m² høyere utslipp enn den alternative oppbygningen knyttet til yttervegger. For innervegger er reduksjonen på 9 kg CO₂-e/m². Utslippene knyttet til bæresystem reduseres med 19 kg CO₂-e/m² ved massivtreoppbygning fremfor den alternative. Reduksjonen for dekker er 6 kg CO₂-e/m².



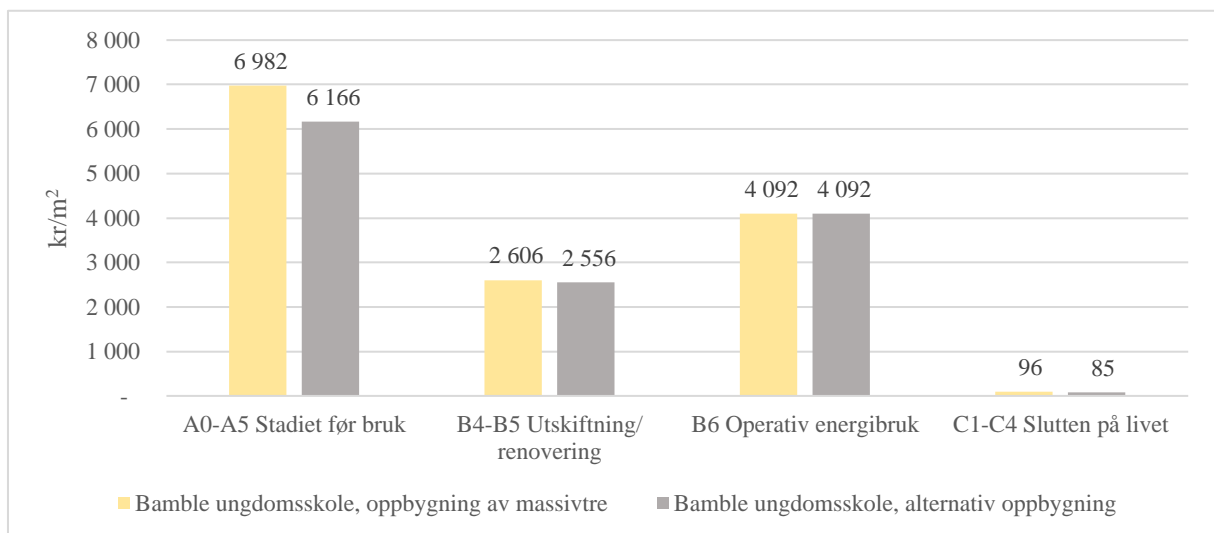
Figur 11. Kg CO₂-e/m² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Bamle ungdomsskole

5.2.3 Livssyklus kostnader

I Figur 12 vises livssyklus kostnadene forbundet med de ulike oppbygningene av Bamle ungdomsskole. Kostnadene til massivtreoppbygningen er beregnet til 230 kr/m²/år. Den alternative oppbygningen er beregnet til 215 kr/m²/år. Det vil si at massivtreoppbygningen har 7 % høyere kostnader. Figur 13 presenterer kostnadene fordelt på LCA-modulene. Figuren viser at den alternative oppbygningen har lavere kostnader i alle moduler som i denne studien blir påvirket av massivtrebruk. Oppbygningen i massivtre har 816 kr/m² høyere kostnader i A0-A5. For B4-B5 og C1-C4 er økningen henholdsvis 50 og 11 kr/m².



Figur 12. Livssyklus kostnader for Bamble ungdomsskole i kr/m²/år for begge oppbygninger



Figur 13. Livssyklus kostnader i kr/m² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Bamble ungdomsskole

5.3 Huseby skoler

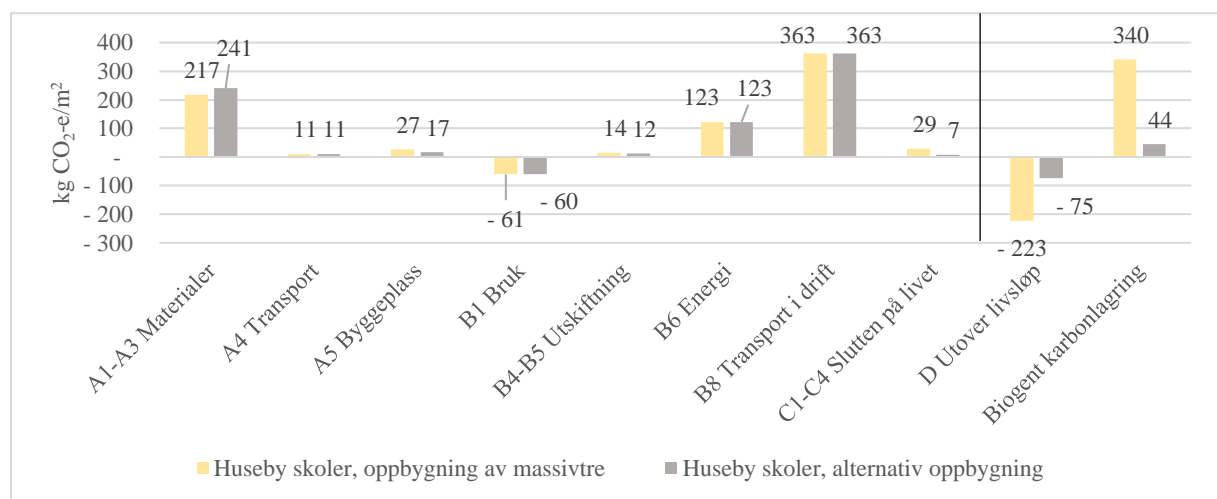
I denne delen blir resultatene fra Huseby skoler presentert. Grunnlaget for beregningene er gjengitt i vedlegg C. Først blir klimagassutslippene til modulene og bygningsdelene presentert, deretter livssyklus kostnadene.

5.3.1 Resultater for hver modul

Massivtreoppbygningen av Huseby skoler har et beregnet klimagassutslipp på 724 kg CO₂-e/m². Den alternative oppbygningen har 714 kg CO₂-e/m² i beregnet utslipp.

Materialutslippene til oppbygningene er 299 og 289 kg CO₂-e/m² for henholdsvis massivtreoppbygningen og den alternative oppbygningen. I Figur 14 presenteres utslippene forbundet med hver modul. Modulene med store forskjeller i utslipp er A1-A3, som reduseres med 24 kg CO₂-e/m² ved oppbygning i massivtre og C1-C4 som øker med 22 kg CO₂-e/m². I tillegg øker A5 og B4-B5 med henholdsvis 10 og 2 kg CO₂-e/m² ved valg av massivtreoppbygningen.

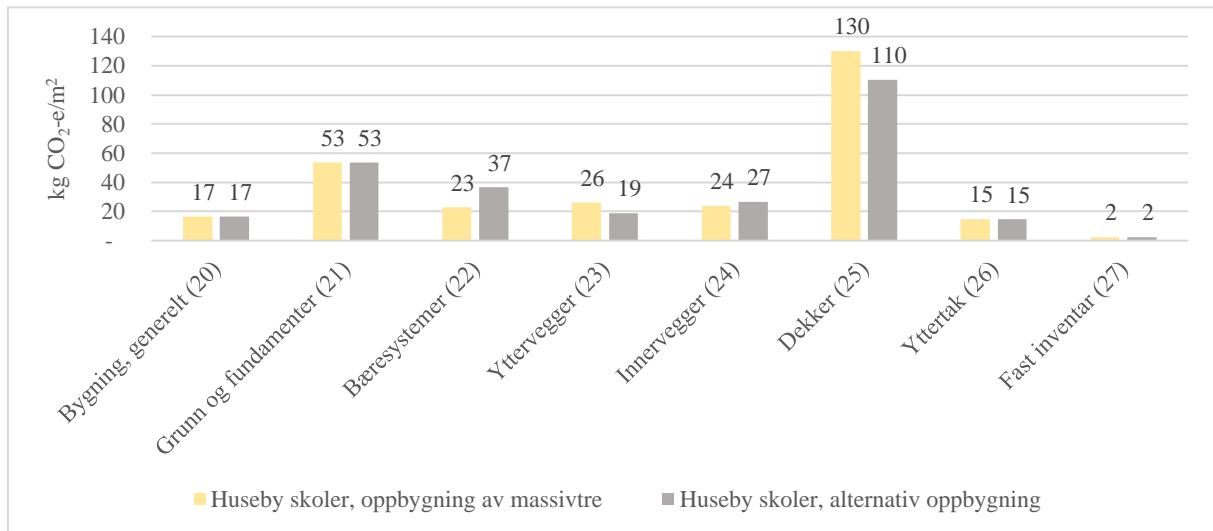
Den største endringen for modulene A-D skjer likevel i modul D. Her øker de positive virkningene med 148 kg CO₂-e/m² ved oppbygning i massivtre. Dette er en økning på 197 %. I Figur 14 vises biogent karbonlagring forbundet med oppbygningene av Huseby skoler. Massivtreoppbygningen binder 340 kg CO₂-e/m². Den alternative oppbygningen binder til sammenligning 44 kg CO₂-e/m². Dette gir en differanse på 296 kg CO₂-e/m². Oppbygningen i massivtre binder 673 % mer.



Figur 14. Kg CO₂-e/m² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Huseby skoler

5.3.2 Resultater for hver bygningsdel

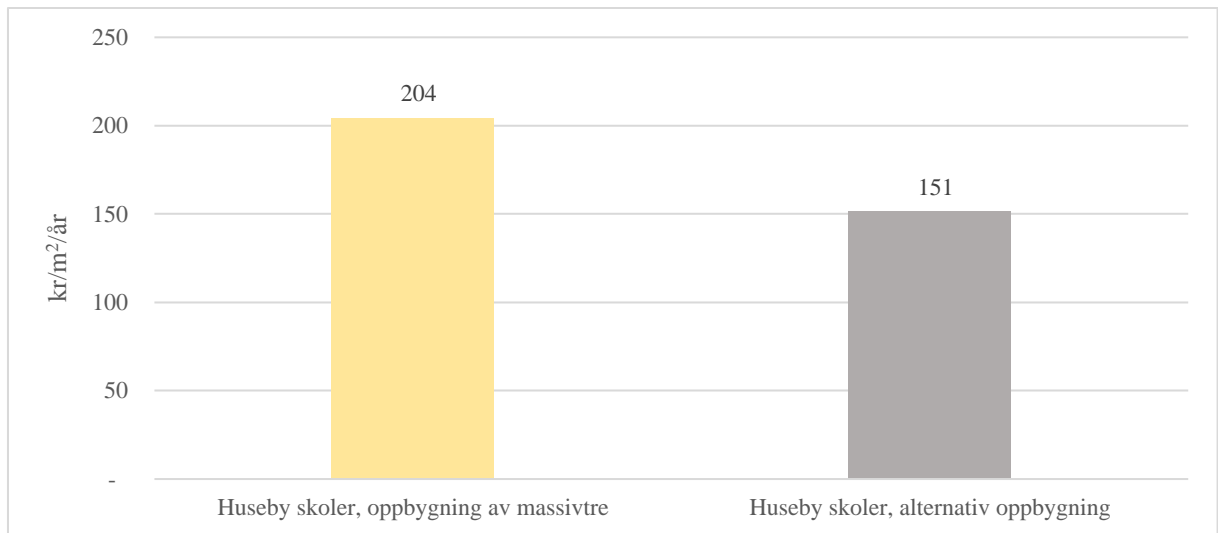
Klimagassutslippene forbundet med hver bygningsdel blir presentert i Figur 15. Det er knyttet klart mest utslipp til dekker. For oppbygningen i massivtre synker utslippene til bæresystem og innervegger med henholdsvis 14 og 3 kg CO₂-e/m², sammenlignet med den alternative oppbygningen. For yttervegger og dekker stiger utslippene med 7 og 20 kg CO₂-e/m².



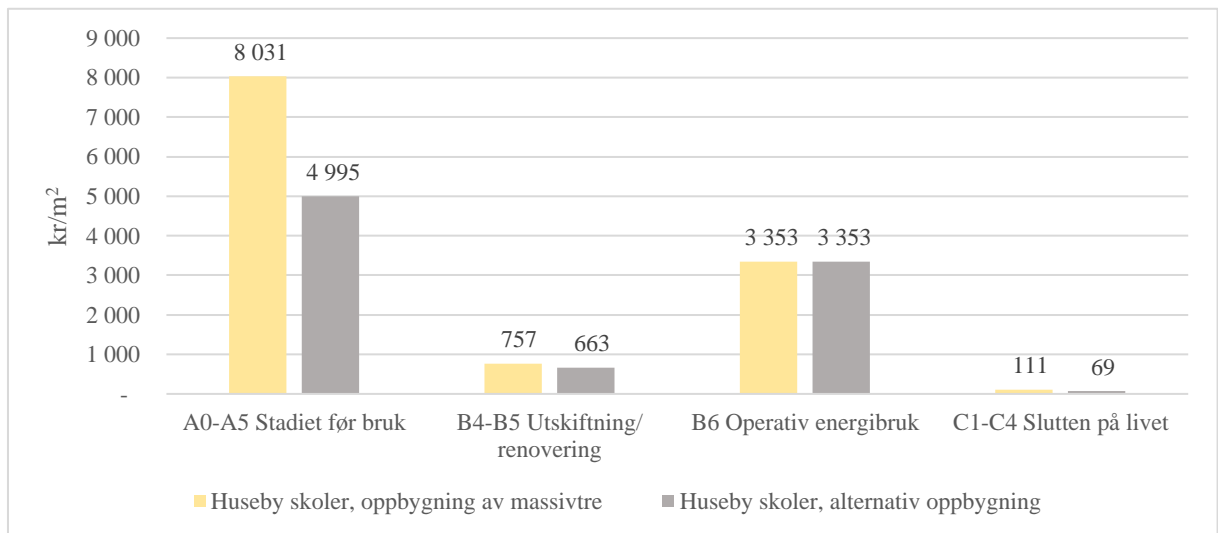
Figur 15. Kg CO₂-e/m² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Huseby skoler

5.3.3 Livssyklus kostnader

Livssyklus kostnadene til oppbygningene av Huseby skoler vises i Figur 16. Beregnet kostnad for massivtreoppbygningen er 204 kr/m²/år. For den alternative oppbygningen er tilsvarende kostnad 151 kr/m²/år, altså 35 % høyere for oppbygningen i massivtre. I Figur 17 blir livssyklus kostnadene presisert ytterligere. A0-A5 øker med 3 036 kr/m² ved valg av massivtreoppbygning. B4-B5 og C1-C4 øker med henholdsvis 94 og 42 kr/m² for massivtreoppbygningen.



Figur 16. Livssyklus kostnader for Huseby skoler i kr/m²/år for begge oppbygninger



Figur 17. Livssyklus kostnader i kr/m² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Huseby skoler

5.4 Nordre Ål skole

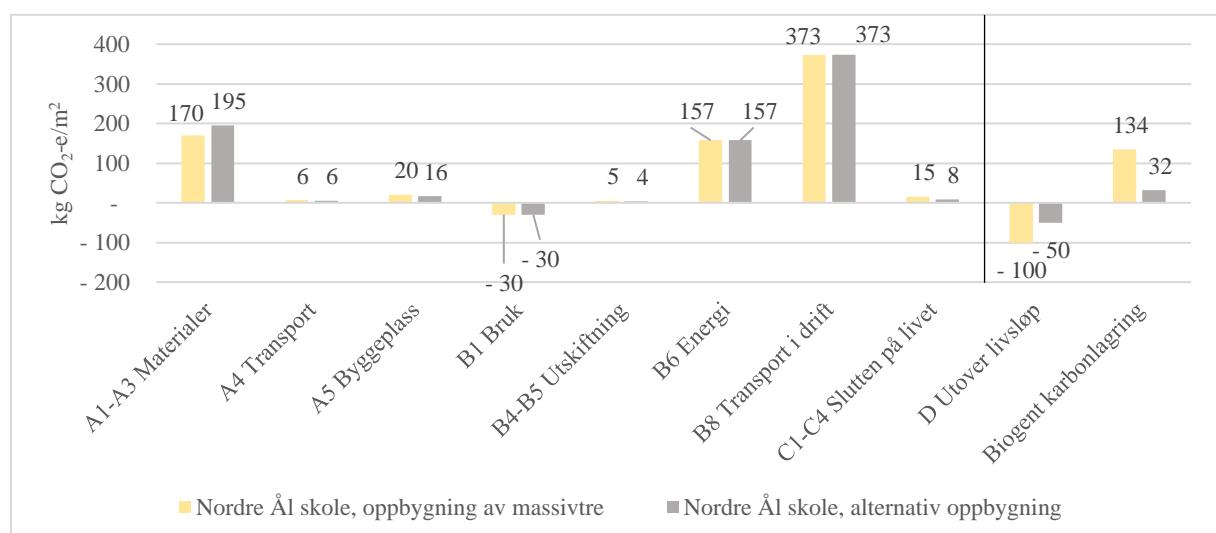
I dette delkapittelet presenteres resultatene fra Nordre Ål skole. Først blir klimagassutslippene forbundet med moduler og bygningsdeler presentert, så til slutt livssyklus kostnader.

5.4.1 Resultater for hver modul

Massivtreoppbygningen av Nordre Ål skole er beregnet til å ha et klimagassutslipp på 716 kg CO₂-e/m². For den alternative oppbygningen er tilsvarende tall 731 kg CO₂-e/m².

Materialutslippene for oppbygning i massivtre og alternativ oppbygning er henholdsvis 215 og 230 kg CO₂-e/m². Figur 18 viser utslippene forbundet med modulene. Markante endringene skjer i modul A1-A3 og C1-C4. Modulene A1-A3 reduseres med 25 kg CO₂-e/m², samtidig som C1-C4 øker med 7 kg CO₂-e/m² ved valg av massivtreoppbygningen. A5 og B4-B5 øker med henholdsvis 4 og 1 kg CO₂-e/m² i samme tilfelle.

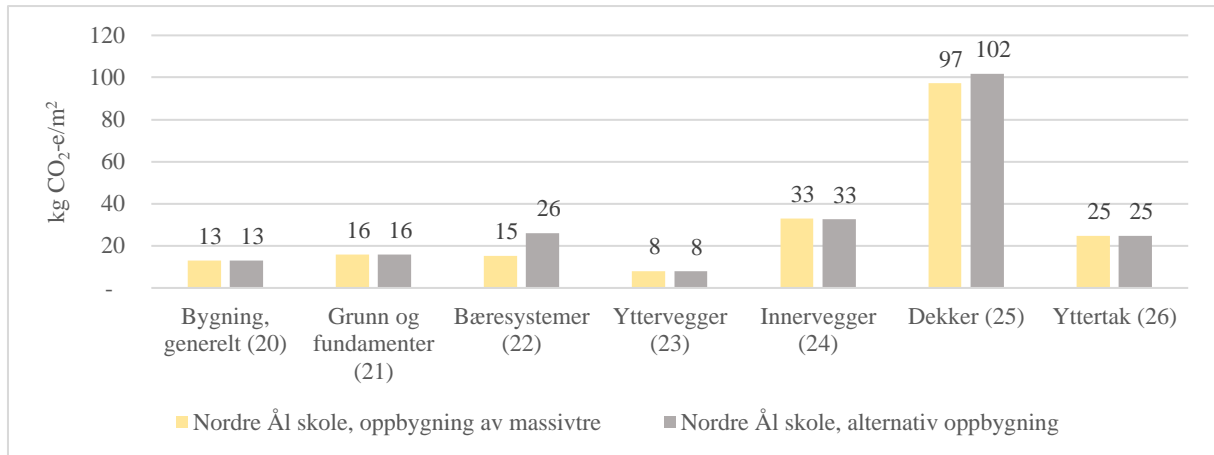
Den største differensen blant LCA-modulene er i modul D. Den øker med 50 kg CO₂-e/m², fra 50 til 100 kg CO₂-e/m² for oppbygningen i massivtre, en 100 % økning. Biogent karbonlagring i oppbygningene av Nordre Ål skole er presentert i Figur 18. I massivtreoppbygningen er det beregnet et lager på 134 kg CO₂-e/m². For den alternative oppbygningen er tilsvarende lagring 32 kg CO₂-e/m², økningen er altså 102 kg CO₂-e/m². Oppbygningen i massivtre binder 319 % mer karbon.



Figur 18. Kg CO₂-e/m² for hver LCA-modul forbundet med de ulike oppbygningene av Nordre Ål skole

5.4.2 Resultater for hver bygningsdel

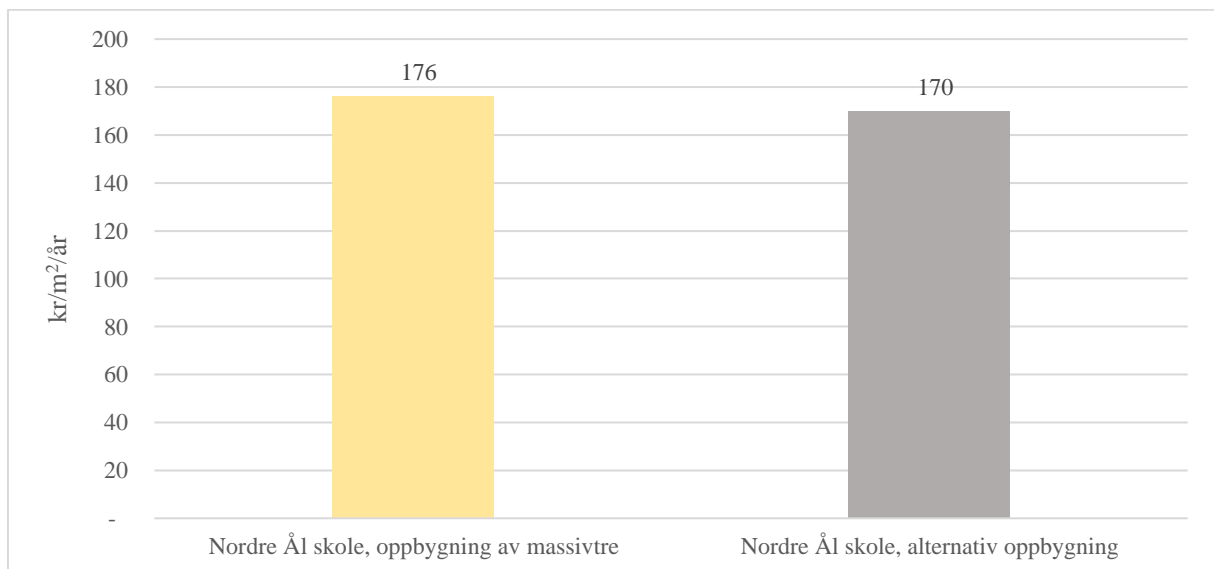
I Figur 19 blir klimagassutslippene fra hver bygningsdel presentert. Det er knyttet størst utslipp til dekker. For massivtreoppbygningen reduseres utslippene til bæresystem og dekker med henholdsvis 11 og 5 kg CO₂-e/m². Utslipp knyttet til inner- og yttervegger holdes stabil.



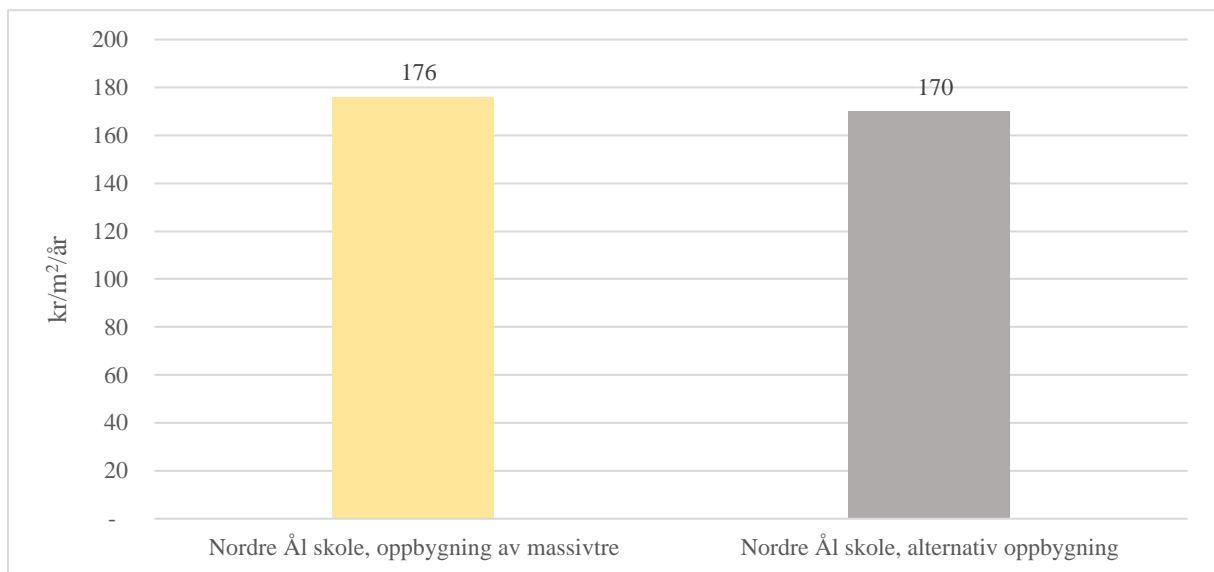
Figur 19. Kg CO₂-e/m² knyttet til bygningsdelene for de ulike oppbygningene av Nordre Ål skole

5.4.3 Livssyklus kostnader

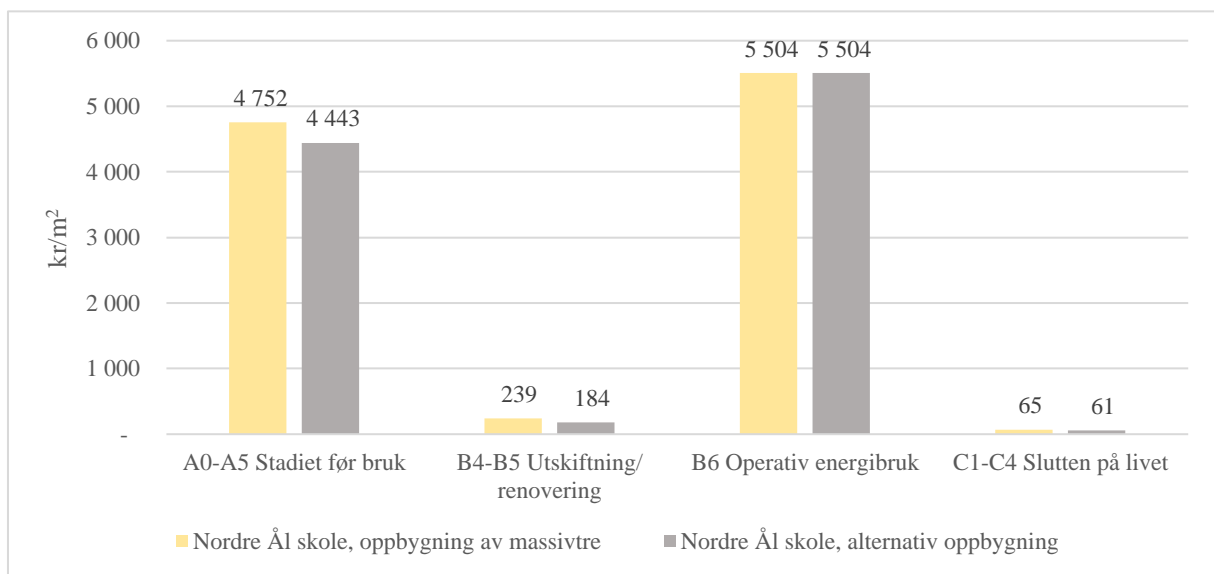
Livssyklus kostnadene til Nordre Ål skole vises i



Figur 20. For massivtreoppbygningen er kostnadene beregnet til 176 kr/m²/år. Tilsvarende tall for den alternative oppbygningen er 170 kr/m²/år. Kostnadene er ytterligere brutt ned i Figur 21. A0-A5 øker med 309 kr/m² ved valg av massivtreoppbygningen, samtidig som B4-B5 og C1-C4 øker med 55 og 4 kr/m².



Figur 20. Livssyklus kostnader for Nordre Ål skole i kr/m²/år for begge oppbygningene



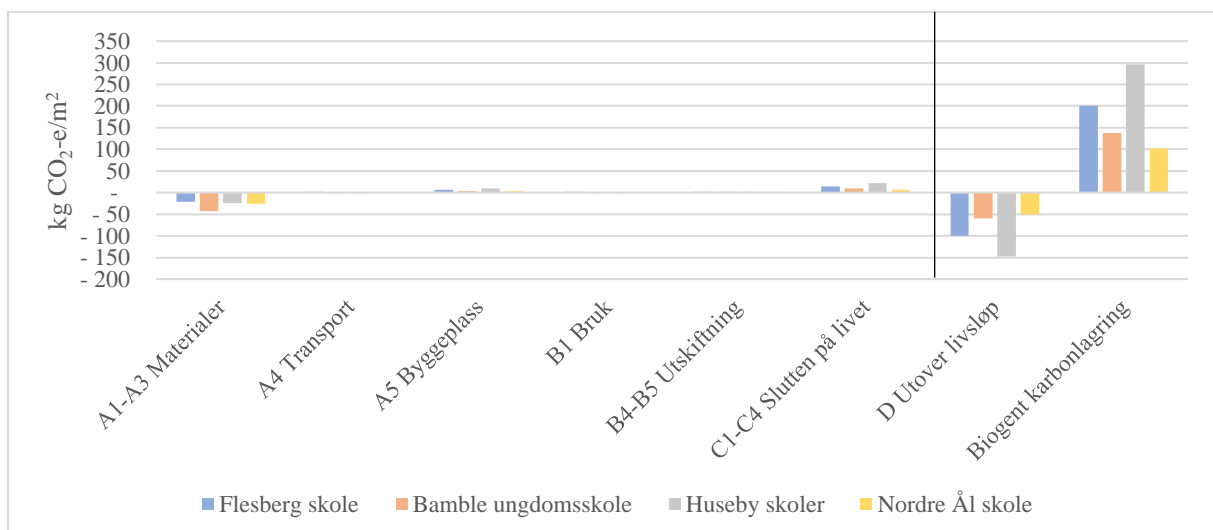
Figur 21. Livssyklus kostnader i kr/m² knyttet til de ulike LCA-modulene for begge oppbygningene av Nordre Ål skole

5.5 Sammenstilling av de ulike skolene

I dette kapittelet presenteres sammenstillingen av de ulike skolene. Formålet er å skape en oversikt for enklere å kunne se trender og sammenhenger. Det er valgt å ikke inkludere energibruk i drift (B6) og transport i drift (B8) i sammenligningen av klimagassutslipp siden disse er like for begge oppbygningene av skolene. Av samme grunn er ikke energibruk tatt med i sammenstillingen av livssyklus kostnadene. For bygningsdeler er det valgt å ikke inkludere kategoriene «grunn og fundamenter», «yttertak», «fast inventar», «trapper, balkonger, m.m.» og samlekategori «bygning, generelt» fordi disse ikke er endret på i de ulike oppbygningene. Endringene som blir presentert viser hvilke konsekvenser det vil få å velge oppbygningen i massivtre fremfor den alternative oppbygningen.

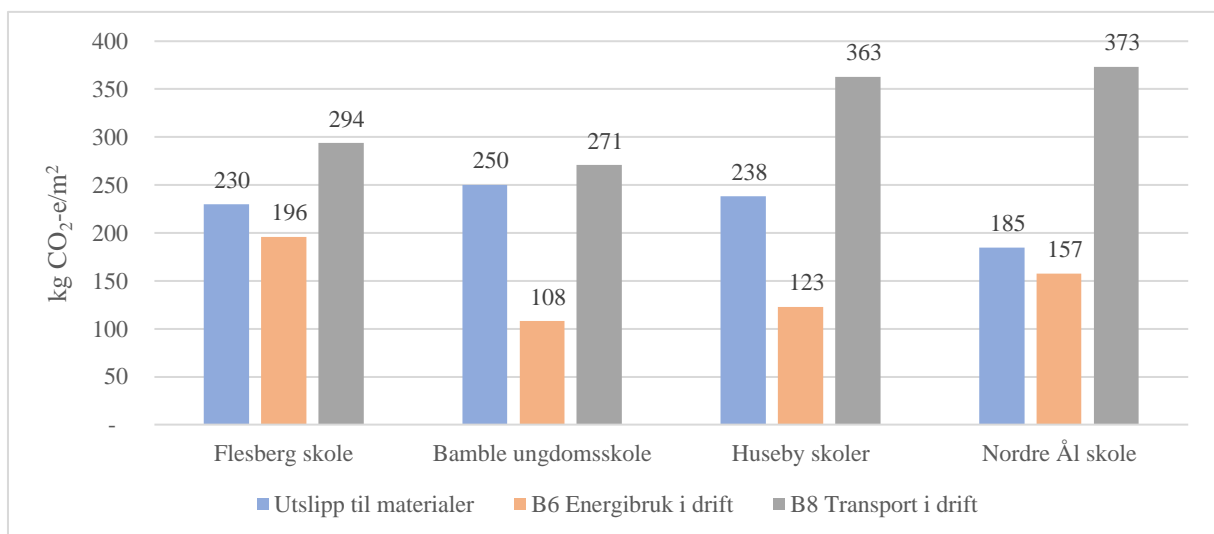
5.5.1 Resultater for hver modul

I Figur 22 vises endringene i utslipp for hver LCA-modul dersom det blir valgt å benytte massivtre fremfor alternative oppbygninger. Denne viser at de største endringene skjer i A1-A3, C1-C4, modul D og biogent karbonlagring. Ved valg massivtreoppbygning synker utslippene i A1-A3 med 20 – 42 kg CO₂-e/m². Samtidig øker utslippene i C1-C4 med 7 – 22 kg CO₂-e/m². I snitt reduserte oppbygningene i massivtre klimagassutslippene med 8 kg CO₂-e/m². De positive virkningene i modul D, som holdes utenfor beregningene, øker med 50 – 148 kg CO₂-e/m². I tillegg øker biogent karbonlagring med 102 – 296 kg CO₂-e/m².



Figur 22. Endring i kg CO₂-e/m² for hver LCA-modul. Figuren viser hvilke endringer som skjer dersom oppbygning av massivtre velges fremfor den alternative oppbygningen.

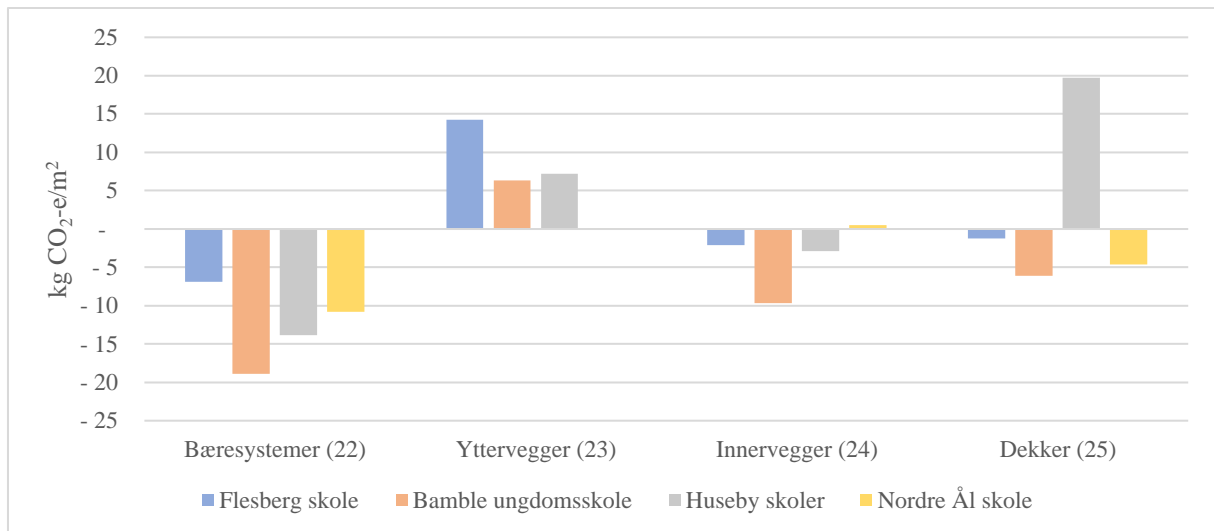
I Figur 23 er utslippene fra materialer, energibruk i drift (B6) og transport i drift (B8) for de eksisterende oppbygningene i massivtre presentert i kg CO₂-e/m². Fordelingen er relativt lik for den alternative oppbygningen. Utslippene til materialer er i dette tilfellet definert som alle beregnede utslipp med unntak av B6 og B8. Det betyr at i denne sammenheng er B1 inkludert i materialutslippene, dette gjelder ikke resten av resultatkapittelet. For alle skolene står B8 for den største andelen av utslippene. Materialutslippene varierer fra 185 – 266 kg CO₂-e/m², samtidig som utslipp til energibruk i drift er 108 – 196 kg CO₂-e/m². For alle skolene er materialutslippene større enn utslipp til energibruk i drift.



Figur 23. Fordeling av utslipp mellom utslipp til materialer, energibruk i drift (B6) og transport i drift (B8) for alle skolene, presentert i kg CO₂-e/m².

5.5.2 Resultater for hver bygningsdel

Endringen i utslipp for hva som skjer dersom massivtreoppbygningen velges fremfor den alternative oppbygningen presenteres i Figur 24. Den viser at utslipp til bæresystemer reduseres med 7 – 19 kg CO₂-e/m². Resultatene viser også at massivtreoppbygningene har 0 – 14 kg CO₂-e/m² høyere utslipp forbundet med ytterveggene enn den alternative oppbygningen. Angående innervegger er det tre skoler som reduserer utslippene med 2 – 9 kg CO₂-e/m² ved massivtreoppbygning, og én som holdes stabil. For dekker reduserer tre skoler utslippene sine med 1 – 6 kg CO₂-e/m² ved massivtreoppbygning, samtidig som en øker utslippene med 20 kg CO₂-e/m². Resultatene for dekker på Huseby skoler blir diskutert i kapittel 6.3.

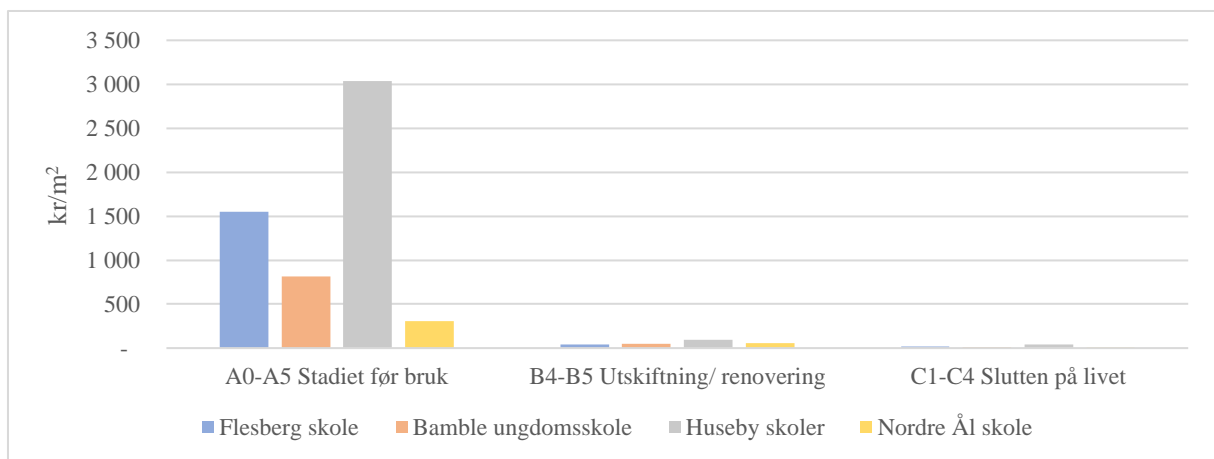


Figur 24. Endring i kg CO₂-e/m² for hver bygningsdel. Figuren viser hvilke endringer som skjer dersom oppbygning av massivtre velges fremfor den alternative oppbygningen.

5.5.3 Livssyklus kostnader

Endringene i livssyklus kostnader ved valg av massivtreoppbygning fremfor den alternative oppbygningen er presentert i Figur 25. Den viser en økning forbundet med alle moduler.

Økningen i A0-A5 er 309 – 3 036 kr/m². For B4-B5 er kostnadsøkningen 44 – 94 kr/m². C1-C4 øker med 4 – 42 kr/m². I snitt øker kostnadene med 1 509 kr/m² ved massivtreoppbygningene.



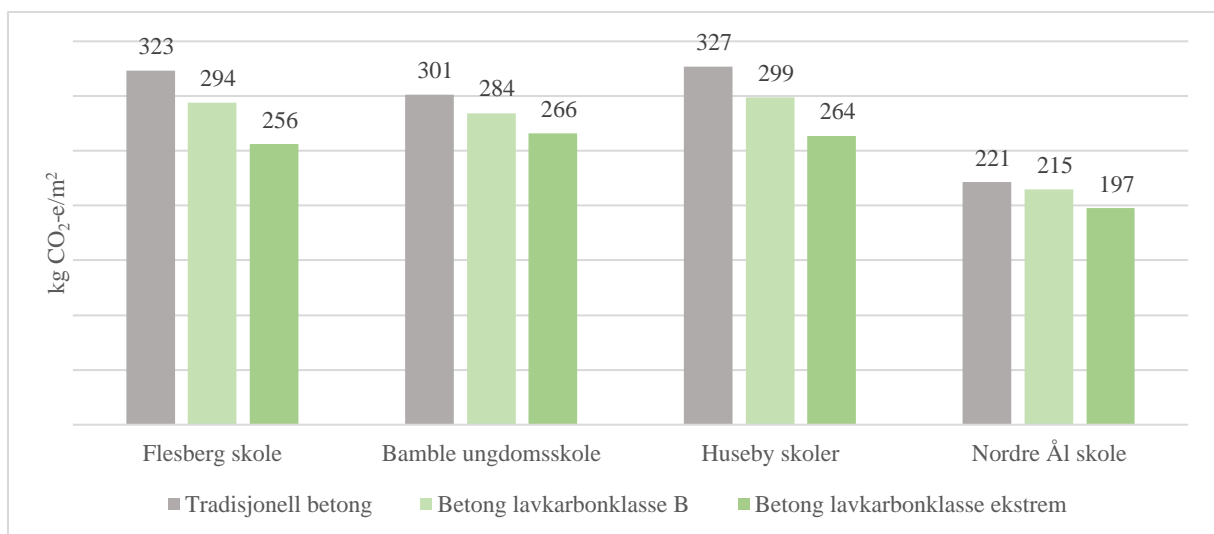
Figur 25. Endring i kr/m² for hver LCA-modul. Figuren viser hvilke endringer som skjer dersom oppbygning av massivtre velges fremfor den alternative oppbygningen.

5.6 Sensitivitetsanalyse

I tillegg til analysene av klimagassutslipp og livssyklus kostnader er det gjennomført en sensitivitetsanalyse for å se hvor sensitive svarene er for endringer i ulike parametere. I dette kapittelet vil alle skolene presenteres i samme figur.

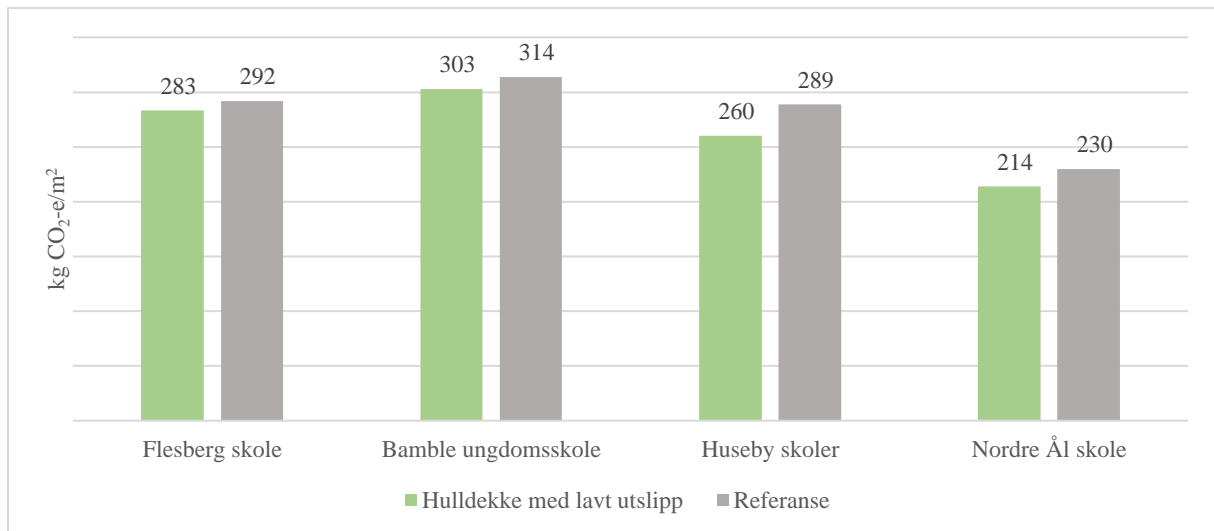
5.6.1 Betongtype

I den opprinnelige livsløpsvurderingen er det valgt å benytte betong i lavkarbonklasse B. Sensitivitetsanalysen tar for seg hva som skjer dersom det i stedet benyttes mer tradisjonell betong uten miljøfokus og betong i lavkarbonklasse ekstrem. Begge oppbygningene inneholder omtrent like mye betong, men analysen er gjennomført på massivtreoppbygningen. Figur 26 viser hvordan materialutslippene påvirkes av de ulike betongtypene. Livsløpsvurderingene gjort med den tradisjonelle betongen viser et økt klimagassutslipp på 6 – 29 $\text{CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$ for skolene i studien. Ved bruk av betong i lavkarbonklasse ekstrem ville utslippene blitt redusert med 18 – 38 $\text{kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$. Endringen fra tradisjonell betong til betong i lavkarbonklasse ekstrem er 24 – 67 $\text{kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$.



Figur 26. Materialutslipp i $\text{kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$ for oppbygningen i massivtre ved ulike betongtyper.

Det er også gjennomført en analyse av ulike hulldekker. Analysen tar for seg hvordan hulldekker med lavere klimagassutslipp påvirker utslippene og er gjort på den alternative oppbygningen av skolene. Figur 27 presenterer materialutslippene fra skolene, med to forskjellige typer hulldekker. For de ulike skolene resulterer et bytte av hulldekker i en reduksjon av klimagassutslipp på 3 – 10 %. I utslipp tilsvarer dette 9 – 29 $\text{kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$.

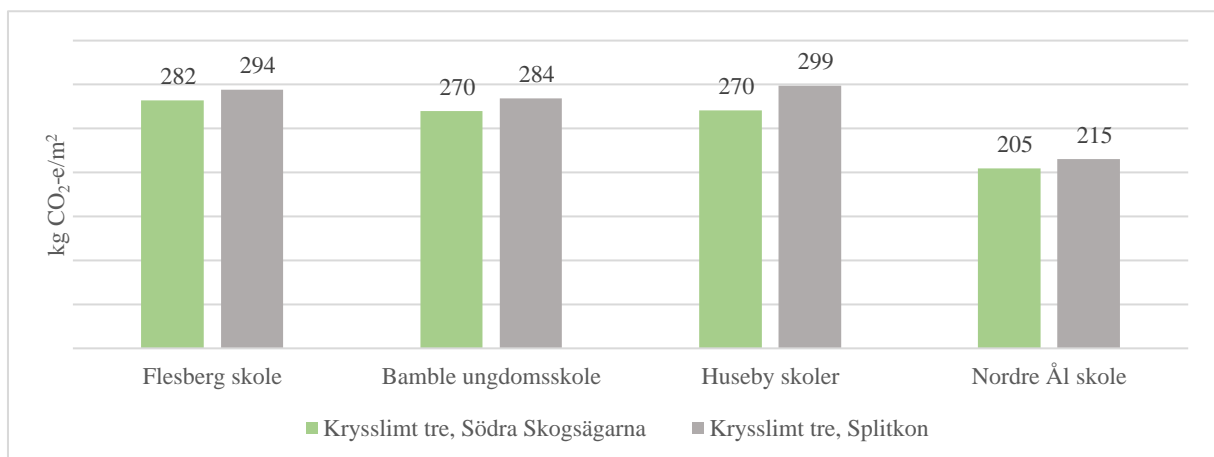


Figur 27. Materialutslipp i kg CO₂-e/m² for den alternative oppbygningen ved ulike typer hulldekker

5.6.2 Krysslimt tre

Det er gjennomført en sensitivitetsanalyse som tar for seg endringene i materialutslipp ved valg av ulike produsenter av krysslimt tre. Analysen er gjennomført på oppbygningene i massivtre. Figur 28 presenterer materialutslippene forbundet med de to scenarioene.

Resultatene viser at valg av produsent kan utgjøre 10 – 29 kg CO₂-e/m². Prosentvis endring i materialutslipp for skolene er 4 – 10 % av det originale materialutslippet.

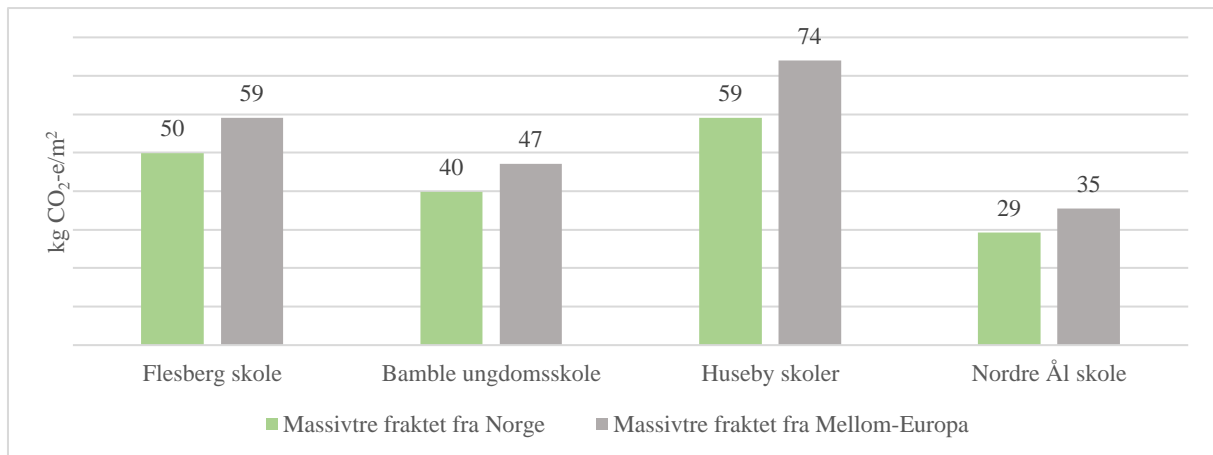


Figur 28. Materialutslipp i kg CO₂-e/m² for oppbygningen i massivtre ved ulike produsenter av krysslimt tre

5.6.3 Transportavstander

For alle oppbygningene i massivtre er det sett på hvordan transportavstander påvirker materialutslippene. I de originale livsløpsvurderingene er det valgt krysslimt tre og limtre fra Norge. I sensitivitetsanalysen endres startpunktet for denne transporten til Mellom-Europa i

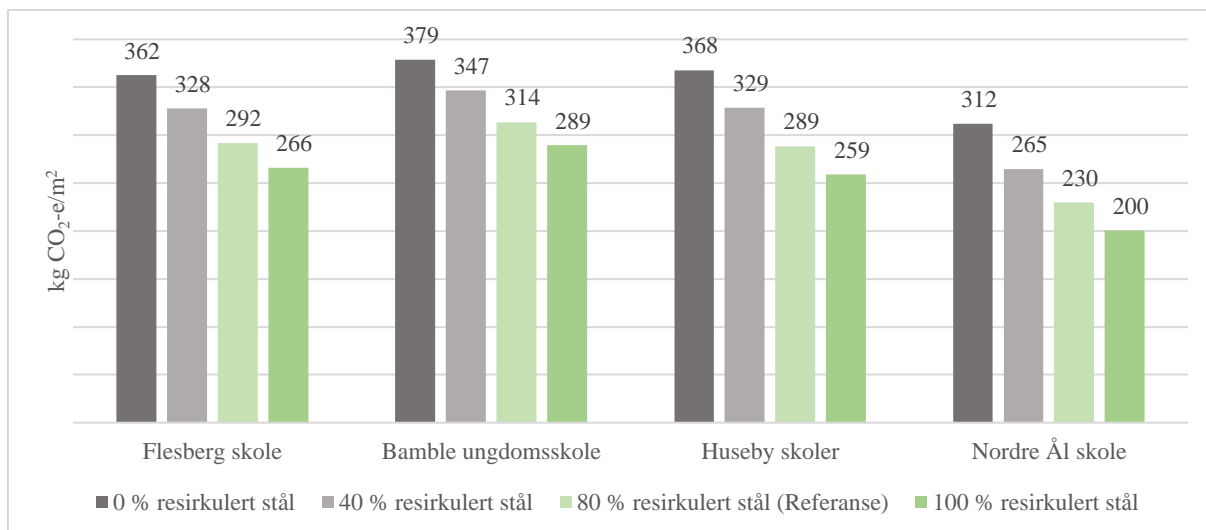
stedet for Norge. Resultatene for hvordan dette påvirker utslippene knyttet til massivtre er vist i Figur 29. En slik endring vil øke utslippene forbundet med massivtre med 18 – 25 % for skolene i studien. Endringen er 6 – 15 kg CO₂-e/m². De totale materialutslippene vil øke med 2 – 6 %.



Figur 29. Utslipp forbundet med massivtre for oppbygningen i massivtre i kg CO₂-e/m² ved massivtre fraktet fra Norge og Mellom-Europa.

5.6.4 Resirkuleringsgrad av stål

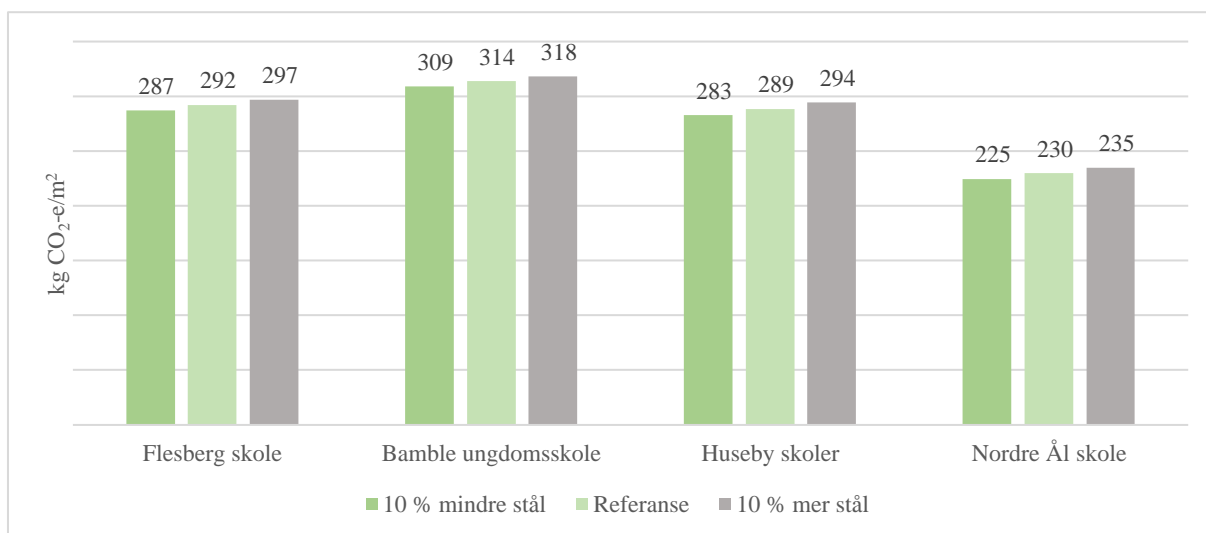
For de alternative oppbygningene er det gjennomført en analyse av hvordan resirkuleringsgraden av stål påvirker klimagassutslippene. I de gjennomførte livsløpsvurderingene er det valgt å benytte stål med 80 % resirkuleringsgrad. I sensitivitetsanalysen benyttes stål med både 100, 40 og 0 % resirkuleringsgrad. Materialutslippene i forbindelse med de ulike situasjonene er presentert i Figur 30. Sammenlignet med referansen vil stål produsert med 0 % resirkulert stål ha 65 – 82 kg CO₂-e/m² høyere klimagassutslipp knyttet til materialer. For stål med 40 % resirkuleringsgrad er tilsvarende endring 33 – 40 kg CO₂-e/m². Ved 100 % resirkuleringsgrad viser beregningene at materialutslippene vil gå ned med 25 – 30 kg CO₂-e/m². Forskjellen mellom 0 og 100 % resirkulert stål er 90 – 112 kg CO₂-e/m².



Figur 30. Materialutslipp i kg CO₂-e/m² for den alternative oppbygningen ved fire ulike resirkuleringsgrader av stål

5.6.5 Stålmengder

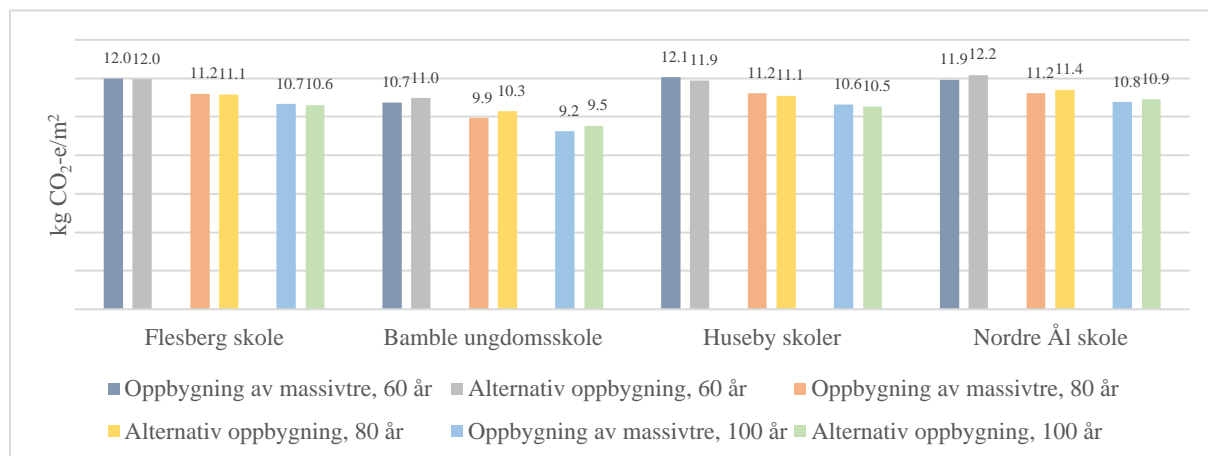
Det er foretatt en analyse av de alternative oppbygningene med endrede stålmengder for å se hvordan dette påvirker utslippene. Analysene er gjort med både 10 % mindre og 10 % mer stål. Resultatene vises i Figur 31. Ved 10 % mindre stål vil materialutslippene reduseres med 5 – 6 kg CO₂-e/m². 10 % mer stål resulterer i en økning på 4 – 5 kg CO₂-e/m². Dette er en endring på 1,5 – 2,2 % i materialutslippene. Forskjellen mellom 10 % mindre og 10 % mer stål er 9 – 11 kg CO₂-e/m².



Figur 31. Materialutslipp i kg CO₂-e/m² for den alternative oppbygningen ved ulike stålmengder

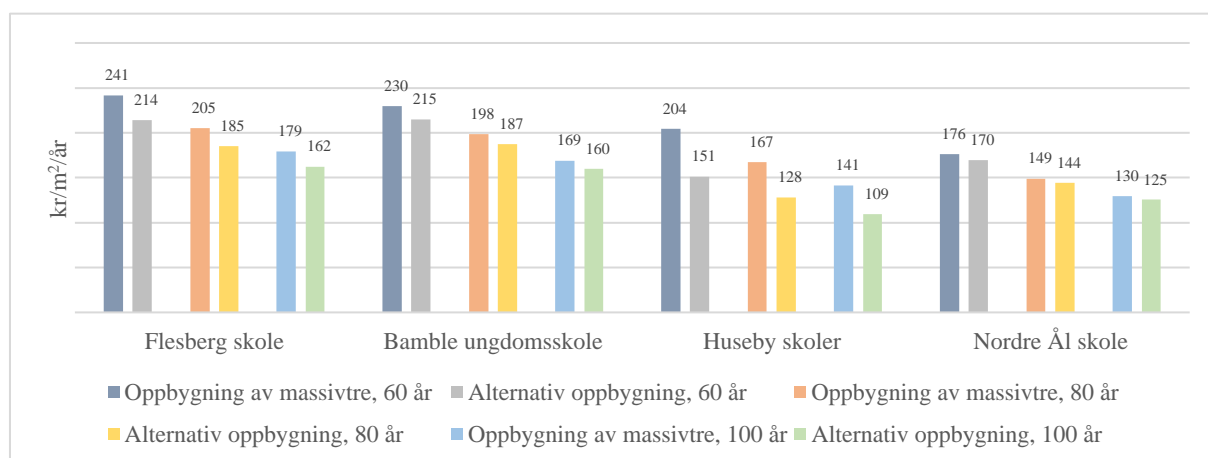
5.6.6 Beregningsperiode

I tillegg er det gjennomført en analyse som ser på hvordan beregningsperioden påvirker både klimagassutslipp og kostnader pr. kvadratmeter pr. år. Resultatene for klimagassutslippene presenteres i Figur 32. Det er tydelig at kg CO₂-e/m²/år går ned for lengre beregningsperioder. For to av fire skoler blir differansen mellom de to oppbygningene mindre over lengre beregningsperiode, for én er endringen tilnærmet konstant og for én blir forskjellen noe større.



Figur 32. Kg CO₂-e/m²/år ved ulike beregningsperioder for begge oppbygninger av alle skolene

Figur 33 viser kostnad pr. kvadratmeter pr. år ved ulike beregningsperioder. Diagrammet viser tydelig at kr/m²/år går ned for lengre beregningsperioder. Det kommer også frem at det er større kostnader forbundet med massivtreoppbygningene, men differansene blir mindre for lengre beregningsperioder.



Figur 33. Kr/m²/år ved ulike beregningsperioder for begge oppbygninger av alle skolene

6 Diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene diskutert. Første del vil ta for seg ett og ett forskningsspørsmål. Andre del tar for seg diskusjoner av forutsetninger, metode og usikkerheter. Diskusjonen vil ta for seg styrker og svakheter ved studien og diskutere hvilke faktorer som kan bidra til at resultatene vil endre seg betydelig. I tillegg vil livsløpsvurderinger som metode og eventuelle miljøkrav bli diskutert.

6.1 Hvor store klimagassutslipp er knyttet til skoler bygget i massivtre og betong sammenlignet med andre oppbygninger?

I resultatdelen er modulene A1-A5, B1, B4-B6, B8 og C1-C4 inkludert for de totale klimagassutslippene. Selv om ikke alle de inkluderte modulene blir påvirket av massivtrebruk er det valgt å inkludere mange moduler for å skape en mer komplett livsløpsvurdering. I tillegg bidrar inkludering av flere moduler til å vise hvor stor andel av utslippene som kommer fra materialer. Resultatene viser at materialbruken står for 24 – 41 % av de totale utslippene. Dette er en betydelig del og er i hovedsak den delen bygg- og anleggsnæringen kan påvirke.

Resultatene viser at klimagassutslippene fra massivtreoppbygningene varierer fra 629 – 724 kg CO₂-e/m². For de alternative oppbygningene er utslippet 658 – 731 kg CO₂-e/m². For to av skolene har oppbygningen i massivtre lavere utslipp. En skole har tilnærmet like utslipp uavhengig av oppbygning, og for en skole øker utslippene noe. Ved massivtreoppbygning endres utslippene for de respektive skolene med -4, -2, 0 eller 1 %. Som i utslipp tilsvarer -29, -15, 2 og 10 kg CO₂-e/m². Dette kan tyde på at massivtre i flere tilfeller har mindre klimagassutslipp enn den alternative oppbygningen, gitt de inkluderte modulene.

Selv om de samme modulene er inkludert for alle skolene må det utvises forsiktighet ved å sammenligne skolene med hverandre. For det første er modellene fra skolene ikke like detaljerte, som betyr at alt ikke er inkludert i alle skolene. For eksempel er det ikke inkludert fundamenter i modellen fra Bamble skole. For det andre har de reelle produktvalgene gjort på prosjektene innvirkning på de totale utslippene. Siden det ikke er innhentet informasjon fra de ulike prosjektene om produktvalg er det valgt det samme for alle skolene. For det tredje har ikke skolene like fasiliteter og funksjoner, altså ikke lik funksjonell enhet. Hovedpoenget med studien har ikke vært å beregne et helt korrekt klimagassutslipp for skolene, men se på

hvordan massivtre påvirker utslippene. Derfor er studien designet for at de to oppbygningene skal sammenlignes med hverandre, ikke skole mot skole. På grunn av dette er det ikke lagt store ressurser i å innhente informasjon om produktvalg på prosjektene.

6.2 Hvor store klimagassutslipp står de ulike fasene av livsløpet for ved ulike oppbygninger?

Resultatene viser tydelig at de tre store utslippspostene for alle oppbygningene er A1-A3, B6 og B8. For oppbygningen i massivtre står utslipp fra A1-A3 for 21 – 30 % av de totale utslippene. B6 er ansvarlig for 17 – 23 %, samtidig som 41 – 54 % kan knyttes til B8.

Trenden for alle skolene er at utslippene til produksjon av materialer (A1-A3) reduseres ved valg av oppbygning i massivtre. I tillegg øker utslippene i forbindelse med konstruksjon (A5), utskiftning (B4-B5) og slutten på livet (C1-C4).

Resultatene viser at de reduserte utslippene i A1-A3 for massivtreoppbygningen til en viss grad veies opp av de økte utslippene i A5, B4-B5 og C1-C4. Et interessant poeng er hvilke utslag for eksempel mer energieffektiv produksjonsteknologi vil ha å si for utslippene i A1-A3, eller hva som skjer med mer fabrikkbygde elementer og mindre svinn i A5. Eller hvordan B4-B5 blir påvirket av bedre, mer holdbare produkter. Ikke minst hvordan utvikling av produkter som er mer tilpasset demontering vil slå ut i C1-C4. Slike endringer nevnes også i ZEN rapport nr. 24 som faktorer som vil påvirke resultatet av livsløpsvurderinger (Wiik et al., 2020).

En stor forskjell mellom oppbygningene er modul D. De positive virkningene i modul D øker med 51 – 148 kg CO₂-e/m² ved valg av oppbygning i massivtre. Modulen skal holdes utenfor de totale utslippene og rapporteres separat. Likevel er det hensiktsmessig å diskutere betydningen av modul D ved valg av byggematerialer og oppbygning. På den ene siden kan det argumenteres for at de positive virkningene fra modul D ikke reduserer utslippene fra den aktuelle bygningen, men kommer neste bygning til gode. Skulle det ha påvirket begge bygningene ville de positive virkningene bli telt dobbelt. På den annen side vil materialer som legger opp til gjen- og ombruk bidra til at klimagassutslippet fra de to bygningene totalt sett går ned, som tross alt er det viktigste.

Den mest betydelige forskjellen mellom oppbygningene i massivtre og de alternative oppbygningene er biogent karbonlagring. Størrelsesforskjellen mellom de ulike modulene

kommer tydelig frem i Figur 22. Massivtreoppbygningene har 102 – 296 kg CO₂-e/m² mer karbon lagret enn de alternative oppbygningene, dette tilsvarer 162 – 673 %. Argumentet for at biogent karbonlagring ikke bør påvirke materialbruk er at det lagrede karbonet ved slutten av livet returneres til kretsløpet. På den annen side mener flere forskere at utsatt karbonutslipp likevel er gunstig (Breton et al., 2018; Hoxha et al., 2020; Levasseur et al., 2013). Ved å lagre karbon i bygningsmaterialer vil dette bidra til at den totale lagringen av karbon øker siden flere nye trær blir tilført uten at de hogde trærne slipper ut karbonet, da de benyttes videre. Et annet poeng er at innen den tid massivtreet som benyttes i dag skal avhendes kan det være utviklet metoder eller anlegg for å fange og lagre karbonet. På bakgrunn av dette kan det argumenteres for at biogent karbonlagring bør tillegges betydelig vekt i valg av bygningsmaterialer.

Fordelingen mellom utslipp til drift av bygningene og utslipp til materialene som vises i Figur 23 presenterer flere poeng. For det første viser den at transport i drift (B8) er den største utslippsposten for alle skolene. Denne posten blir ikke påvirket av massivtre, men den poengterer viktigheten av å ha gode klimavennlige metoder og tilbud for å komme seg til skolen. Det kan likevel diskuteres hvor mye B8 skal danne grunnlag for lokalisering av skoler slik det står beskrevet i NS 3720. Det kan argumenteres for at det uansett vil settes opp skoleskyss som har betydelig lavere utslipp pr. elev enn hvis de skulle bli kjørt med personbiler. Motargumentet er at en skole lokalisert slik at de fleste elever kan gå eller sykle til skolen reduserer behovet for skoleskyss. For det andre viser Figur 23 at utslipp til materialer er større enn utslipp til energibruk i drift (B6) for alle skolene. Dette viser viktigheten av at det blir satt fokus på materialutslipp i TEK, som vil bli diskutert i kapittel 6.6.3.

For det tredje viser Figur 23 hvordan utslipp til materialer kan henge sammen med utslipp til energibruk i drift (B6). Bamble ungdomsskole, som har de største utslippene til materialer har den mest klimavennlige energibruken. Det samme gjelder for Huseby skoler. Nordre Ål skole har derimot lavere materialutslipp, men høyere utslipp til energibruk i drift (B6). Likevel er det ikke en nødvendig sammenheng mellom høye utslipp til materialer og lave utslipp til energi. Utslipp til energi avhenger blant annet av type energiforsyning. Dessuten trenger ikke høye materialutslipp bety mer energieffektive bygg. Bruk av lite miljøvennlige materialer eller mye materialbruk og fokus på feil detaljer vil ikke føre til mer energieffektive bygg. Dette kan underbygges med Flesberg skole som har både høye utslipp til materialer og

energibruk i drift. Målet må være å finne det krysningspunktet der summen av utslipp til materialer og utslipp til energibruk blir lavest mulig.

6.3 Hvor store klimagassutslipp er knyttet til de ulike bygningsdelene for ulike oppbygninger?

Resultatene i Figur 24 viser at ved valg av oppbygning i massivtre reduseres utslippene til bæresystemer, samtidig som utslipp til yttervegger i de fleste tilfellene øker. For innervegger reduseres utslippene i de fleste tilfellene. For dekker reduseres utslippene ved valg av massivtreoppbygningen i tre tilfeller og øker betraktelig i ett tilfelle. Siden vegger i massivtre bidrar til en betydelig del av bæringen kan det ikke konkluderes med at det beste er bæresystem i tre og vegger som ikke er massivtre, selv om det kan se slik ut på resultatene. Det optimale er å finne krysningspunktet mellom nok bæring, og lavest mulig utslipp.

Angående dekker skiller Huseby skoler seg kraftig ut. Huseby skoler har valgt å benytte større andel massivtredekker enn de andre skolene. Selv om massivtredekkene på Huseby skoler kommer dårlig ut sammenlignet med hulldekker betyr ikke dette at massivtredekker nødvendigvis er dårlig. De tre andre skolene viser at massivtredekker kan være et godt valg. Derimot kan det si noe om viktigheten av at materialbruk henger sammen med funksjonen. Utfordringen med massivtredekker er lange spenn, som fører til at tykkelsen på dekket må økes, som igjen skaper større utslipp. Massivtredekkene på Huseby skoler kan være et godt eksempel på at det ikke nødvendigvis er et materiale som er bedre enn noe annet i alle tilfeller, men at det må tilpasses. En slik vurdering av materialtilpasning støttes også av Østfoldforskning sin rapport (Rønning et al., 2019).

6.4 Hvilke faktorer har betydelig påvirkning på klimagassutslippene fra skoler?

I sensitivitetsanalysen kommer det frem at type betong, resirkuleringsgrad av stål og type massivtre i stor grad kan påvirke klimagassutslippene. Dette avhenger i betydelig grad av mengden av materialet. Endringen fra tradisjonell betong til lavkarbonklasse ekstrem utgjør mye for utslippene til massivtreoppbygningen. Valg av massivtreprodusent kan også gi store forskjeller i klimagassutslipp. For den alternative oppbygningen, som inneholder mye stål, har resirkuleringsgrad av stålet mye å si. Det som nødvendigvis ikke gir de største utslagene er 10 % opp og 10 % ned i stålmengder.

Massivtre fraktet fra Mellom-Europa gir også betydelige utslag på klimagassutslippene. I dette tilfellet har kun transport fra Mellom-Europa blitt analysert, ikke produkter. På den måten blir det tydeligere hvor store utslipp som skyldes transport. Det har blitt undersøkt at det eksisterer sammenlignbare produkter i de aktuelle områdene med relativt like klimagassutslipp, så et slikt scenario kan være realistisk.

Som nevnt vil endringer i utslipp i stor grad bli påvirket av mengden av materialet og forskjellene mellom produktene. Det er ikke nødvendigvis slik at det er et produkt som gjør hele prosjektet miljøvennlig, men heller et gjennomgående fokus som gjør at de miljøvennlige valgene blir tatt. Likevel kan sensitivitetsanalysen bidra til å si hvor det er viktigst å velge de miljøvennlige alternativene. Det er også essensielt å understreke viktigheten av å analysere EPDene, ikke bare velge et materiale som kan være miljøvennlig. Ulike produkter fra samme materiale kan ha store variasjoner.

Sensitivitetsanalysen viser at både klimagassutslipp og livssyklus kostnader fordelt utover antall år reduseres ved lengre levetider. Hovedgrunnen til dette er at de store utslippene og kostnadene forbundet med produksjon av materialer fordeler seg over flere år. Dette poengterer likevel viktigheten av å ta vare på og vedlikeholde bygninger for å spare miljøet for store utslipp i forbindelse med eventuell bygging av en ny skole.

6.5 Hvordan påvirker bruk av massivtre livssyklus kostnadene til skoler?

Oppbygningene i massivtre har høyere kostnader enn de alternative oppbygningene. Størst forskjell er det i konstruksjonsfasen (A0-A5), men det er også økte kostnader knyttet til utskiftning/reovering (B4-B5) og slutten på livet (C1-C4). Huseby skoler skiller seg ut som den skolen med størst kostnadsøkning ved valg av oppbygning i massivtre. Dette skyldes antageligvis bruken av massivtredekker som er nevnt tidligere. Det er knyttet større kostnader til massivtredekker enn hulldekker i betong. På grunn av store arealer med massivtredekker på Huseby skoler gir dette store utslag i total kostnaden.

Sammenlignet med betong og stål har massivtre i nyere tid blitt et populært byggemateriale. Dette kan føre til større og mer effektive produksjoner, flere aktører, større konkurranse og lavere kostnader forbundet med massivtre. I tillegg er det verdt å tenke på hvordan eventuell gjen- og ombruk kan føre til salg av materialer og en inntekt på slutten av livet (C1-C4). Hva aktører er villig til å betale for et eventuelt mer miljøvennlig bygg er også et argument som

må med i en eventuell diskusjon av materialer og pris. Her kommer også faktorer som inneklima og opplevelse av bygget inn. Dette er ikke videre diskutert i denne studien.

6.6 Usikkerheter

I denne delen følger usikkerheter knyttet til studien. Det kan trekkes ulik lærdom fra funnene i studien, men det er viktig at det ikke benyttes ukritisk. I neste delkapittel vil usikkerhetene knyttet til resultatene bli diskutert. Først diskuteres metoden benyttet i studien, deretter tallene som er brukt og til slutt vil livsløpsvurderinger som metode bli diskutert.

6.6.1 Studiens metode

I denne studien er det gjennomført livsløpsvurderinger av fire skoler som er bygget i massivtre. Deretter har massiv- og limtre blitt fjernet og erstattet med andre alternative materialer. Dermed har det blitt skapt en alternativ oppbygning som kan sammenlignes med den eksisterende oppbygningen i massivtre. Dette er bakgrunn for første usikkerhet. Massivtreoppbygningene i studien har kun blitt sammenlignet med én annen oppbygning, og alle resultater og slutninger er utarbeidet på bakgrunn av sammenligningen med denne. Ved å utvide studien og ta med flere alternative oppbygninger kunne resultatene fått større tyngde.

Det er også viktig å være kritisk til sammenligningen av skolene med hverandre. Skolene har ulike funksjoner, ulik oppbygning og ulik grad av detaljering i modellene. Da det er ulikt hvorvidt skolene har svømmehall, idrettshall, kultursal eller ikke, vil utslippet pr. kvadratmeter ikke være sammenlignbart siden det er knyttet ulikt utslipp til en kvadratmeter idrettshall og en kvadratmeter klasserom. Optimalt sett burde analysene blitt delt opp i de ulike delene av skolene. Det er også ulikt hvor mye massivtre og betong som er brukt i skolene. For eksempel har noen skoler større andel vegger i betong enn andre. I tillegg er det ulikt hvor detaljert modellene har vært. For eksempel har idrettshallen på Bamble ungdomsskole et oljebasert sportsgulv, samtidig som idrettshallen på Flesberg skole ikke har noe belegg i modellen. Hvilke produktvalg som i realiteten er gjort på de ulike skolene vil påvirke de reelle utslippene.

For skolene har det ikke blitt innhentet spesifikk produktinformasjon, derfor er ikke de samme EPDene benyttet i analysen som i oppføring av skolene. I stedet har det samme settet av EPDer blitt benyttet i alle tilfellene. På denne måten har det blitt skapt et likt sammenligningsgrunnlag for de ulike skolene. Det har derfor blitt lettere å se hvordan selve

bruken av massivtre påvirker klimagassutslippene. Innhenting av EPDer fra skolene ville ført til en mer korrekt livsløpsvurdering, og større troverdighet i sammenligningen av skolene seg imellom, men kanskje svekket grunnlaget for å si hvordan massivtre påvirker klimagassutslipp og kostnader. I tillegg har ikke hovedpoenget med studien vært å sammenligne ulike skoler, men se på effekten av massivtre. Hovedpoenget med studien har vært å skape gode vilkår for sammenligningen av de to oppbygningene av hver skole, for på den måten å kunne si noe om hvordan massivtre påvirker klimagassutslipp og livssyklus-kostnader.

Likevel er det knyttet usikkerheter til sammenligningen av de ulike oppbygningene for hver skole. I studien har det blitt forutsatt lik mengde vegger og dekker, like store spenn og ellers lik oppbygning for de to alternativene. Dersom skolene i studien i virkeligheten ikke hadde benyttet massivtre er det naturlig å tenke at oppbygningen også ville endre seg. Bruk av for eksempel hulldekker og stål øker muligheten for lengre spenn og færre bærende vegger, noe som kan være ønskelig. Den alternative oppbygningen til skolene i studien er altså en forenkling, men likevel nærme nok til å kunne si noe om hvordan massivtre påvirker klimagassutslipp og livssyklus-kostnader.

Analyse av flere skoler ville også styrket studien. Ved å inkludere flere skoler ville det vært lettere å se en tendens i resultatene, samtidig som det kunne gjort det mulig å sammenligne skoler med lignende funksjoner. Det hadde også redusert usikkerheten å ha samme type modell for alle skolene. Tre av skolene har blitt importert ved hjelp av materiallister fra Archicad. For én skole har materialrapport fra Solibri manuelt blitt tilpasset for å passe til formålet. Flere av skolene inneholdt åpenlyse feil, som for eksempel 124 mm tykt ståltak på et sykkelkur. I tilfellene der dette har blitt oppdaget har det blitt endret. Det kan fortsatt eksistere slike feil i modellene, men på grunn av måten studien er utført på er det likt for begge oppbygningene av samme skole. Slike ulikheter i importering er med på å skape usikkerheter, spesielt for sammenligningen av de ulike skolene.

For å gjennomføre analysene er det valgt å benytte One Click LCA. I forbindelse med programvaren er det knyttet usikkerheter til beregningsmetodene og verdiene One Click LCA har samlet inn fra rapporter og benytter til å bestemme ulike utslipp. I tillegg er det forbundet usikkerhet til importering av modeller som ikke fungerer like optimalt som beskrevet.

6.6.2 Studiens tallgrunnlag

En analyse er ikke bedre enn de input som blir benyttet. Derfor har valg og bruk av tall stor betydning for resultatene i denne studien. Et viktig valg for resultatene fra analysene er utvelgelsen av EPDer. For å skape et godt sammenligningsgrunnlag har det blitt fokusert på å velge produkter som er utbredt i bransjen og ikke er best eller dårligst på miljø. For noen materialer er det i stedet valgt generiske verdier fra One Click LCA. Det er viktig å merke seg at funnene i studien kun er gjeldende for dette settet med EPDer. Ved valg av andre EPDer vil resultatene bli annerledes. For eksempel vil andre produsenter av massivtre eller annen resirkuleringsgrad av stål ha mye å si for sammenligningen og det rapporterte utslippet av klimagasser.

I denne studien er det valgt å benytte gjennomsnittstall for utslipp fra elektrisitet og for utslipp av fjernvarme. Endring i utslippsfaktorene kan ha stor påvirkning. I NS 3720 er det oppgitt to ulike utslippsfaktorer for elektrisitet som begge skal benyttes i hver sin beregning (Standard Norge, 2018b). I denne studien er det valgt å kun benytte norske gjennomsnittstall fra tidligere år, som ligger i One Click LCA, for å skape mer oversiktlige resultater. En slik forenkling kan forsvares ved at energibruken ikke blir påvirket av bruken av massivtre og dermed ikke endres for de to oppbygningene. Det som eventuelt ville blitt endret ved andre utslippsfaktorer er totalutslippene, som videre ville endret andelen utslipp knyttet til materialer, energibruk i drift (B6) og transport i drift (B8). Den benyttede utslippsfaktoren ligger mellom de ulike scenariene i NS 3720, derfor kan verdiene i standarden gi både høyere og lavere utslipp til energibruk i drift (B6) enn i denne studien.

Usikkerhet er også forbundet med utslippene forbundet med transport i drift (B8) og utslipp knyttet til drift av byggeplass. For transport i drift er det knyttet usikkerhet både rundt reisevanene til brukerne, som det er gjennomført egen undersøkelse av, og utslippsfaktorene til de ulike fremkomstmidlene. Siden B8 er den største modulen for alle skolene vil en liten prosentvis endring her gi store utslag på det totale utslippet. For utslipp knyttet til drift av byggeplass er det valgt å benytte tall for byggeplass som benytter 100 % biodiesel. Som for B6 og B8 har det ikke blitt prioritert høyest å bruke store ressurser på å få disse tallene helt nøyaktige, da de er like for begge oppbygningene, ikke påvirkes av massivtrebruken og har som hovedformål å sette materialutslippene i kontekst.

Det er også knyttet stor usikkerhet til karbonatisering som rapporteres i modul B1. One Click LCA opererer med én verdi som skal være representativ for karbonatisering i Norge.

Karbonatisering avhenger av flere ulike faktorer som betongtype, overflateareal, overflatebehandling og miljøet rundt (Engelsen & Justnes, 2014). Derfor er det grunnlag for å være kritisk til at opptaket av karbon som kommer fra karbonatisering lar seg beregne med én og samme faktor i alle tilfeller. Spesielt siden store mengder av betong i disse konstruksjonene ligger under overflaten og ikke er i kontakt med luft. I tillegg er det knyttet usikkerhet til om verdiene for karbonatisering tar hensyn til at karbonatisering er en uønsket prosess som blir forsøkt motvirket så godt det lar seg gjøre.

Siden ikke alle EPDer inkluderer alle moduler behøves forhåndsdefinerte tall for utslipp til ulike moduler. One Click LCA har en rekke slike tall. En av faktorene er forbundet med kapp og svinn på byggeplass. Denne er det knyttet stor usikkerhet til. Den er lik for både konstruksjonsvirke og massivtre, som virker ulogisk siden konstruksjonsvirke i stor grad blir tilpasset på byggeplass. I motsetning til massivtre som blir spesialtilpasset på fabrikk. Denne usikkerheten kan være med på å forklare de økte utlippene i A5 som følge av valg av oppbygning i massivtre. Samme type faktor er knyttet til konstruksjon og slutten på livet.

Materialmengder er nok et usikkerhetsmoment. De importerte modellene har vist seg å ikke være helt korrekte, og det har vært behov for å justere og fjerne materialer. Dette svekker sammenligningsmulighetene mellom skolene. Likevel opprettholdes muligheten til å sammenligne de ulike oppbygningene med hverandre. Prosentvis endring mellom de to oppbygningene kan bli påvirket av ikke helt korrekte livsløpsvurderinger, men utslippsendringer uttrykt i kg CO₂-e/m² vil være mer korrekte. I tillegg er det knyttet usikkerhet til mengdene forbundet med de alternative oppbygningene. Stålmengder er innhentet fra to skoler. Det kan argumenteres at dette er et for lite utvalg for å skape et korrekt anslag.

Analysen av livssyklus-kostnader benytter grunnlaget fra analysen av klimagassutslipp i beregningene. Prisene som blir brukt i beregningene er også forbundet med usikkerheter. For det første er prisene basert på bøker fra 2013-2014. Mye har skjedd siden den tid. For det andre tar ikke analysene hensyn til hvordan ulike prosjekter kan få forskjellige tilbud. Likevel gir analysene et bilde på hvordan kostnadene fordeler seg på de ulike fasene av livsløpet. Dessuten kan det være interessant å diskutere hvordan eventuell endring i energipriser

påvirker prisen på materialer som har energikrevende produksjon, som stål og betong. Kanskje vil dette bidra til å skape mindre forskjell i kostnader mellom de to ulike oppbygningene.

6.6.3 LCA som metode

Analysene av klimagassutslipp har for det meste blitt gjennomført etter NS 3720. Dette utelukker ikke at det er forbundet usikkerheter med analysene. En livsløpsvurdering inneholder en rekke vidt forskjellige input som sammen skaper et resultat. I tillegg er inputene i seg selv komplekse analyser. Som for eksempel utarbeidelse av EPDer, karbonatisering, reisevaner og utslippsfaktorer forbundet med energi, transport og byggeplass. Komplekse analyser skaper rom for ulike tolkninger, feil og usikkerheter. Bruk av flere komplekse, usikre tall vil summeres opp og skape større usikkerhet i den endelige analysen. Dette synet kommer også frem i ZEN rapport nr. 24 (Wiik et al., 2020). Dermed kan det argumenteres for at det må utarbeides flere standardiserte tall. Ulempen med dette er at tallene presentert over ikke nødvendigvis er like for ulike prosjekter. I tillegg vil innføring av standardiserte tall redusere insentivet til å kutte utslipp i den aktuelle modulen.

Slik det er i dag er det vanskelig å sammenligne studier med hverandre. For det første inkluderer ulike studier ofte ulike moduler. Felles er som regel at faser tidlig i livsløpet inkluderes. Tidligere studier nevner viktigheten av å inkludere flere faser (Liang et al., 2020). Spesielt interessant er dette da resultatene fra denne studien viser at massivtre har lavere utslipp i A1-A3, men høyere utslipp i C1-C4 enn den alternative oppbygningen. Hvorfor det er blitt slik at de første fasene oftere blir inkludert kan være delt. En grunn kan være at det er mer usikkerhet knyttet til andre faser av livsløpet, blant annet fordi livsløpsvurderinger av produkter er mer utbredt enn livsløpsvurderinger av bygninger. En annen grunn kan være at det er knyttet usikkerhet til hvilken teknologi som er tilgjengelig i fremtiden, da disse materialene skal avhendes. For det tredje er det utslippene tidlig i livsløpet som slippes ut nå, og det er disse som er av stor betydning for å nå klimamålene. Begge de foregående punktene nevnes også av ZEN rapport nr. 24 (Wiik et al., 2020). Inkludering av kun noen moduler kan gi en type materiale bedre vilkår enn andre materialer, og det er derfor viktig å belyse dette temaet. Viktigheten av kompetanse og riktig kontekst påpekes også av seniorforsker Anne Rønning i en artikkel fra bygg.no (Homleid, 2017).

For det andre er det verdt å bemerke at mange tidligere livsløpsvurderinger som er gjennomført for ulike materialer er bestilt av bransjen selv. Dette gjelder også miljøinformasjon om produktene. Informasjon om betong kommer ofte fra Betongforeningen, for tre kommer det fra Treteknisk og for stål kommer det fra Norsk Stål. Det betyr ikke nødvendigvis at det ikke er til å stole på, men at det kan ligge noe fagpolitisk press bak studiene som er utført. Det påstås ikke at forskningen i seg selv er dårlig, men at de bestilte sammenligningene ikke nødvendigvis er representative. En idé kunne vært å ha en lik type sertifiseringsordning for livsløpsvurderinger som for EPDer. Dermed kunne usikkerheten blitt noe redusert.

Det er også interessant å diskutere hvilke moduler og aspekter som blir rapportert sammen i en livsløpsvurdering. De positive virkningene utenfor livsløpet skal rapporteres separat i modul D. Dette har flere konsekvenser. For det første gjør dette at det totale, rapporterte klimagassutslippet ikke blir redusert ved positive ringvirkninger. For det andre gjør det at prosjekter som legger opp til stor grad av gjen- og ombruk, og har en god miljøstrategi som strekker seg utenfor systemgrensene, ikke nødvendigvis blir belønnet for dette. Samtidig kan det argumenteres for at grensa må gå et sted, og at virkningene i det minste blir rapportert. I tillegg måtte det blitt utarbeidet en god metode slik at de negative klimagassutslippene ikke blir tatt med to ganger dersom det skulle blitt inkludert. Et annet poeng er hvordan karbonatisering, som er en uønsket prosess som for all del vil unngås, blir inkludert i beregningene. Siden mengden karbon som blir bundet avhenger av en rekke faktorer kan det stilles spørsmålsteget til hvordan dette skal la seg beregne med lite nok usikkerhet.

Biogent karbonlagring er nok et spennende tema, spesielt siden det er dette som i størst grad skiller oppbygningene i studien. Biogent karbonlagring holdes utenfor det rapporterte klimagassutslippet og rapporteres separat. Et av hovedargumentene for denne avgjørelsen er at karbonet som blir bundet vil slippes ut ved slutten av livet, og dermed ikke ha påvirkning på klimagassutslippet, men kun utsette utslippene. Likevel er det forskere som mener at utsettelsen av utslipp har en verdi. (Breton et al., 2018; Hoxha et al., 2020; Lévassieur et al., 2013). Derfor kan tiden være inne for å vurdere hvordan biogent karbon blir inkludert i livsløpsvurderinger. Dette støttes også av ZEN rapport nr. 24 om klimagasskrav til materialbruk (Wiik et al., 2020). I tillegg vil teknologien for karbonfangst utvikle seg frem til utslippene av det lagrede karbonet i dagens nye bygninger blir sluppet ut. Derfor kan det argumenteres for at en endring i beregning av biogent karbon er essensielt.

Det er også verdt å nevne hvordan utslippsfaktorer for energi, transport, byggeplass og karbonatisering for det meste er faktorer beregnet av One Click LCA. Dette betyr at det også er knyttet betydelig usikkerhet til programvarene og beregningene som benytter faktorene. Spesielt dersom det skal stilles krav til klimagassutslipp er det viktig å få kontroll på dette, slik at beregnet klimagassutslipp ikke blir annerledes ved bruk av ulike programvarer.

Med alle usikkerhetene nevnt over er det spennende å se hvordan livsløpsvurderinger eventuelt blir inkludert i TEK. Et forslag er å stille tiltakskrav til de moduler det er knyttet mindre usikkerheter til (Fuglseth et al., 2018). Uansett hvordan det blir gjort er det viktig at det stilles krav til utslipp fra materialer. Det gjør at alle som fortsatt vil være en del av bransjen må ta hensyn til utslipp fra materialer. Enda en utfordring er hvordan kravene skal settes. Hvilke referanser kan stoles på når det er knyttet store usikkerheter til tidligere studier og hvordan de er utført. I tillegg er det verdt å nevne at NS3720 kun ser på klimagassutslipp, i motsetningen til den europeiske standarden som også tar hensyn til andre miljøindikatorer. I tiden fremover er det viktig med en global standard som sikrer at de riktige og viktige valgene blir tatt på likt grunnlag. Det betyr ikke nødvendigvis at det som er mest klimavennlig i Sør-Europa er det som er riktig for miljøet i Norge og Australia, men verden må være enig om hva som skal vektlegges. Livsløpsvurderinger er et essensielt verktøy i oppnåelse av klimamålene, men det må benyttes riktig og i kombinasjon med kunnskap.

7 Konklusjon

Hvordan påvirker bruk av massivtre klimagassutslippene og de økonomiske kostnadene forbundet med skolebygninger gjennom et livsløpsperspektiv?

Resultatene viser at klimagassutslippene forbundet med oppbygningene i massivtre i snitt har 8 kg CO₂-e/m² lavere utslipp, men i snitt er 1 509 kr/m² dyrere enn den alternative oppbygningen i studien. Én skole har 10 kg CO₂-e/m² høyere utslipp forbundet med oppbygningen i massivtre, én har tilnærmet likt utslipp og to skoler har henholdsvis 15 og 29 kg CO₂-e/m² lavere utslipp knyttet til massivtreoppbygningen. Likevel vil valg av andre EPDer føre til at dette kan endre seg. Sensitivitetsanalysen viser at det er viktig å prioritere klimavennlige alternativer for de materialene som står for store andeler av byggets utslipp. Spesielt resirkuleringsgrad av stål, betongtype og produsent av krysslimt tre kan ha stor innvirkning. I tillegg kan kortere transportavstand redusere materialutslipp med flere prosent.

Resultatene viser også at modulene A1-A3, B6 og B8 står for de største klimagassutslippene for begge oppbygningene. Oppbygningene i massivtre har lavere CO₂-utslipp i A1-A3, men høyere i C1-C4. Dekker er den bygningsdelen det er knyttet størst utslipp til, uavhengig av oppbygning. Utslipp til bæresystemer går ned samtidig som utslipp til yttervegger går opp ved valg av oppbygning i massivtre. Likevel er det noe problematisk å sammenligne slik, da yttervegger i massivtreoppbygninger er bærende. Studien viser at ulike bygningsmaterialer kan resultere i bygg med lavt klimagassutslipp, så lenge de miljøvennlige produktene blir valgt. Ved bruk av massivtre ligger forskjellen i hovedsak i det som ikke blir inkludert i beregningen av klimagassutslippene.

Oppbygningene i massivtre har 50 – 148 kg CO₂-e/m² større positive virkninger utenfor systemgrensene enn den alternative oppbygningen. I tillegg lagrer massivtreoppbygningene 102 – 296 kg CO₂-e/m² mer enn den alternative oppbygningen. De største forskjellene mellom de alternative oppbygningene er altså i modul D og i biogent karbonlagring. For disse aspektene kan det argumenteres for at beregningsmetodene bør oppdateres. De betydelige endringene i modul D og i biogent karbonlagring betyr at valg av materialer avhenger av hvor mye disse aspektene verdsettes. Verdsetting av modul D og biogent karbonlagring taler for at massivtre bør velges, men det må sees i sammenheng med de økte kostnadene.

Studien viser at utslipp forbundet med materialer står for 26 – 40 % av de totale klimagassutslippene. Dette er en tydelig indikasjon på at det også må stilles krav til klimagassutslipp fra materialer. Samtidig er det viktig at det sikres at disse kravene blir satt rettferdig og ikke gjør det mulig å «regne seg rundt». Det er derfor viktig at det blir utarbeidet grundige standarder som minimerer usikkerhet. Siden klimagassutslipp er en verdensomfattende utfordring, bør det også utarbeides globale standarder og retningslinjer. Det er fortsatt knyttet en rekke usikkerheter til beregning av klimagassutslipp fra bygninger som bør minimeres før det settes maksimumskrav til utslipp gjennom hele bygningens livsløp. Studien viser kun hva som lønner seg i dag, ettersom den teknologiske utviklingen kan bidra til å endre hvilke materialer som er best for klimaet. Det viktigste for klimaet er ikke hvilket materiale som blir valgt, men at det er det som er mest klimavennlig. I det totale bildet vil også de andre dimensjonene i bærekraftaspektet spille inn.

8 Videre arbeid

Denne studien har sammenlignet oppbygninger i massivtre med én annen oppbygning. En spennende videreutvikling hadde vært å se hvordan oppbygningene i massivtre er sammenlignet med andre type oppbygninger. I den forbindelse hadde det også vært interessant å studere enda nøyere hvilken type oppbygning som lønner seg for hver enkelt bygningsdel. Både med tanke på klimagassutslipp og økonomi.

Et annet relevant studie kan være å dele opp skolene i soner. For eksempel i idrettshall, svømmehall, kultursal, kontorer og klasserom. På den måten ville klimagassutslippene forbundet med hver enkelt del av bygget bli tydeliggjort og det ville økt muligheten for å sammenligne ulike skoler. En slik oppdeling vil også bidra til å kunne si noe om hvilken type oppbygning som lønner seg for ulike deler av en skole.

Siden det er knyttet usikkerheter til livsløpsvurdering som metode og programvarene som benyttes kunne det vært nyttig å utføre en lignende studie med ulike programvarer. På den måten kan det undersøkes om noen programvarer favoriserer enkelte byggematerialer fremfor andre. Dette er spesielt viktig dersom det skal innføres livsløpsbaserte miljøkrav i TEK. Med tanke på innføringen i TEK vil det også være interessant å utføre en studie som tar for seg de foreslåtte, eventuelt innførte, livsløpsbaserte miljøkravene i TEK og se for eksempel hvordan sammensetning av moduler slår ut for forskjellige materialer. En slik studie kan også fungere som tallgrunnlag ved fremtidige verdikrav i TEK.

Det er mange år til nybyggene i dag skal avhendes, og store teknologiske fremskritt kan, og må, skje. Derfor ville det vært spennende å utføre en studie som tar for seg realistiske scenarioer innen for eksempel gjen- og ombruksmarkeder, CO₂-lagring og utslipp til transport og energi, for å på den måten belyse hvilke materialer som i en slik situasjon vil være best for kostnader og klimaet.

Referanser

- Adams, M., Burrows, V. & Richardson, S. (2019). *Bringing embodied carbon upfront*. World Green Building Council. <https://www.worldgbc.org/news-media/bringing-embodied-carbon-upfront>
- AECOM. (2017). *Spon's architects' and builders' price book*. Abingdon : CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Andresen, I., Resch, E., Wiik, M., Selvig, E. & Stoknes, S. (2020). FutureBuilt ZERO - Kriterier, regneregler og dokumentasjonskrav. https://www.researchgate.net/publication/345232485_NOTAT_FutureBuilt_ZERO_-_Kriterier_regneregler_og_dokumentasjonskrav
- Andrew, R. M. (2018). Global CO2 emissions from cement production, 1928–2017. *Earth Syst. Sci. Data*, 10(4), 2213-2239. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2213-2018>
- Architektenakmmern, B. D. (2014). Statistiske Baupreise für Positionen mit Kurzttexten. *BKI*.
- Architektenkammern, B. D. (2014). BKI-Baupreise kompakt Neubau. *BKI*.
- Asplan Viak AS. (2020a). *Årssimulering idrettshall* (Upublisert materiale). Asplan Viak AS.
- Asplan Viak AS. (2020b). *Årssimulering skole og hjerte* (Upublisert materiale). Asplan Viak AS.
- Asplan Viak AS. (2020c). *Årssimulering svømmehall* (Upublisert materiale). Asplan Viak AS.
- Athena Sustainable Materials Institute. (u.å., u.å.). *LCA, LCI, LCIA, LCC: What's the Difference?* Athena Sustainable Materials Institute,. Hentet 02.05.2022 fra <http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/whats-the-difference/>
- Backe Vestfold Telemark. (u.å., u.å.). *Bygger Bamble nye ungdomsskole*. Backe Vestfold Telemark. Hentet 29.04.2022 fra <https://www.ta.no/vis/annonsorinnhold/bygger-bambles-nye-ungdomsskole/3423873271.html>
- Bergseng, E., Alfredsen, G., Dibdiakova, J., Gobakken, L. R., Gjerde, I., Granhus, A. & Søgaard, G. (2016). Skogen som ressurs. *Praktisk økonomi & finans*, 32(3), 253-263. <https://www.idunn.no/doi/10.18261/issn.1504-2871-2016-03-04>
- BREEAM NOR. (2022). *BREEAM-NOR v6.0 for nybygg*. Grønn byggallianse. https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2022/03/BREEAM-NOR-v6.0_norsk.pdf
- Breton, C., Blanchet, P., Amor, B., Beaugard, R. & Chang, W. S. (2018). Assessing the Climate Change Impacts of Biogenic Carbon in Buildings: A Critical Review of Two Main Dynamic Approaches. *Sustainability*, 10(6), Artikkel 2020. <https://doi.org/10.3390/su10062020>
- Budinis, S., Krevor, S., Dowell, N. M., Brandon, N. & Hawkes, A. (2018). An assessment of CCS costs, barriers and potential. *Energy Strategy Reviews*, 22. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X18300634>
- Byggfakta. (2021). *Nybygg, tilbygg og rehabilitering*. Byggfakta. https://www.byggfakta.dk/hubfs/Nybygg.%20tilbygg%20og%20rehabilitering_v4.pdf?utm_campaign=NO_BF_Nybygg_tilbygg_og_rehabilitering_2021&utm_medium=email&hsenc=p2ANqtz--f8wtzJsOPsmXN_JJ5ezwijXnZfauMlpbwv832hCE8kyZB-iBVGNwtwfp060KVHcYvG4qC8yjQB5XH0eYHEGrvmOUwVNbfMeaFOpGr8EO NmVTXgf4&hsmi=120450428&utm_content=120450428&utm_source=hs_automation&hsCtaTracking=95616a11-b5d2-409b-9d66-c717f42e1a46%7C55edaef4-3681-40a5-a9ee-633cb037e19c
- Byggfakta. (2022). *Skole- og helsebygg*. Byggfakta. https://www.byggfakta.dk/hubfs/Skole%20og%20helsebygg%20-%202022.pdf?utm_campaign=NO_BF_Rehabiliteringsrapporten&utm_medium=email&hsenc=p2ANqtz-

- [9m0GW1CMk9GRYie4DbZ3krjC6Rqo7xpgA7kM0k3uORNwe6AnchHsZY38hPfi-6pACnP9nZHalDnDOBQb-NGCrSF2_74zBUQBWNWdoLURwk28pSkHA&utm_content=205412440&utm_source=hs_automation](https://www.dibk.no/klimabaserte-energikrav-til-bygg)
- Direktoratet for byggkvalitet. (2021, 01.07.2022). *Klimabaserte energikrav til bygg*. Direktoratet for byggkvalitet. Hentet 14.05.2022 fra <https://dibk.no/klimabaserte-energikrav-til-bygg>
- ECRA. (2020). *Portland Cement (CEM I) produced in Europe*. Cembureau. <https://cembureau.eu/media/3lplreko/epd-for-cement-cem-i.pdf>
- El Hanandeh, A., Gilbert, B. & Bailleres, H. (2017). A comparative life cycle assessment (LCA) of alternative material for Australian building construction. *MATEC Web of Conferences*, 120, 02013. https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/34/mateconf_ascm2017_02013.pdf
- Emami, N., Marteinson, B. & Heinonen, J. (2016). Environmental impact assessment of a School building in Iceland using LCA-including the effect of long distance transport of materials. *Buildings*, 6(4), 46. <https://www.mdpi.com/163656>
- Engelsen, C. J. & Justnes, H. (2014). CO₂-Binding by Concrete Structures During Life Cycle. https://www.researchgate.net/publication/283350834_CO2-Binding_by_Concrete_Structures_during_Life_Cycle
- EPD Norge. (u.å.). *Hva er en EPD?* EPD Norge. Hentet 07.02.2022 fra <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>
- European Commission. (2021). *Making Our Homes and Buildings Fit for a Greener Future*. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_3673
- European Commission. (u.å.). *EU Taxonomy Compass*. European Commission. Hentet 28.02.2022 fra https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity_en.htm?reference=7.1
- Flesberg kommune. (u.å.). *Om prosjektet*. Flesberg kommune. Hentet 28.02.2022 fra <https://flesbergskole2019.no/om-prosjektet/>
- FN sambandet. (2020). *Parisavtalen*. FN sambandet. Hentet 28.02.2022 fra <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>
- FN sambandet. (2021a, 28.10.2021). *Bærekraftig utvikling*. FN sambandet. Hentet 09.03.2022 fra <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling>
- FN sambandet. (2021b, 08.02.2021). *Norge*. FN sambandet. Hentet 09.03.2022 fra <https://www.fn.no/Land/norge>
- Fridstrøm, L. & Østli, V. (2016). *Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp. Framskrivinger med modellen BIG* (1518/2016). Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/publikasjoner/kjoretøyparkens-utvikling-og-klimagassutslipp-framskrivinger-med-modellen-big-article34059-8.html>
- Fuglseth, M., Skullestad, J. L., Dahlstrøm, O., Løken, E., Nordby, A. S. & Borg, A. (2018). *Utredning av livsløpsbaserte miljøkrav i TEK*. Direktoratet for byggkvalitet. Hentet 03.05.2022 fra https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/utredning_av_livsløpsbaserte_miljøkrav_i_tek_asplan_viak_2018.pdf?fbclid=IwAR0C3Eb50YzF3wyfenjkOJydE0swKb6XIsGrrlv6nCE5VN_M6WXhCQB11_Y
- Global Alliance for Buildings and Construction. (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction*. United Nations Environment Programme. https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf

- Global CCS Institute. (u.å, u.å.). *Understanding CCS*. Global CCS Institute. Hentet 29.04.2022 fra <https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/>
- Gravås, A. (2021, u.å.). *Huseby skoler*. Byggeindustrien. Hentet 06.05.2022 fra <https://www.bygg.no/huseby-skoler/1475238!/>
- Gu, H., Liang, S. & Bergman, R. (2020). Comparison of building construction and life-cycle cost for a high-rise mass timber building with its concrete alternative. *Forest Products Journal*, 70(4), 482-492. <https://meridian.allenpress.com/fpj/article/70/4/482/454349/Comparison-of-Building-Construction-and-Life-Cycle>
- Hagen, K. P. (2011). *Verdsetting av fremtiden. Tidshorisont og diskonteringsrenter* (Concept rapport nr. 27). Concept-programmet. https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262010703/CONSEPT_27_web.pdf
- Hent. (2021). *Energnotat 1552 Huseby skoler* (Upublisert materiale). Hent.
- Hindklev, J. (2019, u.å.). *Nordre Ål skole*. Byggeindustrien. Hentet 06.05.2022 fra <https://www.bygg.no/nordre-al-skole/1404320!/>
- Holen, E.-B. Y. (2022). *Nordre Ål skole*. Lillehammer kommune. Hentet 11.04.2022 fra <https://www.lillehammer.kommune.no/nordre-aal-skole.490865.no.html>
- Holmen, L. O. (2017). *Nordre Ål skole - presmisnotat energi* (Upublisert materiale). Sweco.
- Homleid, Å. (2017, u.å.). *Tre og betong like gode i svensk miljøstudie*. Byggeindustrien. Hentet 06.05.2022 fra <https://www.bygg.no/tre-og-betong-like-gode-i-svensk-miljostudie/1323145!/>
- Hoxha, E., Passer, A., Mendes Saade, M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., Allacker, K. & Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. https://re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/1149322/548647/Hoxha%20et%20al_BAC_Biobased_46-2000-4-PB.pdf
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. & Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232-245. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813004143>
- International Energy Agency. (2020). *Iron and Steel Technology Roadmap. Towards more sustainable steelmaking*. IEA. https://iea.blob.core.windows.net/assets/eb0c8ec1-3665-4959-97d0-187ceca189a8/Iron_and_Steel_Technology_Roadmap.pdf
- Jacobsen, D. I. (2015). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* (3. utg.). Cappelen Damm.
- Jayalath, A., Navaratnam, S., Ngo, T., Mendis, P., Hewson, N. & Aye, L. (2020). Life cycle performance of Cross Laminated Timber mid-rise residential buildings in Australia. *Energy and Buildings*, 223, 110091. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819336734>
- 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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881630531X>
- Joelson, T. (2019, u.å.). *Flesberg skole*. Byggeindustrien. Hentet 06.05.2022 fra <https://www.bygg.no/flesberg-skole/1411821!/>
- Klima- og miljødepartementet. (2021, 22.10.2021). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Regjeringen. Hentet 13.05.2022 fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Larssen, S. (2021). Åpning av nye Huseby barneskole og Huseby ungdomsskole. *Bydelsnytt*. <https://bydelsnytt.no/2021/10/29/hoytidelig-apning-av-nye-huseby-barneskole-og-nye-huseby-ungdomsskole/>

- Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M. & Samson, R. (2013). Biogenic carbon and temporary storage addressed with dynamic life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 117-128. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1530-9290.2012.00503.x>
- Liang, S., Gu, H., Bergman, R. & Kelley, S. S. (2020). Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative. *Wood and Fiber Science*. 52 (2): 217-229. [https://www.researchgate.net/publication/340960305 Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative/references](https://www.researchgate.net/publication/340960305_Comparative_life-cycle_assessment_of_a_mass_timber_building_and_concrete_alternative/references)
- Lipasto. (2016). *Cars on average in Finland in 2016*. Lipasto. Hentet 29.04.2022 fra <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautote/hakeski-maarine.htm>
- Lotherington, P. B. (2015). Massivtre slår betong i klimaregnskap. *Byggmesteren*. <https://byggmesteren.as/2015/05/20/massivtre-slar-betong-i-klimaregnskap/>
- Lufkin, P., Abate, D., Romani, L., Dotz, R., Towers, M. & Miller, J. (2013). *The Whitestone Facility Maintenance and Repair Cost Reference 2013-2014*. Whitestone Research Corporation.
- Lufkin, P., Abate, D., Romani, L., Towers, M., Dotz, R. & Miller, J. (2014). *The Whitestone Facility Operations Cost Reference 2013-2014, International*. Whitestone Research Corporation
- Lyng, K.-A., Rønning, A., Vold, M. & Svanes, E. (2014). *Karbonopptak i betong i LCA og EPD* (OR.01.14). Østfoldforskning. <https://norsus.no/publikasjon/karbonopptak-i-betong-i-lca-og-epd/>
- Masson, S. (2021). *LCC Tool, Assessment Scope and Costing Database*. One Click LCA. Hentet 16.03.2022 fra <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064859-LCC-Tool-Assessment-Scope-and-Costing-Database>
- Miljødirektoratet. (2021, 18.02.2021). *Oljeforbud på byggeplasser i 2022*. Miljødirektoratet. Hentet 13.05.2022 fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/bygg-og-anlegg/oljeforbud-pa-byggeplasser/>
- Miljødirektoratet. (2022, 26.01.2022). *Utslippsfrie og fossilfrie byggeplasser*. Miljødirektoratet. Hentet 13.05.2022 fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/bygg-og-anlegg/utslippsfrie-byggeplasser/>
- NorBetong AS. (2019). *B30 M60 D22, Vibrerbar betong* (NEPD-1939-858-NO). EPD Norge. https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311696-1575304868/EPDer/Byggevarer/Ferdig%20betong/NEPD-1939-858_B30-M60-D22--Vibrerbar-betong.pdf
- Norcem. (u.å., u.å.). *Karbonfangst ved Norcem Brevik*. Norcem. Hentet 29.04.2022 fra https://www.norcem.no/no/CCS_Brevik
- Norcem AS. (2020). *Norcem Anleggsement SR, Brevik - CEM I 42, 5N-SR3*. N. S. f. Miljødeklarasjoner. https://www.epd-norge.no/getfile.php/1315347-1608049169/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-2337-1064_Norcem-Anleggsement-SR--Brevik-CEM-I-42-5N-SR3%281%29.pdf
- Norconsult AS. (2021a). *Energiattest idrettsbygg* (Upublisert materiale). Enova.
- Norconsult AS. (2021b). *Energiattest skolebygg* (Upublisert materiale). Enova.
- Norsk Betongforenings Miljøkomité. (2009). *CO2-utslipp - sement og betong, Utfordringer og perspektiver* (Nr. 1). N. Betongforening. https://betong.net/wp-content/uploads/NB-rapport-nr-1_CO2_rapport-m_NY-FORSIDE.pdf

- Norsk Betongforenings Miljøkomité. (2014). *Karbonopptak i betong* (Nr. 4). N. Betongforening. https://betong.net/wp-content/uploads/NB-Rapport-nr-4.-Karbonopptak-i-betong_Miljøkomiteen.pdf
- Norsk stål. (u.å.). *Grønnere - Stålproduksjon i dag*. Norsk stål. Hentet 11.03.2022 fra <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/groennere-staalproduksjon-i-dag>
- Norsk Stål AS. (2020). *Kaldformet Hulprofil* (NEPD-2525-1263-NO). EPD Norge. https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316041-1604945696/EPDer/Byggevarer/Stalkonstruksjoner/NEPD-2525-1263_Kaldformet-Hulprofil.pdf
- Norsk Treteknisk Institutt. (2006). *Håndbok - bygge med Massivtreelementer* (Hefte 3). Norsk Treteknisk Institutt. <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-3-Dimensjonering.pdf>
- One Click LCA. (u.å.-a, u.å.). *Automate building life cycle cost calculations*. One Click LCA. Hentet 15.05.2022 fra <https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-costing-software/>
- One Click LCA. (u.å.-b, u.å.). *BIM for sustainable building design with Model Checker*. One Click LCA. Hentet 28.02.2022 fra <https://www.oneclicklca.com/bim-for-sustainable-building-design-with-one-click-lca-model-checker/>
- One Click LCA. (u.å.-c, u.å.). *NS 3720-kompatibel bygnings LCA-programvare*. One Click LCA. Hentet 15.05.2022 fra <https://www.oneclicklca.com/certifications/one-click-lca-ns-3720/>
- One Click LCA. (u.å.-d, u.å.). *We are One Click LCA*. One Click LCA. Hentet 15.05.2022 fra <https://www.oneclicklca.com/about-one-click-lca/>
- One Click LCA. (u.å.-e, u.å.). *What data is available in One Click LCA?* One Click LCA. Hentet 06.05.2022 fra <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/database/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (u.å.). *Environmental performance of the steel sector*. OECD. Hentet 11.03.2022 fra <https://www.oecd.org/sti/ind/steel-environment-energy-efficiency.htm>
- Portland Cement Association. (2016). *Portland Cements* (EPD 035). P. C. Association. <https://www.cement.org/docs/default-source/sustainability2/pca-portland-cement-epd-062716.pdf?sfvrsn=2>
- Rønning, A., Prestrud, K., Saxegård, S., Haave, S. & Lysberg, M. (2019). *Klimagassregnskap av tre-og betongkonstruksjoner*. Østfoldforskning. https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/or-27.19-klimagassregnskap-av-tre-og-betongkonstruksjoner_sammendrag.pdf
- Singh, R. K. (2017). *Whole building life cycle assessment through LEED v4*. GBCI. Hentet 28.02.2022 fra <https://gbc.org/whole-building-life-cycle-assessment-through-leed-v4>
- SINTEF Byggforsk. (2014). *Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper* (470.101). SINTEF. https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper#i5
- SINTEF Byggforsk. (2015). *Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA)* (470.102). SINTEF. https://www.byggforsk.no/dokument/4144/metodiske_valg_og_problestillinger_ved_livsloepsvurdering_lca#i41
- Skullestad, J. L., Bohne, R. A. & Lohne, J. (2016). *High-rise timber buildings as a climate change mitigation measure—A comparative LCA of structural system alternatives*.

- Energy Procedia*, 96, 112-123.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216307512>
- Spenncon. (u.å.). *Hulldekker*. Spenncon. Hentet 19.04.2022 fra
<https://spenncon.no/mobil/produkter/hulldekker/>
- Splitkon AS. (2020). *Krysslimt tre* (NEPD-2042-902-NO). EPD Norge. https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313009-1585216652/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2042-902_Krysslimt-tre.pdf
- Standard Norge. (2006). *Miljøstyring, Livsløpsvurdering, Prinsipper og rammeverk* (NS-EN ISO 14040). Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236802>
- Standard Norge. (2010). *Miljømerker og deklarasjoner, Miljødeklarasjoner type III, Prinsipper og prosedyrer* (NS-EN ISO 14025). Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=474248>
- Standard Norge. (2011). *Bærekraftige byggverk, Vurdering av bygningers miljøprestasjon, Beregningsmetode* (NS-EN 15978). Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=600241>
- Standard Norge. (2018a). [Organisering av forskjellige moduler som brukes til å vurdere en bygning]. Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162>
- Standard Norge. (2018b). *Metode for klimagassberegninger for bygninger* (NS 3720). Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162>
- Standard Norge. (2019, 06.06.2019). *Livsløpskostnader (LCC) og levetid*. Standard Norge. Hentet 09.03.2022 fra <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/fasilitetsstyring/livslopskostnader-lcc-og-levetid/>
- Standard Norge. (2020). *Bærekraftige byggverk, Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon, Beregningsmetoder* (NS-EN 16627). Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1305222>
- Standard Norge. (2022). *Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder* (NS 3451). Standard Norge.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1411592>
- Standard Norge. (u.å., u.å.). *NS-EN ISO 14040:1997*. Standard Norge, . Hentet 02.05.2022 fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=143852>
- Stortinget. (2017, u.å.). *Representantforslag om en sterkere satsing på arbeidet for å nå målet om 10 TWh energieffektivisering*. Stortinget. Hentet 02.05.2022 fra <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Saker/Sak/?p=68334>
- Svensden, V. N. & Torblaa, E. J. (1989). *Karbonatisering av betong, et problem på norske dammer? NVE Publikasjon*, (Nr. 19).
https://publikasjoner.nve.no/publikasjonV/publikasjonV_19.pdf
- Sweco Norge AS. (2019). *Energiattest* (Upublisert materiale). Enova.

- Tellnes, L. G. F. (u.å.). *Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter* (Nr. 58). Trefokus. <https://www.treindustrien.no/resources/Miljodeklarasjoner-for-tre-og-trebaserte-produkter.pdf>
- Thyholdt, P., Kjellsen, K. O. & Bjerge, L.-M. H. (2018). Nye sementtyper og ny produksjonsteknologi skaper framtidens betong. *Betong og miljø*, s. 8-9. https://betong.net/wp-content/uploads/NB-rapport-nr-6_Betong-og-miljo.pdf
- Treindustrien. (2013). *Treindustriens lille grønne*. Trefokus. <http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>
- Trenytt, R. i. (2021). *Ny bærekraftig skole i massivtre*. Trenytt. Hentet 28.02.2022 fra <https://www.trenytt.no/hent-entreprenor-huseby-skole-skolebygg/ny-baerekraftig-skole-i-massivtre/727043>
- United Nations. (u.å.). *Global Warming Potentials*. United Nations Climate Change,. Hentet 19.04.2022 fra <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>
- Vågerö, O., Kverndokk, S. & Nævdal, E. (2021). Finnes det alternativer til CCS for å redusere utslipp fra sement? *SAMFUNNSØKONOMEN*, 31. <https://samfunnsokonomene.no/wp-content/uploads/2021/12/Samfunnsokonomenen-nr-3-2021.pdf#page=31>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E. & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1087-8#citeas>
- Wiik, M. K., Fufa, S. M., Kristjansdottir, T. & Andresen, I. (2018). Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. *Energy and Buildings*, 165, 25-34. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881733709X>
- Wiik, M. R. K., Selvig, E., Fuglseth, M., Resch, E., Lausset, 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 (ZEN rapport nr. 24). <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2657696>
- World Steel Association. (u.å.). *About steel*. World Steel Association. Hentet 11.03.2022 fra <https://worldsteel.org/about-steel/about-steel/>
- Aarhus, C. (2021, u.å.). *Bamble ungdomsskole*. Hentet 03.05.2022 fra <https://www.bygg.no/bamble-ungdomsskole/1471150/>

Vedlegg

Vedlegg A: Materialinput i One Click LCA, Flesberg skole

A.1 Oppbygning i massivtre

A.2 Alternativ oppbygning

Vedlegg B: Materialinput i One Click LCA, Bamble ungdomsskole

B.1 Oppbygning i massivtre

B.2 Alternativ oppbygning

Vedlegg C: Materialinput i One Click LCA, Huseby skoler

C.1 Oppbygning i massivtre

C.2 Alternativ oppbygning

Vedlegg D: Materialinput i One Click LCA, Nordre Ål skole

D.1 Oppbygning i massivtre

D.2 Alternativ oppbygning

Vedlegg E: Produktvalg i One Click LCA

Vedlegg A: Materialinput i One Click LCA, Flesberg skole

A.1 Oppbygning i massivtre

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY-TYPE	BYGNINGSDEL (use to choose)
Trefiberplate	0,52	m3	Yttertak (26)
Stål	4,9	m3	Bæresystemer (22)
Yttervegg	0,66	m3	Bygning, generelt (20)
Parkett	1,14	m3	Dekker (25)
Tre	6,01	m3	Bæresystemer (22)
Plastic, Opaque White	2,92	m3	Bygning, generelt (20)
Plastic - White	3,72	m3	Bygning, generelt (20)
Porselen	2,36	m3	Bygning, generelt (20)
Aluminum	0,12	m3	Bygning, generelt (20)
Plastic	0,08	m3	Bygning, generelt (20)
Glamox Metal	0,7	m3	Bygning, generelt (20)
Beton B25	0,42	m3	Bygning, generelt (20)
Isolasjon	0,03	m3	Bygning, generelt (20)
BSH	88,41	m3	Bæresystemer (22)
Gipskarton	0,15	m3	Bygning, generelt (20)
Stål	0,54	m3	Bæresystemer (22)
Betong	3,12	m3	Bygning, generelt (20)
Membran	2,59	m3	Dekker (25)
Tre	207,36	m3	Dekker (25)
Lekt	0,26	m3	Dekker (25)
Kledning	0,18	m3	Dekker (25)
Trefiberplate	2,48	m3	Yttervegger (23)
Finer	0,3	m3	Yttervegger (23)
Lim	0,63	m3	Dekker (25)
Robustgips	0,03	m3	Yttervegger (23)
Glass - Herdet	0,49	m3	Yttervegger (23)
Troldtekt	32,15	m3	Yttertak (26)
Fasthimling	45,77	m3	Yttertak (26)
Perforet lettak	49,74	m3	Yttertak (26)
Lekt	1,66	m3	Yttertak (26)
Finer	0,43	m3	Yttertak (26)
IFC Building Material	0,09	m3	Bygning, generelt (20)
Isolasjon - Kuldebrobryter	0,38	m3	Bygning, generelt (20)
Lufting - Vertikalt	1,13	m3	Innervegger (24)
Stenderverk Stål - Uisolert	0,96	m3	Innervegger (24)
U-blokk	1,78	m3	Innervegger (24)
Membran	0,01	m3	Innervegger (24)
Lekt	0,38	m3	Innervegger (24)
Platekledning - vegg	0,88	m3	Innervegger (24)
Lufting - Horisontalt	2,44	m3	Yttertak (26)
Lufting - Vertikalt	0,58	m3	Bygning, generelt (20)
Betong plasstøpt	22,82	m3	Yttervegger (23)
OSB-plate	0,05	m3	Innervegger (24)
Plastfolie	0,17	m3	Yttervegger (23)
Massivtre	7,46	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Systemhimling Troldtekt	4,85	m3	Yttertak (26)
Taktekning	14,86	m3	Yttertak (26)

Ukjent	3,67	m3	Bygning, generelt (20)
Wood - Solid Wood	1,88	m3	Yttertak (26)
Wood - Solid Wood	0,22	m3	Yttervegger (23)
Steni	0,26	m3	Yttervegger (23)
Stenderverk tre - Isolert	0,73	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	0,09	m3	Yttervegger (23)
Bindingsverk - Isolert	1,45	m3	Yttervegger (23)
Dampsperre	0,01	m3	Yttervegger (23)
Utforing - Isolert	0,35	m3	Yttervegger (23)
Baderomsplate	0,09	m3	Yttervegger (23)
Aluminium	14	m3	Bygning, generelt (20)
Glass	18,8	m3	Yttervegger (23)
Parkett	59,89	m3	Dekker (25)
Gulvplanker	5,58	m3	Dekker (25)
Massivtre	675,94	m3	Dekker (25)
Robustgips	76,13	m3	Innervegger (24)
Rupanel	58,96	m3	Innervegger (24)
Massivtre	11,63	m3	Bygning, generelt (20)
Stål	0,13	m3	Bygning, generelt (20)
Massivtre	433,22	m3	Yttervegger (23)
Betong plasstøpt	1131,16	m3	Grunn og fundamenter (21)
Betong	1070,58	m3	Dekker (25)
Betong	56,12	m3	Yttertak (26)
Betong	7,48	m3	Bæresystemer (22)
Betong	117,15	m3	Innervegger (24)
Kledning	106,18	m3	Yttervegger (23)
Tre	436,79	m3	Bæresystemer (22)
Betong Plasstøpt - B35	112,97	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trinnlydplate	60,53	m3	Dekker (25)
Grus	274,37	m3	Dekker (25)
Trepanel	56,82	m3	Yttertak (26)
Isolasjon	2645,37	m3	Yttertak (26)
Terrassebord	3,73	m3	Dekker (25)
Tre - Tømmer	16,94	m3	Dekker (25)
Lufting - Horisontalt	13,21	m3	Dekker (25)
Isolasjon	462,92	m3	Dekker (25)
Limtre	36,38	m3	Dekker (25)
Gulvbelegg	41,8	m3	Dekker (25)
Isolasjon - EPS	803,8	m3	Dekker (25)
Dekke	1032,22	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	1036,88	m3	Yttervegger (23)
Flis - Gulv	8,43	m3	Dekker (25)
Stål	0,187	m3	Yttertak (26)
Sink	0,77	m3	Yttertak (26)
Gips	12,17	m3	Yttervegger (23)
Stål	6,68	m3	Innervegger (24)
Systemhimling	150,79	m3	Yttertak (26)
Innervegg	5,78	m3	Innervegger (24)
Trepanel	15,88	m3	Innervegger (24)
Gips	17,01	m3	Innervegger (24)
Isolasjon	662,75	m3	Innervegger (24)

Limtre	227,39	m3	Innervegger (24)
Ultrabord	1,75	m3	Innervegger (24)
Massivtre	48,29	m3	Innervegger (24)
Baderomsplate	23,53	m3	Innervegger (24)
OSB-plate	73,96	m3	Innervegger (24)
Flis - Vegg	5,87	m3	Innervegger (24)
Leca	34,75	m3	Innervegger (24)
Lekt	9	m3	Yttervegger (23)
Membran	0,85	m3	Yttertak (26)
Limtre	202,38	m3	Bæresystemer (22)
Betong plasstøpt	138,38	m3	Dekker (25)
Rupanel	0,65	m3	Yttervegger (23)
Stål	2,42	m3	Fast inventar (27)
Stål	0,62	m3	Yttervegger (23)
Tak	3,93	m3	Yttertak (26)
Yttervegg	2,05	m3	Yttervegger (23)
Sløyfe	8	m3	Yttervegger (23)
Limtre	235,7	m3	Yttervegger (23)
Betong	260,44	m3	Yttervegger (23)
Lufting - Vertikalt	99	m3	Yttervegger (23)
Trepanel	21,48	m3	Yttervegger (23)
Taktekning	2,13	m3	Yttervegger (23)

A.2 Alternativ oppbygning

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Trefiberplate	0,52	m3	Yttertak (26)
Stål	4,9	m3	Bæresystemer (22)
Yttervegg	0,66	m3	Bygning, generelt (20)
Parkett	1,14	m3	Dekker (25)
Tre	6,01	m3	Bæresystemer (22)
Plastic, Opaque White	2,92	m3	Bygning, generelt (20)
Plastic - White	3,72	m3	Bygning, generelt (20)
Porselen	2,36	m3	Bygning, generelt (20)
Aluminium	0,12	m3	Bygning, generelt (20)
Plastic	0,08	m3	Bygning, generelt (20)
Glamox Metal	0,7	m3	Bygning, generelt (20)
Beton B25	0,42	m3	Bygning, generelt (20)
Isolasjon	0,03	m3	Bygning, generelt (20)
Gipskarton	0,15	m3	Bygning, generelt (20)
Stål	0,54	m3	Bæresystemer (22)
Betong	3,12	m3	Bygning, generelt (20)
Membran	2,59	m3	Dekker (25)
Tre	207,36	m3	Dekker (25)
Lekt	0,26	m3	Dekker (25)
Kledning	0,18	m3	Dekker (25)
Lim	0,63	m3	Dekker (25)
Glass - Herdet	0,49	m3	Yttervegger (23)
Troldtekt	32,15	m3	Yttertak (26)
Fasthimling	45,77	m3	Yttertak (26)
Perforet lettak	49,74	m3	Yttertak (26)
Lekt	1,66	m3	Yttertak (26)
Finer	0,43	m3	Yttertak (26)
IFC Building Material	0,09	m3	Bygning, generelt (20)
Lufting - Horisontalt	2,44	m3	Yttertak (26)
Lufting - Vertikalt	0,58	m3	Bygning, generelt (20)
Betong plasstøpt	22,82	m3	Yttervegger (23)
Massivtre	7,46	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Systemhimling Troldtekt	4,85	m3	Yttertak (26)
Taktekning	14,86	m3	Yttertak (26)
Ukjent	3,67	m3	Bygning, generelt (20)
Wood - Solid Wood	1,88	m3	Yttertak (26)
Aluminium	14	m3	Bygning, generelt (20)
Glass	18,8	m3	Yttervegger (23)
Parkett	59,89	m3	Dekker (25)
Gulvplanker	5,58	m3	Dekker (25)
Massivtre	11,63	m3	Bygning, generelt (20)
Stål	0,13	m3	Bygning, generelt (20)
Betong plasstøpt	1131,16	m3	Grunn og fundamenter (21)
Betong	1070,58	m3	Dekker (25)
Betong	56,12	m3	Yttertak (26)
Betong	7,48	m3	Bæresystemer (22)
Betong	117,15	m3	Innervegger (24)
Betong Plasstøpt - B35	112,97	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trinnydplate	60,53	m3	Dekker (25)

Grus	274,37	m3	Dekker (25)
Trepanel	56,82	m3	Yttertak (26)
Isolasjon	2645,37	m3	Yttertak (26)
Terrassebord	3,73	m3	Dekker (25)
Tre - Tømmer	16,94	m3	Dekker (25)
Lufting - Horisontalt	13,21	m3	Dekker (25)
Isolasjon	462,92	m3	Dekker (25)
Limtre	36,38	m3	Dekker (25)
Gulvbelegg	41,8	m3	Dekker (25)
Isolasjon - EPS	803,8	m3	Dekker (25)
Dekke	1032,22	m3	Yttervegger (23)
Flis - Gulv	8,43	m3	Dekker (25)
Stål	0,187	m3	Yttertak (26)
Sink	0,77	m3	Yttertak (26)
Systemhimling	150,79	m3	Yttertak (26)
Membran	0,85	m3	Yttertak (26)
Betong plasstøpt	138,38	m3	Dekker (25)
Tak	3,93	m3	Yttertak (26)
Isolasjon	685	m3	Innervegger (24)
Gipsplate	178	m3	Innervegger (24)
OSB-plate	164	m3	Innervegger (24)
Stålstendere	14	m3	Innervegger (24)
Isolasjon	705	m3	Yttervegger (23)
Kledning	62	m3	Yttervegger (23)
Lekt	6	m3	Yttervegger (23)
Gips	42	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	39	m3	Yttervegger (23)
Trestender	125	m3	Yttervegger (23)
Hulldekker	2695	m3	Dekker (25)
Stål	19,1	m3	Bæresystemer (22)
Betong	314	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	145	m3	Yttervegger (23)

Vedlegg B: Materialinput i One Click LCA, Bamble ungdomsskole

B.1 Oppbygning i massivtre

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Betong	7,22	m3	Yttertak (26)
Parkett	4,12	m3	Dekker (25)
Parkett - Høykantsparkett	4,35	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trinnydplate	4,5	m3	Dekker (25)
Gulvbord	0,91	m3	Dekker (25)
Stenderverk - Isolert	7,88	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Markplate	2,48	m3	Dekker (25)
Sportsgulv	98,07	m3	Dekker (25)
Platekledning - Himling	2,11	m3	Dekker (25)
Dansegulv	26,32	m3	Dekker (25)
Parkett - Industriparkett	8,44	m3	Dekker (25)
Sparkel - Industrisparkel	9,8	m3	Dekker (25)
Limtre	229,4	m3	Yttertak (26)
Bamble Him02 Systemhimling	43,16	m3	Yttertak (26)
Bamble Him04 Systemhimling Hygiene	20,41	m3	Yttertak (26)
Bamble Him05 Trespiler	6,57	m3	Yttertak (26)
Bamble Him07 Fast lydhimling	1,22	m3	Yttertak (26)
Lufting - Horisontalt	10,03	m3	Yttertak (26)
Trespiler	0,51	m3	Yttertak (26)
Lekt m iso	0,53	m3	Yttertak (26)
Stenderverk Stål - Uisolert	0,95	m3	Yttervegger (23)
Eksisterende konstruksjon	1,67	m3	Yttervegger (23)
Gips m/membran i v tsoner	0,05	m3	Yttervegger (23)
Stenderverk Stål 50 x100 på tvers	3	m3	Innervegger (24)
Gustafs Panel	0,09	m3	Innervegger (24)
Aluminium Profil	0,03	m3	Innervegger (24)
Isolasjon	5,48	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Akustikkplater	4,83	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Myk	0,2	m3	Innervegger (24)
Litex	2,54	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Trykkfast	0,67	m3	Innervegger (24)
Rupanel cc300mm	0,94	m3	Yttervegger (23)
Kryssfiner	0,24	m3	Yttervegger (23)
Gipsplate - Vegg	1,08	m3	Yttervegger (23)
GL 30c	273,2	m3	Bæresystemer (22)
Betong	181,1	m3	Bæresystemer (22)
Sponplate - Gulv	0,03	m3	Dekker (25)
Bjelkelag - Isolert	0,27	m3	Dekker (25)
Platekledning - Himling	0,02	m3	Yttertak (26)
Gulvbelegg 1	0,21	m3	Dekker (25)
Innervegg	2,18	m3	Innervegger (24)
Limtre (1)	66,42	m3	Bæresystemer (22)
Stenderverk tre - Isolert	0,26	m3	Yttervegger (23)
Systemhimling - 60x120	122,2	m3	Yttertak (26)
Tak	0,1	m3	Yttertak (26)
Vann	3,13	m3	Bygning, generelt (20)
Isolasjon	152,13	m3	Yttertak (26)

Taktekning	11,1	m3	Yttertak (26)
Finer	106,1	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Mineralull	2211,31	m3	Yttertak (26)
Gress	25,16	m3	Yttertak (26)
Membran	6,31	m3	Yttertak (26)
Metall - Krom	314,25	m3	Yttertak (26)
Gips	1,75	m3	Yttertak (26)
Stål	42,19	m3	Yttertak (26)
Stenderverk tre - Uisolert	188,46	m3	Yttertak (26)
Trepanel	38,26	m3	Yttertak (26)
Sparkel	373,76	m3	Dekker (25)
Trinnlydplate	1208,66	m3	Dekker (25)
Massivtre	1128,45	m3	Dekker (25)
Gulvbelegg - Linoleum/Vinyl	33,11	m3	Dekker (25)
Avrettingsmasse	31,41	m3	Dekker (25)
Betong	1585,12	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Akustikkplater	103,94	m3	Dekker (25)
Flis - Gulv	10,91	m3	Dekker (25)
Isolasjon	16,94	m3	Dekker (25)
Hulldekke	48,47	m3	Dekker (25)
Påstøp	19,47	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Myk	43,65	m3	Dekker (25)
Hulrom	65,45	m3	Dekker (25)
Robustgips	9,63	m3	Dekker (25)
Dekke	364,45	m3	Dekker (25)
Punktelestisk sportsgulv	9,13	m3	Dekker (25)
Betong RIB	50,96	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trykkfast	50,73	m3	Dekker (25)
Parkett - Høykantsparkett	13,54	m3	Dekker (25)
_Bamble Elementvegg	50,1	m3	Yttervegger (23)
_Bamble Skyfold	25,89	m3	Yttertak (26)
Bamble Him01 Systemhimling	219,82	m3	Yttertak (26)
Bamble Him03 Systemhimling Treullplater	47,7	m3	Yttertak (26)
Bamble Him06 Systemhimling-lyd	17,35	m3	Yttertak (26)
Robustgips	7,91	m3	Yttertak (26)
Konstruksjonsfiner	1,28	m3	Yttertak (26)
Stål stenderverk-Isolert	10,18	m3	Yttertak (26)
Steni plate	1,68	m3	Yttertak (26)
Lekt	40,06	m3	Yttertak (26)
Stenderverk - Isolert	14,81	m3	Yttertak (26)
Massivtre	47,94	m3	Yttertak (26)
Utvendig kledning - Shingel	4,62	m3	Yttertak (26)
Stenderverk Stål - Uisolert	31,31	m3	Yttertak (26)
Kryssfiner/m belfiner	0,89	m3	Yttertak (26)
Massivtre	533,08	m3	Yttervegger (23)
Flis - Vegg	0,2	m3	Yttervegger (23)
Konstruksjonsfiner	0,29	m3	Yttervegger (23)
Stål stenderverk-Isolert	1,8	m3	Yttervegger (23)
Robustgips	0,36	m3	Yttervegger (23)
Trepanel	0,1	m3	Yttervegger (23)
Baderomspanel	0,67	m3	Yttervegger (23)

Betong	1217,99	m3	Yttervegger (23)
Lekt	421,17	m3	Yttervegger (23)
Aluminium Profil	0,04	m3	Yttervegger (23)
Gustafs Panel	0,1	m3	Yttervegger (23)
Betong RIB	39,12	m3	Yttervegger (23)
Flis - Vegg	14,96	m3	Innervegger (24)
Robustgips	129,66	m3	Innervegger (24)
Konstruksjonsfiner	116,09	m3	Innervegger (24)
Stål stenderverk-Isolert	402,78	m3	Innervegger (24)
Gips	45,23	m3	Innervegger (24)
Kryssfiner/m belfiner	16,03	m3	Innervegger (24)
Stenderverk Stål - Uisolert	378,49	m3	Innervegger (24)
Lekt m iso	142,49	m3	Innervegger (24)
Membran	6,54	m3	Innervegger (24)
Trespiler	143,04	m3	Innervegger (24)
Baderomspanel	38	m3	Innervegger (24)
Rupanel cc300mm	53,85	m3	Innervegger (24)
Stenderverk Stål - Isolert	113,21	m3	Innervegger (24)
Finer	12,76	m3	Innervegger (24)
Gips m/membran i v tsoner	11,88	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Mineralull	135,29	m3	Innervegger (24)
Hulrom	43,24	m3	Innervegger (24)
Lufting - Horisontalt	30,26	m3	Innervegger (24)
Massivtre	533,47	m3	Innervegger (24)
Lufting - Vertikalt	1,98	m3	Innervegger (24)
Trepanel	0,07	m3	Innervegger (24)
Leca	63,58	m3	Innervegger (24)
Branngips	2,48	m3	Innervegger (24)
Stenderverk tre - Uisolert	5,17	m3	Innervegger (24)
Utvendig kledning - St ende	26,07	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	1192,46	m3	Yttervegger (23)
Utvendig kledning - Shingel	29,43	m3	Yttervegger (23)
Steni plate	15,92	m3	Yttervegger (23)
Hulrom	18,04	m3	Yttervegger (23)
Gips	1,61	m3	Yttervegger (23)
Finer	2,11	m3	Yttervegger (23)
Grunnmurspapp	4,12	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Ekspandert polystyren	149,46	m3	Yttervegger (23)
Platekledning - Vegg	0,07	m3	Yttervegger (23)
Lufting - Vertikalt	0,15	m3	Yttervegger (23)
Betong	13,88	m3	Bæresystemer (22)
Børstematter	8,25	m3	Dekker (25)
Stål (1)	2,41	m3	Bæresystemer (22)
Glass	87,95	m3	Yttervegger (23)
Limtre	172,16	m3	Bæresystemer (22)
Massivtre	335,61	m3	Bæresystemer (22)
Massivtre (1) (1)	2,06	m3	Dekker (25)
Tre (1)	0,25	m3	Bæresystemer (22)
Trepanel	77,25	m3	Dekker (25)
Yttervegg	10,69	m3	Yttervegger (23)

B.2 Alternativ oppbygning

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Betong	7,22	m3	Yttertak (26)
Parkett	4,12	m3	Dekker (25)
Parkett - Høykantsparkett	4,35	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trinnydplate	4,5	m3	Dekker (25)
Gulvbord	0,91	m3	Dekker (25)
Stenderverk - Isolert	7,88	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Markplate	2,48	m3	Dekker (25)
Sportsgulv	98,07	m3	Dekker (25)
Platekledning - Himling	2,11	m3	Dekker (25)
Dansegulv	26,32	m3	Dekker (25)
Parkett - Industriparkett	8,44	m3	Dekker (25)
Sparkel - Industrisparkel	9,8	m3	Dekker (25)
Limtre	229,4	m3	Yttertak (26)
Bamble Him02 Systemhimling	43,16	m3	Yttertak (26)
Bamble Him04 Systemhimling Hygiene	20,41	m3	Yttertak (26)
Bamble Him05 Trespiler	6,57	m3	Yttertak (26)
Bamble Him07 Fast lydhimling	1,22	m3	Yttertak (26)
Stål stenderverk-Isolert	8,86	m3	Yttertak (26)
Lufting - Horisontalt	10,03	m3	Yttertak (26)
Trespiler	0,51	m3	Yttertak (26)
Lekt m iso	0,53	m3	Yttertak (26)
GL 30c	273,2	m3	Bæresystemer (22)
Betong	181,1	m3	Bæresystemer (22)
Sponplate - Gulv	0,03	m3	Dekker (25)
Bjelkelag - Isolert	0,27	m3	Dekker (25)
Platekledning - Himling	0,02	m3	Yttertak (26)
Gulvbelegg 1	0,21	m3	Dekker (25)
Massivtre	23,51	m3	Innervegger (24)
Systemhimling - 60x120	122,2	m3	Yttertak (26)
Tak	0,1	m3	Yttertak (26)
Vann	3,13	m3	Bygning, generelt (20)
Gips	25	m3	Yttervegger (23)
Lekt	4	m3	Yttervegger (23)
Steni plate	15,92	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	23	m3	Yttervegger (23)
Trestender	56	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	1451	m3	Innervegger (24)
Gips	377	m3	Innervegger (24)
OSB-plate	348	m3	Innervegger (24)
Stål	29	m3	Innervegger (24)
Hulldekker	5296	m2	Dekker (25)
Stål	31,7	m3	Bæresystemer (22)
Betong	1218	m3	Yttervegger (23)
EPS	149,46	m3	Yttervegger (23)
Stål	1	m3	Yttertak (26)
Isolasjon	152,13	m3	Yttertak (26)
Taktekning	11,1	m3	Yttertak (26)
Finer	106,1	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Mineralull	2211,31	m3	Yttertak (26)

Membran	6,31	m3	Yttertak (26)
Gips	1,75	m3	Yttertak (26)
Stenderverk tre - Uisolert	188,46	m3	Yttertak (26)
Trepanel	38,26	m3	Yttertak (26)
Sparkel	373,76	m3	Dekker (25)
Trinnlydplate	1208,66	m3	Dekker (25)
Gulvbelegg - Linoleum/Vinyl	33,11	m3	Dekker (25)
Avrettingsmasse	31,41	m3	Dekker (25)
Betong	1585,12	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Akustikkplater	103,94	m3	Dekker (25)
Flis - Gulv	10,91	m3	Dekker (25)
Isolasjon	16,94	m3	Dekker (25)
Hulldekke	48,47	m3	Dekker (25)
Påstøp	19,47	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Myk	43,65	m3	Dekker (25)
Hulrom	65,45	m3	Dekker (25)
Robustgips	9,63	m3	Dekker (25)
Dekke	364,45	m3	Dekker (25)
Punktelestisk sportsgulv	9,13	m3	Dekker (25)
Betong RIB	50,96	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trykkfast	50,73	m3	Dekker (25)
Parkett - Høykantsparkett	13,54	m3	Dekker (25)
_Bamble Skyfold	25,89	m3	Yttertak (26)
Bamble Him01 Systemhimling	219,82	m3	Yttertak (26)
Bamble Him03 Systemhimling Treullplater	47,7	m3	Yttertak (26)
Bamble Him06 Systemhimling-lyd	17,35	m3	Yttertak (26)
Robustgips	7,91	m3	Yttertak (26)
Konstruksjonsfiner	1,28	m3	Yttertak (26)
Steni plate	1,68	m3	Yttertak (26)
Lekt	40,06	m3	Yttertak (26)
Stenderverk - Isolert	14,81	m3	Yttertak (26)
Massivtre	47,94	m3	Yttertak (26)
Utvendig kledning - Shingel	4,62	m3	Yttertak (26)
Stenderverk Stål - Uisolert	31,31	m3	Yttertak (26)
Kryssfiner/m belfiner	0,89	m3	Yttertak (26)
Betong	13,88	m3	Bæresystemer (22)
Børstematter	8,25	m3	Dekker (25)
Stål (1)	2,41	m3	Bæresystemer (22)
Glass	87,95	m3	Yttervegger (23)
Massivtre	335,61	m3	Fast inventar (27)
Robustgips	12,06	m3	Innervegger (24)
Trepanel	77,25	m3	Dekker (25)
Isolasjon	1256	m3	Yttervegger (23)

Vedlegg C: Materialinput i One Click LCA, Huseby skoler

C.1 Oppbygning i massivtre

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Tre	5,7	m3	Bygning, generelt (20)
Aluminium	0,7	m3	Yttervegger (23)
Gulvplanker	13,4	m3	Dekker (25)
Trefiberplate	8,2	m3	Yttervegger (23)
Stål - Rustfritt	1	m3	Bæresystemer (22)
Betong	3,2	m3	Bæresystemer (22)
Glass	0,1	m3	Innervegger (24)
Aluminium (1)	4,8	m3	Dekker (25)
Stål - Rustfritt	0,1	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Betong Plasstøpt	136,8	m3	Grunn og fundamenter (21)
Asfalt	19,8	m3	Dekker (25)
Eik	1,5	m3	Innervegger (24)
IFC - Import	16,2	m3	Dekker (25)
Vinyl, teknisk rom	0,2	m3	Dekker (25)
Akrylgulv	0,3	m3	Dekker (25)
Platekledning - Gulv kryssfiner	1,2	m3	Dekker (25)
Bindingsverk - Uisolert	8,7	m3	Dekker (25)
Gummikloss vibrasjonsgulv	1,4	m3	Dekker (25)
Flis - Gulv	1,1	m3	Dekker (25)
Vinyl, syrefast	0,1	m3	Dekker (25)
Gips	0,1	m3	Innervegger (24)
Gipsplate - Vegg	0,1	m3	Innervegger (24)
Betong	4,1	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Akustisk demping	6,9	m3	Yttertak (26)
Stenderverk tre - Uisolert	11,1	m3	Yttertak (26)
Platekledning - Himling	1,8	m3	Yttertak (26)
Akustisk puss himling	1,4	m3	Yttertak (26)
Dampsperre	0,2	m3	Dekker (25)
HSK EL	99,4	m3	Varme (32)
Platekledning - Vegg	1,3	m3	Innervegger (24)
HSK TELE	40,4	m3	Tele og automatisering (50)
Isolasjon - PIR	1,3	m3	Yttertak (26)
Bindingsverk - I-profil	15,3	m3	Innervegger (24)
OSB-plate	0,2	m3	Innervegger (24)
Valchromat perforert	2,3	m3	Innervegger (24)
Gips - Fermacel	5,7	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Myk	2,3	m3	Innervegger (24)
Lekt	0,3	m3	Innervegger (24)
Platekledning - Cembrit	0,3	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Murplate	1,9	m3	Innervegger (24)
Sponplate - Vegg	0,6	m3	Innervegger (24)
Stål	0,4	m3	Innervegger (24)
Limtre sortbeiset	90,6	m3	Bæresystemer (22)
Massivtre dekke takutstik	15	m3	Dekker (25)
Stenderverk tre - Isolert	7,2	m3	Bygning, generelt (20)
Isolasjon - Brannisolasjon stål	20,4	m3	Bygning, generelt (20)
Gips	1,2	m3	Bygning, generelt (20)

Taktekning	3,8	m3	Yttervegger (23)
Rigid insulation	860,9	m3	Yttervegger (23)
Sløyfe	2,8	m3	Yttervegger (23)
Tre	2,6	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	1,2	m3	Yttervegger (23)
OSB-plate	0,3	m3	Yttervegger (23)
Kryssfiner	1,6	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	20,3	m3	Yttervegger (23)
Utvendig kledning	2,2	m3	Yttervegger (23)
Taktekning	0,5	m3	Innervegger (24)
Utforing - Isolert	43,1	m3	Innervegger (24)
TRP - Isolert	88,3	m3	Yttertak (26)
Dampspærre	0,5	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - PIR	7,9	m3	Yttervegger (23)
Lekt - Horisontal perforert stål/alu profil	2,8	m3	Yttervegger (23)
Plattekledning - Yttervegg BS	0,1	m3	Yttervegger (23)
Stål	0,1	m3	Yttervegger (23)
Gipsplate - Brann	0,6	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Akustisk demping	3,4	m3	Yttervegger (23)
Glass	53,3	m3	Bygning, generelt (20)
Kryssfiner	6,8	m3	Yttervegger (23)
Stål	1,02	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Aluminium RAL D	1	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Polyuretanskum (PUR)	1,6	m3	Bygning, generelt (20)
Finer perforert	5,7	m3	Innervegger (24)
Betong	2028,4	m3	Dekker (25)
Massivtre	296,7	m3	Yttervegger (23)
Limtre	603	m3	Bæresystemer (22)
parkett	55,8	m3	Dekker (25)
Akustikkplater	25,2	m3	Yttertak (26)
Aluminium	3,2	m3	Innervegger (24)
Aluminium (1)	2,2	m3	Innervegger (24)
Glass	1,6	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Trykkfast	999,7	m3	Dekker (25)
Massivtre	2361,9	m3	Dekker (25)
Sløyfe	3,2	m3	Yttertak (26)
Tre	20,1	m3	Yttertak (26)
OSB-plate	3,6	m3	Yttertak (26)
Isolasjon	18,8	m3	Yttertak (26)
Utvendig kledning	1,7	m3	Yttertak (26)
Vindsperre	0,5	m3	Yttertak (26)
Betong	2812,1	m3	Grunn og fundamenter (21)
Betong HD	319,8	m3	Dekker (25)
Dekke	114,8	m3	Dekker (25)
Membran	11,3	m3	Dekker (25)
B35	49,2	m3	Dekker (25)
Finer	11,9	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Trykkfast	223,3	m3	Yttervegger (23)
Stenderverk tre - Isolert	445,2	m3	Yttervegger (23)
Linoleum	5,1	m3	Dekker (25)
Påstøp	184,1	m3	Dekker (25)

Trinnlydplate	162,3	m3	Dekker (25)
Gipsplate	1,2	m3	Innervegger (24)
Treullit	279,9	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Myk	140,1	m3	Yttertak (26)
Gips	3,2	m3	Yttertak (26)
Gips - Fermacell	3,2	m3	Yttertak (26)
Lekt	24,5	m3	Yttertak (26)
Systemhimling	42,6	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Trykkfast	792,5	m3	Yttertak (26)
Stål	15,4	m3	Bæresystemer (22)
HSK VVS	791,4	m3	Sanitær (31)
Hulldekke	571,2	m3	Dekker (25)
Stenderverk tre - Isolert	15	m3	Dekker (25)
Innervegg	9,6	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Akustisk demping	10,2	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Myk	100,3	m3	Yttervegger (23)
Gipsplate - Robustgips	50	m3	Innervegger (24)
Stål	9	m3	Innervegger (24)
Isolasjon	876	m3	Innervegger (24)
Stål	0,3	m3	Innervegger (24)
Kryssfiner liggende striper	29,7	m3	Innervegger (24)
Tresjiktsplate	222,4	m3	Innervegger (24)
Gipsplate - Vegg	48,3	m3	Innervegger (24)
Gipsplate - Brann	153,6	m3	Innervegger (24)
Lufting - Vertikalt	57,4	m3	Innervegger (24)
Gipsplate - Fermacell	12,8	m3	Innervegger (24)
Trespiler innvendig	23,6	m3	Innervegger (24)
Iso ubrennbar - Akustisk demping	24,1	m3	Innervegger (24)
Trespiler 21 X 43 mm	14,4	m3	Innervegger (24)
Kryssfiner	5,8	m3	Innervegger (24)
Stenderverk tre - Isolert	247,5	m3	Innervegger (24)
Flis - Vegg	2,3	m3	Innervegger (24)
Hulrom for skyved r	33,8	m3	Innervegger (24)
Stenderverk tre - Uisolert	3,7	m3	Innervegger (24)
Lufting - Horisontalt	2	m3	Innervegger (24)
Finer	8,8	m3	Innervegger (24)
I-profil - Isolert	6,7	m3	Innervegger (24)
Finer Brannimpregnert	8,9	m3	Innervegger (24)
Lekt brannimpregnert + Isolasjon Akustikk	28,5	m3	Innervegger (24)
Betong	40	m3	Innervegger (24)
Lekt + Isolasjon Akustikk	19,7	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Trykkfast	52,3	m3	Innervegger (24)
Kryssfiner	1,2	m3	Innervegger (24)
Lettklinker	4,2	m3	Yttervegger (23)
Massivtre dekke	2040,4	m3	Dekker (25)
Membran	28,7	m3	Yttervegger (23)
OSB-plate	1,3	m3	Yttervegger (23)
Platekledning - Himling	49,8	m3	Dekker (25)
Stål - Rustfritt	2	m3	Bæresystemer (22)
Tre	273,5	m3	Fast inventar (27)
Utvendig kledning	75,8	m3	Yttervegger (23)

Sløyfe	29,2	m3	Yttervegger (23)
Lufting - Vertikalt	129,8	m3	Yttervegger (23)
Betong	515,4	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	17,5	m3	Yttervegger (23)
Lekt + Isolasjon Akustikk	16,2	m3	Yttervegger (23)
Lekt	144,1	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	461	m3	Yttervegger (23)
Utvendig kledning - Sementplate	2	m3	Yttervegger (23)
Metall - Sinusplater	0,7	m3	Yttervegger (23)
Stenderverk tre - Uisolert	48,5	m3	Yttervegger (23)
Platekledning - Vegg	1,4	m3	Yttervegger (23)
Gips	8,9	m3	Yttervegger (23)
Rupanel	4,2	m3	Yttervegger (23)
Stål	0,1	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Myk	4,7	m3	Yttervegger (23)
Gipsplate - Vegg	1,5	m3	Yttervegger (23)
Tresjiktsplate	1,9	m3	Yttervegger (23)
Lufting - Horisontalt	2,7	m3	Yttervegger (23)
Påføring - isolert	4,2	m3	Yttervegger (23)
Kryssfiner liggende striper	0,3	m3	Yttervegger (23)

C.2 Alternativ oppbygning

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Tre	5,7	m3	Bygning, generelt (20)
Gulvplanker	13,4	m3	Dekker (25)
Glass	0,1	m3	Innervegger (24)
Aluminium (1)	4,8	m3	Dekker (25)
Stål - Rustfritt	0,1	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Betong Plasstøpt	136,8	m3	Grunn og fundamenter (21)
Asfalt	19,8	m3	Dekker (25)
IFC - Import	16,2	m3	Dekker (25)
Vinyl, teknisk rom	0,2	m3	Dekker (25)
Akrylgulv	0,3	m3	Dekker (25)
Platekledning - Gulv kryssfiner	1,2	m3	Dekker (25)
Bindingsverk - Uisolert	8,7	m3	Dekker (25)
Gummikloss vibrasjonsgulv	1,4	m3	Dekker (25)
Flis - Gulv	1,1	m3	Dekker (25)
Vinyl, syrefast	0,1	m3	Dekker (25)
Betong	4,1	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Akustisk demping	6,9	m3	Yttertak (26)
Stenderverk tre - Uisolert	11,1	m3	Yttertak (26)
Platekledning - Himling	1,8	m3	Yttertak (26)
Akustisk puss himling	1,4	m3	Yttertak (26)
Dampsperre	0,2	m3	Dekker (25)
HSK EL	99,4	m3	Varme (32)
HSK TELE	40,4	m3	Tele og automatisering (50)
Isolasjon - PIR	1,3	m3	Yttertak (26)
Stenderverk tre - Isolert	7,2	m3	Bæresystemer (22)
Isolasjon - Brannisolasjon stål	20,4	m3	Bæresystemer (22)
Gips	1,2	m3	Bæresystemer (22)
Taktekning	3,8	m3	Yttervegger (23)
Rigid insulation	860,9	m3	Yttervegger (23)
Sløyfe	2,8	m3	Yttervegger (23)
Tre	2,6	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	1,2	m3	Yttervegger (23)
OSB-plate	0,3	m3	Yttervegger (23)
Kryssfiner	1,6	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon	20,3	m3	Yttervegger (23)
Utvendig kledning	2,2	m3	Yttervegger (23)
TRP - Isolert	88,3	m3	Yttertak (26)
Glass	53,3	m3	Bygning, generelt (20)
Stål	1,02	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Isolasjon - Polyuretanskum (PUR)	1,6	m3	Bygning, generelt (20)
Betong	2028,4	m3	Dekker (25)
parkett	55,8	m3	Dekker (25)
Akustikkplater	25,2	m3	Yttertak (26)
Glass	1,6	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Trykkfast	999,7	m3	Dekker (25)
Sløyfe	3,2	m3	Yttertak (26)
Tre	20,1	m3	Yttertak (26)
OSB-plate	3,6	m3	Yttertak (26)
Isolasjon	18,8	m3	Yttertak (26)

Utvendig kledning	1,7	m3	Yttertak (26)
Vindsperre	0,5	m3	Yttertak (26)
Betong	2812,1	m3	Grunn og fundamenter (21)
Betong HD	319,8	m3	Dekker (25)
Membran	11,3	m3	Dekker (25)
B35	49,2	m3	Dekker (25)
Linoleum	5,1	m3	Dekker (25)
Påstøp	184,1	m3	Dekker (25)
Trinnlydplate	162,3	m3	Dekker (25)
Treullit	279,9	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Myk	140,1	m3	Yttertak (26)
Gips	3,2	m3	Yttertak (26)
Gips - Fermacell	3,2	m3	Yttertak (26)
Lekt	24,5	m3	Yttertak (26)
Systemhimling	42,6	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Trykkfast	792,5	m3	Yttertak (26)
Stål	15,4	m3	Bæresystemer (22)
HSK VVS	791,4	m3	Sanitær (31)
Hulldekke	571,2	m3	Dekker (25)
Stenderverk tre - Isolert	15	m3	Dekker (25)
Plattekledning - Himling	49,8	m3	Dekker (25)
Stål - Rustfritt	2	m3	Bæresystemer (22)
Tre	273,5	m3	Fast inventar (27)
Gips	16	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Myk	266	m3	Yttervegger (23)
Lekt	2	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	15	m3	Yttervegger (23)
Kledning	23	m3	Yttervegger (23)
Trestender	36	m3	Yttervegger (23)
Gips	321	m3	Innervegger (24)
Stål	25	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Myk	1234	m3	Innervegger (24)
OSB-plate	296	m3	Innervegger (24)
Stål	31	m3	Bæresystemer (22)
Hulldekke	9090	m2	Dekker (25)
Betong	515	m3	Yttervegger (23)
EPS	400	m3	Yttervegger (23)

Vedlegg D: Materialinput i One Click LCA, Nordre Ål skole

D.1 Oppbygning i massivtre

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Stål - Overflatebehandlet	0,003	m3	Bæresystemer (22)
Stål - Rustfritt	0,07	m3	Bæresystemer (22)
Betong B35	0,072	m3	Bæresystemer (22)
Sink	0,005	m3	Bæresystemer (22)
Lufting - Vertikalt	0,009	m3	Bæresystemer (22)
Finer	0,432	m3	Bygning, generelt (20)
Betong	3,78	m3	Bygning, generelt (20)
OSB-plate	0,048	m3	Bygning, generelt (20)
STEEL/S235	0,001	m3	Bygning, generelt (20)
Lekt	0,645	m3	Yttertak (26)
Taktekning	0,1	m3	Yttertak (26)
OSB-plate	1	m3	Yttertak (26)
Bjelkelag - uisolert	19,6	m3	Yttertak (26)
Finer	0,027	m3	Dekker (25)
Stål - S355	0,001	m3	Dekker (25)
Gipsplate - Standard	0,4	m3	Yttervegger (23)
Betong	3,39	m3	Yttervegger (23)
Finer	0,162	m3	Bæresystemer (22)
Stål	1,248	m3	Bæresystemer (22)
Tre	0,008	m3	Bæresystemer (22)
Stål S355	0,903	m3	Bæresystemer (22)
Stål - S355	0,01	m3	Bæresystemer (22)
Stender	45	m3	Yttertak (26)
Limtre grann GL30c	1,67	m3	Bæresystemer (22)
STEEL/S355J0	3,199	m3	Bæresystemer (22)
Aluminium	0,003	m3	Bæresystemer (22)
Limtre	7,588	m3	Bæresystemer (22)
Tre	0,907	m3	Bæresystemer (22)
Industriparkett eik mørk	0,592	m3	Innervegger (24)
Utvendig kledning - Stående - brent panel	0,22	m3	Innervegger (24)
Glass	8,282	m3	Dekker (25)
Tre	27,551	m3	Dekker (25)
Platekledning - Himling	1,808	m3	Yttertak (26)
Gips	2,3	m3	Yttertak (26)
Flis - Vegg	8,5	m3	Innervegger (24)
Massivtre	16,445	m3	Fast inventar (27)
STEEL/S355J0	0,202	m3	Grunn og fundamenter (21)
Stål S355	0,015	m3	Dekker (25)
Armering	12,051	m3	Bygning, generelt (20)
Gips	0,229	m3	Dekker (25)
Dampsperre	0,3	m3	Dekker (25)
Trestender	10	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Myk	74,5	m3	Dekker (25)
Vindsperre	3,4	m3	Dekker (25)
Tre innredninger	0,32	m3	Dekker (25)
Lufting - Vertikalt	3,475	m3	Dekker (25)
Hulldekke	180,43	m3	Dekker (25)

Betong B30	485,653	m3	Dekker (25)
Betong B35	53,757	m3	Dekker (25)
Isolasjon	298,661	m3	Dekker (25)
Tre	0,339	m3	Trapper, balkonger, m.m (28)
Gipsplate - Standard	0,832	m3	Innervegger (24)
Industriparkett eik lys	0,06	m3	Fast inventar (27)
Industriparkett eik mørk	0,008	m3	Fast inventar (27)
Betong B35	4,081	m3	Grunn og fundamenter (21)
Isolasjon	27,934	m3	Grunn og fundamenter (21)
Mineralull panel	7,422	m3	Innervegger (24)
Massivtre innvendig	5,538	m3	Innervegger (24)
Gipsplate - Ultra Board 15	0,128	m3	Innervegger (24)
Gipsplate - Ultra Board 13	0,034	m3	Innervegger (24)
Bindingsverk	6,9	m3	Innervegger (24)
Betong	5,9	m3	Innervegger (24)
Glass - Herdet	0,343	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Markplate	0,906	m3	Dekker (25)
Innervegg	62,557	m3	Innervegger (24)
Finer	0,7	m3	Yttervegger (23)
Yttervegg	6,369	m3	Yttervegger (23)
Glass	2,483	m3	Yttervegger (23)
Vegg	0,221	m3	Yttervegger (23)
Bindingsverk	6	m3	Yttervegger (23)
Vindspærre	0,9	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Trykkfast	1,212	m3	Yttervegger (23)
Betong	30	m3	Betong (25)
Betong B30	7,225	m3	Bæresystemer (22)
Isolasjon - Trykkfast	1744,8	m3	Yttertak (26)
Gulvbelegg	16,2	m3	Dekker (25)
Påstøp	263,2	m3	Dekker (25)
Trinnlydplate	180,1	m3	Dekker (25)
Massivtre	1006,433	m3	Dekker (25)
Avrettingsmasse	97,4	m3	Dekker (25)
Betong	412,256	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trykkfast	1221,35	m3	Dekker (25)
Plastfolie	3,7	m3	Dekker (25)
Kledning	80,26	m3	Yttervegger (23)
Lekt	21,11	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Myk	1135,3	m3	Yttervegger (23)
Gips	67,55	m3	Yttervegger (23)
Limtre	299,9	m3	Bæresystemer (22)
Stål	5,28	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Myk	408	m3	Yttertak (26)
Platekledning - Vegg	5,031	m3	Innervegger (24)
Betong B30	423,68	m3	Grunn og fundamenter (21)
Gips	232,47	m3	Innervegger (24)
Stål	1,41	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Myk	761,58	m3	Innervegger (24)
Våtromsplate ikke brennbar	12,7	m3	Innervegger (24)
Innvendig kledning - Tre	28,104	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Trykkfast	5,1	m3	Innervegger (24)

Taktekning	0,9	m3	Yttervegger (23)
Plateledning - Vegg	19,5	m3	Yttervegger (23)
Tre	1,8	m3	Yttervegger (23)

D.2 Alternativ oppbygning

IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	BYGNINGSDEL
Finer	0,432	m3	Bygning, generelt (20)
Betong	3,78	m3	Bygning, generelt (20)
OSB-plate	0,048	m3	Bygning, generelt (20)
STEEL/S235	0,001	m3	Bygning, generelt (20)
Lekt	0,645	m3	Yttertak (26)
Taktekning	0,1	m3	Yttertak (26)
OSB-plate	1	m3	Yttertak (26)
Bjelkelag - uisolert	19,6	m3	Yttertak (26)
Finer	0,027	m3	Dekker (25)
Stål - S355	0,001	m3	Dekker (25)
Finer	0,162	m3	Bæresystemer (22)
Stål	1,248	m3	Bæresystemer (22)
Tre	0,008	m3	Bæresystemer (22)
Stål S355	0,903	m3	Bæresystemer (22)
Stål - S355	0,01	m3	Bæresystemer (22)
Stender	45	m3	Yttertak (26)
Glass	8,282	m3	Dekker (25)
Tre	27,551	m3	Dekker (25)
Plateledning - Himling	1,808	m3	Yttertak (26)
Gips	2,3	m3	Yttertak (26)
Massivtre	16,445	m3	Fast inventar (27)
STEEL/S355J0	0,202	m3	Grunn og fundamenter (21)
Stål S355	0,015	m3	Dekker (25)
Armering	12,051	m3	Bygning, generelt (20)
Gips	0,229	m3	Dekker (25)
Dampsperre	0,3	m3	Dekker (25)
Trestender	10	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Myk	74,5	m3	Dekker (25)
Vindsperre	3,4	m3	Dekker (25)
Tre innredninger	0,32	m3	Dekker (25)
Lufting - Vertikalt	3,475	m3	Dekker (25)
Hulldেকে	180,43	m3	Dekker (25)
Betong B30	485,653	m3	Dekker (25)
Betong B35	53,757	m3	Dekker (25)
Isolasjon	298,661	m3	Dekker (25)
Tre	0,339	m3	Trapper, balkonger, m.m. (28)
Industriparkett eik lys	0,06	m3	Fast inventar (27)
Industriparkett eik mørk	0,008	m3	Fast inventar (27)
Betong B35	4,081	m3	Grunn og fundamenter (21)
Isolasjon	27,934	m3	Grunn og fundamenter (21)
Isolasjon - Markplate	0,906	m3	Dekker (25)
Betong	30	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trykkfast	1744,8	m3	Yttertak (26)
Gulvbelegg	16,2	m3	Dekker (25)
Påstøp	263,2	m3	Dekker (25)
Trinnlydplate	180,1	m3	Dekker (25)
Avrettingsmasse	97,4	m3	Dekker (25)
Betong	412,256	m3	Dekker (25)
Isolasjon - Trykkfast	1221,35	m3	Dekker (25)

Plastfolie	3,7	m3	Dekker (25)
Stål	5,28	m3	Yttertak (26)
Isolasjon - Myk	408	m3	Yttertak (26)
Betong B30	423,68	m3	Grunn og fundamenter (21)
Lekt	7	m3	Yttervegger (23)
Gips	46	m3	Yttervegger (23)
Isolasjon - Myk	774	m3	Yttervegger (23)
Vindsperre	43	m3	Yttervegger (23)
Kledning	68	m3	Yttervegger (23)
Trestender	103	m3	Yttervegger (23)
Stål	18	m3	Innervegger (24)
Gips	237	m3	Innervegger (24)
Isolasjon - Myk	910	m3	Innervegger (24)
OSB-plate	218	m3	Innervegger (24)
Hulldekke	3624	m2	Dekker (25)
Glass	2,483	m3	Yttervegger (23)
Stål	17,4	m3	Bæresystemer (22)

Vedlegg E: Produktvalg i One Click LCA

Bygningsmateriale	Produkt	Leverandør	Utslipp A1-A3, kg CO ₂ -e/m ³ , før lokal kompensasjon
Betong, dersom ikke spesifisert	Betong B25 Lavkarbonklasse B (2019 NB37)	One Click LCA	210
Betong, lavkarbon ekstrem	Betong, B30, lavkarbonklasse ekstrem (2019 NB37)	One Click LCA	110
Betong, tradisjonell betong	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30, 0 % recycled binders in cement	One Click LCA	294
Krysslimt tre	Krysslimt tre, 420 kg/m ³	Splitkon	90
Krysslimt tre, lavt utslipp	CLT, 430 kg/m ³	Södra Skogsägarna	34
Limtre	Standard limtrebjelke 470 kg/m ³	Moelven limtre	112
Stålprofiler, 0 % resirkulert	Strukturelle stålprofiler, generisk 0 % resirkulert	One Click LCA	25 205
Stålprofiler, 40 % resirkulert	Strukturelle stålprofiler, generisk 40 % resirkulert	One Click LCA	18 059
Stålprofiler, 80 % resirkulert	Strukturelle stålprofiler, generisk 80 % resirkulert	One Click LCA	10 706
Stålprofiler, 100 % resirkulert	Strukturelle stålprofiler, generisk 100 % resirkulert	One Click LCA	5 272
Hulldekker	Hulldekker, Lavkarbonklasse A C45/55	Contiga AS	250
Hulldekker, lavt utslipp	Hulldekker, generisk, B30, C30/37	One Click LCA	125
Trykkfast isolasjon	EPS-Isolasjon	EPS gruppen	71
Isolasjon vegg	Glava glassull, Proff 34	Glava	13
Trinnlydplate	Glava glassull, Trinnlydplate	Glava	88
Stålplater	Stålplater, generisk, 80 % resirkulert	One Click LCA	19 031
Lekt og sløyfe	Høvellast, bartre	Treindustrien	53
Trepanel	Heltrepanel av bartre til innvendig bruk	Treindustrien	53
Parkett	Heltregulv av lauvtre	Foreningen Norske Lavtrebruk	192
Troldtekt	Acoustic-cement-bonded wood wool panel	Troldtekt	322
Systemhimling	Akustiske himlingsplater	Rockwool	222
Perforert lettak	Gipsplate med perforert overflate	Knauf	213

Taktekning	Bitumenpolymer membrantekking	Isola	766
Baderomsplate	Gipsplate, fuktsikker	Norgips	192
Gips	Gipsplate, 12,5 mm	Norgips	168
Robustgips	Gipsplate, veggplate, robust, 12,5 mm	Norgips	216
Gulvbelegg	Mørtel, selvavrettende gulvbelegg	Mapei	526
Fliser	Ceramic tiles, Italian average, 10 mm	Confindustria Ceramica	1 055
Leca	Perforert murblokk, Leca universalblokk	Weber	117
Aluminium	Aluminium flat-rolled products, 75 %	Hydro	7 155
OSB	Orienterte strandbrett (OSB)	One Click LCA	221
Grus	Aggregat, knust grus, generisk	One Click LCA	4
Glass	Planglass, enkeltglassert, generisk	One Click LCA	3 062
Avrettingsmasse	Avrettingsmasse C25	Hey'di	295
Sportsgulv	Non-homogeneous vinyl sports flooring	Tarkett	1 647
Kledning	Utvendig kledning med vanntynnbar maling	Treindustrien	65



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway