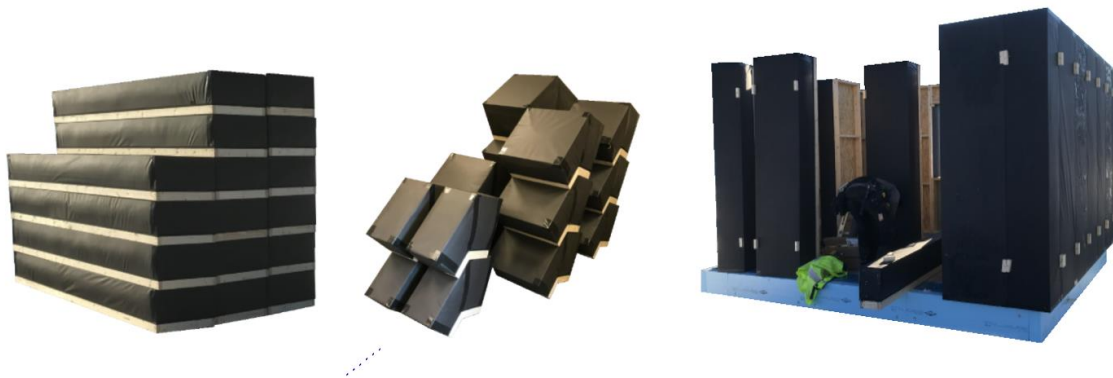


Rapport

SUSTAINABLE INNOVATION

Forfattere: Lars G. F. Tellnes og Kjersti Prestrud**Rapportnr.:** OR.37.19**ISBN:** 978-82-7520-819-2**ISBN:** 0803-6659

Klimagassberegninger MH Arctic – Byggseksjoner

Materialbruk, levetid og energi til oppvarming

Rapportnr.: OR.37.19

ISBN nr.: 978-82-7520-819-2

Rapporttype:

ISSN nr.: 0803-6659

Oppdragsrapport

Rapporttittel:

Klimagassberegninger MH Arctic - Byggseksjoner

Materialbruk, levetid og energi til oppvarming

Forfattere: Lars G. F. Tellnes og Kjersti Prestrud

Prosjektnummer: 1977

Prosjekttittel: Klimagassberegninger MH Arctic

Oppdragsgivere:

MH Arctic AS

Oppdragsgivers referanse:

Halldor Gunnar Halldorsson

Emneord:

- Klimagassberegninger av bygg
- Materialbruk
- Levetid
- Energi til oppvarming

Tilgjengelighet:

Åpen

Antall sider inkl. bilag:

25

Godkjent:

Dato: 25.10.2019



Prosjektleder

Lars G. F. Tellnes

Forskningsleder

Hanne Lerche Raadal

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	1
1 Innledning	3
1.1 Klimagassberegninger av bygg	3
1.1.1 Forskningsfronten	3
1.1.2 Beste norske praksis	4
1.2 MH Arctic	5
1.3 Hensikt med studien	6
2 Metoder og data – beregningsgrunnlag	7
2.1 Metoder for klimagassberegninger	7
2.2 Data for konstruksjoner	7
2.2.1 MH Arctic Byggseksjoner	7
2.2.2 Sammenligning med referansebygg	8
2.3 Data for klimagassutslipp	10
3 Resultater og diskusjon	12
3.1 MH Arctic byggseksjoner	12
3.2 Klimagassberegninger yttervegg	13
3.2.1 Resultater MH hele livsløpet	13
3.2.2 Bidragsanalyse materialproduksjon (A1-A3)	15
3.3 Sammenligning med referansehus - yttervegg	16
3.4 Sammenligning med referansehus - hele bygget	17
4 Konklusjon	20
5 Referanser	21
Vedlegg 1 Data for klimagassberegning av byggseksjoner	22
Vedlegg 2 Data for klimagassberegning yttervegg MH Arctic	23
Vedlegg 3 Energiberegninger MH Arctic	24

Sammendrag

Hensikten med studien er å dokumentere potensialet byggemetodene til MH Arctic har for å være en framtidsrettet løsning med lave klimagassutslipp. Dette skal danne grunnlaget for videre forsknings- og utviklingsarbeid for løsningene til MH Arctic. Studien har blitt gjennomført ved bruk av livsløpsvurdering og ved å sammenligne denne løsningen med oppføring av et tilsvarende passivhus (Stord passivhus, Dahlstrøm, 2011). Studien har omfattet aspekter knyttet til levetid av bygget, produksjon av materialer og hvilken innvirkning ytterveggsløsningene har på energibruk i drift.

Resultatene viser at når man ser kun på ytterveggen, gir produksjonen av bygningsmaterialene det største bidraget. Ettersom MH Arctic bruker mindre materialer enn referansebygget, blir klimagassutslipp for en yttervegg lavere for denne løsningen enn for referanseløsningen. Videre ble det gjennomført klimagassberegninger for hele bygget, der den eneste forskjellen mellom de to byggene var at MH Arctic sin teknologi ble brukt til å oppføre yttervegger. Andre deler av bygget, som tak og fundament, ble antatt like for å gjøre sammenligningen så realistisk og rettferdig som mulig. For sammenligning av hele bygget, har dog materialene i ytterveggene en relativt liten betydning, da andre bygningsdeler som tak og etasjeskiller har en stor betydning. Det som skiller bygningene er derimot utslipp forbundet med energi i drift, fordi den høyere tettheten til MH Arctic gir betydelige reduksjoner i energibehov og dermed reduserte utslipp tilknyttet dette.

I studiet ble det funnet at Stord passivhus krever 17,2 kWh/m² for oppvarming mens MH Arctic krever 9,7 kWh/m², i tillegg trengtes 9 % mindre isolasjon i veggene til MH Arctic sin utgave av huset for å nå identisk U-verdi som Stord passivhuset. Det bør noteres at samme type isolasjon med samme U-verdi var brukt i begge husene. Å bedre utnyttelsen fra isolasjonen er et aspekt som MH Arctic gjør bedre med tanke på klimabesparelser. Nøkkelen bak energibesparelsen er reduksjon av mengde trevirke og ikke minst lufttettheten som MH Arctic oppnår med de prefabrikkerte seksjonene og designet av dem.

Vurdering av levetid er et utfordrende aspekt ved prosjektet da det er normalt å se på bygninger i et 60 års perspektiv, og det ikke er lett tilgjengelige metoder for å vurdere hvordan redusert råterisiko påvirker holdbarhet og levetid. Levetiden ble derfor antatt likt for begge byggene i denne studien. Videre arbeid bør rettes mot å dokumentere holdbarhet og råterisiko mot klimaendringene vi står overfor. Klimagassberegningene viser også at redusert energibehov er et viktig bidrag til reduksjon av klimagassutslipp over tid. Det vil si at hvis MH Arctic sin teknologi kan føre til at levetiden blir betydelig forlenget som de selv hevder, vil det bidra til utslippsreduksjon i det lange løp både med energibesparelse og redusert behov for å bygge nytt i fremtiden. Uten at dette er hensikten med rapporten kan en se fra resultatene at oppvarming av tappevann gir et betydelig bidrag til energibruk og utgjør det største enkeltbidraget når energi til oppvarming blir redusert så mye som resultatene hos MH Arctic viser i denne rapporten.

MH Arctic sin kommentar til rapporten:

«Utvikling av nye løsninger som reduserer energibruk innen alle poster vil da også kunne ha potensiale til å bidra til lavere klimagassutslipp for bygninger generelt. Totalt energibehov på 60 kWt kvadratmeter eller lavere for småhus er reell mulighet og i mengder men ikke som enkelte og kostbare prosjekter. Så lavt behov vil gjøre det mye enklere å legge til nok energiproduserende utstyr til å gjøre bygg til et null-hus og dermed bidra til bærekraftig fremtid.»

1 Innledning

Markedet for bygg endrer seg, og får et større fokus på prefabrikking, energieffektivitet, redusert vedlikehold og lave miljø- og klimabelastning over levetiden. MH Arctic er en bedrift som har utviklet material- og energieffektive løsninger for trebygg. Bedriften het først MillenniumHus på grunn av at risikoen for råte skal være redusert og de hevdet derfor at levetiden teoretisk skal kunne bli 1000 år. Rapporten er skrevet som en del av et forprosjekt finansiert av Forskningsmobilisering Agder. Fokuset har vært på klimagassberegninger av MH Arctic sine løsninger, og i tillegg blir aspekter knyttet til levetid vurdert på et mer generelt grunnlag.

1.1 Klimagassberegninger av bygg

1.1.1 Forskningsfronten for klimagassberegninger og estimering av levetid for bygninger

Klimagassberegninger av bygg gjennomføres som regel ved bruk av livsløpsvurdering (LCA), slik at alle utslippene fra produksjon av materialer, energibruk i drift, vedlikehold og avhending er inkludert, men omfanget av hva som er inkludert kan variere stort. Det er utviklet en europeisk standard for LCA av bygg, EN 15978, der påvirkning på klimaendringer er en av indikatorene som tas med i den totale livsløpsvurderingen (CEN, 2011). En nylig gjennomgang av tilgjengelig forskning på livsløpsvurderinger av bygg viste at det tidligere har vært mye fokus på energibruk, men at det nå er større fokus på utslipp knyttet til materialer og hvordan LCA kan brukes i miljøsertifisering av bygg. LCA av bygg anses som et av de mest komplekse områdene man kan bruke LCA (Anand & Amor, 2017).

Forskning på LCA av bygg viser at det i liten grad blir foretatt prognoser for levetid av bygninger og at resultater ofte blir vist uten å inkludere usikkerheten knyttet til levetid (Silvestre et al, 2015). En ofte brukt metode er faktormetoden, hvor det tas utgangspunkt i en referanselevetid og hvor man estimerer en spesifikk levetid for en bygningskomponent basert på faktorer til egenskapene for komponenten og bruksbetingelsene (Straub, 2015). En gjennomgang av studier av levetid for bygg brukt i LCA viser at mange studier antar en fast levetid på 50 år, og at antatt levetid typisk varierer mellom 30 og 100 år (Grant et al., 2014). En studie fra USA for statistisk levetid av bolighus viser et gjennomsnitt på 61 år og at 90 % av byggene hadde en levetid på mellom 21 og 105 år (Aktas og Bilee, 2012). I følge Grant et al. (2014) finnes det i hovedsak tre måter å forutse levetid av bygg på:

- Teknisk levetid basert på konstruksjonsteknikk
- Faktormetoden for estimert levetid
- Empirisk estimert levetid

Den første metoden gjør det mulig å teste seg fram til levetid, men gir en mer teoretisk levetid som ikke nødvendigvis vil samsvare så godt med praksis. Faktormetoden tar hensyn til mange flere aspekter som inne- og utemiljø, vedlikehold og kvalitet på utførelse, men det kan være vanskelig å angi riktige faktorer til modellen. Den siste metoden anses som den mest korrekte metoden, men er tidkrevende og dyr å gjennomføre.

Faktormetoden er standardisert i ISO 15686-8 av TC 59 SC14 og er basert på praksis fra Japan. Den tar utgangspunkt i referanselevetid for ulike bygningskomponenter og deretter kan man beregne en estimert levetid for et spesifikt objekt basert på en rekke faktorer. Disse er:

- A Inherent performance level
- B Design level
- C Work execution level
- D Indoor environment
- E Outdoor environment
- F Usage conditions
- G Maintenance level

Forskningsfronten internasjonalt viser at det finnes rammeverk for vurdering av klimagassberegninger av bygg og estimering av levetid. Implementeringen av dette rammeverket er derimot mer begrenset og hvor kompleksiteten av disse modellene er en barriere.

1.1.2 Beste norske praksis

Bruk av livsløpsvurdering til sammenligning av bygningsdeler startet med en sammenligning av energibruken til å produsere en bærekonstruksjon (Treteknisk, 1990). Videre arbeid på 1990-tallet fokuserte på utvikling av miljødeklarasjoner for bygningsmaterialer, og på 2000-tallet begynte klimagassberegninger for bygg å implementeres i praksis. Statsbygg utviklet et verktøy for klimagassberegninger av bygg som blant annet ble brukt i forbildeprogrammene FutureBuilt og Framtidens byer. Etableringen av miljøklassifiseringssystemet BREEAM-Nor sørget for å øke tilgjengeligheten av miljødeklarasjoner (EPD) som gjorde at klimagassberegninger av bygg kunne utføres med vesentlig lavere usikkerhet. Det er tilgjengelig internasjonale standarder for livsløpsvurderinger av bygg, men Statsbygg ønsket spesifikke norske krav og tok initiativet til et standardiseringsarbeid som foregikk fra 2014 til 2018. Dette resulterte i standarden NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger.

Det er gjennomført en del arbeid på klimagassberegninger for bygninger i Norge, men en gjennomgang av disse viste at det ikke nødvendigvis var brukt sammenlignbare konstruksjoner eller riktige data for materialproduksjon (Rønning og Tellnes, 2017). Det vil for eksempel være viktig i en sammenligning av klimagassberegninger for betong- og trekonstruksjoner at de har tilsvarende funksjoner og krav for lyd og brann, og at det er brukt realistiske data for produksjon og transport av betong, tre og andre bygningsmaterialer (Rønning et al, 2019). Det er funnet en tidligere LCA-studie som sammenlignet bolighus etter TEK07 og passivhusstandard. Denne er spesielt relevant for MH Arctic, da hustypen er relativt lik. Sammenligningen av TEK07-huset og passivhuset viste at det blir høyere utslipp i oppføring av et passivhus fordi dette krever større mengde materialer, men at det etter fem års drift ble totalt lavere utslipp for passivhuset enn for TEK07 grunnet lavere energibruk (Dahlstrøm, 2011). I noen studier er det også sammenlignet spesifikke deler av bygg og det har blitt gjennomført en studie for å finne konsensus for sammenligning av yttervegger. Der ble det foreslått at ulike veggoppbygninger skulle sammenlignes per kvadratmeter vegg, inkludert 17 % vinduer (Rønning et al, 2011).

I Norge har det vært vanlig praksis å anta en levetid på 60 år for et bygg til når det skal gjøres klimagassberegninger, noe som trolig er basert på at dette har vært praksis i beregning av

levetidskostnader (LCC) for bygg. Noen bygg planlegges dog med vesentlig lengre levetid, slik som Nasjonalmuseet som har lagt til grunn 200 års levetid, mens andre bygg kan bli planlagt for vesentlig kortere levetid. For levetid av bygningsmaterialer og komponenter, brukes ofte SINTEF datablad 700.320 Intervaller for vedlikehold og utskiftning av bygningsdeler. Denne baserer seg på en forenklet versjon av faktormetoden, hvor levetid av en del materialer er oppgitt som kort, normal og lang. En vurdering av teknisk kvalitet og påvirkning ligger da til grunn for om det er kort, normal eller lang levetid. Levetid innebærer dog mer enn holdbarhet og andre faktorer bør også vurderes. For eksempel kan behovet som bygningen skal dekke endres over levetiden og levetiden til komponenter vil da være avhengig av hvor tilpasningsdyktige byggene er (Larsen & Bjørberg, 2007). Det kan også være andre faktorer som påvirker levetiden til et bygg, som for eksempel type område bygget står i. For eksempel kan endring fra kommersielt eller industrielt området til boligområde vil kunne redusere levetiden i praksis for et bygg uten at holdbarheten til en komponent av bygget er begrenset.

1.2 MH Arctic

MH Arctic er en teknologibedrift fra Sørlandet som jobber med utvikling av nye byggemetoder og produkter til byggebransjen med energieffektivisering og miljø som fokus. I tillegg er det et internt krav i bedriften å optimalisere alle produktene slik at de ikke koster mer enn dagens løsninger, og helst mindre. Firmaet har utviklet flere patenter på sine metoder og har i hovedsak to konsepter når det kommer til bygnings kropp; total løsninger for energioppgradering av eksisterende bygg, samt prefabrikkerte bygg seksjoner for nybygg.

Firmaet MH Arctic ble etablert i et samarbeid mellom håndverkere og industridesignere for å industrialisere og energieffektivisere bygg uten å stramme inn for mye i variasjoner i design og utseende. Firmaet jobber nå med å dokumentere egenskapene til byggesystemet som er fokus i denne rapporten. Fortrinn som denne metoden har er ifølge MH Arctic:

- Lite risiko for fuktproblemer
- Ombrukbar
- Lengre levetid
- Prefabrikasjon
- Mindre materialer
- Oppnår mer effekt av isolasjonen
- Full kontroll av fuktighet i konstruksjonen
- Fravær av høy fukt utelukker skadedyr populasjon og sopp vekst.

Byggseksjonene til MH Arctic er designet for å være enkle å montere med forborede hull som styringer og låssystem så seksjonene klikkes sammen til en yttervegg. Seksjonene forsegles i fabrikk så de tåler nedbør under lagring, transport og montering. Forseglingen gjør også at hver seksjon er en fullstendig del av en vegg eller tak og er uavhengig av andre seksjoner. Byggseksjonene sammensatt til en bygning skal da dekke alle relevante bygningsfysiske behov.

Systemet er fremtidsrettet og designet for industrialisering. I tillegg gir det også muligheter for å lage «design selv»-programvarer som vil ligne på for eksempel IKEAs kjøkkenprogrammer. MH Arctic har allerede landsdekkende dokumentasjoner som tillater bruk av systemet til renoveringer og nybygg. Utfordringene som hindrer å få varen ut på markedet i Norge, er å få systemet anerkjent som et

helhetlig system. Dette er en kostbar prosess som bedriften tar ett skritt av gangen. Det foregår samtidig arbeid med å få systemet verifisert utenlands og det ser i dag ut som MH Arctic kommer til å kunne etablere seg utenfor Norge før det norske markedet tar systemet i bruk.

I tillegg til byggemetoden som er i fokus i denne studien, har firmaet utviklet en ny generasjon vinduer som skal gi bedre isolerende egenskaper enn dagens vinduer i markedet. MH Arctic har også tatt initiativ til å sette i gang et samarbeidsprosjekt kalt LX. Dette har som mål å få totalt energibehov i småhus ned til og under 60 kWh pr kvadratmeter i året. Våren 2019 startet MH Arctic med å realisere det første passivhuset i arktisk klima. Ifølge PHI (Passive House Institute) i Tyskland har dette kun vært en teoretisk mulighet siden tyskerne begynte med konseptet Passive House. Det foregår også arbeid med utvikling av flere produkter og løsninger internt i bedriften.

1.3 Hensikt med studien

Hensikten med studien er å dokumentere potensialet byggemetodene til MH Arctic har for å være en framtidsrettet løsning med lave klimagassutslipp. Dette skal danne grunnlaget for videre forsknings- og utviklingsarbeid for løsningene til MH Arctic.

Det har ikke vært til hensikt å dokumentere klimagassregnskap på de endelige løsningene fra MH Arctic mot konkurrenter på markedet. I en slik studien skal man etter god praksis inkludere de andre partene eller ha et uavhengig panel som vurderer rapporten. Siden teknologiene til MH Arctic er under utvikling, har ikke dette vært aktuelt på dette stadiet, men kan være relevant for en senere studie.

2 Metoder og data – beregningsgrunnlag

2.1 Metoder for klimagassberegninger

I studien vil det beregnes klimagassutslipp for tre ulike deler av byggverket:

1. Klimagassutslipp for livsløpet til MH byggseksjoner etter EPD-prinsipper. Dette viser hva som bidrar til utslipp over livsløpet direkte til materialene i byggseksjonene.
2. Klimagassutslipp for yttervegg. Her vises betydningen av materialsammensetningen i MH byggseksjoner som del av en ytterveggskonstruksjon sammenlignet med en konvensjonelt bygget yttervegg i passivhus. Beregningen gjøres for hele ytterveggen til huset.
3. Klimagassutslipp for hele bygg. Her inkluderes også resten av materialene i byggene og energibruk i drift. Dette viser betydningen av byggseksjonene sammenlignet med resten av bygget, samt materialer sammenlignet med energibruk.

Klimagassberegninger for bygningsmaterialer gjennomføres basert på kravene til miljødeklarasjoner (EPD) i EN 15804 (CEN, 2013). Denne standarden er anerkjent internasjonalt og sikrer at mange av beregningene kan anvendes senere for å utvikle EPD for byggseksjonene. For klimagassberegning av yttervegg og hele bygg, så er dette basert på kravene i NS 3720 om klimagassberegninger av byggverk. Det vanligste når man gjennomfører klimagassberegninger for bygg er å regne med en levetid på 60 år, og dette har også vært anvendt i denne studien. Videre antas at bygget rives etter disse 60 årene, samt at dagens typiske avfallshåndtering benyttes.

2.2 Data for konstruksjoner

2.2.1 MH Arctic Byggseksjoner

Klimagassberegninger er gjennomført for en standard MH Arctic byggseksjon for yttervegg med bredde på 600 mm og høyde 2400 mm. Et ferdig prefabrikkert element av MH Arctic sin byggseksjon til et pilotbygg er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1 MH Arctic byggseksjoner til pilotbygg

Materialmengder og klimagassutslipp for de ulike materialene er vist i Vedlegg 1 og 2.

2.2.2 Sammenligning med referansebygg

For å vise klimagassutslippene for MH Arctic sin byggemetode, er det sammenlignet med et referansebygg for konvensjonell bygging av passivhus. Referansebygget er modellert etter bygninger planlagt på Stord, som tidligere har blitt livsløpsevurdert (Dahlstrøm, 2011). Den opprinnelige LCA av Stord-huset gikk ut på å sammenligne et TEK07-hus med et passivhus. Et passivhus krever mer materialer under bygging, men bruker mindre energi til oppvarming enn et TEK07-hus. Det viste seg at miljøbelastningen totalt sett ble lavere for passivhuset etter fem års bruk.

Fra referansebygget er det kun materialmengder, samt energi til oppføring og drift som er benyttet i utslippsberegningene. Utslipp knyttet til materialproduksjon, transport og svinn på byggeplass er oppdatert for å være samkjørt med MH Arctic. Det er noen år siden studien av referansebygget ble gjennomført, så det ble også vurdert hvor realistisk dette var med tanke på dagens praksis ved innspill fra MH Arctic. Dette ble ansett som et relativt optimalisert bygg og noen momenter i takkonstruksjonen ble vurdert som mindre realistiske, men siden takkonstruksjonen er modellert likt i begge tilfellene, så ble det ikke ansett som viktig å endre på. Energiforbruket i drift for referansebygget var ikke helt likt som estimert for MH på varmtvann, belysning og teknisk utstyr, men i sum ble det vurdert som godt nok for beregningene i denne rapporten. Referansebygget som er brukt i denne studien er illustrert i Figur 2-2.



Figur 2-2 Illustrasjon av Stord passivhus (Dahlstrøm, 2011)

Stord passivhus er planlagt som et toetasjes bygg i stenderverk av tre. Det er oppgitt med en størrelse på 187 m² BRA og ble estimert til 210 m² BTA. Energibruk i drift er oppsummert i Tabell 2-1. Det ble estimert et lavere energibruk til oppvarming for MH på grunn av at de i tester har oppnådd høyere tetthet enn kravene til passivhus. Per kvadratmeter ble det estimert i referansebygget at Stord passivhus krever 17,2 kWh/m² for oppvarming mens MH Arctic krever 9,7 kWh/m²,

Tabell 2-1 Energibruk brukt i sammenligning av Stord passivhus og MH Arctic-konsept

Bygg	Stord passivhus	MH Arctic konsept
Årlig elektrisitetsforbruk til oppvarming	3 723 kWh	2 181 kWh
Årlig elektrisitetsforbruk ellers	11 216 kWh	11 932 kWh
Kilder	Dahlstrøm (2011)/ Nordbohus AS	MH Arctic / Rejlers

For MH Arctic sitt byggverk ble det av MH Arctic estimert materialmengder for en tilsvarende yttervegg til Stord passivhus og listen over materialer er vist i vedlegg 3. For sammenligningen av hele bygg, er omfanget av bygningskomponenter begrenset til bærekonstruksjon, dører, vinduer og

viktigste overflater, mens en del interiør og tekniske installasjoner er ikke inkludert. Omfanget av materialer er vist i Tabell 2-2.

Tabell 2-2 Omfang klimagassberegninger materialer etter bygningsdelstabellen (fra NS 3451)

1-sifret bygningsdel	2-sifret bygningsdel	Omfang
2 Bygning	20 Bygging generelt	Inkludert
	21 Fundamenter	Inkludert
	22 Primære bygningsdeler	Inkludert
	23 Sekundære bygningsdeler	233 Vinduer og 235 ytterdører inkludert
	24 Sekundære bygningsdeler	242 Gulvsystemer, 243 ikke-bærende vegger og 244 innvendige dører inkludert
	25 Overflater	251 Utvendige overflater kun i oppføring av bygget
	26 Supplerende bygningsdeler	Ikke inkludert
	27 Fast inventar	Ikke inkludert
	28 Prefabrikkerte rom	Ikke inkludert
	29 Andre byggetekniske deler	Ikke inkludert
3 VVS-Installasjoner	Alle underkategorier	Ikke inkludert
4 Elkraft	Alle underkategorier	Ikke inkludert
5 Tele og automatisering	Alle underkategorier	Ikke inkludert
6 Andre installasjoner	Alle underkategorier	Ikke inkludert
7 Utendørs	Alle underkategorier	Ikke inkludert

2.3 Data for klimagassutslipp

Beregninger av klimagassutslipp for MH Arctic byggseksjoner er gjennomført i Excel-regneark med data for klimagassutslipp hentet fra miljødeklarasjoner (EPD) eller fra databasen ecoinvent. For sammenligning av ytterveggskonstruksjoner og hele bygg, er programvaren OneClickLCA anvendt. Denne er tilpasset NS 3720 i oppdrag fra Statsbygg og tilbys andre aktører på markedet. OneClickLCA inneholder en database for klimagassutslipp for bygningsmaterialer og de fleste data er basert på miljødeklarasjoner (EPD).

I klimagassberegninger som omfatter fornybare materialer som trevirke og bioplast, må man også vurdere bidraget fra at disse råvarene tar opp karbondioksid under vekst. Det er i hovedsak tre ulike måter å tilnærme seg denne vurderingen på:

1. Umiddelbar oksidasjon. Opptak av karbondioksid i fornybare materialer blir regnet som utslipp umiddelbart. Det gjør at utslipp ved forbrenning regnes som null utslipp av karbondioksid, mens utslipp av metan må justeres for utslipp av karbondioksid som allerede er beregnet.
2. Opptak og utslipp der det skjer. Den andre tilnærmingen er å beregne opptak og utslipp av alle klimagassene der de skjer. Under forutsetning om bærekraftig råvareuttak og

forbrenning/forråtnelse i slutten av levetid, så vil dette gi samme utslipp over livsløpet som umiddelbar oksidasjon.

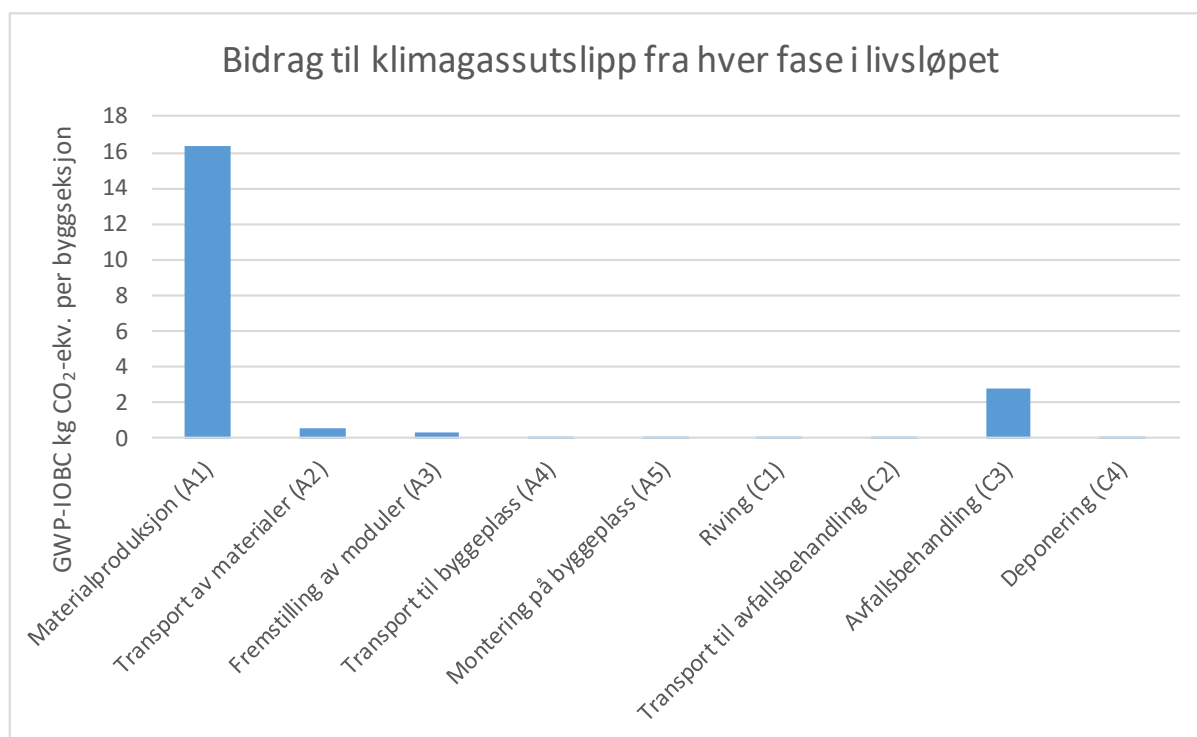
3. Tidsjustering av opptak og utslipp. Klimagassers påvirkning på klima er avhengig av når utslipp skjer og det er derfor utviklet metoder for å tidsjustere disse avhengig av når i livsløpet de skjer. Utslipp i dag blir da mye mer betydelig enn utslipp langt fram i tid, men det er foreløpig ikke stor konsensus rundt disse metodene og det finnes flere tilnærminger.

I rapporten blir det anvendt umiddelbar oksidasjon ettersom dette er vanlig praksis per i dag, men hvilken betydning de andre tilnærmingerne kan ha på resultatene vil bli diskutert. I presentasjon av resultatene blir benevnningen «GWP-IOBC» (Global warming potential – instant oxidation of biogenic carbon) brukt for å tydeliggjøre hvordan biogent karbon har blitt beregnet.

3 Resultater og diskusjon

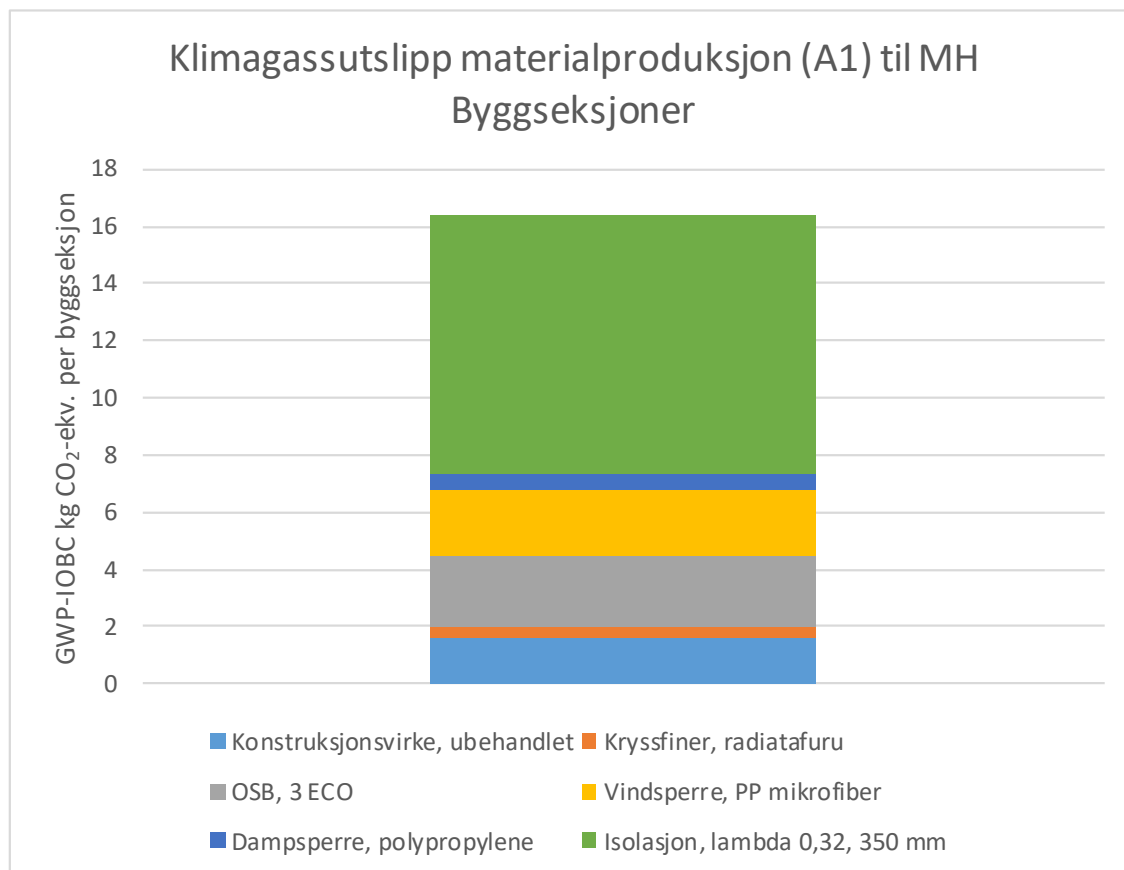
3.1 MH Arctic byggseksjoner

Resultatene for klimagassberegningene for MH byggseksjoner presentert i Figur 3-1 viser at de største utslippene skjer i produksjonen av materialene som brukes, men at det også er utslipp knyttet til avfallshåndteringen av materialene. Det er antatt at energigjenvinning er gjeldende avfallsbehandling for alle materialer med unntak av isolasjonen. Utslippene fra avfallshåndtering stammer i hovedsak fra forbrenning av plast og trelim som er basert på fossile råvarer.



Figur 3-1 Klimagassutslipp over livsløpet for MH byggseksjoner

Videre har det blitt sett på bidraget fra hvert av materialene til klimagassutslippene fra materialproduksjon. Figur 3-2 viser at isolasjon står for over halvparten av total mengde CO₂-ekvivalenter som kommer fra materialproduksjon til hele MH-byggseksjoner, mens OSB, vindsperren og konstruksjonsvirke også har betydelig bidrag.

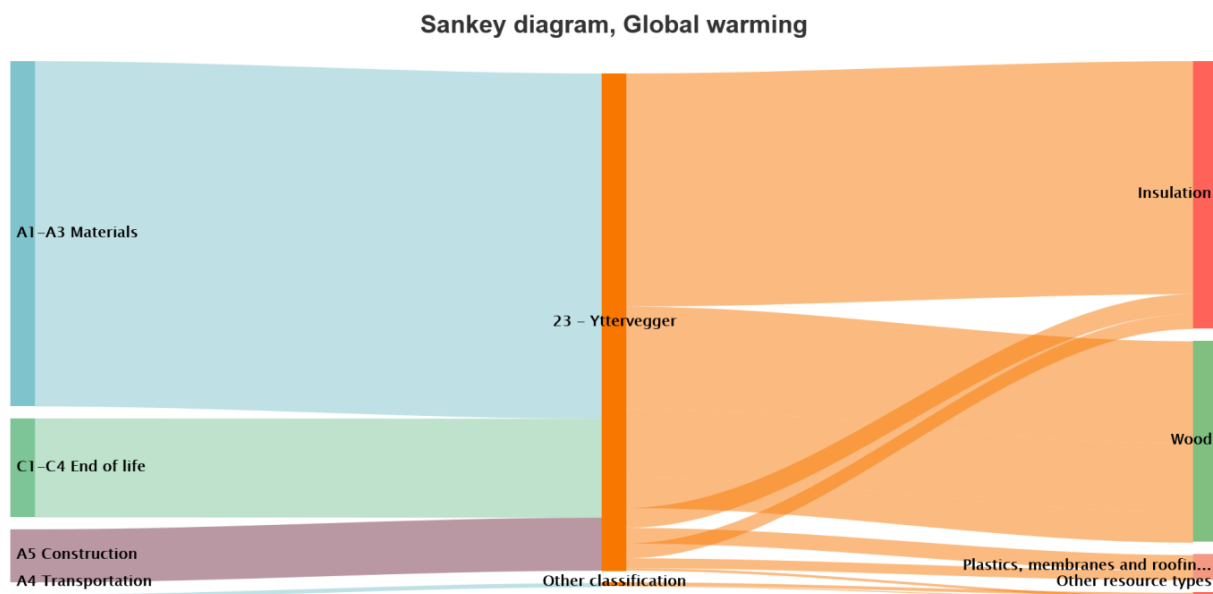


Figur 3-2 Klimagassutslipp materialproduksjon for MH Arctic byggseksjoner (kg CO₂-ekvivalenter)

3.2 Klimagassberegninger yttervegg

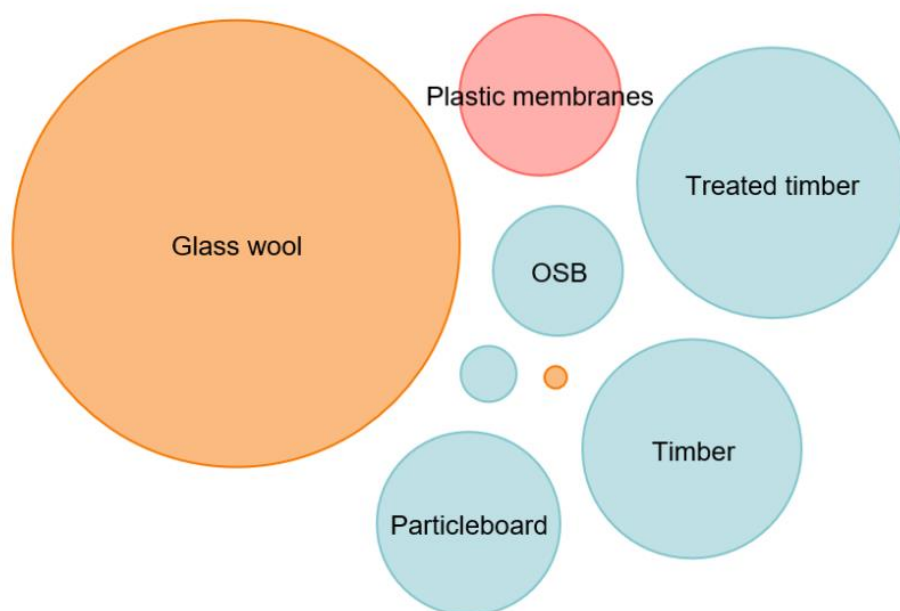
3.2.1 Resultater MH hele livsløpet

En relativ fordeling av klimagassutslipp fordelt på både moduler og materialtyper for ytterveggen til MH Arctic med resultatene fra verktøyet OneClick LCA er vist i Figur 3-3. Resultatene viser at isolasjon bidrar mest, men at trevirke også har en stor betydning.



Figur 3-3 Sankey-diagram av MH Arctic yttervegger. Viser relativ betydning av de ulike materialene for hver livsløpsmodul

En oversikt over størrelsesorden på klimagassutslipp fra de ulike materialtypene er presentert i Figur 3-4.

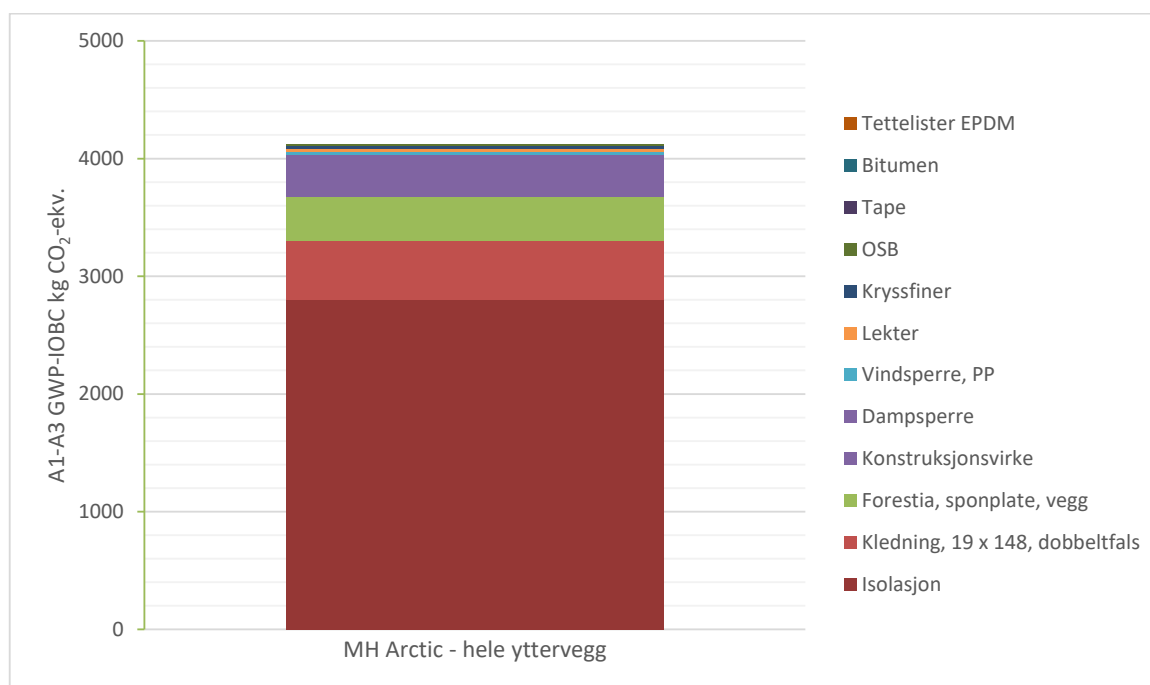


Figur 3-4 Størrelsesorden på klimagassutslipp fra yttervegger med MH Arctic byggseksjoner fordelt på materialtyper (kg CO₂-ekv. over livsløpet)

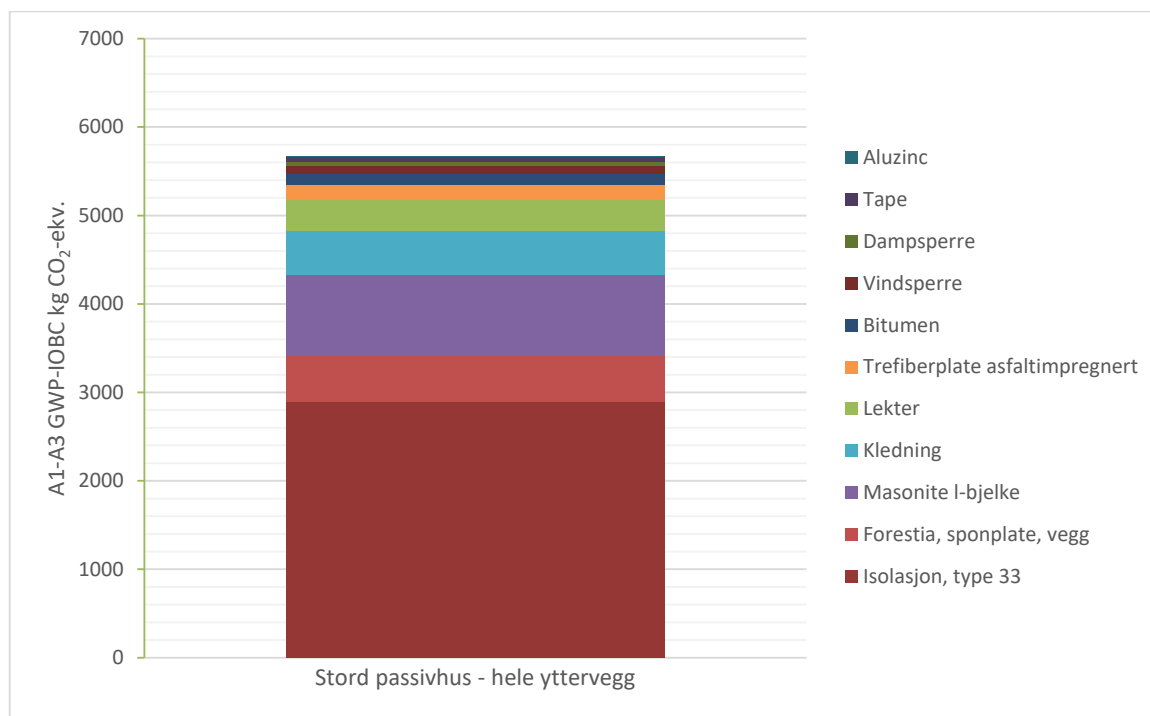
Resultatene vist i Figur 3-4 viser, på samme måte som resultatene i Sankey-diagrammet, at isolasjonen er den materialtypen i MH Arctic byggseksjoner som bidrar med størst andel klimagassutslipp.

3.2.2 Bidragsanalyse materialproduksjon (A1-A3)

Resultatene fra bidragsanalysene fra materialproduksjon for ytterveggene i MH Arctic og Stord passivhus er presentert i hhv. Figur 3-5 og Figur 3-6. For byggseksjonene A1-A3 har ytterveggene i MH Arctic lavere mengde CO₂-ekvivalenter enn Stord passivhus sine yttervegger (hhv. ca. 4100 kg CO₂-ekv. og 5600 kg CO₂-ekv. for yttervegger til hele huset). Av Figur 3-5 ser vi at det er isolasjon som står for mesteparten av CO₂-ekv. i materialproduksjonen til ytterveggen i MH Arctic-huset. Videre har kledningen og konstruksjonsvirken også en relativt høy andel av utslippene i MH Arctic-ytterveggen. Utslippene fra OSB varierer litt mellom ulike varianter av MH Arctic sine byggseksjoner, så derfor blir bidraget for en yttervegg litt annerledes enn for det enkelt element. Figur 3-6 viser at det også for Stord passivhus er isolasjon som står for størst andel av utslippene knyttet til materialproduksjon, mens sponplater bidrar med nest størst utslipp.



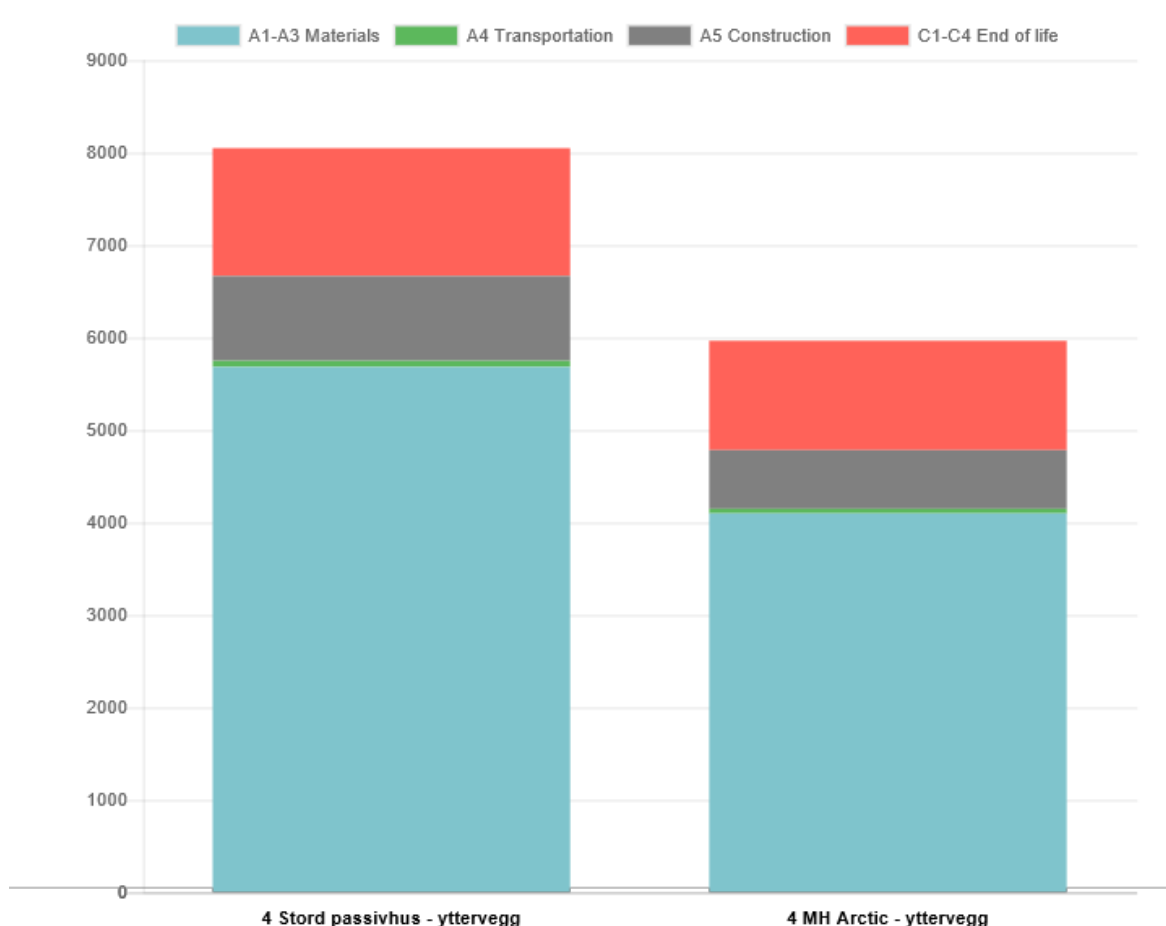
Figur 3-5 Resultater klimagassregnskap materialer, MH Arctic yttervegg (kg CO₂-ekv)



Figur 3-6 Resultater klimagassregnskap materialer, Stord passivhus yttervegg (kg CO₂-ekv)

3.3 Sammenligning med referansehus for hele livsløpet - yttervegg

Når man sammenligner klimagassberegningene over livsløpet for ytterveggene i henholdsvis MH Arctic og Stord passivhus, finner man betydelige forskjeller. Figur 3-7 viser resultatene for de to ytterveggene, fordelt på ulike livsløpsmoduler (A1 til C4), fra analysene i verktøyet OneClickLCA.



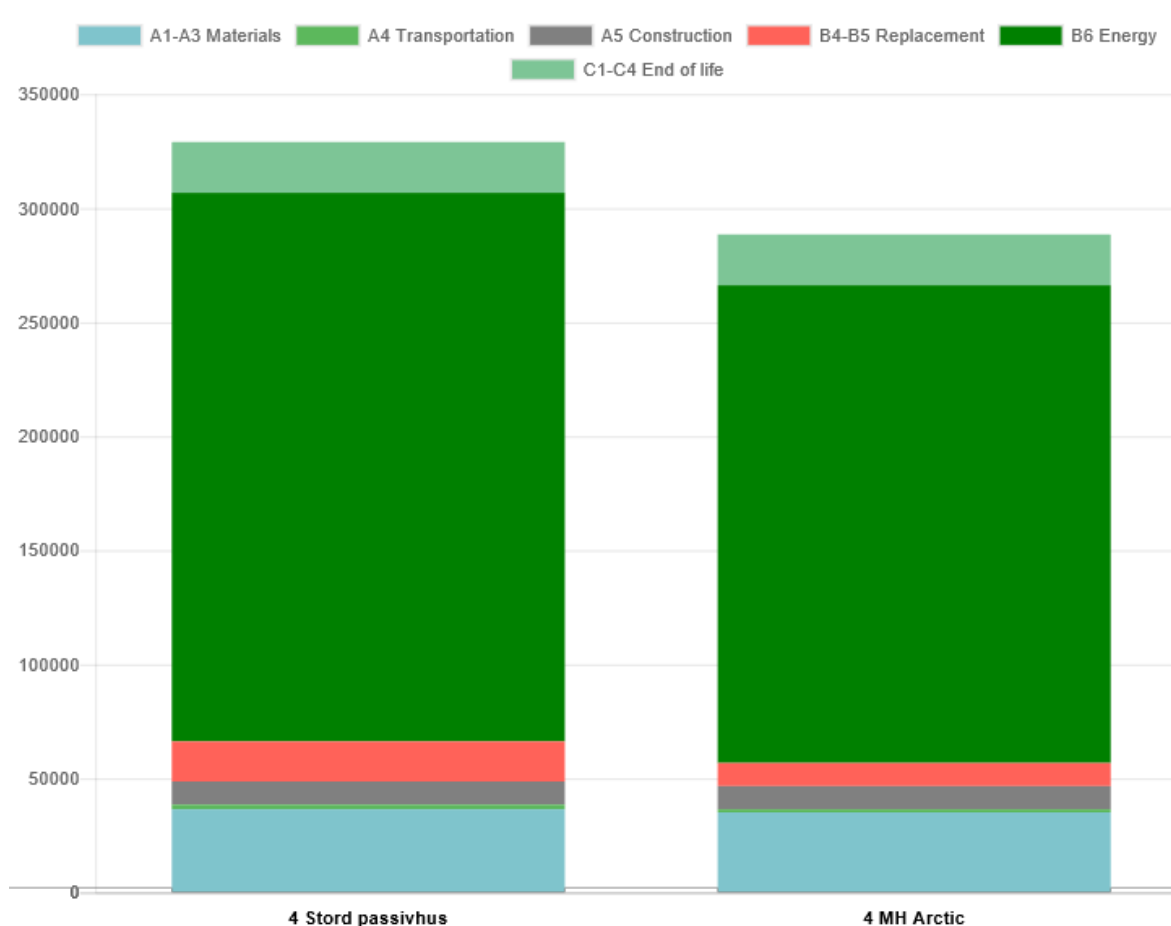
Figur 3-7 Sammenligning klimagassregnskap yttervegg Stord passivhus og MH Arctic fra OneClickLCA (kg CO₂-ekv)

Av figuren ser vi at det er omtrent 38 % høyere utslipp knyttet til livsløpet til ytterveggen i Stord passivhus sammenlignet med ytterveggen som er produsert av MH Arctic (hhv. 8 046 og 5 832 kg CO₂-ekvivalenter). Det som skiller de to ytterveggene mest er utslippene knyttet til moduler A1-A3, produksjon av materialer, samt A5, konstruksjon. Også i denne analysen er utslippene knyttet til ytterveggene i Stord passivhus betraktelig større enn tilsvarende yttervegg i MH Arctic.

3.4 Sammenligning med referansehus for hele livsløpet - bygningsnivå

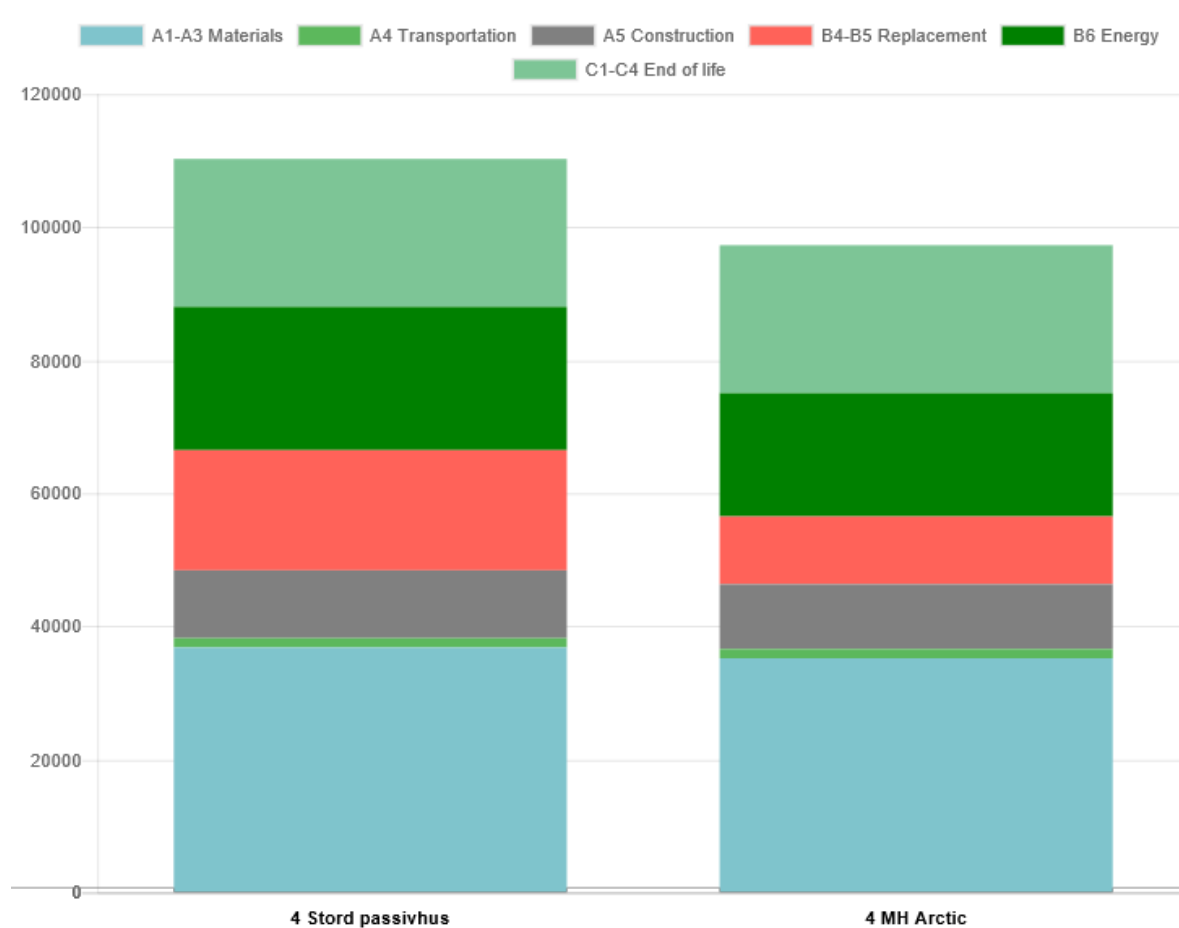
Sammenligningen av hele huset over levetiden er illustrert i Figur 3-8 og viser at potensialet til MH Arctic ikke ligger bare på lavere materialbruk og levetid, men at også redusert energibruk har stor betydning. Forskjellen mellom materialbruk blir betydelig mindre når også de andre bygningsdelene som tak og etasjeskiller er med og hvor materialene som er antatt likt tas med i sammenligningen. Utslippene forbundet med energibruk i drift er her beregnet med en gjennomsnittlig europeisk

elektrisitetsforsyning de neste 60 årene. Denne tilnærmingen er ofte brukt for klimagassberegninger av bygg i Norge og basert på konsensus mellom flere aktører.



Figur 3-8 Sammenligning av klimagassregnskap for Stord passivhus og MH Arctic, hele bygget. GWP-IOBC kg CO₂-ekv. for hele huset over livsløpet. Med europeisk elektrisitetsmiks med snitt for framskriving av de neste 60 år.

I NS 3720 er det et krav om også å beregne klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i modul B6 (operasjonell energibruk) basert på norsk elektrisitetsmiks og dette ble gjort for å vise hvilken betydning det har for resultatene. Dette reduserer klimagassutslippene fra modul B6 betraktelig og er vist i Figur 3-9.



Figur 3-9 Sammenligning av klimagassregnskap for Stord passivhus og MH Arctic, hele bygget. GWP-IOBC kg CO₂-ekv. for hele huset over livsløpet. Med norsk elektrisitetsmiks.

4 Konklusjon

I rapporten har klimagassberegninger for MH Arctic blitt gjennomført for å vurdere markedspotensialet og som innspill til videre forskning og utviklingsaktiviteter. For å ha et sammenligningsgrunnlag (referansebygg), ble det tatt utgangspunkt i en tidligere LCA-studie av et bolighus etter passivhusstandard planlagt på Stord. Dette ble modifisert ved at utslipp knyttet til materialproduksjon, transport og svinn på byggeplass er oppdatert for å være samkjørt med MH Arctic.

Resultatene viser at for bygningsmaterialene i ytterveggene er det produksjonen som har det største utslippsbidraget, og ettersom MH Arctic bruker mindre materialer enn referansehuset, blir klimagassutslippet fra ytterveggene lavere enn for referansebygget. Ved sammenligning av hele bygg har ikke forskjellen i materialbruk mellom de to ytterveggene så stor betydning, ettersom ytterveggene kun opptar en relativt liten andel av alle materialene som inngår i et bygg, og de andre delene er antatt like for de to byggene. Andre deler av byggene, samt energibruk i drift bidrar med store utslipp når de to byggene sammenlignes og det som skiller de to mest er utslipp forbundet med energi i drift siden den høyere tettheten til MH Arctic gir betydelig reduksjoner i energibehovet.

Vurdering av levetid er krevende da det er normalt å se på bygninger i et 60 års perspektiv og det er utfordrende å vurdere hvordan redusert råterisiko spiller inn på holdbarhet og levetid. Det vil være en fordel om byggseksjonene egner seg for ombruk, men fordelene av dette vil først komme om mange år. Klimagassberegninger av bygg har normalt ingen justering/diskontering for tid, men dersom dette hadde vært inkludert, ville utslipp i dag være viktigere enn i fremtiden.

Videre arbeid bør rettes mot å dokumentere holdbarhet og råterisiko mot de endringer i klima som vi står overfor. Det er ventet et våtere klima, samt mer energieffektive hus og da kan det hende MH Arctic sine løsninger vil være sikrere enn et konvensjonelt plassbygd passivhus. I dette forskningsprosjektet var kun yttervegger i MH Arctic sin bygningsteknologi brukt. Det vil være av videre interesse å utforske potensialet til flere av teknologiene MH Arctic benytter i bygg. MH Arctic har også nye løsninger for vinduer og gjenvinning av brukt energi som vil kunne bidra med ytterligere utslippsreduksjoner. Hvis MH Arctic sine påstander om mulighetene til å senke energibehovet til eller under 60 kWh per m² er realistiske, uten store merkostnader for sluttkunder og samfunnet, vil det gi et betydelig bidrag til mer bærekraftig fremtid når det kommer til bygninger.

5 Referanser

Aktas, C. B. & Bilee, M. M. (2012). Impact of lifetime on US residential building LCA results. *Int J Life Cycle Assessment*, 17, pp. 337–349.

Anand, C. K. & Amor, B. (2017). Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67, pp. 408-416.

Dahlstrøm, O. (2011). Life Cycle Assessment of a Single-Family Residence built to Passive House Standard. Master thesis in Industrial Ecology. Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.

Grant, A., Ries, R. & Kibert, C. (2014). Life Cycle Assessment and Service Life Prediction. A Case Study of Building Envelope Materials. *Journal of Industrial Ecology*, 18, pp. 187-200.

ISO (2008). ISO 15686-8 Buildings and constructed assets - Service-life planning - Part 8: Reference service life and service-life estimation. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp. 44.

Larsen, A. & Bjørberg, S. (2007). Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger. Innføring og prinsipper. Rapport 116042/400 fra Multiconsult, Oslo, Norge.

Rønning, A. R., Lyng, K.-A., Vold, M., Holthe, K. & Folvik, K. (2011). Konsensus – Modeller for miljøvurdering av bygningsdeler. DP2 – Bakgrunn for PCR-utvikling av bygningsdeler. Rapport OR.19.11 fra Østfoldforskning, Fredrikstad, Norge.

Rønning, A. R., Prestrud, K., Tellnes, L. G. F., Saxegård, S. A., Haave, S. S. & Lysberg, M. (2019). Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner. Kontorbygning -4,8 og 16 etasjer. Rapport OR.26.19 fra Østfoldforskning, Fredrikstad, Norge.

Rønning, A. & Tellnes, L.G.F. (2018), *Blir det bedre bygg ved bruk av LCA? Gjennomgang av noen utvalgte LCA-studier*, OR 43.18. Fredrikstad: Østfoldforskning.

Silvestre, J. D., Silvia, A. & de Brito, J. (2012). Uncertainty Modelling of Service Life and Environmental Performance to Reduce Risk in Building Design Decisions. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 21, 308-322.

Straub, A. (2015). Estimating the Service Lives of Building Products in Use. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9, 331-340.

Vedlegg 1 Data for klimagassberegning av byggseksjoner

Produktbeskrivelse	Mengde	Enhet
MH Arctic byggseksjoner		
Bredde	600	mm
Høyde	2400	mm
Areal	1,44	m2

Materialsammensetning	Mengde	Enhet
Konstruksjonsvirke, ubehandlet	0,039061	m3
Kryssfiner, radiatafuru	0,0018	m3
OSB, 3 ECO	0,011633	m3
Vindsperre, PP mikrofiber	3,06	m2
Dampsperre, polypropylene	1,5616	m2
Isolasjon, lambda 0,32, 350 mm	0,45937	m3

	GWP	Datakilder GWP
Konstruksjonsvirke, ubehandlet	1,56	EPD Treindustrien Proxy for
Kryssfiner, radiatafuru	0,36	kryssfiner
OSB, 3 ECO	2,33	Proxy for OSB
Vindsperre, PP mikrofiber	2,20	Proxy
Dampsperre, polypropylene	0,53	EPD
Isolasjon, lambda 0,32, 350 mm	8,60	EPD Glava

Vedlegg 2 Data for klimagassberegning yttervegg MH Arctic

Mengder og kilder til klimagassberegninger av ytterveggene til MH Arctic er vist under med utklipp fra OneClickLCA.

2. Vertical structures and facade ⓘ ☁ 6 Tons CO ₂ e - 100 %				
External walls and facade Compare answers ▾				
Search by name, manufacturer, EPD nr ▾				
Resource ⬆	Quantity ⬆		CO ₂ e ⬆	Comment ⬆
Wooden façade external facing, conifer, ?	3201.0	kg ▾	1.1t	Utendørs kledning
Planed timber, conifer (Treindustrien) ?	0.32112	m ³ ▾	0.04t	Lekter
Glass wool insulation panels, unfaced, g ?	54,18	m ³ ▾	3.2t	Isolasjon
Plastic vapour control layer, 0.2 mm (To ?	201	m ² ▾ x 0.2 mm	0.1t	Dampsperre
Wooden particleboard, 630 - 700 kg/m ³ , ?	1,866	m ³ ▾	0.45t	Sponplate
Pipe insulation, elastomeric rubber foam ? ⚠	0,84	m ² ▾ x 10 mm	~0t	proxy for tettelister EPDM
Planed timber, conifer (Treindustrien) ?	5,03	m ³ ▾	0.64t	Konstruksjonsvirke
Wood board, veneer plywood, 9-30 mm, 550 ?	0,23	m ³ ▾	0.02t	Kryssfiner
OSB panels, 600 kg/m ³ , with tongue-and-g ?	0,39	m ³ ▾	0.05t	OSB plater
Geogrid from polypropylene (PP), 184 g/m ?	394,74	m ² ▾	0.24t	Vindspærre proxy

Vedlegg 3 Energiberegninger MH Arctic



SIMIEN

Resultater årssimulering

REJLERS

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 13:40 4/3-2019
Programversjon: 6.012
Simuleringsansvarlig: Geir Liknes
Firma: Rejlers
Inndatafil: I:\...\Passivhus01.smi
Prosjekt: MillenniumHus
Sone: MillenniumHus

Energipost	Energibudsjett	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		1806 kWh	9,7 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		375 kWh	2,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		5571 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter		819 kWh	4,4 kWh/m ²
3b Pumper		137 kWh	0,7 kWh/m ²
4 Belysning		2129 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		3276 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		14114 kWh	75,5 kWh/m ²



Gamle Beddingvei 2B
N-1671 Kråkerøy
Telephone: +47 69 35 11 00
Fax: +47 69 34 24 94
firmapost@ostfoldforskning.no
www.ostfoldforskning.no

