

Alan Tsui
Joakim Braa
Martin Syljuberget Ihle

Optimalisering av materialvalg for et moderne hus med hensyn til reduksjon av klimagassregnskap

Optimizing the choice of materials for a modern house regarding the reduction of greenhouse gas emissions

Bacheloroppgave i ingeniørfag, bygg
Veileder: Bozena Dorota Hrynyszyn
Medveileder: Snorre Bjørkum, Ben Toscher
Mai 2023

Alan Tsui
Joakim Braa
Martin Syljuberget Ihle

Optimalisering av materialvalg for et moderne hus med hensyn til reduksjon av klimagassregnskap

Optimizing the choice of materials for a modern house regarding the reduction of greenhouse gas emissions

Bacheloroppgave i ingeniørfag, bygg
Veileder: Bozena Dorota Hrynyszyn
Medveileder: Snorre Bjørkum, Ben Toscher
Mai 2023

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



Kunnskap for en bedre verden

Rapporten er ÅPEN

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

Oppgaven går ut på å benytte EPDer til å utarbeide, og forbedre et klimagassregnskap for en av Norgeshus katalogboliger. Forbedringen av klimagassregnskapet skal skje ved å bytte ut materialer med mer miljøvennlige materialer. Disse alternative materialene skal alle dokumenteres gjennom EPDer. Det skal også gjennomføres en kostnadsanalyse* for å kontrollere det økonomiske omfanget av utbedringene og sikre at kost-nytte blir ivaretatt.

Siden utslipp knyttet til transport er en del av utregningen med EPDer, skal gruppen undersøke betydningen av å oppføre boligen ved forskjellige lokasjoner i Norge.

*Kostnadsanalysen utgår fra oppgaven da gruppen ønsket at hovedfokuset skulle ligge på reduksjonen av klimagassregnskapet, og ikke på kostnaden av tiltakene.

Stikkord fra prosjektet:

- Bærekraftig materialer
- Bærekraftige materialer
- Klimagassregnskap
- EPD - Miljødeklarasjon

Forord

Denne bacheloroppgaven ble skrevet våren 2023 ved Institutt for Bygg- og Miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Dette er den avsluttende oppgaven for det treårige studiet i Bygg- og Miljøteknikk i Trondheim. Oppgaven er verdt 20 studiepoeng.

Gjennom studiet har gruppen utviklet en interesse og lidenskap for å skape en mer klimavennlig og bærekraftig byggebransje. Bærekraft har vært et gjennomgående tema under studiet, og gruppen fikk lyst til å fordype seg mer innenfor temaet. Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Norgeshus AS for å optimalisere materialvalg og analysere reduksjon av klimagassutslipp for diverse bygningsdeler i et kataloghus.

Vi vil gjerne takke veilederen vår, Bozena D. Hrynyszyn, for hennes utmerkede støtte og veiledning gjennom hele arbeidet. Bozena har bidratt med kunnskap og engasjement og har vært en stor støttespiller gjennom oppgaven. I tillegg vil vi rette en stor takk til våre eksterne veiledere, Snorre Bjørkum og Ben Toscher fra Norgeshus AS. Begge to har bidratt med faglige innsikter i tekniske løsninger for bygg og gitt oss en forståelse for hva bransjen krever.

Som avslutning vil vi takke hverandre for vårt samarbeid gjennom både studieperioden og bacheloroppgaven.



Alan Tsui



Joakim Braa



Martin Syljuberget Ihle

Trondheim, mai 2023

Sammendrag

Verden står i dag ovenfor store klimautfordringer som en følge av menneskeskapt klimagassutslipp. Globalt står byggenæringen for omkring 40% av de totale CO₂-utslippene. Som et virkemiddel for å redusere klimagassutslippene i byggebransjen her i Norge har det kommet et nytt krav i TEK17 om et regnskap for klimagassutslipp fra materialer for boligblokker og yrkesbygninger. Store klimagassutslipp er forbundet med produksjon, transport og bruk av byggevarer. Følgelig kan store reduksjoner i klimagassutslippene oppnås ved å velge byggematerialer med lave klimagassutslipp. Et klimagassregnskap gir en tydelig oversikt over hvor store klimagassutslipp som kan tilskrives de ulike materialene og gjør det enklere å vise hvilke tiltak som gir størst effekt.

Klimagassberegninger fremvist i denne oppgaven viser at det er mulig å redusere klimagassregnskapet med 20% for et moderne bolighus. Reduksjonen er oppnådd ved å velge materialer med lave utslippstall. Beregningene baseres på tredjeparts godkjent livssyklusbasert dokumentasjon og generiske verdier, samt forenklete beregninger for å supplere produkter med manglende dokumentasjon. Oppgaven belyser også utfordringer med dagens klimadokumentasjoner for materialer og svakheter ved sammenligning av dokumentasjonen for å finne miljøvennlige alternativer. Det kommer frem i oppgaven at et klimagassregnskap utformet etter de nye kravene i TEK17 innehar stor usikkerhet og faktiske klimagassutslipp vil nok avvike noe fra beregnet klimagassregnskap. Oppgaven viser spesifikke reelle tiltak, og fremhever de materialer som spesielt bør vurderes med hensyn på klimagassutslipp.

Abstract

The world is facing huge climate challenges because of greenhouse gas emissions caused by human activity. Globally, the construction industry is responsible for about 40 percent of the total CO₂ emissions. As a measure to reduce the greenhouse gas emissions in the construction industry here in Norway, there has been established a new requirement in TEK17. The new requirement is demanding an account of greenhouse gas emissions from materials used in residential blocks and commercial buildings. A large amount of the greenhouse gas emissions is associated with the production, transport, and use of building materials. Consequently, large reductions of greenhouse gas emissions can be achieved by choosing building materials with low greenhouse gas emissions. A greenhouse gas account provides a clear overview of the amount of greenhouse gas emissions that can be attributed to the various materials and makes it easier to show which measures have the greatest effect.

Calculations presented in this thesis show that it is possible to reduce the greenhouse gas account by 20 percent for a modern residential building. The reduction is achieved by choosing materials with low emission factors. The calculations are based on third-party approved lifecycle-based documentation and generic values, as well as simplified calculations to supplement products with missing documentation. The thesis also highlights challenges with current climate documentation for materials, such as weaknesses when comparing the documentation to find environmentally friendly alternatives. It is shown in the thesis that a greenhouse gas account designed according to the new requirements in TEK17 contains great uncertainty. For that reason, the actual greenhouse gas emissions will probably deviate from the calculated greenhouse gas account. The thesis shows real and specific measures and highlights the materials that should be considered regarding reduction in greenhouse gas emissions.

Innhold

Forord.....	I
Sammendrag	II
Abstract.....	III
Innhold	IV
Figurliste	VII
Tabelliste.....	VIII
Stikkordsordliste	IX
1. Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål	2
1.3 Problemstilling.....	2
1.4 Omfang og avgrensning	2
1.5 Kataloghus Dråpen.....	3
2. Teori.....	4
2.1 Klimaendringer	4
2.1.1 Global oppvarming	4
2.1.2 Drivhuseffekten	6
2.1.3 Parisavtalen.....	6
2.2 Hvorfor klimagassregnskap?	7
2.3 Livsløpsanalyse.....	7
2.4 Livsløpsmoduler i NS 3720:2018	8
2.5 Biogent karbon.....	9
2.6 Byggeteknisk forskrift (TEK17).....	10
2.7 Bygningsdeler som inngår i klimagassregnskapet	10
2.8 Klimagassverdier fra miljødeklarasjoner	12
2.8.1 Livsløpsmoduler i EPDene	13
2.8.2 Ulike type EPDer.....	13
2.8.3 Produktkategoriregler (PCR) og gyldighet for EPDene	14
2.8.4 Tilgang til EPD-informasjon og generiske utslippsverdier	15
3. Metode	16
3.1 Beregning av klimagassregnskap etter TEK17 §17-1	16
3.1.1 Beregning av modulen A1-A3.....	17
3.1.2 Beregning av modulen A4	17
3.1.3 Beregning av modulen A5	19
3.1.4 Beregning av modulen B2	20
3.1.5 Beregning av modulen B4	20

3.2 Mengder	21
3.2.1 Omregningsfaktorer	21
3.2.2 Isolasjonsprodukter	21
3.3 Innhenting av generiske data	22
3.4 Bygningsdeler som inngår i klimagassregnskapet	22
3.5 Utelatelse av materialer	23
3.6 Vinduer og dører	23
3.7 Beregningsperiode	23
4. Resultater	24
4.1 Bygningsdeler som inngår i resultatet	24
4.2 Transport	24
4.3 Høvellast, sammenlignbare EPDer	24
4.4 Maling	25
4.5 Grunn og fundamenter	26
4.5.1 Betong	26
4.5.2 XPS plater	27
4.5.3 Samlede resultater av grunn og fundamenter	27
4.6 Bæresystemer	28
4.6.1 Stålbjelker	28
4.6.2 Limtre	28
4.6.3 Kryssfiner	29
4.6.4 Samlede resultater av bæresystemer	29
4.7 Yttervegger	30
4.7.1 Vindu	30
4.7.2 Ytterdører	31
4.7.3 Maling	31
4.7.4 Trevirke	31
4.7.5 Samlede resultater av yttervegg	32
4.8 Innervegger	33
4.8.1 Trevirke	33
4.8.2 Baderomspanel	34
4.8.3 Maling	34
4.8.4 Samlede resultater innervegger	35
4.9 Dekker	36
4.9.1 Betong	37
4.9.2 I-Bjelke	37
4.9.3 Isolasjon	37

4.9.4 Maling.....	37
4.9.5 Trevirke	37
4.9.6 Samlede resultater dekker.....	38
4.10 Yttertak	39
4.10.1 Takstein	39
4.10.2 Takrenne	40
4.10.3 Samlede verdier yttertak.....	40
4.11 Samlede resultater.....	41
5. Diskusjon	43
5.1 Resultater	43
5.1.1 Generiske verdier.....	43
5.1.2 Transportfaktor	44
5.1.3 Vedlikehold og materialbytte	44
5.1.4 Leverandør.....	45
5.2 Produkter.....	45
5.2.1 Mineralull til trefiberisolasjon	45
5.2.2 Vinduer	46
5.2.3 Takrenne	46
5.2.4 Andre produkter.....	46
5.2.5 Manglende dokumentasjon.....	46
5.3 Klimagassregnskap etter TEK17 § 17-1.....	47
5.4 Utelatelse av materialer.....	47
5.5 Anbefalinger for forbedring av beregning av klimagassregnskapet.....	47
5.6 Feilkilder	49
6. Forskning og utviklingsarbeid (FoU) Lavkarbonbetong	50
7. Konklusjon.....	53
8. Videre arbeid.....	54
8.1 Kostnadsanalyse.....	54
8.2 Materialvalg	54
8.3 Pågående innsats	54
Referanser	56
Vedleggsliste.....	61

Figurliste

Figur 1: Illustrasjon av kataloghuset Dråpen av Norgeshus (6).	3
Figur 2: Variasjon i CO2 konsentrasjon i atmosfæren de siste 800 000 årene (10).	5
Figur 3: Totalt utslipp av klimagasser på verdensbasis fra 1750 til 2021 (11).	5
Figur 4: LCA «fra vugge til grav» (19).	7
Figur 5: Livsløpsmoduler etter NS 3720:2018 (20).	9
Figur 6: Livsløpsmoduler i EPDer etter NS-EN 15804:2012+A2:2019 (5).	13
Figur 7: Livsløpsmoduler som minimum skal inngå i klimagassregnskapet i henhold til TEK17 er uthevet med farger (5).	16
Figur 8: Eksempel – Utslipp knyttet til betong, LCA.no (35).	18
Figur 9: Eksempel – Utslippsfaktor A4 for betong, LCA.no (35).	18
Figur 10: Forutsetninger for forventet levetid i henhold til byggforskblad 700.320 (36)	20
Figur 11: Omregningsfaktorer Glava glassull (37).	22
Figur 12: Mengdefordeling grunn og fundamenter	26
Figur 13: Klimagassutslipp for grunn og fundamenter	27
Figur 14: Mengdefordeling bæresystemer	28
Figur 15: Klimagassutslipp for bæresystemer	29
Figur 16: Mengdefordeling yttervegger	30
Figur 17: Klimagassutslipp for yttervegger	32
Figur 18: Mengdefordeling innervegger	33
Figur 19: Klimagassutslipp innervegger	35
Figur 20: Mengdefordeling dekker	36
Figur 21: Klimagassutslipp for dekker	38
Figur 22: Mengdefordeling yttertak	39
Figur 23: Klimagassutslipp for yttertak	40
Figur 24: Fordeling av utslippsreduksjonen fordelt mellom de ulike bygningsdelene.	42
Figur 26: Grenseverdier for de ulike klassene for lavkarbonbetong (43).	51

Tabelliste

Tabell 1 viser norsk standard NS 3451:2022 bygningsdeltabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder	11
Tabell 2 viser andel forventet kapp og svinn for ulike materialer, gitt av epd-Norge	19
Tabell 3 viser reduksjonen i klimagassregnskapet fra gammel til ny løsning	42

Stikkordsordliste

EPD	Environmental product declaration. Miljødeklarasjon for et produkt.
LCA	Livssyklusanalyser.
GHG	Greenhouse Gas, klimagass (NS3720:2018 punkt 4).
GWP	Global Warming Potential, globalt oppvarmingspotensial (NS3720:2018 punkt 4).
CO2-ekvivalenter	En enhet som brukes i klimagassutslippet i den globale oppvarmingseffekten som utslipp av 1 tonn CO ₂ vil ha i løpet av 100 år (CO ₂ e).
PCR	Product Category Rules, produktkategoriregler (NS3720:2018 punkt 4).
Spesifikk EPD	EPD som er utarbeidet for et produkt eller prosjekt.
Produktspesifikk EPD	EPD utarbeidet for et spesifikt produkt.
Prosjektspesifikk EPD	EPD for et produkt som er utarbeidet for et spesifikt prosjekt
TEK	Byggteknisk forskrift.

1. Introduksjon

I dette kapittelet introduseres bakgrunn for temaet i oppgaven. Her vil problemstilling og omfang presenteres. I tillegg omtales de spesifikke forutsetningene for oppgaven og det valgte bolighuset.

1.1 Bakgrunn

Globalt står bygg-, anleggs- og eiendomssektoren for 40% av de totale klimagassutslippene. De høye globale utslippene er i stor grad knyttet til energi og materialressurser, hvor næringen står bak hele 40% av den globale energibruken og 40% av materialbruken. Disse tallene gjør at bygg og eiendom ofte kalles 40%-næringen. De globale utslippene blir spesielt høye da mange benytter fossilt brensel som energikilde (1). I Norge kommer størsteparten av energien som går til drift og oppvarming av bygg fra fornybare energikilder. Dette gjør at regnestykket blir annerledes om man ser utelukkende på Norge, og ikke på globale utslipp. Utslipp som kan allokere til produksjon av elektrisitet i Norge er veldig lite, følgelig vil ikke klimagassutslipp fra energibruk i norsk byggesektor utgjøre mer enn 1-2% av det totale norske utslipp. Inkluderer man utslipp knyttet til produksjon og transport av materialer, vil bygge-, anleggs- og eiendomssektoren stå for 16% av Norges totale klimagassutslipp (1).

Som et virkemiddel for å blant annet stoppe klimaendringene innen 2030 har FN utviklet en felles arbeidsplan, nemlig FNs bærekraftsmål. To av bærekraftsmålene er mål nummer 11 *Bærekraftige byer og lokalsamfunn*, og mål nummer 12, *Ansvarlig forbruk og produksjon* (2). En annen internasjonal avtale som har til hensikt å stoppe klimaendringene er Parisavtalen. Etter Parisavtalen skal alle land ha en plan for hvordan de skal kutte klimagassutslipp. Planen skal inneholde et mål på hvor mye landet skal kutte. Som respons har Norge blant annet forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene med 50% innen 2030, noe som krever at nye bygninger nesten må være nullutslippsbygg for direktivet til den europeiske kommisjon (3).

Byggenæringen er viktig for at Norge skal nå klimamålene. Stortinget vedtok Klimameldingen, en oversikt over nasjonale klimaforpliktelser i 2012 (4). Det ble da stadfestet at regjeringen ville innføre komponentkrav for eksisterende bygg, og klargjøre for hvilke komponenter disse kravene skal gjelde for. Direktoratet for byggekvalitet (DiBK) er ansvarlig for å definere hvordan kommende byggeforskrifter skal utformes (4). Som et resultat av dette ble det utviklet et nytt krav i TEK17, nemlig § 17-1. § 17-1 er laget for å øke kompetansen om utslipp fra

materialer for aktører i næringen. Fra 1. juli 2022 stiltes det krav om et regnskap for klimagassutslipp fra materialer for boligblokker og yrkesbygninger (5). På grunn av et økt fokus på kompetanse om utslipp fra materialer i byggebransjen, var det naturlig for gruppen å undersøke det nye kravet i TEK17. Veilederen i TEK vil brukes for utbedring av materialvalg for de ulike bygningsdelene som inngår i regnskapet (5).

1.2 Formål

Målet med oppgaven er at resultatene fra regnskapet vil kunne brukes for å aktivt redusere klimagassutslippet i prosjekteringsprosessen. Oppgaven utarbeides i samarbeid med Norgeshus, og alle tiltak vil være spesifikke tiltak Norgeshus kan utføre. Man skal kunne sammenligne data for et bedre valg i bygningsmaterialer basert på utslippstall. Man vil også få bedre kunnskap over hvilke materialer som har store bidrag til utslipp, og materialer som kan ha større variasjoner mellom leverandører.

1.3 Problemstilling

Det er ønsket å finne ut hvor lett det lar seg gjøre å redusere klimagassutslipp for et vanlig norsk bygg ved bruk av veileder for utarbeidelse av klimagassregnskap. I tillegg ønskes det å se på hvilke materialer som gir størst utslag på klimagassutslipp, og hvilke som kan gi størst reduksjon. Det er også interessant å se hvor relevant et klimagassregnskap kan være for aktører i næringen, og hvordan utviklingen kommer til å bli fremover.

1.4 Omfang og avgrensning

Oppgaven omfatter klimagassberegninger ved bruk av håndberegninger og regneark (Microsoft Excel). Tredjepartsgodkjent, livsløpsbasert dokumentasjon vil bli brukt som basis for klimagassregnskapet. En del av oppgaven vil dermed bli å lære seg bruken av miljødokumentasjonen og hvordan denne brukes til å beregne et klimagassregnskap. Det vil også bli benyttet generiske verdier og forenklete beregninger ved mangelfull klimadokumentasjon. En stor del av oppgaven blir å kunne sammenligne data for forskjellige produktleverandører, med forskjellige forutsetninger i klimadokumentasjon. Man vil også kunne bruke generiske verdier for utbedring av materialvalg. Det vil ikke bli benyttet dataprogram ved innhenting eller sammenligning av produkter. Oppgaven blir derfor ingen uttømmende studie. Klimagassregnskapet vil bli beregnet etter minimumskrav fastsatt i TEK17, det innebærer at noen utslippsfaktorer ikke kommer til å bli betraktet.

1.5 Kataloghus Dråpen

Prosjektet klimagassregnskapet baseres på er kataloghuset «Dråpen», som blir prosjektert og levert av Norgeshus. Dråpen er en kompakt toetasjes bolig med cirka 140m² bruksareal og 3 soverom. Huset kommer i tre varianter; original, moderne og tradisjonell. Felles for disse variantene er at alle baseres på en ferdig planløsning, hvor hovedforskjellen ligger i den utvendige løsningen (6). Denne oppgaven vil hovedsakelig baseres på originalløsningen til huset, og bygningsmaterialene som følger.



Figur 1: Illustrasjon av kataloghuset Dråpen av Norgeshus (6).

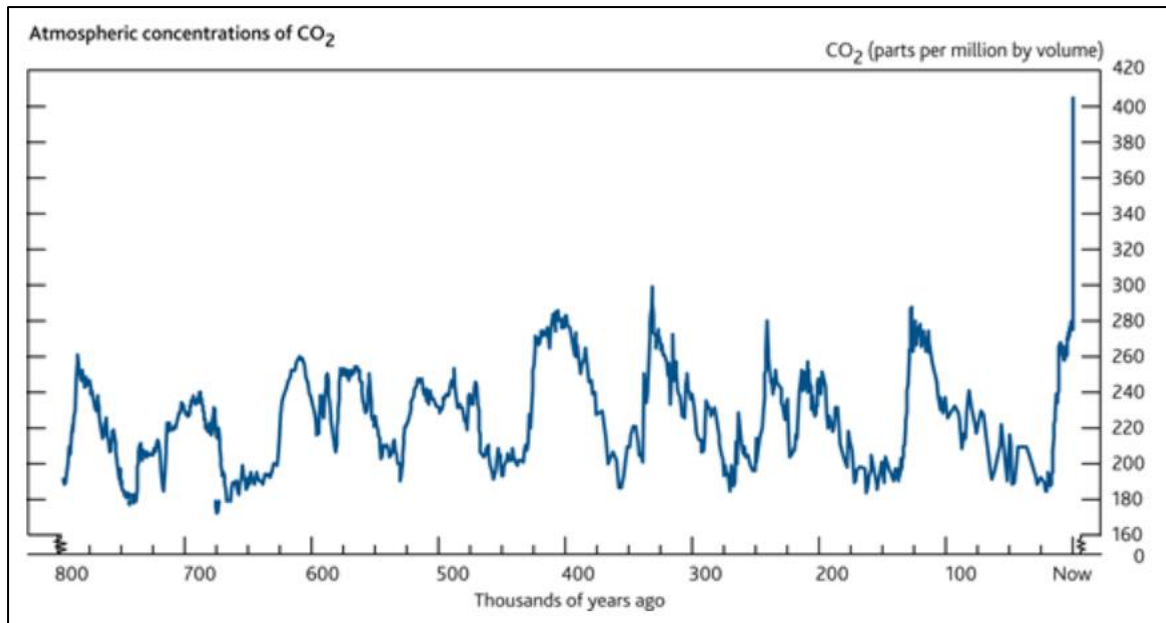
2. Teori

2.1 Klimaendringer

Helt siden forskere på 1950-tallet begynte å antyde økende temperaturer, har klimaendringene blitt forsket på. Sammenhengen mellom klimaendringer og menneskeskapt utslipp av CO₂ ble tatt opp allerede i 1957, likevel skulle ikke systematisk forskning på temaet begynne før på 80-tallet (7). Da ble det utviklet ny teknologi som blant annet gjorde det mulig å sende opp værsatellitter for å overvåke klimaendringene og innhente nøyaktige data. I tillegg gjorde den nye datateknologien det mulig å prosessere de store datamengdene som ble hentet inn. Som et resultat av den stadig økende interessen rundt klimaendringene ble FNs klimapanel opprettet i 1987. Klimapanelets hovedoppgave er å gå gjennom og vurdere aktuell forskning som blir publisert om klimaendringer, for så å sammenfatte og strukturere forskningen til en felles rapport. Klimapanelet utgir rapporter med 5-6 års mellomrom, hvor siste rapport kom i tidsrommet 2021-2023 (8).

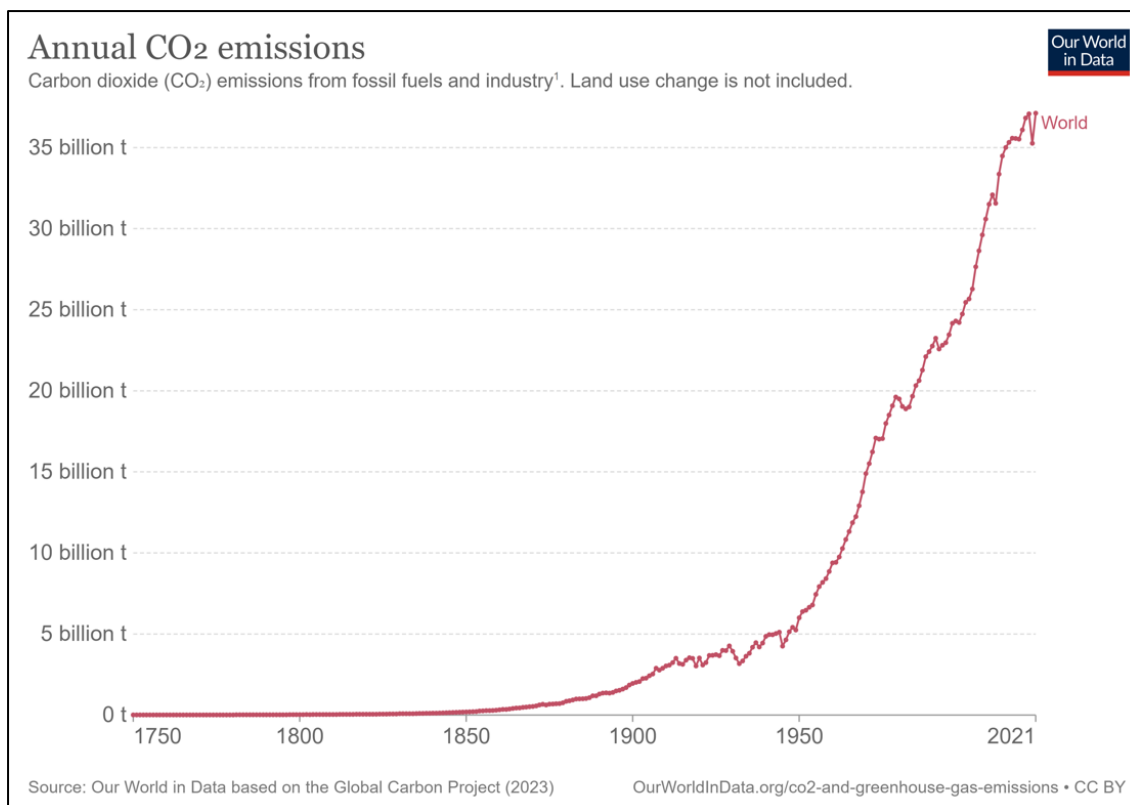
2.1.1 Global oppvarming

En forskningsstudie gjennomført i 2011 fant ut at 97% av all forskning som gjelder klimaendringer konkluderte med at klimaendringene er menneskeskapt (9). Ved uthenting av iskjerner fra de store isbreene i arktiske områder, kan forskere analysere CO₂-konsentrasjonen i lufta langt tilbake i tid. Isen er lag på lag med sammenpresset snø, hvor snøen en gang i tiden har vært eksponert for vær og temperaturer som har påvirket utformingen og sammensetningen av isen. Figur 2 viser konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren fra i dag og helt tilbake 800 000 år (10). Som figuren viser, har det vært naturlige svingninger i CO₂-konsentrasjonen med intervaller på rundt 100 000 år. Dagens CO₂-nivå er på vei til å bli det dobbelte av gjennomsnittet de siste 800 000 årene dersom utviklingen fortsetter slik den har gjort de siste årene.



Figur 2: Variasjon i CO₂ konsentrasjon i atmosfæren de siste 800 000 årene (10).

Ved å studere sammenhengen mellom figur 2 og figur 3 er det tydelig at de høye CO₂ verdiene i atmosfæren kan settes i sammenheng med den drastiske økningen i klimagassutslipp fra den industrielle revolusjonen til i dag. Det er helt tydelig at den siste svingningen i figur 2 skiller seg fra de andre naturlige historiske svingningene. Dette danner mye av grunnlaget for å kunne påstå at den høye CO₂ konsentrasjonen og derfor også global oppvarming er menneskeskapt.



Figur 3: Totalt utslipp av klimagasser på verdensbasis fra 1750 til 2021 (11).

2.1.2 Drivhuseffekten

Drivhuseffekten er et naturlig fenomen som forekommer på jorda og andre planeter med atmosfære. Takket være denne effekten er det levelige temperaturforhold på jorda. Drivhuseffekten kommer av et lag med drivhusgasser som omkranser jordas atmosfære. Uten drivhusgassene ville jordas gjennomsnittstemperatur vært rundt -18° Celsius, mens med drivhusgassene er gjennomsnittstemperaturen i dag rundt 15° Celsius (12). Omkring 70% av varmestrålene fra sola slipper gjennom dette laget med drivhusgasser og blir absorbert enten i atmosfæren eller ved jordoverflaten. De resterende 30 prosentene av solstrålene blir reflektert tilbake ut i verdensrommet. Når jordoverflaten blir varmet opp, slipper også jorda ut varmestråling som treffer drivhusgassene. Avhengig av tykkelse og sammensetning av drivhusgassene blir en andel av denne varmestrålingen reflektert tilbake mot jordoverflaten, og dette kalles drivhuseffekten (12).

Differansen mellom hvor mye solstråling som treffer jorda og hvor mye varmestråling jorda sender tilbake til verdensrommet, både gjennom reflekterte solstråler og langbølget varmestråling, kalles klimapådrivet. Klimapådrivet er null når det er balanse mellom strålingsmengdene, altså når jorda sender ut like mye stråling som den mottar fra sola. Dersom konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren øker vil mindre varmestråling slippe ut, og middeltemperaturen på jorda stiger (13).

2.1.3 Parisavtalen

Under klimakonvensjonen på klimatoppmøtet i Paris i 2015 ble Parisavtalen vedtatt som en juridisk forpliktende avtale. Formålet med avtalen er å «styrke den globale responsen på trusselen som klimaendringene gjør» (14). For å oppnå dette er det tre overordnede mål alle medlemslandene har forpliktet seg til. Disse målene er som følgende:

1. Å begrense global oppvarming til «godt under» 2°C , og å «tilstrebe» å begrense den til $1,5^{\circ}\text{C}$, sammenlignet med førindustriell tid.
2. Å øke evnen til å tilpasse seg skadevirkningene av klimaendringene.
3. Å gjøre finansstrømmene forenelige med en bane mot lavutslippsutvikling. (14)

Avtalen fastslår at alle landene er forpliktet til å utarbeide egne nasjonale utslippsmål. Norge har vedtatt 6 miljømål som omhandler klima (15). Et av klimamålene er at Norge under Parisavtalen tok på seg en «forpliktelse til å redusere utslippene av klimagasser med minst 50%

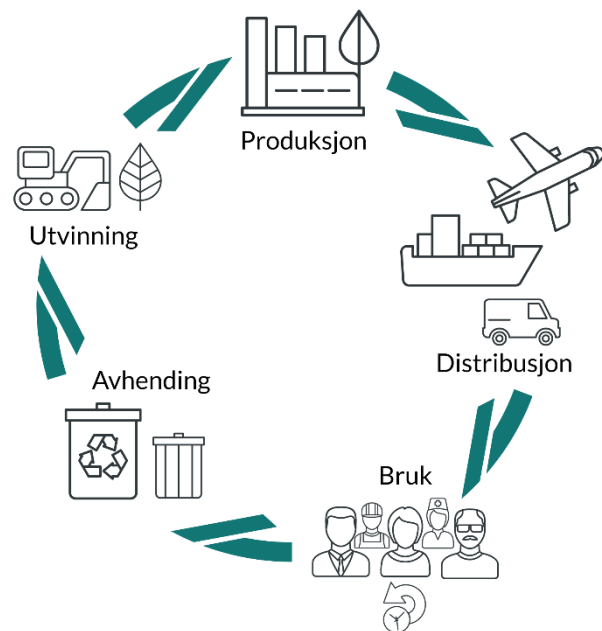
og opp mot 55% i 2030 sammenlignet med nivået i 1990» (15). Andre mål er at Norge skal være klimanøytralt i 2030 og et lavutslippssamfunn i 2050 (15). For å oppfylle disse målene har regjeringen tatt i bruk økonomiske virkemidler som avgifter og klimagasskvoter (én klimakvote gir tillatelse til å slippe ut ett tonn CO₂-ekvivalenter) (16). Andre tiltak er lovreguleringer som har til hensikt å redusere klimagassutslippene. Kravet i TEK17 om å lage et klimagassregnskap for nye bygg kan i denne sammenheng ses på som en lovregulering.

2.2 Hvorfor klimagassregnskap?

Et klimagassregnskap er en pålitelig parameter for å måle de direkte og indirekte utslippene som bidrar til økt drivhuseffekt. Fra 1. juli 2022 stilte TEK17 krav om et regnskap for klimagassutslipp fra materialer for boligblokker og yrkesbygninger. Overgangsperioden ble satt til ett år, noe som betyr at fra 1. juli 2023 blir dette et krav som må følges (5). Foreløpig er småhus, hytter og tomannsboliger unntatt, men hvis kravet blir en vellykket implementering er det nærliggende å tro at disse bygningene også vil falle inn under kravet innen overskuelig fremtid.

2.3 Livsløpsanalyse

En livsløpsanalyse analyserer produkters livsløp gjennom miljømessige konsekvenser. Dette gjøres ved å identifisere og beskrive energi- og materialforbruket samt avfall og forurensinger, herunder klimagassutslipp (17). Analysen inkluderer hele livsløpet til produktet fra råvare, gjennom bruksfasen, og frem til avhending. Hensikten er å få oversikt over hvordan produktet påvirker miljøet, og hvor i livsløpet dette skjer. Vi kan også bruke livsløpsanalyser for å sammenligne ulike produkter og deres klimapåvirkninger (18).



Figur 4: LCA «fra vugge til grav» (19).

2.4 Livsløpsmoduler i NS 3720:2018

NS 3720:2018 deler livsløpet til byggevarer inn i ulike moduler, hvor disse modulene danner grunnlaget for beregning av klimagassregnskapet (20). De ulike livsløpsmodulene er vist i figur 5 og er som følger:

- Produktstadiet A1-A3

Modulene A1-A3 er produksjonsstadiet og omfatter klimagassutslippene fra «vugge til fabrikkport». Utslippene inkluderer råvareuttak (A1), transport av råvare til fabrikk (A2) og produksjon av byggevaren (A3). Produksjon av eventuell emballasje inkluderes også i denne modulen.

- Gjennomføringsstadiet A4-A5

Modulen A4 er transport av byggevaren fra fabrikk til byggeplass. Modul A5 er mer kompleks og inneholder flere ledd. A5 inkluderer blant annet utslipp knyttet til kapp og svinn av materialer. Dette utslippet inkluderer produksjon, transport til byggeplass og avfallshåndtering av materialer som går til kapp og svinn. A5 blir derfor beregnet ved å beregne en andel av materialet som blir til kapp og svinn for så å multiplisere denne andelen med modulene A1-A4. Videre inkluderer A5 også håndtering av emballasjeavfall, utslipp fra arbeidsmaskiner, energibruk til oppvarming, ventilering, uttørking, belysning, etc.

- Bruksstadiet B1-B8

Denne modulen inkluderer klimagassutslipp knyttet til bruk av bygningen. Beregningsperioden ifølge NS 3720:2018 er satt til 50 år, så denne modulen tar høyde for bruk og vedlikehold i 50 år.

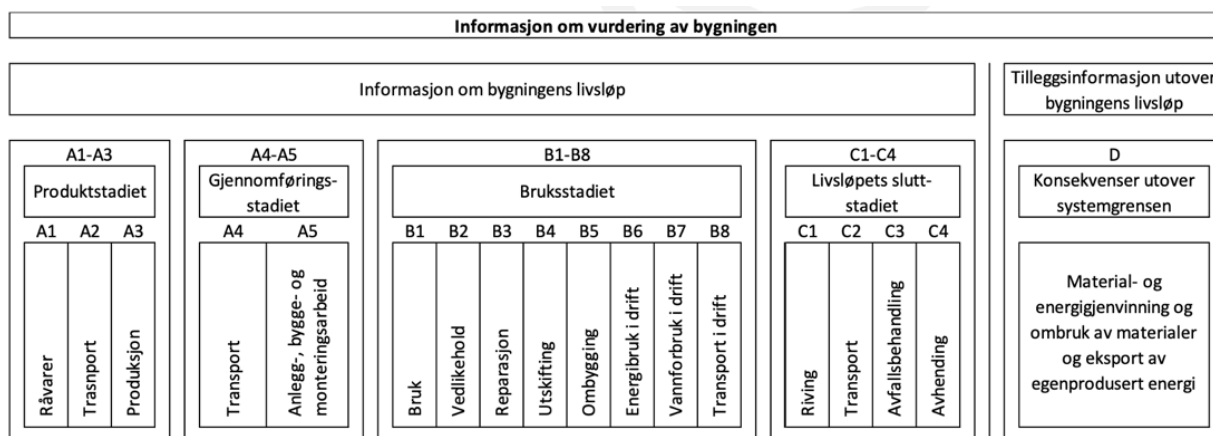
- Livsløpets sluttstadie C1-C4

Modulene C1-C4 inkluderer klimagassutslipp knyttet til riving, transport av riveavfall, avfallsbehandling og avhending.

- Modul D

Modul D er en tilleggsmodul som ikke inngår i et klimagassregnskap beregnet etter NS 3720:2018. Denne modulen inkluderer gevinster ved enden av livsløpet til materialene. Det

kan for eksempel oppnås ved ombruk av materialer, materialgjenvinning og energiutnyttelse eller andre tiltak som er spesielt gunstig med hensyn til klimagassutslipp (20).



Figur 5: Livsløpsmoduler etter NS 3720:2018 (20).

2.5 Biogent karbon

Biogent karbon er karbon som er bundet i trevirket. Dette er karbon som trærne har tatt opp fra CO₂ i lufta gjennom fotosyntesen. Betraktning av biogent karbon kan ha stor innvirkning på klimagassregnskapet, spesielt for trebaserte byggevarer. Ved enden av livsløpet frigjøres det bundne karbonet ved forbrenning eller nedbryting. På den måten vil klimagassutslippene over byggevarens levetid knyttet til biogent karbon være lik null. I EPDene vil opptak av biogent karbon ligge under A1, og siden trærne bidrar til å fjerne karbon fra lufta kan verdien for A1-A3 bli negativ. Livsløpets sluttstadium, altså frigjøringen av biogent karbon ligger under C1-C4 og inkluderes derfor ikke i klimagassregnskapet etter TEK 17 § 17-1. Utslipp knyttet til biogent karbon vil derfor ikke nulles ut direkte. Verdiene for A1 må derfor korrigeres for innhold av eventuelt biogent karbon (5). I EPDer utviklet i Norge vil utslippsverdier korrigert for biogent karbon finnes i eget tillegg, mens for andre EPDer kan det være at beregningen må gjøres manuelt. For alle materialer benyttet i denne oppgaven ble det gitt verdier korrigert for biogent karbon der dette var aktuelt.

2.6 Byggteknisk forskrift (TEK17)

Forskrift om tekniske krav setter grensen for minimum ytelse et byggverk må ha for å kunne være lovlig i Norge. Veilederen forklarer tekniske krav og gir preaksepterte ytelser som vil oppfylle kravene. Forskriften gir funksjonskrav, men i noen tilfeller vil disse fortolkes og gis i form av ytelseskrav (21).

Norske standarder og anvisninger fra SINTEF er nyttige kilder til informasjon for gode løsninger. Det er derfor referert til standarder og anvisninger under de enkelte paragraf i veilederen til TEK. Det finnes også andre standarder og anvisninger, og disse går fram av Standard Norge og SINTEF (21).

2.7 Bygningsdeler som inngår i klimagassregnskapet

Ifølge TEK17 § 17-1 må klimaregnskapet inkludere bygningsdeler 22-26 i henhold til NS 3451:2022 (22). I tillegg må bygningsdelene 215 pelefundamenter og 216 direkte fundamenter også inkluderes. For Dråpen ligger materialer for bygningsdel 21 grunn og fundamenter utelukkende under 216 direkte fundamenter.

NS 3720:2018 tillater utelatelse av produkter som har minimal innvirkning på bygningens totale vekt (20). Imidlertid må den totale vekten av utelatte produkter innen hver bygningsdel på 2-sifret nivå ikke overstige 5% av delens totale vekt. Andel av produktene som kan utelates, gjelder altså separat for hver bygningsdel. For grunn og fundament beregnes grensen på 5% etter vekt basert på totalvekten av bygningsdelene 215 pelefundamenter og 216 direkte fundamenter.

Tabell 1 viser bygningsdelene som skal inkluderes i klimaregnskapet i henhold til TEK17.

Tabell 1: Refererer til norsk standard NS 3451:2022 bygningsdeltabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder (22)

Bygningsdel	Bygningselement	Bygningsdel	Bygningselement
21	Grunn og fundament	216	Direkte fundamentering
22	Bæresystemer	222	Søylar
		223	Bjelker
		224	Avstivende konstruksjoner
23	Ytterveggar	231	Bærende ytterveggar
		234	Vinduer, dører, porter
24	Innerveggar	241	Bærende innerveggar
		242	Ikke-bærende innerveggar
		244	Vinduer, dører, foldeveggar
		246	Overflater og kledning
25	Dekker	251	Frittstående dekker
		252	Gulv på grunn
		255	Gulvoverflate
		256	Faste himlinger og overflatebehandling
26	Yttertakk	261	Primærkonstruksjon
		262	Taktekning
		265	Gesimser, takrenner og nedløp
		268	Utstyr og komplettering
		269	Andre deler av yttertakk

2.8 Klimagassverdier fra miljødeklarasjoner

En EPD, eller miljødeklarasjon for produkter, er et dokument som bekrefter et produkts miljøpåvirkning gjennom hele livssyklusen. EPDer er basert på en livssyklusanalyse (LCA) og gir en standardisert og objektiv oppsummering av et produkts, en tjenestes eller en komponentens miljøprofil. Hensikten med det norske EPD-programmet er å veilede bedrifter i å kommunisere miljøprestasjonen til deres produkter gjennom verifiserte og forståelige miljødeklarasjoner. Programmet sikrer at utviklingen av miljødeklarasjoner for alle typer produkter skjer i samsvar med kravene i ISO 14025 (23), ISO 21930 (24) og tilhørende bransjestandarder (EN 15804 (25) for byggevarer) (26).

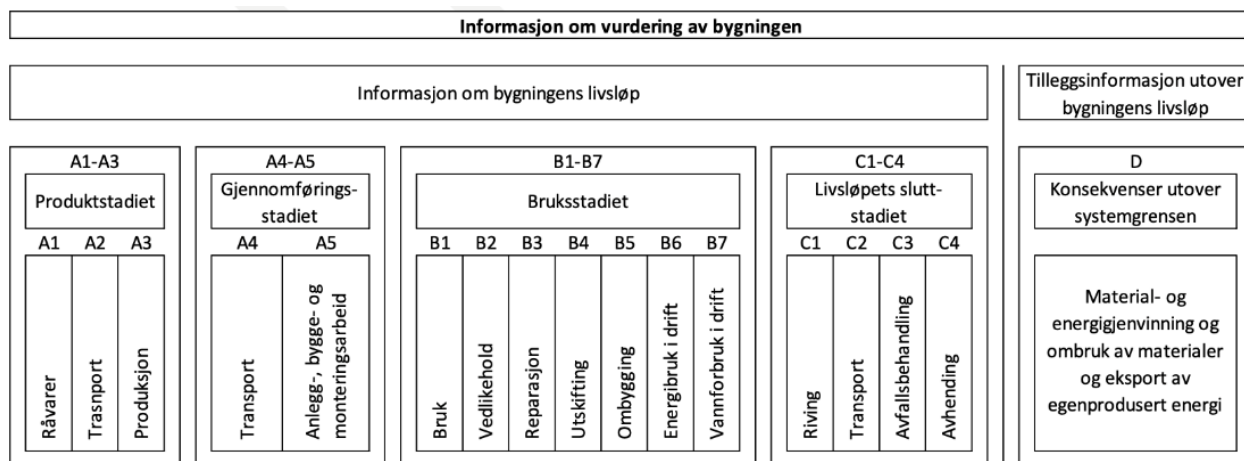
EPD-Norge er en anerkjent programoperatør for EPD i henhold til ISO 14025. EPD-programmet har utviklet et omfattende system for verifisering, registrering og publisering av EPD, samt vedlikehold av registreringer for både EPD og produktkategoriregler (PCR). Produktkategoriregler (PCR-er) inkluderer et omfattende sett med forskrifter og spesifikasjoner designet for å etablere et standardisert rammeverk for å sammenligne og evaluere miljøpåvirkningen til ulike produkttyper som har lignende funksjoner (27)(28).

For byggevarer tilpasset det europeiske markedet, følger PCRe standarden EN 15804 (25). EPD-Norge er medlem av ECO Platform, som arbeider for å harmonisere utviklingen og bruken av standarden EN 15804 i EPDer for byggevarer. EPD-Norge samarbeider også med andre EPD-programoperatører som følger ISO 14025. EPDer som er godkjent av andre EPD-operatører enn EPD-Norge kan også brukes for norske beregninger (5).

Formålet med EPDer er å muliggjøre sammenligning av miljøprofilen til produkter innenfor samme kategori, uavhengig av land eller leverandør. Pr. mai 2023 er det mer enn 2000 EPDer fra over 250 bedrifter tilgjengelig på EPD-Norges nettside, som dekker byggematerialer, møbler, energi, emballasje og kjemikalier (29).

2.8.1 Livsløpsmoduler i EPDene

Den europeiske standarden for utarbeidelse av miljødeklarasjoner er NS-EN 15804:2012+A2:2019. NS-EN 15804:2012+A2:2019 følger samme livssyklusmodul som NS 3720:2018, med unntak av modul B8 Transport i drift, som er en tilleggsmodul inkludert i NS 3720:2018 (se figur 6) (5). Figur 6 viser livssyklusmodulene i samsvar med NS-EN 15804:2012+A2:2019.



Figur 6: Livsløpsmoduler i EPDer etter NS-EN 15804:2012+A2:2019 (5).

EPD dekker i hovedsak hele livssyklusen til et produkt, inkludert produktfasen, implementeringsfasen, bruksfasen og avslutningsfasen. Disse fasene er ytterligere delt inn i livssyklusmoduler, som illustrert i Figur 6. Imidlertid kan enkelte EPDer være deklarerert for kun visse deler av livssyklusen, hvor utvikleren har valgt å utelate noen moduler i deklarasjonen. For eksempel kan visse EPDer kun gi informasjon om produksjonsfasen med modulene A1-A3, mens andre kan inkludere ytterligere detaljer om A4, som omhandler transport til byggeplassen. Noen EPDer er ikke deklarerert for bruksstadiet, noe som gir utfordringer ved sammenligning av produkter. Bruksstadiet kan beregnes manuelt ved forenkede utregninger, dette er nærmere beskrevet i Kapittel 3 - Metode.

2.8.2 Ulike type EPDer

EPD-Norge kategoriserer EPD i to hovedtyper, spesifikt produkt-EPD og gjennomsnitt EPD. Spesifikke produkt-EPDer kan videre deles inn i EPD for et produkt og prosjekt. Forskjellen mellom spesifikt produkt-EPD og prosjekt-EPD er at spesifikt produkt-EPD er utarbeidet av en bestemt produsent eller leverandør og er basert på generelle forutsetninger rundt transport (A4) og byggeplassaktivitet (A5) (30). Produktet kan produseres i flere fabrikker, men det må

være samme produsent eller leverandør. Prosjekt-EPD er basert på produkt-EPD og er direkte knyttet til et gitt prosjekt. I prosjekt-EPD er ikke lenger antagelser om transport og byggeaktivitet generelle, men gitt av et prosjekt. Derfor er prosjekt-EPD mer relevante når man ønsker informasjon om transport til den spesifikke byggeplassen (A4) eller spesielle forhold på byggeplassen (A5) (30). Gjennomsnittlige EPDer opprettes derimot ved å ta en gjennomsnittlig verdi av flere produkter innenfor samme kategori.

Miljøutslippene til produktene i en gjennomsnittlig EPD kan variere med maksimalt 10%. Et unntak fra denne regelen er hvis flere produsenter går sammen for å erklære samme type produkt; i så fall er det beste praksis å oppgi variasjonsbredden (30).

2.8.3 Produktkategoriregler (PCR) og gyldighet for EPDene

For å kunne utarbeide en EPD, spiller produktkategorireglene (PCR) en avgjørende rolle i å avgrense omfanget av analysen. Et av hovedmålene med PCR er å sikre at produsenter gir omfattende informasjon om sammensetningen av stoffer som finnes i produktet, spesielt de med betydelig miljøpåvirkning (27). Denne åpenheten fremmer ikke bare ansvarlighet, men letter også sammenligningen av miljøytelse på tvers av flere produkter innenfor samme produktkategori, og gir dermed kundene mulighet til å ta informerte beslutninger.

EPD-operatørene i Europa følger den europeiske standarden EN 15804:2012, som PCRene er basert på. EN 15804:2012 gjennomgikk endringer i 2013 og ble utgitt på nytt som EN 15804:2012+A1:2013. Ytterligere endringer ble gjort i 2019, og den nye versjonen ble utgitt som EN 15804:2012+A2:2019. (5) Implementeringen av den nye versjonen vil ta tid, og fra 1. oktober 2022 må alle eksisterende og nye PCR-er tilpasses NS-EN 15804:2012+A2:2019. Etter denne datoen må det ikke publiseres nye EPDer i henhold til den gamle NS-EN 15804:2012+A1:2013.

EPDer er gyldige i fem år, og nye EPDer som publiseres før 1. oktober 2022 i henhold til NS-EN 15804:2012+A1:2013 vil fortsatt være gyldige til oktober 2027, forutsatt at produsentene ikke reviderer dem før den tid (5).

2.8.4 Tilgang til EPD-informasjon og generiske utslippsverdier

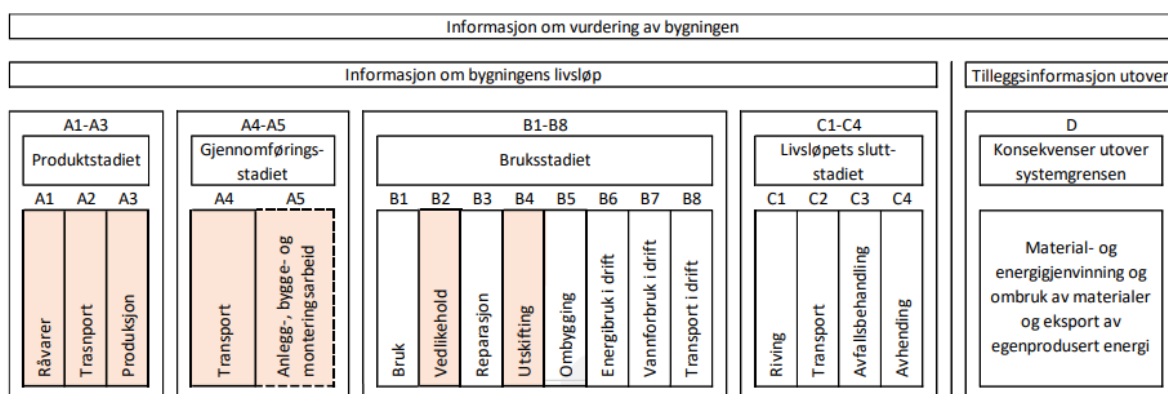
EPD publiseres vanligvis på nettsidene til forskjellige EPD-operatører, selv om noen operatører kan samarbeide om publisering. Imidlertid er ikke alle EPDer for øyeblikket tilgjengelige på ett sted. Den viktigste EPD-operatøren på det norske markedet er epd-norge.no (31). De fleste EPDer er også tilgjengelig på nettsidene til byggevareprodusentene. For å hente generisk utslippsverdier benyttes internasjonale databaser som det svenske Boverket (boverket.se (32.)), tyske Ökobaudat (oekobaudat.de (33)) eller det finske CO2 data (co2data.fi (34)) (5).

3. Metode

I dette kapitlet beskrives benyttet metode for beregning av klimagassregnskapet, metode for innhenting av data og hvilke data som inngår i klimagassregnskapet.

3.1 Beregning av klimagassregnskap etter TEK17 §17-1

Omfanget av klimagassregnskap er beregnet etter minimumskravet i TEK17 §17-1, hvilke moduler som skal inngå etter denne beregningen er vist i figur 7.



Figur 7: Livsløpsmoduler som minimum skal inngå i klimagassregnskapet i henhold til TEK17 er uthevet med farger (5).

Livsløpsmoduler som minimum skal inngå er:

- A1-A3: Produksjonsstadiet. Her medregnes alt utslipp som kan knyttes til alt fra behandling av råvarer til ferdig produksjon av materialet.
- A4: Transport fra fabrikk til byggeplass.
- A5: Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid inkluderer utslipp knyttet til materialer som blir kapp og svinn. Minimumskravet omhandler ikke de øvrige utslippsfaktorene som beskrevet i kapittel 2. Denne modulen ble derfor beregnet som en andel av summen av A1-A3 og A4.
- B2: Vedlikehold i bruksfasen inkluderer fremtidig vedlikehold med et gitt intervall for en 50-års periode, det kan for eksempel være maling av fasade.
- B4: Utskiftning av materialer som har en levetid på mindre enn 50 år. Denne modulen tar da høyde for full utskiftning av materialet (5).

Klimagassutslippene knyttet til hvert materiale beregnes ved å multiplisere mengden av det gitte materialet med utslippsfaktoren for hver av modulene A1-A3, A4, A5, B2 og B4, for deretter å summeres. Følgende formel er benyttet i utregningene:

$$\sum (utslipp_{A1-A3} * +utslipp_{A4} + utslipp_{A5} + utslipp_{B2} + utslipp_{B4})$$

, hvor

$$utslipp_i = utslippsverdi_i * mengde_i$$

Totale klimagassutslipp beregnes ved å summere utslippene for de totale mengdene av materialer i hver bygningsdel eller hele bygningen.

3.1.1 Beregning av modulen A1-A3

Utslipp for produksjonsmodulene A1-A3 hentes vanligvis fra EPD eller tilsvarende dokumentasjon. For byggevarer uten tilstrekkelig dokumentasjon kan generiske verdier med et 25% påslag benyttes. Det er også mulig å bruke anerkjente verktøy for beregning av modulene i livsløpsanalysen. Man må påse at generiske verdier er representative for produktgruppen for den aktuelle byggevaren (5).

3.1.2 Beregning av modulen A4

Utslipp fra transportmodulen A4 dekker utslipp knyttet til transport av byggevaren. Dersom det finnes dokumenterte verdier for modulen A4 kan disse brukes direkte. Om man har en annen avstand enn det som er gitt, kan utslippene justeres. Dette er noe som kan være aktuelt når man har en transportavstand som er ulik det som er gitt i dokumentasjon (5). Dersom man vil justere avstand kan man bruke følgende formel:

$$\frac{kgCO2}{Transportavstand} * Reell\ avstand$$

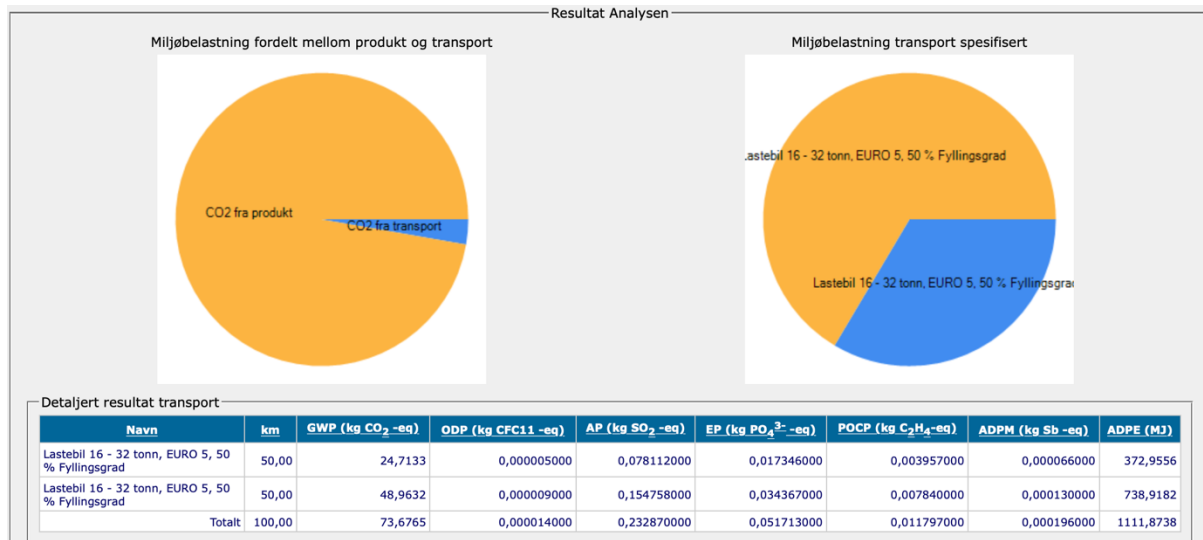
Egne beregninger kan også gjøres for en transportavstand på 300 km. Hvis det skal brukes betong skal avstanden være 50 km, dette fordi det er mange lokale leverandører av betong. For importerte produkter må tilleggsavstanden til Norge medregnes. Euro 5 lastebil 16-32 tonn med 50% fyllingsgrad kan forutsettes for beregningene (5).

Ut ifra et behov fra EPD-Norge og byggevareindustrien har Østfoldforskning og LCA.no utviklet en forenklet transportkalkulator. Transportkalkulatoren vil kunne brukes for å beregne utslippsfaktoren knyttet til transportmodulen A4 (35). I transportkalkulatoren legges variablene for transporten inn. Figur 8 viser et eksempel for utregning av transportfaktoren for to partier betong, med 50 km transportavstand.

ID	Material	kg	CO ₂ -eq	Distanse type	Transport	km	Kommentarer
4454	Betongelement	3864,00	0,00	Enkel	Lastebil 16 - 32 tonn, EURO 5, 50 % Fyllingsgrad	50,00	
4455	Betongelement	7655,55	0,00	Enkel	Lastebil 16 - 32 tonn, EURO 5, 50 % Fyllingsgrad	50,00	

Beregn

Figur 8: Eksempel – Utslipp knyttet til betong, LCA.no (35).



Figur 9: Eksempel – Utslippsfaktor A4 for betong, LCA.no (35).

I figur 8 og figur 9 ser vi at transport av 3864 kg betong over en avstand på 50 km medfører et klimagassutslipp på 24,7 kg CO₂-ekvivalenter.

3.1.3 Beregning av modulen A5

Utslipp for byggeplassmodulen A5 ble beregnet på to forskjellige måter, avhengig av om det ble oppgitt verdi for A5 i EPD. Dersom verdi for A5 var oppgitt i EPD ble denne verdien benyttet direkte. Hvis det derimot ikke var oppgitt en verdi i EPD ble utslippsverdien for A5 beregnet ved egne beregninger ved følgende formel:

$$A5 = \text{andel}_{\text{kapp og svinn}} * (\text{utslipp}_{A1-A3} + \text{utslipp}_{A4})$$

Andel_{kapp og svinn} ble hentet fra EPD-Norge, illustrert i tabell 2.

Tabell 2: Andel forventet kapp og svinn for ulike materialer, gitt av EPD-Norge (5).

Produktgruppe	Kapp og svinn %
Betongelementer	1
Stålkonstruksjoner	1
Øvrige elementer	1
Betong	5
Armering	5
Bygningsplater	10
Isolasjon	5
Membraner	5
Tegl/lettklinker	5
Taktekking	5
Vinduer/dører	5
Puss, mørtel	10
Trevirke	10

3.1.4 Beregning av modulen B2

Utslipp fra vedlikeholdsmodulen B2 har to produktgrupper som er viktig å ta med i beregningen. Dette gjelder utvendige produkter som krever jevnlig overflatebehandling, og vinduer og dører med en estimert levetid mindre enn byggets beregningsperiode. Dersom verdier for modulen B2 ikke er oppgitt i EPD eller annen tredjepartsgodkjent dokumentasjon, må egne beregninger brukes. Forenklet beregning kan foretas med vedlikeholdsintervaller som angitt i SINTEF 700.320 (5). Dette er en mer komplisert utregning da vedlikehold er basert på mange variabler som ikke er enkelt tilgjengelig. Dette kan for eksempel være type vaskemiddel som blir benyttet før overflatebehandling av kledning.

3.1.5 Beregning av modulen B4

Utslipp knyttet til utskiftningsmodulen B4 kan hentes fra EPD, eller fra egne beregninger. For forenklet beregning hentes intervaller for utskiftning fra SINTEF anvisning 700.320. Antall utskiftninger for en bygningsdel gis ved følgende formel, rundet opp til nærmeste heltall:

$$\text{Antall utskiftninger} = \frac{\text{Beregningsperiode for bygningen}}{\text{Byggevarens estimerte levetid}} - 1$$

Man kan da beregne verdien for utskiftning ved formelen:

$$B4 = \text{Antall utskiftninger} * (\text{utslipp}_{A1-A3} + \text{utslipp}_{A4} + \text{utslipp}_{A5})$$

Byggevarenes estimerte levetid er basert på en forutsetning i Byggforskblad 700.320 om at den tekniske kvaliteten er god og påkjenningene er middels. Se figur 10 som er hentet fra byggforskblad 700.320 (36). Disse forutsetningene gir lang estimert levetid for byggevarene.

Teknisk kvalitet	Påkjenninger		
	Små	Middels	Store
Lav	Middels	Kort	Kort
God	Lang	Lang	Middels
Meget god	Lang	Lang	Middels

Figur 10: Forutsetninger for forventet levetid i henhold til byggforskblad 700.320 (36)

3.2 Mengder

Mengdene som er benyttet i utregningene av klimagassregnskapet er hentet fra material-lister for det moderne kataloghuset «Dråpen», som gruppen fikk tilsendt av Norgeshus. Materialene var tilegnet bygningsdeler på tresifret nivå. Materialene måtte deretter regnes om fra mengdeenheter gitt i material-listen til mengdeenheter som samsvarte med deklarererte enheter i EPDene. Materialene hadde, så godt det lot seg gjøre, henvisning til gyldige EPDer. Ca. halvparten av materialene manglet henvisning. Her måtte gruppen innhente EPDer der det var mulig, eller hente generiske verdier fra internasjonale databaser. Databaser som ble benyttet var Boverket og Oekobaudat.

3.2.1 Omregningsfaktorer

Det var vanlig at materialer hadde en prisenhet som ikke samsvarte med den deklarererte enheten i EPD. Det er essensielt at mengdeenheten samsvarer når utslippsverdiene fra EPD multipliseres med mengdene. Det er fem ulike referanseenheter som benyttes i EPDene; volum (m^3), areal (m^2), antall (stk), løpemeter (m) og masse (kg). Hvilken referanseenhet som benyttes er beskrevet i PCR`ene.

3.2.2 Isolasjonsprodukter

Isolasjonsprodukter fra samme produsent er ofte linket til en felles EPD, slik at hvert produkt må omregnes med en omregningsfaktor. Referanseenheten for isolasjonsmaterialer er ofte $1 m^2$ materiale av en tykkelse som gir $R = 1 m^2K/W$. Opprinnelig er det benyttet Glava glassull proff 34 som isolasjonsmateriale i Dråpen. Denne isolasjonen har en deklarerert varmekonduktivitet $\lambda = 0,034 W/mK$, følgelig vil tykkelse som gir $R = 1$ være $0,034 m$. Eksempelvis må da $50 mm$ tykk Glava glassull multipliseres med faktoren $0,05/0,034 = 1,47$.

Figur 11 viser omregningsfaktorer som ligger vedlagt i Glava sin EPD for isolasjonsmaterialer. Tabellen viser at Glava proff 34 havner i kategori 17 kg og at omregningsfaktor for $50 mm$ tykkelse da blir 1,5. Det er denne forenklete metoden ved å bruke omregningsfaktorer hentet fra tabellen i EPD gruppen har valgt å bruke.

Tykkelse (mm)	12 kg	17 kg	25 kg	28 kg	35 kg	48 kg	60 kg	80 kg	90 kg	116 kg	130 kg	
20	0,4	0,6	0,9	1,0	1,2	1,7	2,1	2,9	3,2	4,1	4,6	
25	0,5	0,8	1,1	1,2	1,6	2,1	2,7	3,6	4,0	5,2	5,8	
30	0,6	0,9	1,3	1,5	1,9	2,6	3,2	4,3	4,8	6,2	7,0	
40	0,9	1,2	1,8	2,0	2,5	3,4	4,3	5,7	6,4	8,3	9,3	
50	1,1	1,5	2,2	2,5	3,1	4,3	5,3	7,1	8,0	10,3	11,6	
60	1,3	1,8	2,7	3,0	3,7	5,1	6,4	8,6	9,6	12,4	13,9	
70	1,5	2,1	3,1	3,5	4,4	6,0	7,5	10,0	11,2	14,5	16,2	
75	1,6	2,3	3,3	3,7	4,7	6,4	8,0	10,7	12,0	15,5	17,4	
80	1,7	2,4	3,6	4,0	5,0	6,8	8,6	11,4	12,8	16,5	18,5	
100	2,1	3	4,5	5,0	6,2	8,6	10,7	14,3	16,0	20,7	23,2	
120	2,6	3,6	5,3	6,0	7,5	10,3	12,8	17,1	19,3	24,8	27,8	
125	2,7	3,8	5,6	6,2	7,8	10,7	13,4	17,8	20,1	25,8	29,0	
140	3	4,2	6,2	7,0	8,7	12,0	15,0	20,0	22,5	28,9	32,4	
150	3,2	4,5	6,7	7,5	9,4	12,8	16,0	21,4	24,1	31,0	34,8	
170	3,6	5,2	7,6	8,5	10,6	14,5	18,2	24,2	27,3	35,2	39,4	
175	3,7	5,3	7,8	8,7	10,9	15,0	18,7	25,0	28,1	36,2	40,6	
180	3,9	5,5	8	9,0	11,2	15,4	19,3	25,7	28,9	37,2	41,7	
200	4,3	6,1	8,9	10,0	12,5	17,1	21,4	28,5	32,1	41,4	46,3	
220	4,7	6,7	9,8	11,0	13,7	18,8	23,5	31,4	35,3	45,5	51,0	
240	5,1	7,3	10,7	12,0	15,0	20,5	25,7	34,2	38,5	49,6	55,6	
250	5,3	7,6	11,1	12,5	15,6	21,4	26,7	35,7	40,1	51,7	57,9	
280	6	8,5	12,5	14,0	17,5	24,0	29,9	39,9	44,9	57,9	64,9	
300	6,4	9,1	13,4	15,0	18,7	25,7	32,1	42,8	48,1	62,0	69,5	
340	7,3	10,3	15,2	17,0	21,2	29,1	36,4	48,5	54,5	70,3	78,8	
350	7,5	10,6	15,6	17,5	21,8	29,9	37,4	49,9	56,1	72,4	81,1	
380	8,1	11,5	16,9	19,0	23,7	32,5	40,6	54,2	61,0	78,6	88,1	
390	8,3	11,8	17,4	19,5	24,3	33,4	41,7	55,6	62,6	80,6	90,4	
410	8,8	12,4	18,3	20,5	25,6	35,1	43,9	58,5	65,8	84,8	95,0	
Kategori 12 kg:	Økonomi 38 Produkter					Kategori 48 kg:	Veggplate 31, blåseull (lukket hulrom), GLAVA Akuduk Products*					
Kategori 17 kg:	Proff 34 products, Marine wire mat alu*, Marine roll 16, Marine slab 16, Vintermatte*, Dyttestrimmel, Sydd matte*					Kategori 60 kg:	Glava Robust Lamell, Lydstopplate					
Kategori 25 kg:	Extrem 32 produkter, Laftestrimmel, Blåseull (åpent blåst), Plusplate					Kategori 80 kg:	Glava Venus A*, Glava Super Nova*					
Kategori 28 kg:	Murplate 32 and Lamellmatte*					Kategori 116 kg:	Glava Venus E*, Trinnydplate					
Kategori 35 kg:	Ventilasjonsplate, Lydfelleplate 2000*											

Figur 11: Omregningsfaktorer Glava glassull (37).

3.3 Innhenting av generiske data

For materialer som ikke kan knyttes opp mot en gyldig EPD ble generiske verdier benyttet. Generiske verdier ble hentet fra den svenske databasen Boverket og den tyske databasen Ökobaudat. Dette er verdier som er en gjennomsnittsverdi for materialet i bransjen med et tillegg på 25 % i sikkerhetsmargin.

3.4 Bygningsdeler som inngår i klimagassregnskapet

Minimumskravet i TEK 17 sier at bygningsdelene 22-26 etter NS 3451:2022 skal inkluderes. I tillegg skal 215 Pelefundamentering og 216 Direkte fundamentering inkluderes.

3.5 Utelatelse av materialer

NS 3720:2018 tillater å utelate inntil 5 vektprosent av hver bygningsdel på tosifret nivå. Gruppen har valgt å utelate materialer/produkter som ikke har en gyldig EPD, eller en generisk verdi. Dette er produkter som festemidler, tettesjikt og mindre artikler. For bygningsdel 21 Grunn og fundamenter skal grensen på 5 % beregnes ut fra total vekt på 215 og 216.

3.6 Vinduer og dører

EPD for vinduer, dører og skyvedører oppgir verdier basert på en referansestørrelse. Referanseverdi er vanligvis 1,23 m x 1,48 m for vindu, 1,23 m x 2,18 m for dør og 3,00 m x 2,18 m for skyvedør.

For vinduer og dører kan klimagassutslippene omregnes med en arealskaleringsfaktor, hvor klimagassutslippet multipliseres med arealet for produktet, og divideres på arealet av referanseproduktet. En slik beregning kan se slik ut:

$$\sum Utslippstall_{vinduer} = Utslippstall_{referansevindu} * \frac{\Sigma Areal_{alle vinduer}}{Areal_{referansevindu}}$$

Beregning for dører og skyvedører vil gjøres på samme måte (5).

3.7 Beregningsperiode

Klimagassregnskapet utføres med en byggeperiode på 50 år. Dette er en periode som brukes for klimaberegninger i de fleste europeiske land og i EUs rammeverk for bærekraftige bygg. Norske EPDer har normalt en 60 års beregningsperiode. For byggevarer som krever kortere intervall i vedlikehold enn 60 år, kan endringen fra 60 til 50 år påvirke antall ganger det må utføres vedlikehold og utskiftninger (5).

4. Resultater

4.1 Bygningsdeler som inngår i resultatet

Resultatene som framgår i kapitlet vil være basert på bygningsdelene 22-26, i tillegg til 215 Pelefundamentering og 216 Direkte fundamentering (5). Her vil resultater fra de forskjellige livsløpsmodulene i livssyklusanalysen presenteres, samt samlet resultater for alle bygningsdelene. Metode for resultatene er gitt i Kapittel 3 – Metode.

4.2 Transport

En viktig faktor å ta høyde for når det gjelder å sammenligne to materialer, er utslippsverdien knyttet til transport til byggeplass, modul A4. Måten denne modulen er betraktet på i denne rapporten er at gruppen har sett på differansen i modulen A1-A3 for to tilsvarende byggevarer, for så og studert om denne forskjellen kan oppheves ved differanse i avstand mellom fabrikk og byggeplass for de to respektive byggevarene.

4.3 Høvellast, sammenlignbare EPDer

Høvellast er skåret konstruksjonsvirke som bjelker og lekter. Til tross for at det finnes et stort utvalg dimensjoner på konstruksjonsvirket, benytter leverandørene en samlet EPD med én kubikkmeter høvellast som deklarerert enhet. Opprinnelig er det Moelven som er benyttet leverandør av konstruksjonsvirket av Norgeshus. Gruppen har i denne oppgaven valgt å benytte Gausdal Trevirke som leverandør av høvellast. Moelven sin EPD er felles for både høvellast av gran og av furu, mens Gausdal sin er for kun gran. Dette innebærer at det blir noen forskjeller i EPDene. Et eksempel er oppgitt vekt per kubikkmeter høvellast, Gausdal opererer med tørrvekt på $399,5 \text{ kg/m}^3$ mens Moelven opererer med tørrvekt lik 435 kg/m^3 (38) (39).

Sammen med material-listen gruppen fikk tilsendt av Norgeshus fikk de også egenvektforutsetninger for omregning av mengder, der det ble oppgitt vekt på 350 kg/m^3 for gran og 450 kg/m^3 for furu. Det er verdiene gitt av Norgeshus gruppen har brukt for å regne om mengdene fra kg til deklarerert enhet m^3 .

4.4 Maling

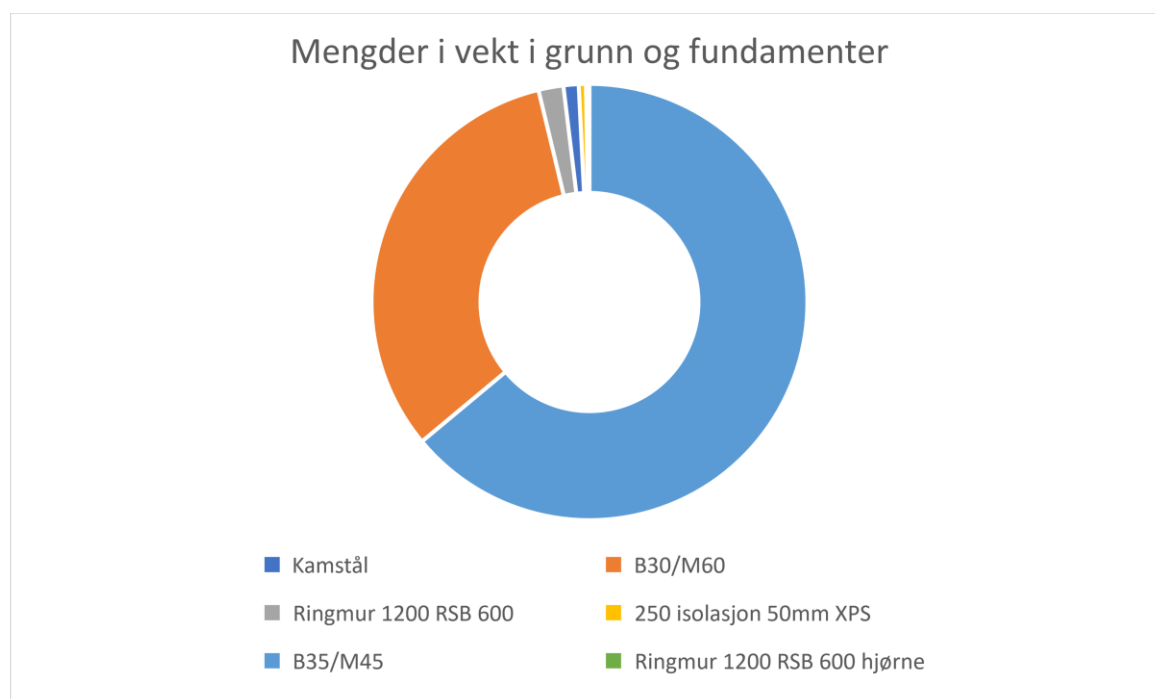
For utvendig kledning er maling og overflatebehandling inkludert i EPD under deklarerer av modul B2, vedlikehold (40). I EPD`en er det antatt at overflatebehandlingen må gjøres 2 ganger etter installasjon, hvor det påføres ett strøk hver gang. På grunn av at vedlikehold er deklarerert i EPD, er det ikke gjort forsøk på å finne en mer gunstig utvendig maling. All innvendig maling er derimot byttet ut. Originalt ble det benyttet LADY pure color fra Jotun A/S. Gruppen har valgt å bytte ut LADY pure color til malingen Flügger Farve Flutex 7S+. For den innvendige kledningen er det antatt en levetid på 16 år, gitt av byggforskblad 700.320 (36). Det gjør at en må regne med at de innvendige flatene må males 3 ganger i løpet av levetiden.

Flutex 7S+ er en ny maling og markedsføres som en miljøvennlig maling med 100% akrylbindemiddel (41). Flutex 7S+ er produsert av Flügger Group som er en internasjonal gruppe basert i Norden. Hovedkontoret ligger i Danmark. Flügger Group har 12 fabrikker i 8 land. Bollebygd er den nærmeste fabrikken til Norge. Det er her produktet produseres (42).

4.5 Grunn og fundamenter

For fullstendige resultater og klimagassregnskap, se vedlegg 3.

Delene som inngår i grunn og fundamenter ligger utelukkende under Direkte fundamentering, og består hovedsakelig av betong, ringmurselement, markisolasjon og kamstål. Samlet står grunn og fundamenter for 7% av de totale utslippene, som utgjør en liten del av klimagassregnskapet, se figur 24. De største bidragsyterne i grunn og fundamenter er betong klasse B30/M60, B35/M45 og ringmurselementer. Se figur 12 for materialmengdene som inngår i regnskapet. Mengdene er basert på vekt i kg, noe man må ta i forbehold da densiteten varierer mye mellom materialene.



Figur 12: Mengdefordeling grunn og fundamenter

4.5.1 Betong

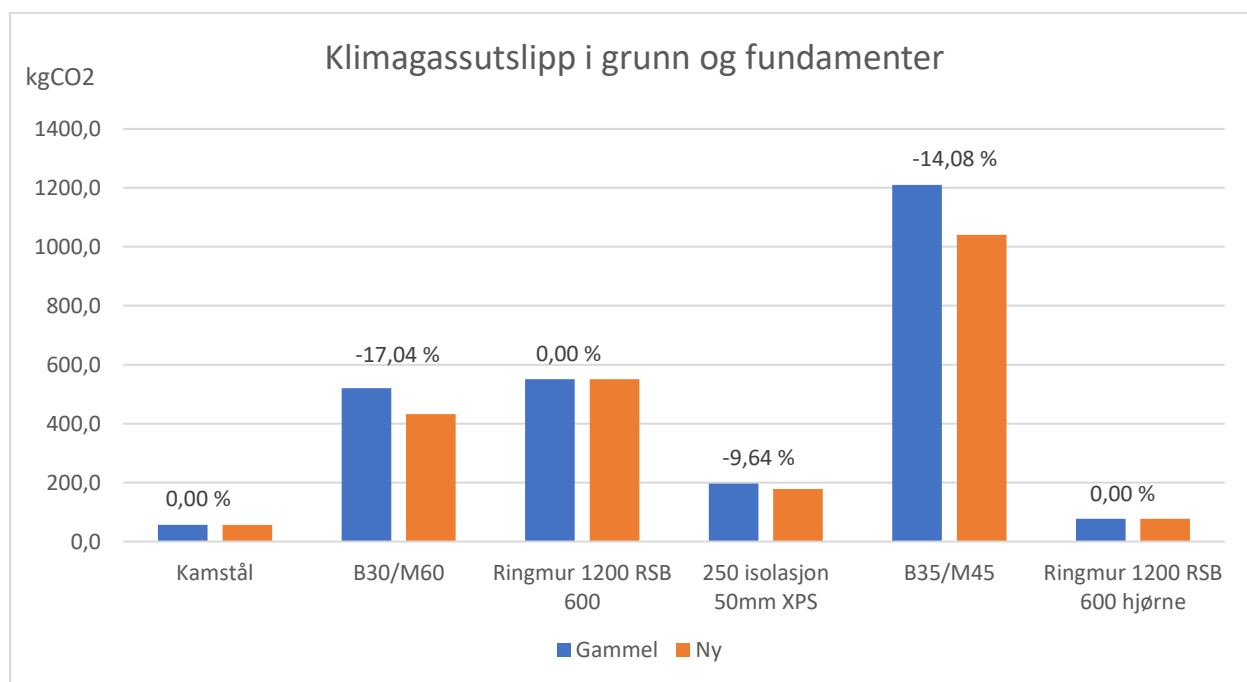
Det er valgt at betong skal byttes med lavkarbonbetong. Med de materialmengdene som inngår i prosjektet får man redusert B30/M60 med 89 kg CO₂-ekvivalenter, og B35/M45 med 170 kg CO₂-ekvivalenter. Det vil si at man får redusert opp til 259 kg CO₂-ekvivalenter når man bytter betong til lavkarbon klasse B, noe som i dette tilfellet tilsvarer en reduksjon på 15%. Man kan få en ytterligere 21% reduksjon ved bruk av lavkarbon klasse A, som tilsvarer 36% reduksjon. Det er likevel valgt å bruke klasse B da dette kan oppnås med ordinære tiltak i resept, til motsetning når man skal bruke klasse A (43).

4.5.2 XPS plater

Det er mulighet for å bytte ut markisolasjon fra Jackofoam til Sundolitt XPS, som vil resultere i en reduksjon på 19 kg CO₂-ekvivalenter. Ulempen vil ligge i at man må benytte seg av forskjellige produsenter, da det opprinnelig ble brukt samme for XPS og ringmurselementer.

4.5.3 Samlede resultater av grunn og fundamenter

Samlet resultat av reduksjon for grunn og fundamenter vises i figur 13, med prosentvis reduksjon innen hver materialkategori. Man ser at mesteparten av reduksjonen kommer fra byttet til lavkarbonbetong. Man får også en liten reduksjon når man bytter markisolasjon. Det var vanskeligere å finne noen gode løsninger til ringmurselementer, og derfor brukes originalløsningen. Til sammen utgjør disse en reduksjon på 278 kg CO₂-ekvivalenter, som tilsvarer 10% reduksjon.

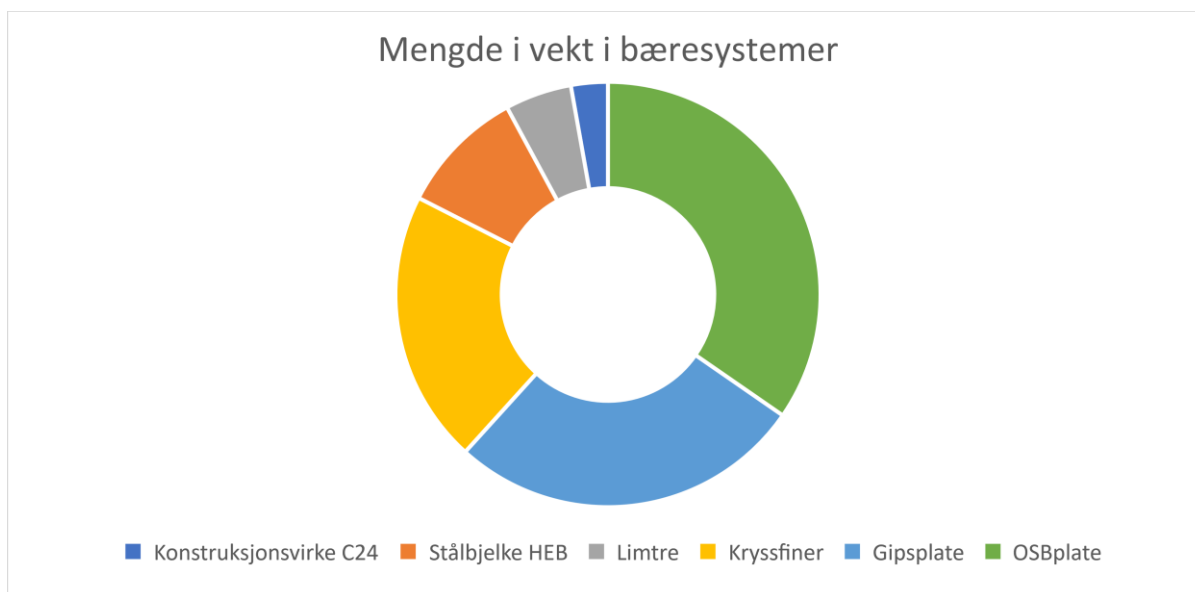


Figur 13: Klimagassutslipp for grunn og fundamenter

4.6 Bæresystemer

For fullstendige resultater og klimagassregnskap, se vedlegg 4.

Bæresystemet i huset Dråpen består av HEB stålbejelker og limtre, med avstivende konstruksjoner av kryssfiner, OSB-plater og gipsplater. De største bidragsyterne til klimagassutslippet knyttet til bæresystemer er stålbejelkene og OSB-plater. Vekt for materialer er gitt i figur 14.



Figur 14: Mengdefordeling bæresystemer

4.6.1 Stålbjelker

For å redusere klimagassutslippet har gruppen byttet ut de opprinnelige stålbejelkene fra Norsk Stål AS med stålbejelker fra SMITH Stål AS. Den totale reduksjonen i utslipp er 67 kg CO₂-ekvivalenter, noe som utgjør 3,8% av det totale utslippet for bæresystemene. SMITH Stål er en stålprodusent fra Trøndelag, så utslippsreduksjonen blir enda større dersom man forutsetter at huset bygges i trondheimsområdet. Ved beregning av transport i transportkalkulatoren til lca.no fant gruppen at 67 kg CO₂-ekvivalenter tilsvarer en transportavstand lik 1250 km. Det vil si at for prosjekter som medfører en differanse på over 1250 mellom produksjonssted for Norsk Stål og SMITH Stål kan det være aktuelt å undersøke Norsk Stål som en mer gunstig leverandør.

4.6.2 Limtre

En alternativ limtreprodusent til Moelven Limtre er Splitkon AS. Utslippsverdien for produksjonsmodulen for limtre fra Splitkon AS er høyere enn for limtre fra Moelven Limtre, det gjør at å bytte ut Moelven Limtre som leverandør er lite gunstig for klimagassregnskapet.

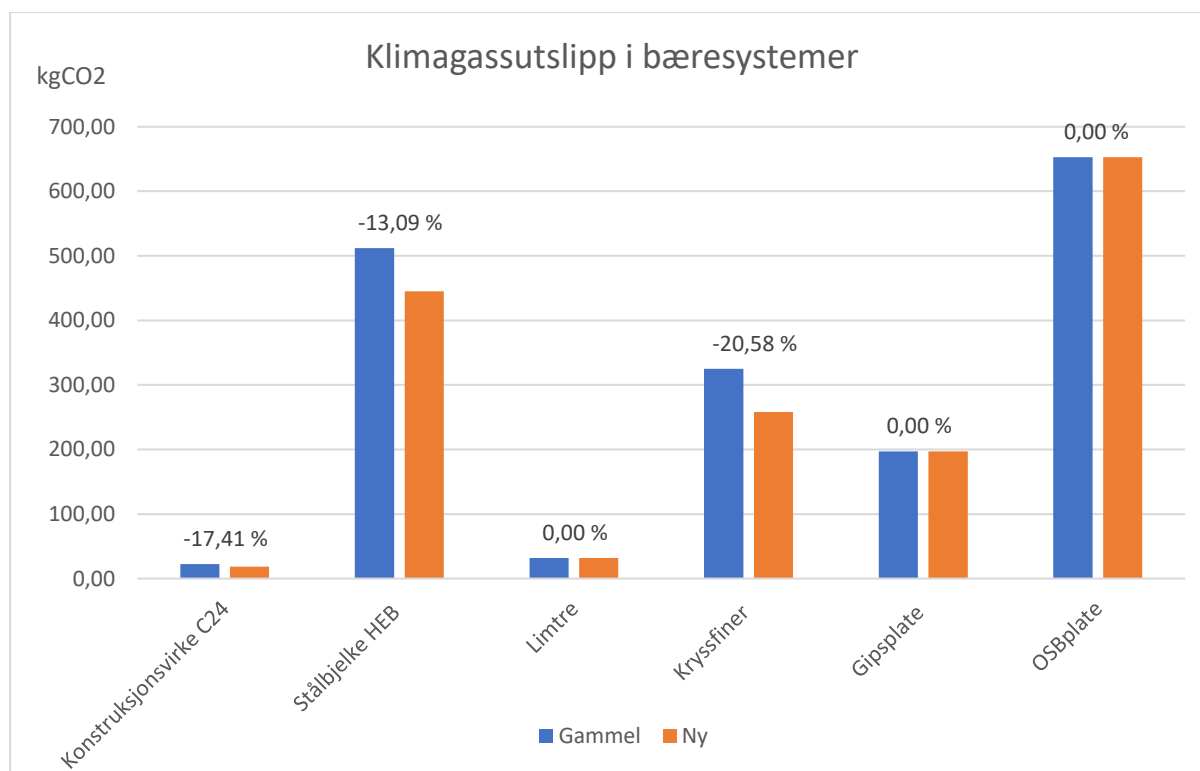
Splitkon har produksjonssenter i Modum kommune, mens Moelven har produksjonslokasjoner både i Norge og i Sverige. (44) (45). Mest gunstig løsning kan derfor være avhengig av lokasjon for oppføring av huset og produksjonssted for materialene.

4.6.3 Kryssfiner

Gruppen har valgt å bytte ut Moelven kryssfinerplater av poppel til kryssfiner av gran. På lik linje som stålbjelker vil dette føre til en reduksjon på 67 kg CO₂-ekvivalenter, eller 3,8%. Det er verdt å merke at kryssfiner brukes som avstivningstiltak i boligen, og et bytte vil sannsynligvis føre til lavere styrke- og stivhetsegenskaper. Man kan anta dette da densiteten gitt i EPD for gran er 445kg/m³, mens kryssfiner poppel har densiteten 560 kg/m³ (46)(47). For kryssfinerplater poppel er det brukt generiske verdier da det ikke finnes tilstrekkelig dokumentasjon. Man vil da anta at det realistiske resultatet vil fluktuere fra de teoretiske beregningene.

4.6.4 Samlede resultater av bæresystemer

Samlet reduksjon for klimagassutslipp vises i figur 15. Man ser her at kryssfinerplater har ført til lik reduksjon som stålbjelker, og samlet reduksjonsverdi blir 137,8 kg CO₂-ekvivalenter. Til sammen utgjør disse resultatene at bæresystemer får en reduksjon på 7,9%.

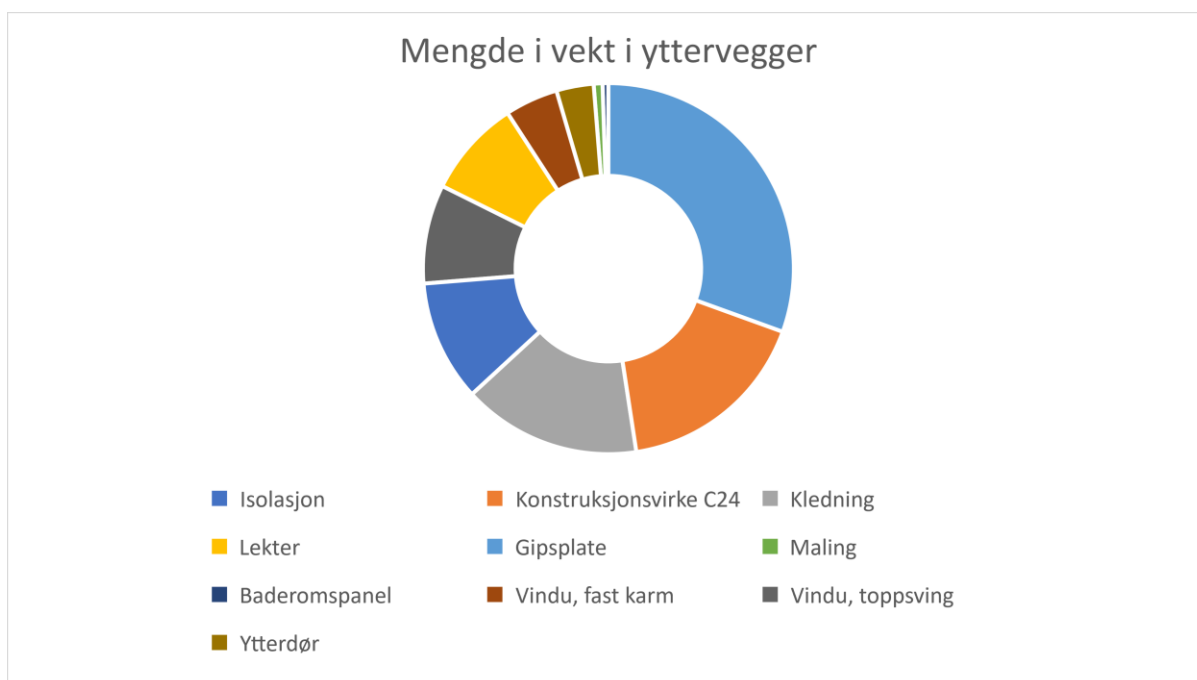


Figur 15: Klimagassutslipp for bæresystemer

4.7 Yttervegger

For fullstendige resultater og klimagassregnskap, se vedlegg 5.

Ytterveggene er en av de større delene i bygningskallet, og krever naturligvis en god del materialer. Materialer som utgjør størst andel vekt i bygningsdelen er høvellast, gips, isolasjon, vinduer og dører. Summen av alle materialene som går inn i bygningsdelen er 12531 kg eller 12,5 tonn. Siden det er lov å utelate 5 vektprosent kan gruppen fjerne produkter inntil 626,6 kg (5). Det er tatt en beslutning om å utelate enkelte produkter med manglende dokumentasjon, og disse vil til sammen utgjøre 191,7 kg. Dette er produkter som membraner, beslag, listverk og kledning. Det vil da være 434,8 kg til gode for utelatelse.



Figur 16: Mengdefordeling yttervegger

4.7.1 Vindu

I yttervegger er det 27,47 m² toppsving vindu og 15,96 m² fast karm vindu. Gruppen har bestemt å bruke toppsving og fast karm vindu fra Gilje for å redusere klimautslippet. Tabell 3 viser at dette resulterer en reduksjon på 990 kg CO₂-ekvivalenter for toppsving vindu og 501 kg CO₂-ekvivalenter for fast karm vindu. Dette tilsvarer en reduksjon på 35,3 og 39,1%. I originalløsningen vil vinduer og dører være basert på generiske verdier fra boverket.se. Det vil da være inkludert en påslagsfaktor på 25%.

4.7.2 Ytterdører

Reduksjonen for ytterdører blir 760 kg CO₂-ekvivalenter, som resulterer i en reduksjon på 38,8%. På lik linje som for vindu, baseres verdier på generiske verdier fra boverket.se. For ytterdører byttes produsent til Nordan AB, da dette var mer gunstig med hensyn til opprinnelig løsning.

4.7.3 Maling

Ved å bytte ut malingen til Flutex 7S+ vil klimagassutslippet reduseres fra 1350 kg CO₂-ekvivalenter til 764 kg CO₂-ekvivalenter sett opp mot LADY pure color. Det er en reduksjon på 586 kg, som tilsvarer 43,4% og er nesten en halvering av utslippene.

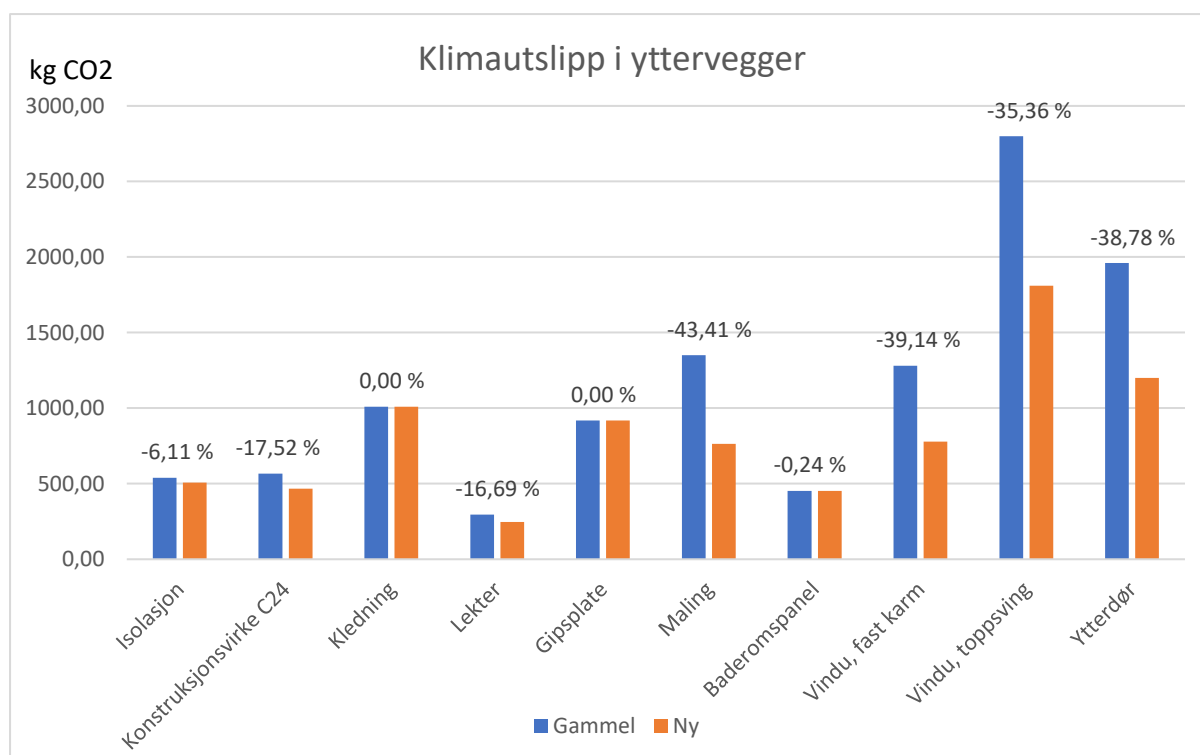
4.7.4 Trevirke

Gruppen har valgt å bytte leverandør for trevirke i ytterveggene fra Moelven til Gausdal trevirke. Dette inkluderer alt konstruksjonsvirke og lekter unntatt 16x048 mm lekter. Denne dimensjonen er ikke funnet hos Gausdal, så Moelven er fremdeles valgt som leverandør. Det er naturlig å tro at Gausdal trevirke også kan levere 16x048 mm lekter på etterspørsel, men da den ikke er tilgjengelig på internett velger gruppen å anta at de ikke leverer denne.

Den totale reduksjonen man oppnår ved å velge Gausdal treindustrier som leverandør av trevirket er 99,3 kg CO₂-ekvivalenter, en reduksjon tilsvarende 17,5%.

4.7.5 Samlede resultater av yttervegg

Yttervegg er en av de delene som har størst utslag på klimagassregnskapet, med 28% av de totale utslippene. Utslipp for bygningsmaterialer knyttet til yttervegg er vist i figur 17. Det blir totalt redusert 3019,7 kg CO₂-ekvivalenter av opprinnelig 11173,2 kgCO₂, noe som tilsvarer en reduksjon på 27%. Verdiene som har størst utslag på reduksjonen er blant annet vindu, dør og maling. Disse har til sammen en reduksjon på 2837 kg CO₂-ekvivalenter, eller 25,3%. For vinduer av fast karm og toppsving blir verdiene målt mot generiske verdier, som er verdt å legge merke til da generiske verdier har et 25% påslag. For vinduer er det tatt i betraktning en 60 års levetid for utskiftning og vedlikehold, slik at vinduene blir vurdert på samme grunnlag (SINTEF 700.320 (36)). Det vil derfor ikke medregnes verdier for modulene B2 og B4 for disse.



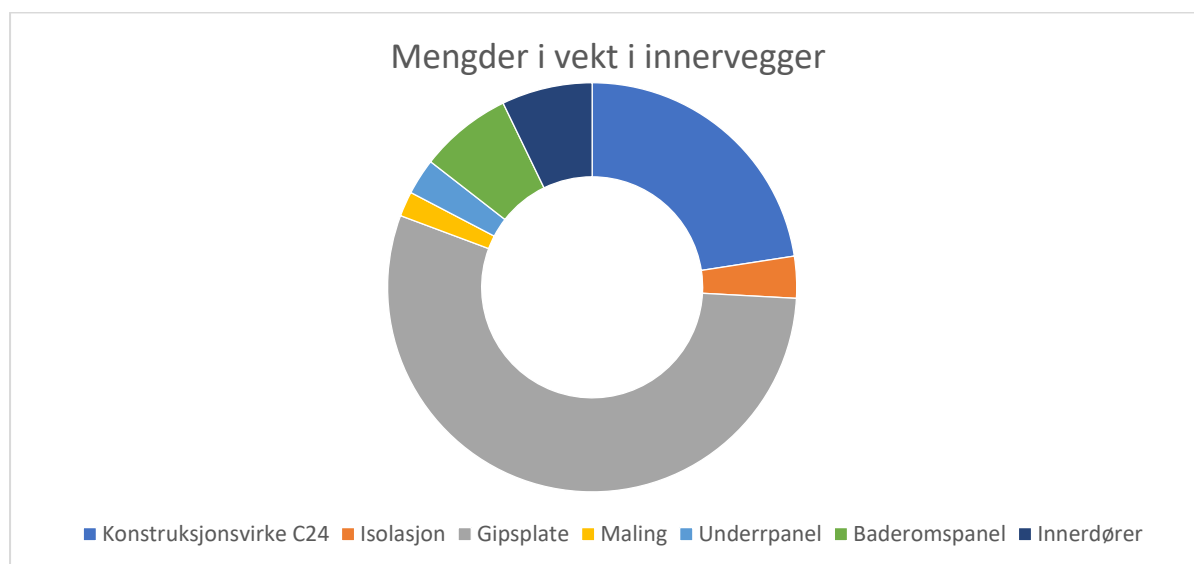
Figur 17: Klimagassutslipp for yttervegger

4.8 Innervegger

For fullstendige resultater og klimagassregnskap, se vedlegg 6.

Innerveggene i Dråpen er bindingsverkvegger kledd med gipsplater. På grunn av de store totale overflatene er det gipsplatene som utgjør største mengden av veggen, målt i kilogram. Gips utgjør 2623,5 kg av totalt 4784,4 kg av innerveggene. De materialene gruppen har valgt å bytte ut er trevirke, baderomspanel og maling.

Summen av mengder for innervegg utgjør 5212,2 kg, som gjør at gruppen kan fjerne produkter inntil 260,6 kg fra regnskapet. Disse produktene inkluderer blant annet våtromplate, utforing, karmlist og feielist. Dette er produkter som blir utelatt da de ikke har tilstrekkelig dokumentasjon.



Figur 18: Mengdefordeling innervegger

4.8.1 Trevirke

Gruppen har valgt å bytte leverandør for alt trevirke, herunder konstruksjonsvirke C24 og underpanel. Moelven var valgt som opprinnelig leverandør fra Norgeshus, men gruppen har valgt å bytte til Gausdal Trevirke da de kommer bedre ut med tanke på klimagassregnskapet. Totalt reduseres klimagassregnskapet med 61,2 kg CO₂-ekvivalenter ved å bytte til Gausdal Trevirke. Det utgjør en reduksjon på 20,7%. Produksjonsstedene til Moelven og Gausdal ligger nærme hverandre, så her vil ikke transportfaktoren være avgjørende ved valg av leverandør.

4.8.2 Baderomspanel

Det originale baderomspanelet var veggplater fra Fibo AS. I denne EPD`en er det oppgitt verdier for både vedlikeholdsmodulen B2 og utskiftningsmodulen B4 (48). Gruppen har funnet et fullverdig substitutt som etter klimagassberegningene ser ut til å være et bedre alternativ. Det baderomspanelet gruppen har byttet til er Wall&Water fra BerryAlloc AS. Denne EPD`en har ikke oppgitt verdier for verken B2 eller B4 (49). For å bedre sammenligningsgrunnlaget for produktene har gruppen valgt å se bort fra modulen B2 da denne er utfordrende å beregne manuelt uten tilgang til inngangsverdier. Utskiftningsmodulen B4 er beregnet etter anvisning i gjeldene veileder fra TEK17.

Begge produktene har en estimert levetid på 20 år, noe som gir 2 utskiftninger over beregningsperioden på 50 år. I EPD for Fibo veggplater er B4 utslippsverdi angitt til 32,5. Hvis man regner ut denne faktoren manuelt som angitt i TEK17, får man en faktor lik 25,2. Denne differansen utgjør en forskjell på 328,1 kg CO₂-ekvivalenter i totale utslipp for Fibo-platene. Hva som legges til grunn for at faktoren er økt fra 25,2 til 32,5 er det vanskelig for gruppen å vite, så for å belyse utfordringene med å sammenligne produkter basert på EPD har gruppen valgt å benytte B4 utslippsverdi gitt i EPD`en.

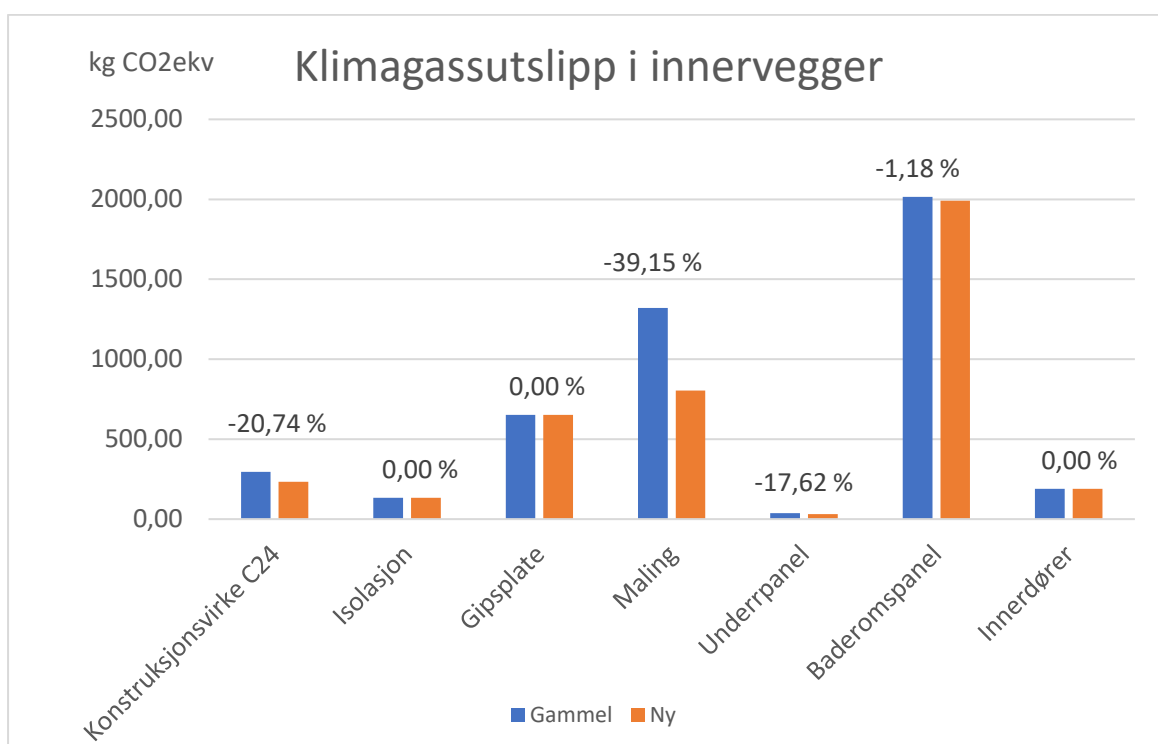
Den totale reduksjonen i klimagassregnskapet ved å bytte ut baderomsplater fra Fibo til BerryAlloc er 23,87 kg CO₂-ekvivalenter, en reduksjon tilsvarende 1,2%. Denne reduksjonen hadde ikke blitt oppnådd dersom utregningen av modulen B4 ikke var forskjellig. Baderomspanelet fra BerryAlloc har en betydelig høyere utslippsfaktor knyttet til produksjonsfaktoren A1-A3.

4.8.3 Maling

I likhet med andre bygningsdeler har gruppen valgt å bytte ut Jotun LADY color med Flügger Farve Flutex 7S+, også på innerveggene. Siden de malte flatene utgjør en stor del av innerveggene er malingen det materiale som har nest størst innvirkning på klimagassregnskapet, kun slått av gipsplatene. Reduksjonen i klimagassregnskapet ved å bytte ut malingen er på totalt 517 kg CO₂-ekvivalenter, det utgjør hele 39,15% av det opprinnelige utslippet fra Jotun LADY color.

4.8.4 Samlede resultater innervegger

Totalt reduseres klimagassregnskapet med 608,4 kg CO₂-ekvivalenter for innerveggene. Som nevnt er det malingen som står for mesteparten av denne reduksjonen. Den totale reduksjonen er på 13%. Alle tiltakene er enkle tiltak og løst ved å bytte leverandør av identiske produkter. Isolasjonen er ikke byttet i innerveggene da det er lite alternativer og den utgjør en liten del totalt sett. Det er heller ikke like gode muligheter for blåseisolasjon av trefiber i innervegger. Det er forsøkt å finne substitutter for både gipsplatene og innerdører uten hell. Gruppen har funnet innerdører som har gyldig EPD, men disse reduserer heller ikke klimagassregnskapet og blir derfor ikke vurdert.

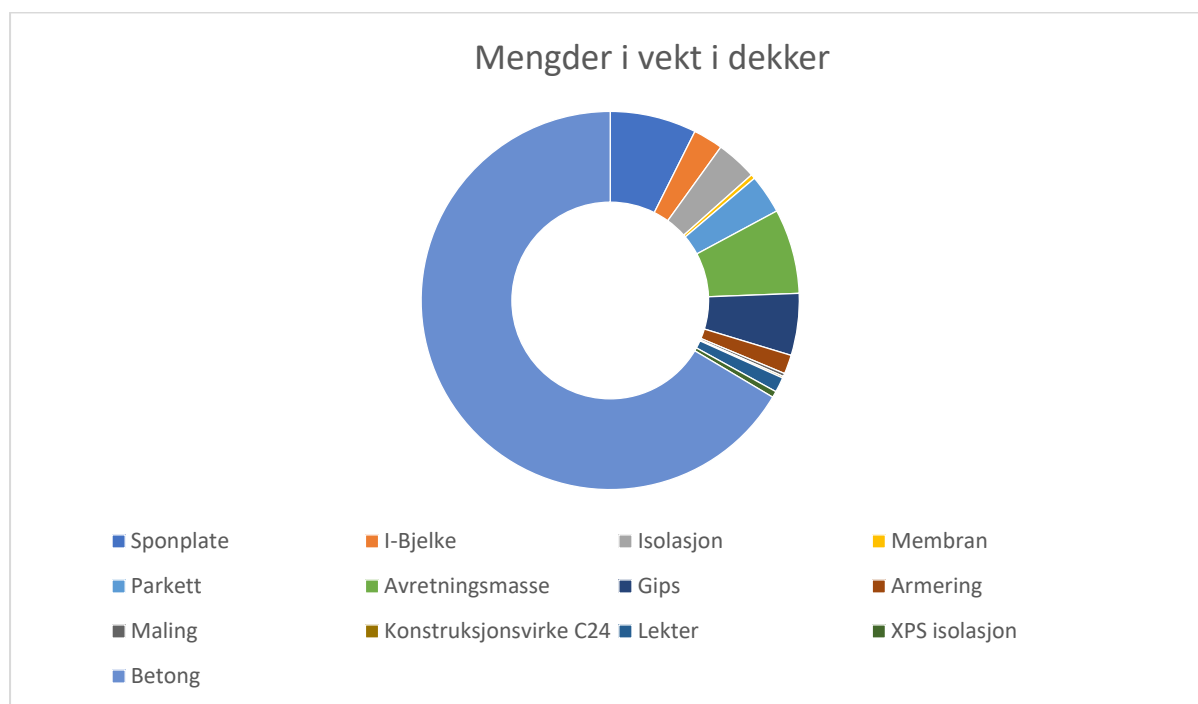


Figur 19: Klimagassutslipp innervegger

4.9 Dekker

For fullstendige resultater og klimagassregnskap, se vedlegg 7.

Dekkene er sammensatte konstruksjoner som består av mange ulike materialer. Hovedbestanddelen i dekkene når man sammenligner basert på vekt er betong, som utgjør 22 700 kg av totalt 34 630 kg. Sammensetningen av dekkene er illustrert nærmere i figur 20. Materialene gruppen har valgt å gjøre endringer på i dekkene er betong, I-bjelker, isolasjon, maling og treverk (konstruksjonsvirke og lekter). Øvrige materialer har det ikke lyktes med å finne et passende substitutt med gyldig EPD. Materialer som trekkes fra regnskapet i dekker er blant annet våtromsplate, kledning gran, flislim, lydbøyler og radonbrønn. Dette er materialer uten tilgjengelig EPD.



Figur 20: Mengdefordeling dekker

4.9.1 Betong

Dekkene er den bygningsdelen hvor man finner den største andelen av bygningens totale forbruk av betong. 9,87 m³ med betong er benyttet i dekkene. Gruppen har valgt å benytte lavkarbonbetong klasse B i dekkene, i likhet med betongen i grunn og fundamenter. Dette fører til en reduksjon på 518,2 kg CO₂-ekvivalenter i klimagassregnskapet. Å benytte lavkarbon klasse B utgjør en reduksjon på 17% kontra bransjestandard-betong.

4.9.2 I-Bjelke

For det originale klimagassregnskapet er det benyttet generisk utslippsverdi for I-bjerkene, hentet fra boverket.se. Gruppen har byttet ut disse med I-bjelker fra Masonite, som har en gyldig EPD tilknyttet (50). EPD'en fra Masonite gjelder for H300s (300mm) bjelker, mens i Dråpen er det benyttet både 300mm og 350mm I-bjelker. Etter veiledning fra Norgeshus ble EPD for Masonite H300s benyttet for alle I-bjerkene. Reduksjonen i klimagassregnskapet ved å bytte ut I-bjerkene ble på totalt 152,6 kg CO₂-ekvivalenter. Dette er en reduksjon på hele 35,8%. Gruppen vil påpeke at for den generiske verdien er det lagt til 25% sikkerhetsmargin, så den faktiske reduksjonen i klimagassutslipp kan antas å være nærmere 10%, som blir rundt 42,6 kg CO₂-ekvivalenter.

4.9.3 Isolasjon

I likhet med andre bygningsdeler er også her isolasjonsmateriale glassull proff 34 fra Glava byttet ut med trefiberisolasjon fra Hunton. Dette medfører en reduksjon på 63,8 kg CO₂-ekvivalenter, en reduksjon på 5,8% for isolasjonsmaterialene.

4.9.4 Maling

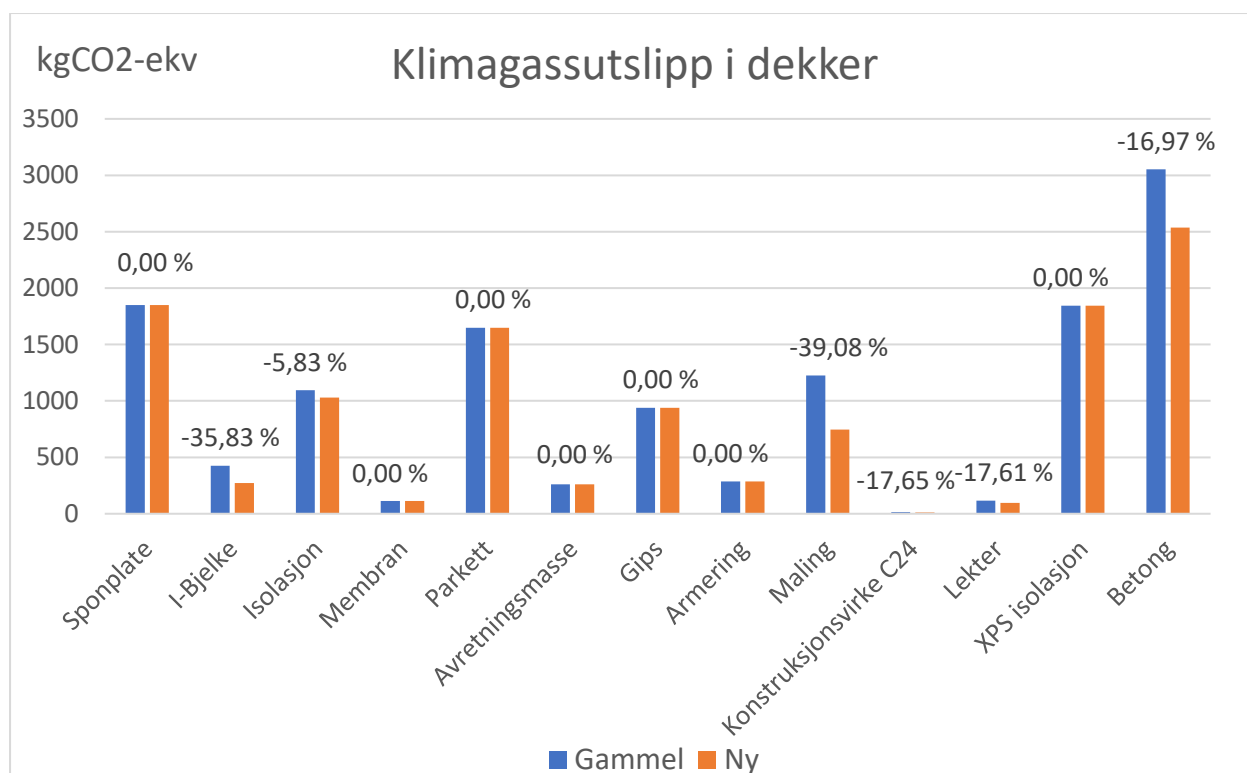
I likhet med andre bygningsdeler vil Flügger Flutex 7S+ brukes her. Dette vil i dette tilfellet medføre en reduksjon på 478,5 kg CO₂-ekvivalenter, tilsvarende 39%.

4.9.5 Trevirke

I dekkene er det benyttet noe trevirke, fordelt på lekter og annet konstruksjonsvirke. Opprinnelig leverandør av trevirket er Moelven, men gruppen har valgt å bytte ut Moelven med Gausdal Trevirke for å redusere klimagassregnskapet. Samlet utgjør dette en reduksjon på 22,6 kg CO₂-ekvivalenter, som utgjør 17,6% av opprinnelig utslipp fra trevirket.

4.9.6 Samlede resultater dekker

Den samlede reduksjonen i klimagassregnskapet for dekkene, fordelt på de ulike materialene er presentert i figur 21. Totalt reduseres klimagassregnskapet med 1235,6 kg CO₂-ekvivalenter, en reduksjon på 9,6%. Den største reduksjonen er overgangen til lavkarbonbetong klasse B, tett etterfulgt av byttet fra Jotun LADY pure color til Flügger Farve Flutex 7S+. At å bytte ut malingen skulle ha så stor effekt er noe overraskende. Det er verdt å nevne at ved en beregningsperiode på 50 år, og forutsatt levetid på malingen på 16 år må man regne med 3 utskiftninger av malingen. En stor prosentvis endring er det også for I-bjelkene, men i likhet med trevirket vil denne utskiftningen kun resultere i en liten reduksjon i klimagassregnskapet siden utslippet i utgangspunktet er lavt.

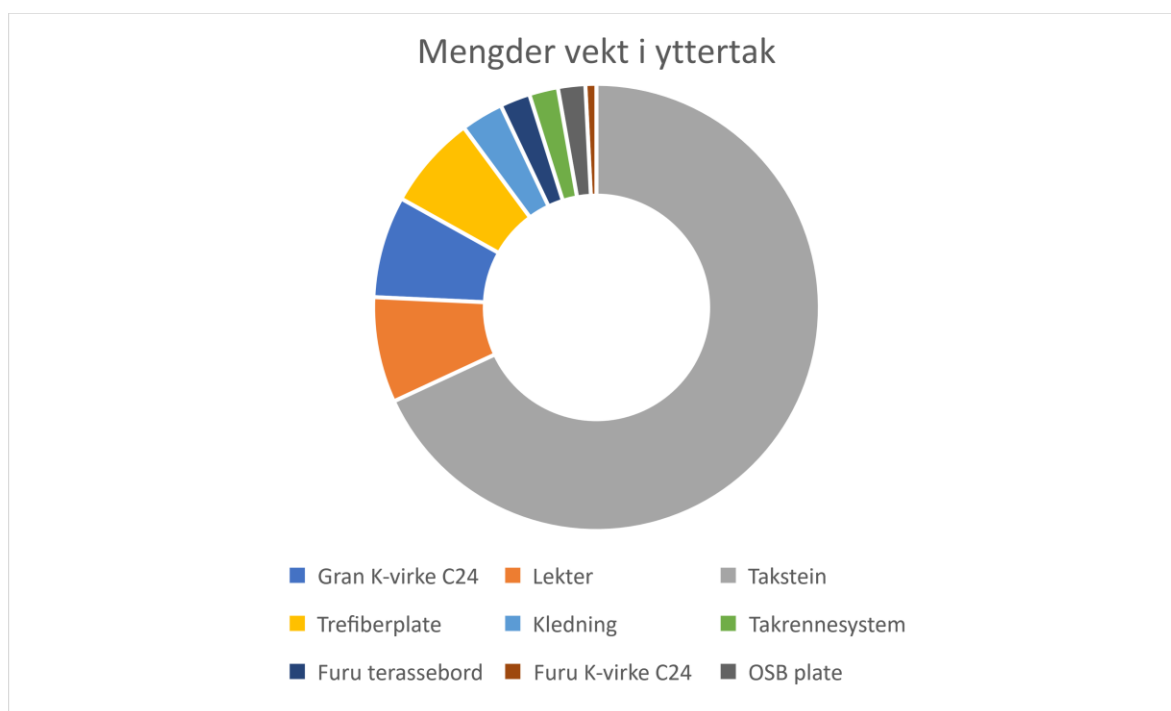


Figur 21: Klimagassutslipp for dekker

4.10 Yttertak

For fullstendige resultater og klimagassregnskap, se vedlegg 8.

Summen av alle materialene i yttertak utgjør 11218,9 kg eller 11,2 tonn. Her vil det da være mulig å utelate opp til 560,9 kg som tilsvarer 5%. Summen av materialer gruppen utelater utgjør 479 kg. Dette er hovedsakelig produkter som utgjør en liten del av regnskapet, og produkter uten tilgjengelig utslippsfaktorer. Eksempler på materialer som dette er beslag, festemiddel, membran og loftstrapp. Disse er alle produkter med manglende EPD eller dokumentasjon.



Figur 22: Mengdefordeling yttertak

4.10.1 Takstein

Her blir takstein BMI Zanda byttet mot Skarpnes betongtakstein for en reduksjon på 850 kg CO₂-ekvivalenter. Det er her sammenlignet generiske verdier mot dokumenterte verdier for samme type produkt, altså takstein av betong. Takstein utgjør mye både i vekt og CO₂-utslipp, og det vil derfor være gunstig med lavere utslipp knyttet til materialer og produksjon, se vedlegg 8 tabell 5.

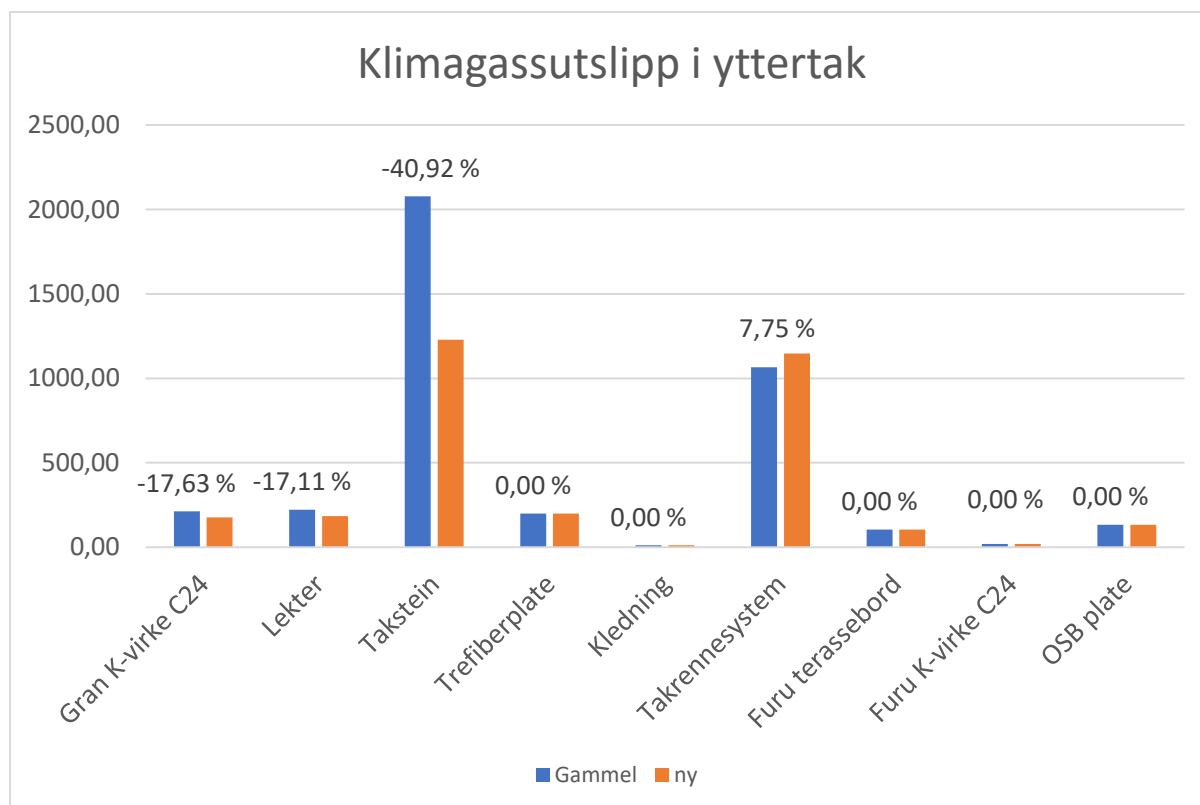
4.10.2 Takrenne

Takrennesystem inkluderer alt som inngår for takrenner. Dette inkluderer blant annet stålkrok, stålvinkler, løvfanger og tilsvarende produkter (51). Sammenligningen baseres på generiske verdier mot EPD verdier, hvor dokumenterte verdier er mer ugunstige. Dette resulterer i en økning på 82,6 kg CO₂-ekvivalenter eller 7,8%.

Bakgrunnen for regnskapet for takrenner, selv om de er mer ugunstige, er at disse er nødvendige for at regnskapet skal være i henhold til veilederen i TEK. Om disse produktene ikke tas med i beregningen, vil antall utelatte produkter overstige 5 vektprosent. Det er derfor bestemt at reelle verdier brukes i stedet for generiske.

4.10.3 Samlede verdier yttertak

Summen av utslipp for yttertak var i utgangspunktet på 4045,3 kg CO₂-ekvivalenter. Bytte i produkter vil føre til 843,5 kg CO₂-ekvivalenter reduksjon i utslipp. Dette kommer hovedsakelig av bytte i takstein/mønestein. Det er også verdt å merke at man får en økning på takrennesystem, som er et resultat av et bytte fra generiske verdier. Til sammen vil yttertak utgjøre 10,8% reduksjon i klimagassregnskapet, se figur 24.



Figur 23: Klimagassutslipp for yttertak

4.11 Samlede resultater

I dette kapitlet går man gjennom resultatet av hele klimagassregnskapet, altså summen av alle bygningsdelene.

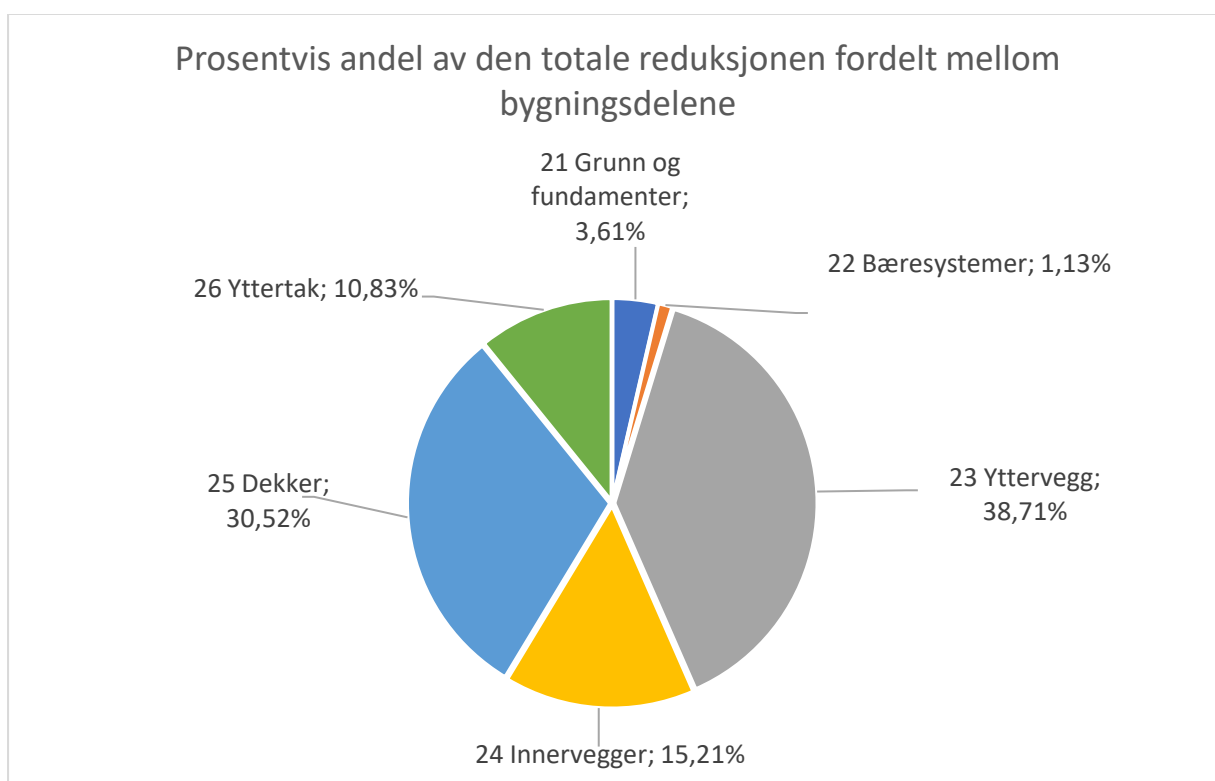
Tabell 3 viser en oversikt over hvordan klimagassregnskapet er fordelt mellom de ulike bygningsdelene. Tabellen viser også summen av det totale klimagassregnskapet for både den originale og nye løsningen. Totalt ble klimagassregnskapet for den originale løsningen på 38,9 tonn CO₂-ekvivalenter, mens regnskapet for den nye løsningen endte opp på 31,1 tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer en reduksjon på 7,8 tonn CO₂-ekvivalenter. Det tilsvarer en kjørt distanse på over 56 000 km i en tradisjonell dieselbil (52).

Figur 24 viser hvordan den totale reduksjonen er prosentvis fordelt mellom de ulike bygningsdelene. Den største andelen av reduksjonen er forbundet med materialer i yttervegger og dekker. Dette henger sammen med at for disse bygningsdelene var det størst utvalg i gyldig miljødokumentasjon da gruppen undersøkte alternative materialer. Dette viser at dersom man skal prioritere bygningsdel for å fatte tiltak, bør de fleste tiltakene legges til yttervegger og dekker da dette gir størst effekt.

De totale resultatene fremhever effektiviteten til bærekraftig byggepraksis for å redusere miljøpåvirkninger, og understreker viktigheten av å inkludere miljøvennlige materialer i fremtidige byggeprosjekter. Resultatene av denne analysen bidrar til økt kunnskap om bærekraftig byggeskikk og gir innsikt for fremtidig innsats for å redusere miljøpåvirkninger i byggesektoren.

Tabell 3: Reduksjonen i klimagassregnskapet fra gammel til ny løsning

Bygningsdel	Gammel [kgCO2]	Ny [kgCO2]	Reduksjon [kgCO2]	Reduksjon %
21 Grunn og fundamenter	2612,49	2331,40	-281,09	10,76%
22 Bæresystemer	1741,25	1653,25	-87,99	5,05%
23 Yttervegg	11174,65	8158,81	-3015,84	26,99%
24 Innervegger	5351,22	4166,36	-1184,86	22,14%
25 Dekker	14017,99	11639,99	-2378,00	16,96%
26 Yttertak	4045,29	3201,43	-843,86	20,86%
Totalt	38942,89	31151,24	-7791,64	20,01%



Figur 24: Fordeling av utslippsreduksjonen fordelt mellom de ulike bygningsdelene.

5. Diskusjon

I dette kapittelet vil resultater fra funn diskuteres. Her vil baseringsgrunnlag for valg og avvik undersøkes nærmere, og gruppen vil være kritisk til de konklusjonene som er tatt. Det vil også undersøkes mulige feilkilder til oppgaven.

5.1 Resultater

Summen av resultater må tas med visse forbehold da flere verdier baseres på produkter med forskjellig bakgrunn, som blant annet generisk verdi, transport og vedlikehold. Dette er noe som medfører at klimagassregnskapet kan variere både på gamle og nye verdier, da noen av de teoretiske beregningene i klimagassregnskapet kan avvike fra reell verdi. Det som er av stor interesse, er at beregninger gjøres på mest mulig likt grunnlag, så langt dette lar seg gjøre. Faktorer for levetid, transport og utskiftning burde vært likt mellom produkter som skal byttes, dette så man kan få en reduksjonsfaktor som er tilnærmet reell verdi. Noen av disse faktorene vil diskuteres i delkapitlene under.

For materialvalg har det i de fleste tilfeller blitt brukt produkter hvor leverandør har lavere utslipp knyttet til produksjon, vedlikehold og utskiftning. Det har ikke blitt tatt noen bygningsfysiske valg hvor prosjekteringsløsning er endret. Derfor blir produkter vurdert mot produkter på lik linje. Av den grunn er det ikke alltid like lett å finne produkter for regnskapet, da enkelte produktgrupper har begrenset utvalg av dokumentasjon. Materialer som kan ha andre egenskaper enn opprinnelig, vil bli beskrevet i egne delkapittel.

5.1.1 Generiske verdier

Noen av materialene som er byttet ut har generiske verdier i klimagassregnskapet. Ettersom disse inneholder et påslag på 25%, kan det være en kunstig høy reduksjon i forhold til reell utslippsverdi, da nye materialer har en gyldig EPD og dermed ikke et tillegg på 25%. Innvirkningen av dette illustreres best ved et tenkt scenario hvor et materiale som beregnes med generisk verdi, og i realiteten har gjennomsnittlige utslippstall, byttes ut med et materiale som også har gjennomsnittlige utslippstall dokumentert i EPD. Et slikt bytte vil vise en reduksjon på 25% i klimagassregnskapet, mens i realiteten reduseres ikke klimagassutslippene i det hele tatt.

Generiske verdier er basert på en database av gjennomsnittsverdier for typiske produktgrupper. Vanligvis anbefales det at EPDer skal brukes om dette er mulig (5). I tillegg til et påslag kan generiske verdier avvike produktet noe, da produktgruppen verdiene er basert på ikke nødvendigvis representerer materialet godt. Produktgruppene kan også ha store variasjoner i utslipp basert på produksjonsmetode, noe som gjør at en gjennomsnittsverdi enten kan være høyere eller lavere en faktisk verdi.

5.1.2 Transportfaktor

Utslipp fra transportfaktoren dekker utslipp knyttet til transport fra fabrikk til byggeplass. Verdier i EPD er basert på antatt avstand fra fabrikk til byggeplass, noe som varierer. For forenkede beregninger brukes 300km for produkter unntatt betong hvor 50km brukes (5). Siden prosjektet ikke har en spesifisert byggeplass, vil antatte verdier for transportfaktor brukes. Mange produsenter har også flere forskjellige produksjonslokalisasjoner, noe som gjør sammenligning av produkter vanskelig.

For enkelte produkter varierer både avstand og antatt transportmåte. Det er ulike forutsetninger for type lastebiler, fyllingsgrad og transportutslipp. Det samme gjelder for like produkter av forskjellige produsenter, noe som gjør at sammenligning av transport kan være noe unøyaktig. Avstander for transport er vanligvis ikke så ulike, og utslipp knyttet til modulen utgjør vanligvis en liten forskjell.

For utenlandske produkter legges til en tilleggstransport, noe som gjør at man i regnskapet må legge til en avstand for transporten til Norge. Når man forutsetter et bytte fra norske produkter til utenlandske, vil transportfaktoren være høyere.

5.1.3 Vedlikehold og materialbytte

Vanligvis oppgis verdier for vedlikehold og utskiftning i EPD, men når produkter skal vurderes på samme grunnlag, vil det noen ganger brukes andre verdier. Om det er ulik levetid mellom produkter, vil veilederen i SINTEF 700.320 brukes i forhold til intervaller for vedlikehold og utskiftning (36). For produkter med generiske verdier vil utslippsfaktorer knyttet til modul B2 og B4 beregnes med respektive intervaller.

5.1.4 Leverandør

Konsolideringen av produktproduksjonen hos en enkelt bedrift kan gi betydelige fordeler når det gjelder effektivisering av reservasjons- og kjøpsprosedyrer. Slik sentralisert kontroll fremmer økt koordinering og effektivitet gjennom hele selskapets virksomhet. I den nåværende miljøproduktdeklarasjonen (EPD) oppstår det imidlertid en utfordring. Mens et selskap kan ha EPDer for visse produkter i sin portefølje, mangler det ofte den omfattende informasjonen som kreves for EPDer knyttet til andre produkter. Dette avviket oppstår først og fremst på grunn av det tidlige utviklingsstadiet av EPD-implementering, som resulterer i ufullstendige produktdata og informasjonshull.

Denne ufullstendige kunnskapen utgjør en betydelig hindring når man forsøker å sammenligne og evaluere overlegenheten til ulike leverandørers EPDer. For eksempel, når man vurderer yttervegger, et avgjørende aspekt ved bærekraftig konstruksjon, gjør mangelen på standardiserte EPDer det vanskelig å fastslå hvilken leverandørs EPD som tilbyr en mer gunstig miljøprofil. Uten tilgang til omfattende og pålitelige EPD-data, møter beslutningstakere en utfordring når de tar informerte valg som stemmer overens med deres bærekraftsmål. Derfor bestemte vår gruppe seg for å kun se etter en lavere utslippsverdi under sammenligningen mellom produkter.

5.2 Produkter

Under følger en oversikt over utdypende funn og momenter knyttet til både originale og utskiftede materialer.

5.2.1 Mineralull til trefiberisolasjon

I bygningsdelene yttervegger og dekker vil Glava mineralull byttes til Hunton trefiberisolasjon. Glava proff 34 plater tilfredsstillende euroklasse A1 ved brannpåvirkning, som vil si at det er ubrennbart (53). Hunton trefiberisolasjon har tilsatt brannhemmende stoffer, som gjør at den tilfredsstillende euroklasse E (54). Dette er noe som utgjør et markant fall i egenskaper ved brann. For trefiberisolasjonsplater vil dette tilsvare brannklasse 1 og bygg inntil 3 etasjer (55). Det samme antas å gjelde for innblåst trefiberisolasjon, selv om dette ikke er helt avklart. Om prosjekteringsløsningen oppfyller brannklasse 1 vil denne løsningen kunne brukes (56).

Trefiberisolasjon har en varmeledningsevne på $0,038W/(mK)$, som er en reduksjon fra Glava med en varmeledningsevne på $0,034W/(mK)$ (53)(57). Ved bruk av forenklet beregning fra

byggforskblad 471.401, utgjør dette en U-verdi på 0,220 W/(m²K) når man bruker 48mm stendere og 198mm vegg (58). Dette er likt minimums energieffektivitet for U-verdi i yttervegg (59). I den originale løsningen vil U-verdi for yttervegg være omfordelt gjennom bygningen. Det kan hende dette må endres da U-verdi blir noe høyere enn før. Det må derfor påses at energieffektiviteten ivaretas.

5.2.2 Vinduer

Det er ikke oppgitt noen spesifikk leverandør for vinduer i oppgaven og derfor ble generiske verdier benyttet. Siden det vanligvis ikke er oppgitt verdier for vedlikehold og at levetiden er lengre enn 50 år, vil disse utelates fra regnskapet. Dette betyr at gruppen brukte like faktorer for B2 og B4 mellom utskiftede produkter, så man fikk basert regnskapet på samme grunnlag. Dette valget er tatt selv om EPD oppgir noe annet.

5.2.3 Takrenne

Gruppen kan utelate opp til 5 vektprosent for hver bygningsdel. Dersom gruppen ender over dette, vil ikke regnskapet lengre være gyldig (5). I bygningsdel 26 yttertak vil materialer som går under takrennesystem benyttes som generiske verdier, dette så man holder seg under grensen på 5 vektprosent. Gruppen valgte å bytte fra generiske verdier til et regnskap fra EPD, selv om dette resulterer i en økning av kg CO₂-utslipp.

5.2.4 Andre produkter

Gruppen kan ha hoppet over materialer hvor egenskapene mellom utskiftningsproduktet ikke er helt det samme. Hovedfokuset ligger i miljøpåkjenninger og ikke i en fullstendig undersøkelse av ytelse. Det er forsøkt å finne utskiftningsprodukter med like egenskaper mellom seg, selv om dette ikke alltid lar seg gjøre. Noe som varierer ofte er densitet mellom produkter, spesielt mellom produkter som høvellast. Dette er noe som vil påvirke blant annet styrkeegenskapene til et materiale.

5.2.5 Manglende dokumentasjon

En stor utfordring med utarbeiding av klimagassregnskap er mangel på gyldige EPDer. Manglende EPDer fører til at klimagassregnskapet blir unøyaktig og avviker fra faktisk utslipp. Det legges ned et stort arbeid fra leverandører med å lage nye EPDer, nå som kravet i TEK17 er kommet. En annen utfordring med EPDer er at de ikke er maskinlesbare, noe som gjør at

alle nye EPDer må legges inn i databasen manuelt. Denne prosessen er både tid- og arbeidskrevende.

5.3 Klimagassregnskap etter TEK17 § 17-1.

Klimagassregnskapet i denne rapporten er utarbeidet for et småhus, som per i dag ikke er omfavnet av kravet stilt i TEK17. Klimagassregnskapet er dermed et forenklet regnskap. Det er naturlig å tro at ved en vellykket implementering av dagens krav vil også småhus bli inkludert i en fremtidig revidering av kravet.

5.4 Utelatelse av materialer

Å finne en balanse mellom å utelate uvesentlige materialer og fange opp hele utslippsprofilen til et byggeprosjekt er viktig. Ytterligere bransjeundersøkelser og diskusjoner bør utforske retningslinjer og terskler for å bestemme hvilke materialer som kan utelates uten å i betydelig grad kompromittere nøyaktigheten til klimagassregnskapet. Etablering av klare kriterier for utelatelse, vil bidra til at klimaregnskapet fokuserer på betydelige utslippskilder samtidig som en praktisk og effektiv tilnærming opprettholdes.

5.5 Anbefalinger for forbedring av beregning av klimagassregnskapet

Kontinuerlig arbeid med digitalisering av EPDer er avgjørende for å effektivisere datatilgjengelighet og integrasjon. Denne prosessen spiller en avgjørende rolle for å forbedre effektiviteten og nøyaktigheten av klimagassregnskap. Det er viktig å støtte og oppmuntre produsenter til å tilby oppdaterte og omfattende digitale EPDer. Ved å samarbeide med bransjeorganisasjoner, produsenter og leverandører kan vi sikre tilgang til nøyaktig og oppdatert informasjon om klimagassutslipp fra ulike byggematerialer og prosesser. Dette samarbeidet skal bidra til utviklingen av en robust og pålitelig database for klimaregnskap.

Det er en del materialer med manglende eller utdaterte EPDer i dag. Det bør tas skritt for å oppmuntre produsenter til å gi nødvendig dokumentasjon. Samarbeid mellom industriens interessenter, reguleringsorganer og EPD-programmer kan bidra til å lette kontinuerlig oppdatering og tilgjengelighet av EPDer for alt relevant materiale. Dette samarbeidet vil sikre at nøyaktige og pålitelige data er tilgjengelige for å støtte omfattende klimagassregnskap.

For å sikre nøyaktigheten og relevansen til klimagassregnskapet, er det avgjørende å jevnlig oppdatere miljødeklarasjoner (EPDer). Det vil da reflektere endringer i materialproduksjon og nye teknologier på en tilfredsstillende måte. Denne kontinuerlige oppdateringsprosessen vil sikre at klimagassregnskapet alltid er basert på oppdatert og pålitelig informasjon. Ved å holde seg oppdatert på den siste utviklingen innen materialproduksjon og -teknologi, kan en fange opp de mest nøyaktige utslippsdataene og forbedre den generelle nøyaktigheten til klimaregnskap.

5.6 Feilkilder

En forutsetning for oppgavene er at material-listen for Dråpen fra Norgeshus er korrekt. Det ble avdekket feil i listen i løpet av prosessen da det lå inne søyler som ikke per nå blir benyttet i huset. Dersom det har vært feil i listen som ikke er oppdaget, kan dette ha gitt utslag i regnskapet, og være en feilkilde.

En stor del av oppgaven er behandling av store mengder data og tall. Alle mengde- og klimagassberegninger er utført manuelt og regnefeil kan være en feilkilde. Ved sammenslåing av data kan også bruk av variable antall desimaler føre til feil. Unøyaktigheten ved desimalfeil antas å være så liten at den er neglisjerbar. Mange tabeller er benyttet i oppgaven, og systematiske feil ved operasjoner på tvers av disse, kan være en feilkilde.

Ved sammenligning av produkter med ulike EPDer ble det gjort tilpasninger for å styrke sammenligningsgrunnlaget. Et eksempel er at noen opererer med ulik andel kapp og svinn for tilsvarende materialer. Her har gruppen gått ut fra en antagelse om at mengden kapp og svinn vil være den samme for hvert materiale. Dersom noen materialer skulle vise seg å ha bedre egenskaper som naturlig fører til mindre kapp og svinn, vil dette være en feilkilde.

Noen EPD-verdier kan tenkes å være utdaterte da leverandører gjør kontinuerlige klimainvesteringer. En investering som gir lavere klimagassutslipp reflekteres ikke direkte i EPDene med mindre leverandørene lager nye EPDer. Det kan derfor være at EPDer som ble utviklet for fem år siden, og fremdeles er gyldige, ikke er nøyaktige. Gruppen har ikke hatt noe grunnlag eller mulighet til å korrigere verdier i EPDene.

Vedlikeholds- og utskiftningsmodulen i regnskapet er basert på generelle antagelser i kvalitet og påkjenninger. Det er ikke tatt høyde for avvik i påkjenninger etter ulikt klima i landet eller endring av kvalitet ved bytter av materialer. Dersom materialene har en tøffere påkjenning eller lavere kvalitet vil dette føre til økt vedlikehold og hyppigere utskiftninger, noe som får negative utslag med tanke på klimagassregnskapet.

6. Forskning og utviklingsarbeid (FoU) Lavkarbonbetong

Et av materialene som er undersøkt i denne oppgaven er betong, hvor lavkarbonbetong har blitt undersøkt som et alternativ til tradisjonell betong. Lavkarbonbetong er en type betong der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippene. Betong er et av verdens absolutt mest anvendte materialer, hvor sementen, som inngår blir trukket frem som en klimaversting. Sementproduksjonen er estimert til å bidra til 7-8% av klimagassutslippene på verdensbasis (60). Sementen utgjør omkring 90% av utslippene knyttet til betong, derfor er det rundt akkurat sementproduksjonen det legges ned en innsats for å redusere utslippene.

Den mest brukte typen sement er portlandsement, oppfunnet allerede i 1824 (61). Portlandsement produseres ved at kalkstein sammen med andre materialer som leirskifer eller kvarts brennes og knuses. Prosessen innebærer å varme opp blandingen i store roterende ovner til en temperatur på rundt 1400-1500 °C (62). Ved denne temperaturen skjer det en kjemisk prosess som kalles sintring hvor partiklene reagerer og vokser sammen til små kuler, kalt klinker. Klinkeren blir deretter malt til et fint mel. Dette er en svært energikrevende prosess i seg selv, som hvis drevet av kull eller lignende som energikilde, vil føre til store klimagassutslipp. Mesteparten av klimagassutslippene forbundet med sementproduksjon kommer imidlertid ikke av oppvarmingen av ovnene, men av kalsinering. Kalsinering er en kjemisk prosess hvor kalkstein (CaCO_3) blir omdannet til kalsiumoksid (CaO) under forbrenning, og frigjør dermed karbondioksid (CO_2) (62).

Lavkarbonbetong produseres ved å redusere mengden klinker i betongproduksjonen. Det gjøres ved å benytte andre bindemidler med mer miljøvennlige tilsetningsstoffer, men som har tilnærmet like egenskaper som klinker. De vanligste tilsetningsstoffene er silikastøv og flygeaske, også kalt pozzolaner (63). Både silikastøv og flygeaske består hovedsakelig av de samme grunnstoffene som sement, og vil dermed ha relativt like kjemiske egenskaper.

Silikastøv er et avfallsstoff fra produksjon av ferrosilisium, et stoff Norge er en stor produsent av (64). Dette gjør at silikastøv i utgangspunktet er et tilgjengelig stoff for norsk betongproduksjon. Flygeaske er i likhet med silikastøv et avfallsstoff som tradisjonelt har blitt deponert i mangel på bruksområde for stoffet. Flygeaske er et restmateriale fra kullfyring (58). Det at flygeaske kommer fra kullfyring gjør at det gjennom et livsløpsperspektiv er vanskelig å selge inn som et miljøprodukt, men de fleste forskere vil være enig i at det er bedre å bruke

flygeaske enn klinker fordi flygeaske er et avfallsstoff som ellers ville blitt deponert. Siden flygeaske primært kommer av forbrenning i kullkraftverk vil tilgjengeligheten variere i takt med behovet for elektrisk kraft. Følgelig vil det være høy produksjon av flygeaske om vinteren hvor behovet for elektrisk kraft er stort, og lav produksjon om sommeren hvor behovet for elektrisk kraft er mindre, som er motsatt av etterspørselen av sement (65).

Lavkarbonbetong blir delt inn i forskjellige klasser etter hvor mye utslipp betongen bidrar til, se figur 4 for grenseverdier for de ulike klassene (43). Tidligere var lavkarbonbetong delt inn i klassene lavkarbon A, B og C. Etter en revidering av klassene i 2020, presentert i publikasjonen *Lavkarbonbetong publikasjon 37*, ble lavkarbon C fjernet etter strengere generelle utslippskrav (63). I revideringen ble bransjereferansen senket og tilnærmet det som før het lavkarbon C, dette gir en indikasjon om at bransjen er på vei i riktig retning.

Fasthetsklasse ¹⁾ og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv. pr m ³ betong]							
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss ²⁾			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem ²⁾			110	120	130	140	150

- 1) Se kapittel A2 om sammenhengen mellom fasthetsklasser, bestandighetsklasser og karbonklasser
- 2) Mulig nivå for enkelte prosjekt, men med flere begrensninger i standardverket, og begrenset tilgjengelighet. Gjennomførbarhet må avklares i hvert enkelt prosjekt

Figur 25: Grenseverdier for de ulike klassene for lavkarbonbetong (43)

Lavkarbon B er stort sett tilgjengelig over hele landet til enhver tid. Lavkarbon A stiller som kjent enda strengere krav og er ikke tilgjengelig overalt enda (66). Lavkarbonbetong krever også litt lengre herdetid for å oppnå styrke, men dette gjelder for det meste for lavkarbon pluss og lavkarbon ekstrem. For lavkarbon B er den ekstra herdetiden ikke veldig betydningsfull.

Ved å bytte ut bransjestandarden med lavkarbon B vil man kunne redusere klimagassutslippene med rundt 15 % uten alt for mye tilpasninger. Dette er grunnen til at flere aktører nå prioriterer lavkarbonbetong. Øystre Slidre er et eksempel på en offentlig aktør som via sitt

klimatiltaksinitiativ Klima+ vil etterspørre minimum lavkarbon B i alle sine anbud fremover (66). Det er viktig med slike klimainitiativ både for den lokale reduksjonen i klimagassutslipp, men også for å påvirke næringen og få flere til å følge etter. Dersom flere krever lavkarbon B i sine prosjekter vil dette bidra til at lavkarbon B kan bli den nye bransjestandarden innen overskuelig fremtid.

7. Konklusjon

Den nye forskriften om at man må lage et klimagassregnskap for nye næringsbygg og boligblokker, fører til en økt bevisstgjøring rundt nettopp klimagassutslipp. Materialvalg har definitivt en stor innvirkning på det endelige klimagassregnskapet, og muligheten for å redusere klimagassutslippet er følgelig stort. Det å bytte leverandør av et materiale kan være et enkelt tiltak for mange byggherrer eller utførende entreprenører.

Det at det er en stor mangel på gyldige EPDer er et problem når det kommer til beregning av klimagassregnskap, særlig med tanke på nøyaktigheten av regnskapet. Nå som nye krav til klimagassregnskap har kommet, og etter all sannsynlighet vil fortsette å komme, tvinges flere leverandører til å utvikle EPDer for sine produkt. Som nevnt tidligere er ikke dagens EPDer maskinlesbare, så for å effektivisere prosessen med å oppdatere databasen, håper gruppen at maskinlesbare EPDer er nært forestående.

Relativt enkle materialbytter, stort sett anført av å bytte leverandører, førte i denne oppgaven til en reduksjon av klimagassregnskapet på hele 20%. Dette er et høyt tall som gruppen er fornøyd med. Dette viser at kravet om å utarbeide et klimagassregnskap kan sette fokus på utslippsvennlige produkter. Den største reduksjonen ble oppnådd ved å bytte ut innvendig maling med en mer utslippsvennlig maling.

8. Videre arbeid

I dette kapitlet skisserer vi det foreslåtte videre arbeidet som kan utføres basert på funnene fra vår forskning. Målet er å utforske muligheter for forbedring og potensielle fokusområder for fremtidige studier. Kapitlet er strukturert i tre deler: kostnadsanalyse, materialvalg og pågående innsats. Ved å adressere disse områdene mer detaljert, tar gruppen sikte på å forbedre forståelsen av livssyklus kostnader, materialvalg og pågående innsats for å oppnå bærekraftig og miljøvennlig byggepraksis. Denne innsikten vil gi verdifull veiledning for fremtidig forskning og industriinitiativer.

8.1 Kostnadsanalyse

Ved videre arbeid med denne oppgaven bør det utføres en kostnadsanalyse av de foreslåtte tiltakene. Målet med en slik kostnadsanalyse vil være å undersøke hvilke tiltak som er de mest gunstige med tanke på pris. Det kan man for eksempel gjøre ved å sammenligne kr/kg CO₂ spart. Denne analysen bør dekke samme beregningsperiode som klimagassregnskapet, altså 50 år. En kostnadsanalyse vil også kunne avdekke eventuelle kostnadsbesparelser ved de ulike materialvalgene.

8.2 Materialvalg

Proessen ved valg av materialer bør bli undersøkt for å vurdere kvaliteten og likhetsgrad av materialer brukt i både den gamle og den nye løsningen. For å ta studien et steg videre kan man undersøke muligheten for å bytte materialer på tvers av produktgrupper. Eksempelvis kan man undersøke virkningen av å bytte betong til massivtrekonstruksjon. Dette krever beregninger og dokumentasjon som sikrer at bæreevne og bygningsfysiske krav blir etterfulgt. Det kan også være interessant å utvide klimagassregnskapet til å inkludere moduler knyttet til avhending av materialer. På den måten kan man studere virkningen av for eksempel ombruk av materialer.

8.3 Pågående innsats

Det er et kontinuerlig arbeid om EPDer. EPDer oppdateres jevnlig, med nye dokumenter som lastes opp daglig. Hver gyldige EPD forblir gjeldende i en varighet på 5 år. I tillegg bør det bli gjort en kontinuerlig innsats for å identifisere produkter med lavere utslipp, noe som bidrar til den generelle forbedringen av byggets bærekraft. På den måten er dette ikke en uttømmende studie, og andre materialer med lavere utslippstall kan være på markedet.

Referanser

1. Grønn byggallianse. (u. å) *Klimakur for bygg og eiendom*. Hentet 7. mars 2023 fra <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543721156-39143120-001d>
2. FN-sambandet. (2023. 4. april). *FNs bærekraftsmål*. Hentet 7. mars fra <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
3. Wiik, M. K.; Selvig, E.; Fuglseth, M.; Resch, E.; Lausset, C.; Andersen, I.; Brattebø, H.; Hahn, U. (2020). *Klimagasskrav til materialbruk i bygninger*. Hentet 7. mars 2023 fra https://fmezen.no/wp-content/uploads/2020/05/ZEN-Report-no-24_Klimagasskrav-til-materialbruk-i-bygninger.pdf
4. Førland-Larsen, A.; Bramslev, K. T.; Hammer, E. A. (2013). *Nullutslippsbygg – er det mulig?* Hentet 8. mars 2023 fra <https://nasj/byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Nullutslippsbygg-Veileder.pdf>
5. Direktoratet for byggkvalitet. (2022). *Veileder for utarbeidelse av klimagassregnskap*. Hentet 16. mai 2023 fra https://dibk.no/globalassets/byggteknisk-forskrift-tek17/klimagassregnskap_veileder_01.07.2022.pdf
6. Norgeshus. (u. å.) *Dråpen*. Hentet 16. mai 2023 fra <https://norgeshus.no/no/bygge+hus/moderne+hus/drapen.html>
7. Sonne, F. G. H. (2021, 23. november) *Forskere snakket om «global oppvarming» allerede for 170 år siden*. Forskning.no. Hentet 21. april 2023 fra <https://forskning.no/historie-klima-miljohistorikerne/forskere-snakket-om-global-oppvarming-allerede-for-170-ar-siden/1934433>
8. FN-sambandet. (2023, 21. mars). *Klimaendringer*. Hentet 21. april 2023 fra <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
9. Viseth, M.; Helljesen, V. (2013, 16. mai). *Forskerne er enige: Klima-endringene er menneskeskapte*. NRK Urix. Hentet 29. Mars 2023 fra <https://www.nrk.no/urix/klimaforskerne-er-samstemte-1.11028962>
10. Regjeringen. (2021, 15. oktober). *Klima og natur henger sammen*. Hentet 29. mars fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/naturmangfold/innsiktsartikler-naturmangfold/klima-og-natur-henger-sammen/id2722684/>
11. Ritchie, H.; Roser, M. (u. å.) *CO2 emissions*. Our world in data. Hentet 29. mars 2023 fra: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
12. Mamen, J.; Benestad, R. (2022. 26. desember) *Drivhuseffekten*. Store norske leksikon. Hentet 29. mars 2023 fra <https://snl.no/drivhuseffekten>
13. Miljødirektoratet. (2023 17. April). *Drivhuseffekten*. Hentet 21. april 2023 fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/drivhuseffekten/>
14. Jackobsen, I. U.; Kallbekken, S.; Lahn, B. (2021, 29.november). *Parisavtalen*. Store Norske Leksikon. Hentet 29. mars 2023 fra <https://snl.no/Parisavtalen>
15. Miljødirektoratet. (u. å.) *5.Klima*. Hentet 29. mars 2023 fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/>
16. Miljødirektoratet. (2019, 3. mai). *EUs system for klimavoter*. Hentet 29. mars 2023 fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimavoter/eus-klimavotesystem/>

17. Grønmo, S. (2020, 7. desember). *Livsløpsanalyse*. Store Norske Leksikon. Hentet 1. mars 2023 fra <https://snl.no/livsl%C3%B8psanalyse>
18. Nasjonal digital læringsarena. (u. å.) *Undersøk livsløpet til et produkt*. Hentet 1. mars 2023 fra <https://ndla.no/nb/subject:1:b4f8369c-139e-4a3f-8c79-f1341be06501/topic:4:1c484b3e-7f3d-4a81-8c24-c8ffc95d421d/resource:c6f8a228-23b3-42fb-b6c0-b46d3ab47ef1>
19. Ica.no (u. å.). *Hva er LCA?*. Hentet 1. mars 2023 fra <https://ica.no/hva-er-lca/>
20. Standard Norge. (2018) *Metode for klimagassberegninger for bygninger*. (NS 3720:2018). Hentet 1. mars 2023 fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162>
21. Direktoratet for byggkvalitet. (2017, 15. september). *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Hentet 1. mars 2023 fra <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
22. Standard Norge. (2022). *Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder* (NS3451:2022). Hentet 1. mars 2023 fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1411592>
23. Standard Norge. (2010). *Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer (ISO 14025:2006)*. (NS-EN ISO 14025:2010). Hentet 1. mars 2023 fra <https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=474248>
24. Standard Norge. (2017). *Bærekraftige bygninger og anlegg - Grunnleggende produktkategoriregler for miljødeklarasjoner for byggevarer og tjenester*. (NS-ISO 21930:2017). Hentet 1. mars 2023 fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=941608>
25. Standard Norge. (2019). *Bærekraftige byggverk — Miljødeklarasjoner — Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer* (NS-EN 15804:2012+A2:2019). Hentet 1. mars 2023 fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1105165>
26. epd-norge. (u. å.) *Hva er en EPD?* Hentet 30. mars 2023 fra <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>
27. Designing buildings. (u. å.) *Product category rules*. Hentet 24. mars 2023 fra https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Product_category_rules_PCR
28. epd-norge. (u. å.) *Hva er PCR?* Hentet 30. mars 2023 fra <https://www.epd-norge.no/pcr/>
29. Norsk industri. (u. å.) *EPD generator*. Hentet 30. mars 2023 fra <https://www.norskindustri.no/bransjer/mobelinterior/barekraft-og-kvalitet/epd-kalkulator/>
30. epd-norge. (u. å.) *Hvilke typer EPD finnes og hvordan er de forskjellige?* Hentet 30. mars 2023 fra <https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321663-1637233134/Dokumenter/Hvilke%20typer%20EPDer%20finnes%20og%20hvordan%20er%20de%20forskjellige%20korrr181121.pdf>

31. epd-norge. (u. å.) *Søk EPD via kategorier*. Hentet 30. mars 2023 fra https://www.epd-norge.no/?lang=no_NO
32. Boverket. (u. å.) *Climate database from Boverket*. Hentet 16. mai 2023 fra <https://www.boverket.se/en/start/building-in-sweden/developer/rfq-documentation/climate-declaration/climate-database/>
33. Oekobaudat. (u. å.) *Database search*. Hentet 16. mai 2023 fra https://www.oekobaudat.de/no_cache/en/database/search.html
34. CO2data. (u. å.) *Emissions database for construction*. Hentet 16. Mai 2023 fra <https://co2data.fi/rakentaminen/#en>
35. Ica.no (u. å.) *Transport*. Hentet 16. Mai 2023 fra <https://lca.no/transportkalkulator/>
36. SINTEF byggforsk. (2017). *Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler (700.320)*. Hentet 5. mai 2023 fra https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller_for_vedlikehold_og_utskifting_av_bygningsdeler
37. Glava AS. (2019). *Glava glassull*, NEPD-1696-683-NO. nobb.no. Hentet 28. april 2023 fra <https://cdn.byggjeneste.no/nobb/030651c4-c2f3-4e4b-a926-d17d501efbd2>
38. G3 Gausdal Treindustrier SA. (2021) *Høvellast av gran*, NEPD-2748-1441-NO. epd-norge. Hentet 28. april 2023 fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/1317967-1644331620/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2748-1441_Hovellast-av-gran.pdf
39. Moelven Industrier ASA. (2020). *Høvellast av gran eller furu*, NEPD-2547-1284-NO. epd-norge.no. Hentet 28. april 2023 fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316167-1606121798/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2547-1284_Planned-wood-of-pine-or-spruce.pdf
40. Moelven Industrier ASA. (2020). *Kledning malt mellomstrøk Jotun Drygolin Nordic Extreme*, NEPD-2550-1284-NO. nobb.no. Hentet 29. april 2023 fra <https://cdn.byggjeneste.no/nobb/d8f7888d-87d0-497a-b585-83d2faea94c9>
41. Westman, C. (2020, 27. Juli) *Mye maling for pengene med 7S+*. Fargemagasinet. Hentet 10. mai fra <https://fargemagasinet.no/mye-maling-for-pengene-med-7s>
42. Flugger. (u. å.) *Facts about Flügger Group*. Hentet 10. Mai. 2023 fra <https://www.flugger.com/en/about-flugger/facts-about-flugger/>
43. Unicon. (u. å.) *Unicon lavkarbonbetong*. Hentet 4. mai 2023 fra <https://www.unicon.no/produkter-tjenester/lavkarbonbetong/>
44. Splitkon. (2021). *Vi er splitkon*. Hentet 16. mai fra <https://splitkon.no/om-oss/>
45. Moelven (2023). *Organisasjonen Moelven*. Hentet 16. mai 2023 fra <https://www.moelven.com/no/om-moelven/Organisasjonen-Moelven/>
46. Moelven Wood AB. (2018). *Vänerply kryssfinér av gran*, NEPD-1579-604-NO. epd-norge.no. Hentet 15. mai 2023 fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/1314874-1599813684/EPDer/Byggevarer/Bygningsplater/NEPD-1579-604_Kryssfiner_1.pdf
47. Moelven Wood AB. (u. å.). *FVD-dokumentasjon kryssfinér poppel*. Hentet 7. mai 2023 fra <https://www.moelven.com/globalassets/certificates-and-policies/fdv/fdv-moelvenwood-kryssfiner-poppel.pdf>
48. Fibo AS, *Fibo veggpaneler*. (2020). NEPD-2105-950-NO. nobb.no. Hentet 1. mai 2023 fra <https://cdn.byggjeneste.no/nobb/37c8e42a-8502-45cf-b8ae-09caefea1eb7>

49. BerryAlloc AS. (2017). *Wall&Water*, NEPD-1292-416-EN. epd-norge. Hentet 1. mai 2023 fra: <https://media.bluestonepim.com/9056b428-dfaf-419e-92db-cd75e7ff9831/666503a2-e226-46b7-800c-f444178b54e4/s8REdFy7nRk2D3S06yZCNmABi/TIbNq5K0YfMISeoghjZL5qHM.pdf>
50. Masonite Beams AB (Byggma ASA). (2021). *I-Beam H300s*, NEPD-3202-1842-EN. Masonite.no. Hentet 4. mai 2023 fra https://www.masonite.no/media/2744/nepd-3202-1842_i-beam-h300s-masonite-beams-ab-byggma-asa.pdf
51. Wijo AB. (2022). *Roof Drainage system*, S-P-05588. environdec.com. Hentet 4. mai 2023 fra: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/e2b3ab81-13e6-48fc-c224-08da3724454d/Data>
52. Miljødirektoratet. (2020,13. oktober). *Tabeller for omregning fra energivare til utslipp*. Hentet 18. mai fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>
53. Glava AS. (u. å.) *Glava proff 34 Plate*. Hentet 4. mai 2023 fra <https://media.bluestonepim.com/5f8cb111-138a-4137-a4b3-cb659fe3b82e/02391690-652c-4030-a2e4-ee14b45440a7/PCRCrn1FqKFAkq7qjSl8YA8Sb/HEpQ9zIPw8rj7bLb94CnfJmPD.pdf>
54. Hunton. (u. å). *Hunton Nativo Trefiberisolasjon Innblåst*. Hentet 4. mai 2023 fra https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton_nativo-trefiberisolasjon-innblast/
55. Hunton. (u. å). *Hunton Nativo Trefiberisolasjon Plater*. Hentet 4. mai 2023 fra https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton-nativo_trefiberisolasjon-plater/
56. Direktoratet for byggkvalitet. (u. å). *I generelle krav til sikkerhet ved brann*- Hentet 4. mai 2023 fra <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3>
57. Hunton (u. å). *Hunton Nativo trefiberisolasjon*. Hentet 4. mai 202 fra <https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/08/hunton-nativo-trefiberiolasjon-ps-3397.pdf>
58. SINTEF byggforsk. (2012). *U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere*. (471.401) Hentet 4. mai 2023 fra <https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier-vegger-over-terreng-med-bindingsverk-av-tre-med-gjennomgaaende-stendere>
59. Direktoratet for byggkvalitet. (2022, 1. juli). *Kapittel 14 Energi § 14-3. Minimumsnivå for energieffektivitet*. Hentet 4. mai 2023 fra <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3>
60. SINTEF. (2020, 14. april). *Betong er en del av klimaløsningen*. Hentet 7. mai 2023 fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>
61. Nesse, N. (2023, 24. januar). *Portlandsement*. Store Norske Leksikon. Hentet 7. mai fra <https://snl.no/portlandsement>
62. Bjørnstad, L. (2016, 8. desember). *Kan vi bruke betong med god klimasamvittighet?*. Forskning.no Hentet 7. mai 2023 fra <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248>
63. Betongsentrum. (u. å.) *Lavkarbonbetong*. Hentet 7. mai 2023 fra <https://www.betongsentrum.no/lavkarbonbetong/>

64. Finnfjord. (u. å.) *Silika*. Hentet 7. mai 2023 fra <http://www.finnfjord.no/no/produkter/25-silika>
65. Zachariassen, T.M. (u. å.) *Fakta om flygeakse*. Heidelberg materials. Hentet 7. mai 2023 fra <https://www.sement.heidelbergmaterials.no/no/Flygeaskefakta2020>
66. Thon, T. H. (2023, 6. Februar). *Vil ha lavkarbon som standard*. Arkitektur.no Hentet 7. mai 2023 fra <https://www.arkitektur.no/aktuelt/teknologi/vil-ha-lavkarbon-som-standard/>

Vedleggsliste

Alle vedlegg ligger vedlagt som zippet fil. Vedlegg 1: Artikkel og vedlegg 2: Plakat/poster ligger også vedlagt i denne rapporten.

- Vedlegg 1: Artikkel (s. 61)
- Vedlegg 2: Plakat/poster (s. 64)
- Vedlegg 3: Fullstendig klimagassregnskap Grunn og Fundamenter
- Vedlegg 4: Fullstendig klimagassregnskap Bæresystemer
- Vedlegg 5: Fullstendig klimagassregnskap Yttervegger
- Vedlegg 6: Fullstendig klimagassregnskap Innervegger
- Vedlegg 7: Fullstendig klimagassregnskap Dekker
- Vedlegg 8: Fullstendig klimagassregnskap Yttertak
- Vedlegg 9: Referanseliste for benyttede EPDer

Vedlegg 1 Artikkel

Kan materialvalg føre til lavere klimagassutslipp i et bolighus?

Skrevet av Joakim Braa, Alan Tsui og Martin Syljuberget Ihle

Denne våren har studenter ved institutt for bygg og miljøteknikk ved NTNU undersøkt virkningen av miljøvennlige materialvalg på klimagassregnskapet for et bolighus. Bolighuset er et nytt og moderne kataloghus av Norgeshus. Oppgaven viser hvordan man kan oppnå opptil 20% reduksjon av klimagassutslipp for de ulike bygningsdelene.

Studentene ønsket å øke bevisstheten rundt virkningen relativt enkle materialvalg har på klimagassregnskapet. Studentene har på ingen måte omprosjektert boligen, de har snarere undersøkt ulike leverandører av samsvarende materialer. Det har gruppen gjort ved å sammenligne ulike produkters miljødeklarasjon (EPD) og valgt leverandører med lavere utslippstall enn de opprinnelige.

Studentene understreker at de undersøkte alle leverandørene nøytralt og har ikke lagt vekt på andre ting enn utslippsverdiene gitt i EPDene.

De fleste boligutbyggere, inkludert Norgeshus, benytter programvare for å beregne klimagassutslipp. For å kunne sammenligne de ulike innsatsfaktorene valgte studentene å beregne klimagassregnskapet manuelt. En del av oppgaven ble da å innhente EPDer for de spesifikke materialene fra ulike leverandører. Dette skulle vise seg å være utfordrende da det er en stor mangel på gyldige EPDer i bransjen. Studentene måtte derfor ved noen tilfeller benytte generiske utslippsverdier, som er en gjennomsnittsverdi av ulike produkters utslipp innenfor en materialkategori. De generiske verdiene har også inkludert 25% sikkerhetsmargin.



Figur 26: Dråpen original. Illustrasjon: Norgeshus (1).

EPD tar høyde for utslipp knyttet til hele livsløpsstadiet. Det vil si helt fra uthenting av råmaterialer til beregningsperiodens slutt. Beregningsperioden er 50 år.

Et av materialene studentene undersøkte var det som ofte blir trukket frem som klimaverstingen, nemlig betong. Her undersøkte studentene virkningen av å bytte ut bransjestandard betong med lavkarbon klasse B. Det førte til en reduksjon på rundt 15% i CO₂-utslippet knyttet til betong.

En aktør som også tar initiativ i forbindelse med bruk av lavkarbonbetong er Øystre Slidre kommune. Prosjektleder for klimatiltaksinitiativet, Anni Onsager, ønsker å få i gang en kampanje for å øke bevisstgjøringen rundt lavkarbonbetong.

- Jeg ble litt overrasket da jeg skjønnte at det var mulig å bare endre bestillingen til klasse B og dermed få ned CO₂ utslippene med 15 prosent (2023), sa Anni Onsager til fagtidsskriftet arkitektur (2).

Studentene stiller seg bak utsagnet til Onsager at de også ble overrasket over hvor enkelt det er å endre til Lavkarbonbetong. lavkarbonbetong klasse B er tilgjengelig i hele landet, til en litt høyere pris enn bransjestandarden.

Pristillegget for lavkarbonbetong varierer litt mellom ulike leverandører og sted i

landet, men tillegget er rundt 15-20 kr per kubikkmeter. For å sette det i perspektiv kan prisen for en kubikkmeter med betong i utgangspunktet koste opp mot 2000 kr. Tilleggskostnaden er derfor relativt lav ved å velge lavkarbon klasse B.

Andre produkter studentene oppdaget hadde stort potensiale til å redusere klimagassregnskapet var vinduer og dører. Her vil de gjerne presisere at for de originale vinduene og dørene benyttet studentene generiske verdier, og da med et 25% påslag. De nye vinduene og dørene hadde derimot gyldig EPD, så her ble den benyttet. Studentene vil likevel kalle reduksjonen for betydelig.

Forskjell i utslippsfaktoren for ulike vinduer kan forklares med at produksjonen glasset er en komplisert prosess. Her kan forskjeller i for eksempel energikilde i produksjonen vise seg å ha stor innvirkning på det endelige livsløps-utslippet til vinduene.

Gjennom sitt arbeid klarte studentene å redusere klimagassregnskapet for boligen med 7791 kg CO₂-ekvivalenter, et resultat de er fornøyde med. Dette tilsvarer en reduksjon på hele 20 prosent. Gruppen hadde en forventning om at den største reduksjonen skulle være knyttet til bygningsdeler med høyt innhold av betong, altså dekker. Det viste seg imidlertid at den største reduksjonen fant sted i ytterveggene. For ytterveggene klarte gruppen å redusere klimagassregnskapet med 3016 kg CO₂-ekvivalenter.

Studentene valgte å være konservative med utskiftningen av betong, og valgte

lavkarbon klasse B. Gruppen kunne valgt lavkarbon A, eller kanskje til og med lavkarbon ekstrem. De valgte isteden å prioritere tilgjengelighet og en betong som hadde mest mulig like egenskaper som vanlig betong. Ved å benytte lavkarbon klasse A kan man regne med å kutte klimagassutslippet med 36 prosent mot for 15 prosent for klasse B.

Resultatene viser at materialvalg har mye å si for det totale klimagassregnskapet for bolighuset.

Som nevnt ble en betydelig del av oppgaven å innhente gyldige EPDer og gjøre tilpasninger for å muliggjøre sammenligning av produktene. Gruppen belyser problematikken rundt at EPDene ikke er standardiserte nærmere i deres bacheloroppgave. Studentene konkluderer med at forskjeller i forutsetninger og grunnlag for utvikling av EPDene gjør at et klimagassregnskap må ses på med skjønn og brukes som en pekepinn på det faktiske klimagassutslippet.

Med sin studie ønsker studentene å påpeke viktigheten av å ta hensyn til klimagassregnskapet ved valg av materialer. Det viser seg at materialvalg kan ha stor innvirkning på det endelige klimagassregnskapet.

Fokuset på klimautfordringer og stadig styrkende klimapolitikk gjør at byggebransjen stadig er i endring. Studentene vil derfor informere om at nye EPDer for alternative produkter blir tilgjengelig fortløpende og at deres studie ikke er uttømmende.

(1) Norgeshus. (u. å.). *Dråpen*. Hentet 18. mai 2023 fra <https://norgeshus.no/no/bygge+hus/moderne+hus/drapen.html>

(2) Thon, T. H. (2023, 6. Februar). *Vil ha lavkarbon som standard*. Arkitektur.no Hentet 7. mai 2023 fra <https://www.arkitektur.no/aktuelt/teknologi/vil-ha-lavkarbon-som-standard/>

Vedlegg 2 Plakat/Poster

Studenter: Joakim Braa
Alan Tsui
Martin Syljuberget Ihle

Intern veileder: Bozena Dorota Hrynyszyn

Eksterne veiledere: Snorre Bjørkum, Norgeshus

Ben Toscher, Norgeshus

Prosjektnummer: 2023-18

Optimalisering av materialvalg i et moderne hus med hensyn til reduksjon av klimagassregnskap

Optimizing material choices in a modern house regarding the reduction of greenhouse gas emissions

Illustrasjoner: Dråpen, Norgeshus.



- For de ulike bygningsdelene er det mange materialvalg og valg av leverandører. Dette gir mulighet til å sammenligne materialvalgene basert på utslippet av klimagasser.
- Oppgaven fremstiller muligheter for å redusere klimagassutslippene knyttet til bygging av kataloghuset Dråpen, levert av Norgeshus.



- Det ble utviklet et klimagassregnskap for boligen slik den blir oppført av Norgeshus. Gruppen vurderte alternative materialer og byttet materialer med hensikt å redusere klimagassregnskapet
- Totalt utslipp reduseres med 20%, tilsvarende rundt 8 tonn CO₂ekv.
- Noen materialer som ble byttet ut var benyttet i flere bygningsdeler, som for eksempel innvendig maling. Disse materialene var spesielt gunstige å bytte ut.
- Reduksjonen i klimagassregnskapet er stor, men reduksjonen i faktisk utslipp er antagelig noe mindre.

