

Ulrik Halkjelsvik
Øyvind Dalseth

Vugge-til-port livsløpsanalyse av boligene Giske, Tafjord og Faro

EN ANALYSE AV BYGGEMATERIALERS EFFEKT PÅ
KLIMAREGNSKAPET TIL TRE NORSKE
KATALOGHUS

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, bygg

Veileder: Amin Moazami

Medveileder: Marcus Gåsvik

Mai 2022

Ulrik Halkjelsvik
Øyvind Dalseth

Vugge-til-port livsløpsanalyse av boligene Giske, Tafjord og Faro

EN ANALYSE AV BYGGEMATERIALERS EFFEKT PÅ
KLIMAREGNSKAPET TIL TRE NORSKE KATALOGHUS

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, bygg
Veileder: Amin Moazami
Medveileder: Marcus Gåsvik
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Prosjektbeskrivelse:

Tre kataloghus fra Byggmann skal analyseres ved bruk av OneClick LCA og et klimaregnskap skal settes opp for livssyklusfasene A1 til A3 (produktfasen) og A4 (transport til byggeplass). Etter beregningene er gjort, skal prosjekteringsvalg endres i mål om å redusere klimagassutslipp.

Stikkord:

Klimagassregnskap

Norsk enebolig

Livssyklusanalyse

OneClick LCA

Keywords:

Carbon accounting

Norwegian detached house

Life cycle assessment

OneClick LCA

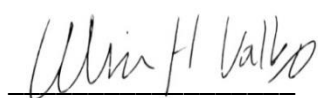
Forord

Dette er en Bacheloroppgave levert i det siste semesteret i den 3-årige bachelorgraden ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Bachelorgraden er under instituttet for havromsoperasjoner og byggingsteknikk og studiet er ingeniørfag, bygg. Denne oppgaven er den avsluttende oppgaven for studiet, og gir 20 studiepoeng.

Som ingeniørstudent har vi funnet en dyp interesse i ingeniørfeltet og den potensielle utviklingen fremtiden kan bringe. Det har vært en innholdsrik og spennende akademisk reise. En ting har kommet tydelig frem i undervisningen, og der er betydningen av en klimavennlig og innoverende intensjon i byggeindustrien. I lys av dette, valgte gruppen å se på klimapåvirkningen til byggematerialer. Vi var så heldig og fikk muligheten til å jobbe med Byggmann, som viste stor interesse i temaet, og viste seg som en bedrift med ønske om å være tidlig ute i industriens klimautvikling. Gjennom arbeid med oppgaven har vi fått god kunnskap og anskaffet ferdigheter med verktøy som vil vise seg svært relevant.

Vi takker veilederen vår Amin Moazami for god akademisk hjelp og motivasjon gjennom semesteret. Vi vil også takke alle foreleserne gjennom studiet som har inspirert oss. Vi vil takke Byggmann, som ga oss et flott utgangspunkt til å fullføre ideen vår. Samarbeidet i gruppen har vært effektivt og sømløst, og vi avslutter derfor med å takke hverandre for et godt samarbeid og lykke til videre.

Ålesund, 19. mai 2022



Ulrik Halkjelsvik Valbø



Øyvind Dalseth

Sammendrag

Som en stor klimapåvirker, har byggenæringen et stort ansvar når det kommer til videre utvikling.

Det å ta klimabeviste materialvalg vil være en essensiell del av industriens reduksjon i klimagassutslipp. For å nå de globale målene om å stoppe globaloppvarming, må bedriftene i byggebransjen ta steg i riktig retning, når det kommer til miljøbevisste prosjekteringsvalg.

Oppgaven tar for seg tre norske kataloghus fra Byggmann og setter opp et klimagassregnskap ved bruk av OneClick LCA. Ved å gjennomføre en livssyklusanalyse av den originale prosjekteringen, kan potensielle klimavennlige alternativ sammenlignes og vurderes. Oppgaven fokuserer på livssyklusfasene A1 til A3 (produktfasen) og A4 (transport til byggeplass). Fasene videre er ikke tatt med i oppgavens klimagassregnskap. Resultatet er derfor en refleksjon av bygningenes klimapåvirkning fra vugge-til-port. Resultatene fra den originale løsningen viser at norske eneboliger, primært konstruert i tre, har gode utgangspunkt når det kommer til klimagassutslipp i livssyklusfasene A1 til A4. Boligene hadde materialalternativ som kunne redusere utslippet av CO₂e med rundt 10% for alle tre husene. Her ble det gjort materialendringer på grunn og fundament ved å bytte ut betongen med lavkarbonbetong. Det ble gjort et forsøk i å endre så mye konstruksjonsvirke som mulig med I-bjelker, men denne prosjekteringsendringen endte med en økning i klimagassutslipp med ca. 4 %. Transportavstander ble også endret for å simulere bruk av lokale leverandører. Transportavstandene som ble brukt i livssyklusanalysen var regionale gjennomsnitt beregnet av OneClick. Ved å simulere bruk av lokaleleverandører kunne det totale utslippet reduseres med et gjennomsnittlig 1,35%.

Fra et helhetlig perspektiv, var resultatet fra materialendringene en betydelig reduksjon i klimagassutslipp. Tiltakene er realistiske og vil resultere i mer klimavennlige bygninger. Videre vil det være interessant å utforske en full livssyklusanalyse av bygningene, fra vugge-til-grav.

Abstract

As a major contributor to climate change, the construction industry has a big responsibility when it comes to further development. Climate-friendly material choices will be an essential part of the industry's reduction in greenhouse gas emissions. To achieve the global goals of stopping global warming, companies must take steps in the right direction when it comes to environmentally conscious design choices.

The thesis deals with three Norwegian catalog houses from Byggmann and sets up a greenhouse gas account using OneClick LCA. By conducting a life cycle analysis of the original design, potential climate-friendly alternatives can be compared and assessed. The thesis focuses on the life cycle phases A1 to A3 (product phase) and A4 (transport to construction site). Later phases are not included in the thesis' greenhouse gas accounts. The result is therefore a reflection of the buildings' climate impact from cradle-to-gate. The results from the original design show that Norwegian detached houses, primarily constructed of wood, have good starting points when it comes to greenhouse gas emissions in the life cycle phases A1 to A4. The buildings had material alternatives that could reduce CO₂ emissions by around 10% for all three houses. Here, material changes were made to the plates and foundation by replacing the concrete with low-carbon concrete. An attempt was made to change as much structural timber as possible with I-beams, but this design change ended with an increase in greenhouse gas emissions of about 4%. Transport distances were also changed to simulate the use of local suppliers. The transport distances used in the life cycle analysis were regional averages provided by OneClick. By simulating the use of local suppliers, the total emissions could be reduced by an average of 1.35%. From a holistic perspective, the result of the material changes shows significant reduction in greenhouse gas emissions. The measures are realistic and will result in more climate-friendly buildings. Furthermore, it will be interesting to explore a full life cycle analysis of the buildings, from cradle-to-grave.

Innhold

Forord	II
Sammendrag	III
Abstract	IV
Forkortelser	IX
1. Introduksjon.....	1
1.1 Bakgrunn for tema	1
1.2 Oppgaven	1
1.2.1 Problemstilling	1
1.2.2 Oppgavens avgrensning og omfang.....	1
1.3 Kasusstudie	2
1.3.1 Byggmann Gruppen AS og Involverte aktører	2
1.3.2 Design I: Giske	3
1.3.3 Design II: Faro.....	4
1.3.4 Design III: Tafjord	5
2. Teori	6
2.1 Klimaendringer og byggeindustrien	6
2.1.1 Klimaendringer	6
2.1.2 Klimagassutslipp.....	7
2.1.3 Byggeindustriens klimapåvirkning	8
2.1.5 Livssyklusanalyse.....	10
2.1.6 Operasjonell energi og utslipp	11
2.1.7 Legemlige energi og utslipp	12
2.1.8 Karbonlagring	13
2.2 Byggematerialer	14
2.2.1 Trevirke	15
2.2.2 Betong	17
2.2.3 Stål	19
2.3 Lavutslippsmaterialer.....	20
2.4 Materialutfordringer	20
2.5 Transport.....	22
2.6 Husbygging og dokumentasjon.....	23
2.6.1 Byggeprosessen	23
2.6.2 Miljøprodukterklæring.....	24

2.6.3 BREEAM.....	25
2.7 Programvare	26
2.7.1 Archicad	26
2.7.2 Revit	26
2.7.3 One Click LCA	26
3. Metode.....	27
3.2 Litteratursøk.....	27
3.3 BIM og Materialkalkyler	28
3.3.1 Mengdeberegning av materialer	29
3.3.2 Betongberegning.....	29
3.3.3 Beregning av armering.....	30
3.3.4 Modellering av I-Bjerkemodell	30
3.4 Klimagassberegning	31
3.5 Transportberegning	31
3.6 Bruk av OneClick LCA	33
4. Omprosjektering	36
4.1 Avgrensning	36
4.2 Betongløsning	36
4.3 Utbytte av konstruksjonsvirke til I-bjelkeløsning.....	37
4.4 Transportløsning	38
5. Resultat	40
5.1 Livssyklusanalyseresultatet.....	40
5.2 Karbonlagring.....	43
5.3 Betong.....	45
5.4 Transport.....	46
5.5 I-Bjelke	47
5.6 Analyse av endringsinnflytelse.....	49
6. Diskusjon	50
6.1 Resultatene	50
6.1.1 Betong.....	51
6.1.2 I-bjelke.....	52
6.1.3 Transport.....	52
6.2 Endringsinnflytelsen.....	53
6.3 Diskusjon av metode.....	53
6.4 Oppsummering av funn	54
7. Konklusjon.....	55

8. Videre forskning	56
Referanser	57
Vedlegg	63

Figurer

Figur 1 BIM tegning av eneboligen Giske (Byggmann)	4
Figur 2 BIM tegning av eneboligen Faro (Byggmann).....	4
Figur 3 BIM tegning av eneboligen Tafjord (Byggmann)	5
Figur 4 Global Carbon Dioxide Emissions by Region, 1990–2018.....	7
Figur 5 Bilde fra University of british Columbia, Embodied carbon pilot study [66]	11
Figur 6 Yuan Chang, Yayin Wei, in Renewable-Energy-Driven Future, 2021	12
Figur 7 Bilde fra University of British Columbia, Embodied carbon pilot study [66]	14
Figur 8 Diagram hentet fra Transportøkonomisk institutt, TØI rapport 1321/2014	32
Figur 9 Designet i Revit 2022	38

Tabeller

Tabell 1 Sammenligning av boligene, Tall hentet fra plantegninger og BIM-modell.....	5
Tabell 2 Tabell basert på NS 3720.....	9
Tabell 3 NS-EN 1992 Eurokode 2	19
Tabell 4 Evaluation of Road Transport Pollutant Emissions from Transporting Building Materials to the Construction Site by Replacing Old Vehicles (2022).....	23
Tabell 5 Type LCA data (OneClick LCA)	33
Tabell 6 OneClick prinsipp (OneClick LCA)	34
Tabell 7 Betong, Original løsning (Tall hentet fra OneClick LCA)	37
Tabell 8 Generell transportavstand (Tall hentet fra OneClick LCA)	39
Tabell 9 Total utslipp fra transport til byggeplass (Tall hentet fra OneClick LCA)	39
Tabell 10 Klimagassutslipp, kg CO ₂ e – Livssyklusstadier (Tall hentet fra OneClick LCA).....	41
Tabell 11 Totalt klimagassutslipp (Tall hentet fra OneClick LCA)	41
Tabell 12 Klimagassutslipp, Klassifikasjoner (Tall hentet fra OneClick LCA)	42
Tabell 13 Mest medvirkende materialer, Giske (Tall hentet fra OneClick LCA).....	43
Tabell 14 Mest medvirkende materialer, Tafjord (Tall hentet fra OneClick LCA).....	43
Tabell 15 Mest medvirkende materialer, Faro (Tall hentet fra OneClick LCA)	43
Tabell 16 Biogent Karbonlagring (Tall hentet fra OneClick LCA).....	44
Tabell 17 Totalt biogent karbonlagring (Tall hentet fra OneClick LCA).....	44
Tabell 18 Utslipp, Betong (Tall hentet fra OneClick LCA).....	45
Tabell 19 Klimagassutslipp per BTA (Tall hentet fra OneClick LCA)	46
Tabell 20 Klimagassutslipp, NS 3720 - Klimagassutslipp, kg CO ₂ e – Grunn og fundament (Tall hentet fra OneClick).....	46
Tabell 21 Andel klimagassutslipp fra transport (Tall hentet fra OneClick LCA)	47
Tabell 22 Type bindingsverk, sammenligning (Tall hentet fra OneClick).....	48
Tabell 23 Påvirkninger på livssyklusen (Diagram hentet fra OneClick).....	49
Tabell 24 Prosentendring av totalt utslipp (Tall hentet fra OneClick)	49

Forkortelser

BIM	Byggningsinformasjonsmodell
BTA	Bruttoareal
CO ₂ e	CO ₂ ekvivalent
EPD	Environmental Product Declaration (miljødeklarasjon)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
U-verdi	varmegjennomgangskoeffisient

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn for tema

Byggingeniører har et ansvar overfor kvaliteten på videre utvikling og klimapåkjeningen som medfører. En av de største samfunnsutfordringene i moderne tid er klimaendringene, og byggenæringen står for en betydelig del av den, og kan anses som en hovedbidragsyter ifølge en rapport utgitt av Shen et al. (2005). Det er mange segmenter av sektoren som er med på å skape utslipp, som for eksempel materialproduksjon, transport, energikonsumpsjon og ikke-bærekraftig ressursutnyttelse. Når det kommer til byggeindustrien i Norge, har bedriftene innad begynt å se muligheten for endring og forbedring når det kommer til klimavennlig byggteknikker.

1.2 Oppgaven

1.2.1 Problemstilling

I denne oppgaven vil det bli sett på byggematerialers effekt på tre utvalgte eneboligers klimaregnskap. Følgende forskningsspørsmål vil besvares gjennom oppgaven.

- Hvordan vil materialvalget påvirke klimagassregnskapet til en enebolig?
- Hvilke alternative prosjekteringsvalg kan forbedre konstruksjonens klimavennlighet?

1.2.2 Oppgavens avgrensning og omfang

Oppgaven skal fokusere på livssyklusfasene A1 til A3, som omhandler materialets utvinning til produksjon, i tillegg til A4 som omhandler transport av materiale til byggeplass. De andre livssyklusfasene vil ikke gjenspeiles i resultatsdelen av oppgaven. Her vil oppgavens omfang strekke seg over krybbe til port, som vil si fra utvinning av materialer til leveranse til byggeplass. Oppgaven tar for seg en livssyklusanalyse basert på utdelte materialkalkyler. Ikke alle materialleverandørene som var oppgitt i kalkylene hadde tilgjengelige EPDer egnet for LCA, og var derfor ikke godkjent til bruk i livssyklusanalysen til OneClick. Det ble derfor brukt generisk data basert på den norske regionen, eller en lignende leverandør med identisk produkt, om den riktige leverandøren ikke var et alternativ. På grunn av mangel av godkjente EPDer, til bruk i OneClick, vil resultatet være en indikasjon på utslippet.

1.3 Kasusstudie

Gjennom et samarbeid med Byggmann har det blitt utdelt tre eneboliger til analyse. Hovedmålet med samarbeidet er å legge frem et oversiktlig klimaregnskap basert på materialister. De tre kataloghusene som skal undersøkes i oppgaven er Giske, Tafjord og Faro. Boligene er utvalgt på grunn av popularitet hos kundene. Gjennom kasusstudie vil det forskes på om klimaregnskapet kan forbedres gjennom endringer som kan anses som realistisk og relevante for bedriften.

1.3.1 Byggmann Gruppen AS og Involverte aktører

Byggmann er en landsdekkende boligkjede, med over hundre forhandlere. Med mer enn tusen nye boliger i året er de blant de største i Norge. Hovedkontoret ligger på Vigra i Ålesund, og der jobbes det med prosjektering, markedsføring, drift, regnskap, data, IT, byggevare, produksjon og montering. Byggmann har et bredt utvalg av kataloghus. Her kan det velges mellom eneboliger, flermannsboliger, Hytter og Garasjer. Om boligene i katalogen ikke passer, kan man få arkitekttegnet sin drømmebolig ut fra egne ønsker [26]. Det skal gjøres klimagassberegninger i denne oppgaven for boligene Giske (se seksjon [1.3.2](#)), Faro (se seksjon [1.3.3](#)) og Tafjord (se seksjon [1.3.4](#)). Dette er moderne boliger som blir bygget mye av i dag. Her brukes det mye trekonstruksjon, store vindusflater og noe betong.

I forbindelse med klimagassberegningene, på de utvalgte boligene fra Byggmann, er det lagt ved tilhørende materialister, plantegninger, snitt og fasadetegninger. Materialene som blir brukt kommer fra ulike leverandører, og noen av de større leverandørene som leverer materialer er BMI Norge AS, Byggma ASA, Masonite AS, Forestia AS, Glava, Hunton Fiber AS, Natre Vinduer AS, Moelven Limtre AS, Jeld-Wen Norge AS og Optimera AS. Materialistene inneholder det aller meste av materiell som bestilles til boligene, utenom ringmurer og betongplate mot grunn. Til denne oppgaven tas alt av betong til byggene med, da betongen vil gi betydelig utslag på klimagassberegningene. Tegningene av snittet viser fundament, ringmur og grunnplater, og ut ifra dette er det blitt valgt passende produkter og beregnet betongmengder. BMI Norge AS er en del av BMI Group, som er den største leverandøren i Europa når det kommer til systemer for skråtak, flate tak og tette bygg. BMI Norge ble etablert i 2018, men helt siden 1895 har kjente merkevarer fra BMI vært til stede i Norge. BMI jobber for en bærekraftig utvikling, og målet er å kunne produsere og levere produkter uten å skade miljøet. De jobber også for å sikre langvarige løsninger slik man reduserer fremtidig rehabiliteringsarbeid, og har et sterkt fokus på gjenbruk av materialer så godt det lar seg gjøre [27]. Byggma ASA er leverandør av byggevare, de leverer til alle byggevarekjedene i landet og er blant de største i Norge innen dette. Byggma eier en rekke større produksjonsbedrifter i Norge, og har et sterkt fokus på bærekraftig utvikling [28]. Masonite AS er en av

produksjonsbedriftene eid av Byggma. De produserer I-bjelker, som er et godt alternativ for gulv, tak og veggkonstruksjoner [29]. Forestia AS er en produksjonsbedrift som inngår i Byggma-konsernet. De produserer sponplater av ulike typer [30]. I denne oppgaven blir det sett på bjelkelagene som er bygget opp av I-bjelker fra Masonite og takplater, gulvplater og veggplater fra Forestia.

Glava er en stor aktør innen byggebransjen. Selskapet er kjent for merkevarer som Glava isolasjon, Gyproc og Weber. Alt av isolasjon og dampspærre på de tre boligene blir levert fra Glava. Den bærekraftige utviklingen er for fullt i gang hos Glava, som har fokus på gjenbruk og sirkuler økonomi. 7000 tonn glass gjenvinnes hvert år på Norsk Gjenvinning, og dette brukes av Glava til glassullproduksjonen, hvor 70 % består av glass og totalt 80 % kommer fra resirkulert glass. 30 % våtavfall fra produksjonen leveres nå til gjenbruk hos LECA. Dette gir biprodukter, som tidligere har gått til gjenvinning, et nytt liv. Glava har også et mål om en grønnere transport ut fra sine lager og helt frem til kundene. De har allerede anskaffet en lastebil som går på biogass, som går mellom sine fabrikker og sparer miljøet for 13 000 kg CO₂ i året [31]. En annen sentral leverandør er Optimera AS, som har 200 utsalgsteder og 2000 ansatte, og er en ledende aktør i Norge i dag. Totalt omsetter de for mer enn 14 milliarder, og står for mye av leveransen av ulike materiell og festemidler til Boliger fra Byggmann [32].

1.3.2 Design I: Giske

Giske er en toetasjes enebolig på totalt 185,6 m² BTA. Boligen er godt egnet for tomter med skrått terreng, da den har en støttemur av betong i bakre del og sirka halvveis fremover sideveggene i første etasje. Sett ut fra tegninger av snittet, er det blitt brukt ferdig isolerte soleblokker til fundamentering, og ferdig isolerte ringmurselement. Bindingsverket er satt opp av 36x148 mm stenderverk med påføring av 48x48 mm lekter på innsiden av dampspærren. Veggene er isolert med totalt 200 mm Glava proff 34, noe som gir en U-verdi på 0,22 [W/m²K], og er innenfor minimumskravet til TEK 17. Veggene er kledd med plater fra Hunton Vindtett, og plantene er vindavstivende og kan fungere som en diffusjonsåpen vindspærre. Samtidig gir de en reduksjon på 0,01 [W/m²K] på U-verdien [33]. Til utvendig kledning er det brukt liggende dobbelt falset kledning festet til vertikal lekter. I tillegg er det brukt stående kledning på deler av bygget. Her er det festet på horisontale lekter, som der igjen er festet til de vertikale, slik man får lufting mellom kledning og vindspærren. Til bjelkelag er det brukt I-bjelker med sponplater på toppen, klar til parkett eller laminatgulv for andreetasje. Boligen har skråtak og taksperrene har opplegg på ytterveggen samt innvendig bærevegg og drager som går gjennom hele boligen. På toppen av taksperrene er det brukt diffusjonsåpen vindspærre. Det er brukt krysslekting for tilstrekkelig lufting til taket. over lektene er

det montert OSB plater. Til slutt er det lagt takbelegg på platene. Hele huset er innpakket med vindsperreduk som er festet i alle skjøter, noe som sørger for et godt vindtett hus. Her er det kommet frem til boligens oppbygging ved hjelp av plantegninger, materialister med detaljer og faglig kompetanse (se figur 1).



Figur 1 BIM tegning av eneboligen Giske (Byggmann)

1.3.3 Design II: Faro

Faro er en stor og moderne enebolig på 258,7 m² BTA over to plan, med store vindusflater i front. Boligen har samme type konstruksjon som Giske, utenom støttemuren i bakkant, og er dermed best egnet for flate tomter. Utvendig er det brukt stående kledning, med noen mindre partier hvor det er blitt montert fasadeplater (se figur 2).



Figur 2 BIM tegning av eneboligen Faro (Byggmann)

1.3.4 Design III: Tafjord

Tafjord er en moderne bolig på totalt 208,4 m² BTA fordelt på to etasjer. Oppbyggingen er den samme som på boligene Giske og Faro, og er best egnet for flattere tomter slik som Faro. Til utvendig kledning er det kun brukt stående kledning utenpå krysslektingen. Taket skiller seg ut da de her er blitt brukt Tradition Plus takpanner. Dette er takplater som monteres på horisontale lekter, festet til lekter som følger taksperrene. Over taksperrene er det lagt trefiberplater med diffusjonsåpen takduk (se figur 3).



Figur 3 BIM tegning av eneboligen Tafjord (Byggmann)

Tabell 1 Sammenligning av boligene, Tall hentet fra plantegninger og BIM-modell

Sammenligning av BTA, Betongmengde og vindusflater			
	Giske	Tafjord	Faro
BTA (Bruttoareal)	185,6	208,4	258,7
Betongmengde	21 m ³	15,5 m ³	21 m ³
Vindusflater	36,8 m ²	48,5 m ²	49 m ²

2. Teori

I denne delen fremlegges en teoretisk referanseramme som skal underbygge problemstillingen. For å skape et komplett bilde innledes det med å belyse klimasituasjonen og byggenæringens rolle (se seksjon [2.1](#)). Videre skal livssyklusanalyse fremlegges med fokus på indirekte karbonutslipp fra materialer og operasjonelt karbonutslipp (se seksjon [2.1.5](#)). Teoridelen går videre med en kort introduksjon av byggematerialers egenskaper og hensikt. I slutten av denne seksjon blir klimavennlige materialer presentert, og materialutfordringene som medfører blir sett nærmere på (se seksjon [2.2](#)). Videre blir det sett på teori rundt transporten assosiert med byggeprosessen (se seksjon [2.5](#)). I neste del skal husbygging og dokumentasjonen innad presenteres (se seksjon [2.6](#)). Avslutningsvis i dette kapitlet blir det sett på teorien rundt programvarene brukt i oppgaven (se seksjon [2.7](#)).

2.1 Klimaendringer og byggeindustrien

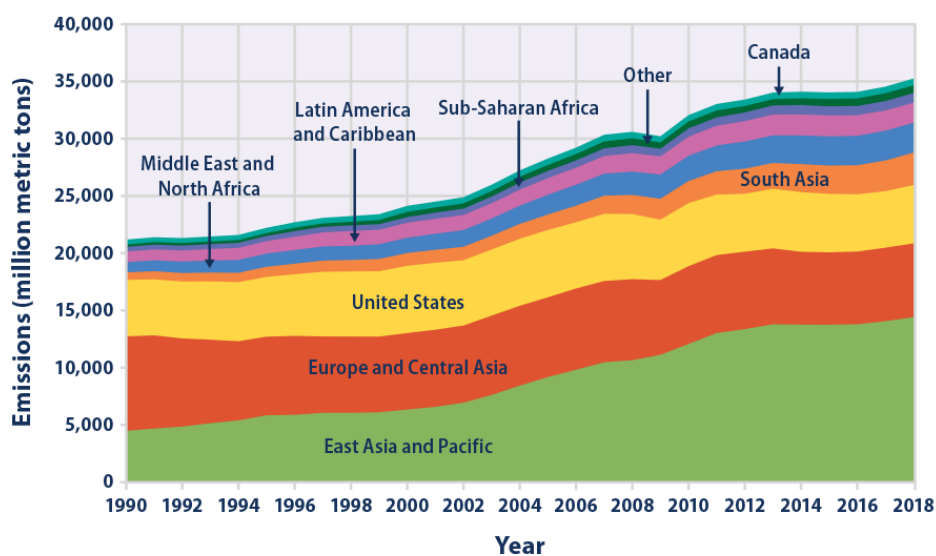
2.1.1 Klimaendringer

Jorden og andre planeter med en atmosfære har en naturlig drivhuseffekt. Denne effekten skaper et levelig temperaturforhold på jordoverflaten. Mennesker påvirker denne effekten gjennom bruk av kull, gass og olje [1]. Disse stoffene slipper ut drivhusgasser som videre forsterker drivhuseffekten. Uten drivhusgassene i atmosfæren ville middeltemperaturen vært langt under null grader. Drivhuseffekten har en naturlig syklus, men med menneskelig påvirkning har drivhusgassene skapt et klimaproblem. FNs klimapanel har utarbeidet rapporter som fremlegger konsekvensene av klimaendringene og tiltakene som burde iverksettes. De har estimert at gjennomsnittstemperaturen på jorda vil øke med over 5 grader. Eksempel på konsekvenser på grunn av klimaendringene er endring av havnivå, smelting av permafrost og økt uvær [1]. Slike konsekvenser vil ha en kritisk innflytelse på byggenæringens fremtidige prosesser og byggemetoder. Klimaendringene er det definerende problemet i vår moderne verden og det globale samfunnet er i et avgjørende punkt når det kommer til handlingene som skal til for å bremse det opp og skape betydelig endring. Fra skiftende værmønster som truer matproduksjon, til reisende vannstand som risikerer katastrofale flommer, innvirkningen til globaloppvarming er på et globalt nivå og vil ha en utvilsom effekt på fremtiden. Uten drastisk handling i dag vil tilpasningen senere være kompleks, vanskelig og dyr [3]. I en rapport utgitt av FN i 2021 fremlegges det at jordens klima i alle regioner på kloden er påvirket av klimaendringene. Mange av endringene er irreversible og vil ikke endres i positiv retning på hundre om ikke tusenvis av år. Rapporten påstår at den menneskelige innflytelsen på klimaendringene er udiskuterbare, men den viser også til at det menneskeheten fortsatt har muligheten til å påvirke fremtidens grad av klimaendringer. Sterk og vedvarende reduksjon i utslipp av karbondioksid og

andre klimagasser vil limitere klimaendringene. Fordelene ville komme fort i en situasjon der det globale samfunnet klarer og nå klimamålene. Fordeler som forbedret luftkvalitet ville kommet fort, mens globale temperaturer vil ta rundt 20-30 år å stabilisere [6]. En estimert Co₂ budsjett har blitt fremlagt av FN slik at det skal være mulig å limitere fremtidig utslipp slik at den globale oppvarmingen skal holde seg under 2 grader. Nesten halvparten av dette budsjettet har blitt brukt opp allerede i 2011. Noen essensielle funn i FNs rapport var at havene har blitt oppvarmet, mengden snø og is har blitt redusert globalt og havnivået har hevet seg betydelig. Fra 1901 til 2010 har det globale gjennomsnittlige havnivået hevet seg 19 cm på grunn av oppvarmingen og smeltingen av is. De fleste aspektene ved klimaendringene vil fortsette i mange århundre uansett om utslippet blir stoppet.

2.1.2 Klimagassutslipp

Klimagasser oppstår naturlig og er essensielle når det kommer til overlevelsen av livet på jorden, dette blir gjort gjennom å stoppe noe av solens varme fra å reflektere strålene sine tilbake ut i verdensrommet etter strålene har kommet seg inn i jordens atmosfære. Det har nå vært mer enn ett århundre med industrialisering, avskoging, og storskala agrikultur som har resultert i store kvantiteter med klimagass i atmosfæren. Klimagassnivåene har nådd rekordmålinger, nivå som ikke har vært sett på flere millioner av år. Etter hvert som populasjoner, økonomier og levestandarder vokser gjør også kumulative nivåer av klimagasser [5]. Det er noen veletablerte vitenskapelige sammenhenger mellom menneskelig utvikling og klimagasser (figur 4)



Figur 4 Global Carbon Dioxide Emissions by Region, 1990–2018

Faktum er at konsentrasjonen av klimagasser i jordens atmosfære er direkte sammenhengende med den gjennomsnittlige globale temperaturen på jorden. Konsentrasjonen har vokst stødig, og gjennomsnittlig global temperatur har vokst sammen med den siden den industrielle revolusjonen. Den mest overflødig klimagassen i atmosfæren, som står for to tredjedeler av klimagasser, er karbondioksid, altså CO₂. Dette kommer hovedsakelig fra brenning av fossilt brensel.

2.1.3 Byggeindustriens klimapåvirkning

Bygg og anlegg er en kritisk del av vår infrastruktur. Industrien er en sentral bærebjelke i det moderne samfunn og har opplevd enorm vekst. Bygg- og anleggsbransjen er Norges nest største næring og er en essensiell del av den norske økonomien. Med en enorm vekst og behov for utvikling og utbygging har materialbruken i samspill med energibruken skapt en vanskelig situasjon. Byggeindustrien skaper en positiv økonomisk vekst, men medfører seg klimakonsekvenser. Bygninger og konstruksjon står for 36% av global energi bruk og 39% av energirelatert karbonutslipp [2]. Klimaendringene har en signifikant effekt på virksomheter, samfunn og individ. Det er forstått at verden må vende mot en lavutslipp økonomi, og det innenfor en stram tidslinje. Byggesektoren spiller en kritisk rolle i dette klimaskiftet. I følge WBCSD (World Business Council for Sustainable Development, 2018) står byggesektoren for 40% av det globale klimagassutslippet. Majoriteten av dette utslippet kommer fra materialene brukt, oppvarming, kjøling og belysning av konstruksjoner og infrastruktur. Den høykarbonintensive konstruksjonssektoren har kommet i sterkt søkelys når det kommer til klimakrisen verden står ovenfor, og virksomhetene innad har vist et sterkt ønske om å skape en bærekraftig og klimavennlig industri. For å nå klimamålet fremstilt av Parisavtalen må sektoren begi seg ut på en elementær endringsperiode oppfyrt av innovasjon og strategisk tilretteleggelse. Noen av de mest merkbare handlingene industrien ser på er senkning av karbonutslippet til bygningsmaterialene i utvinning og produksjonsprosessen, implementasjonen av klimasmart, lav og ren energikonsumpsjon i bruksfasen av bygningen, og til slutt designet av mer resirkulerbare materialer og lukket materialflyt når det kommer til oppussing- og rivingsfasen

2.1.4 Bygningers utslippsfaser

En stor del av det den vitenskapelige forskningen på bygningers klimaeffekt og energibruk fokuserer på å optimalisere det operasjonelle utslippet og det legemlige utslippet [22]. Operasjonelt og legemlig utslipp beskrives i mer detalj etter dette segmentet (se seksjon [2.1.6](#) og [2.1.7](#)). Disse to

utslippskildene er signifikante, men gitt hele livssyklusen til konstruksjonen, skjer energibruken og utslippet av årsaker som trekker seg forbi bare bygningsdriften. Energi er nødvendig når det kommer til produksjon av byggematerialer; det er brukt i modernisering og oppussing; det forbrukes under transport av byggematerialer, helt fra utvinningsprosessen; det forbrukes under deponering av bygningen og materialene [23]. Basert på NS 3720 blir det lettere å kategorisere energi konsumpsjonen og utslippet gjennom systematiske grenser. Det vil si først systemgrensen som utgjør hele livsløpet (se figur 3). Videre deles innholdet i systemgrensen opp i to mellomkategorier, altså “cradle to gate” og “gate to grave”, som vil si at hele systemgrensen er “cradle to grave”. I “cradle to gate” observeres produktfasen. Denne fasen oppdeles i A1, A2 og A3. Fasen tar for seg råmateriale, transport til produksjonsstedet og selve produksjonen. I starten av “gate to grave” finner observeres konstruksjonsfasen. Denne fasen fremlegges som A4 og A5, og tar for seg transport av materialer til byggeplassen og selve konstruksjonen og installasjonsarbeidet. Fasene nevnt over vil være de relevante utslippsfasene for denne oppgaven. Videre i “gate to grave” er bruksfasen, som oppdeles i B1 til B8. I enden av oppdelingen kommer den siste fasen, som er livsavslutningstjenestefasen og oppdeles i C1 til C4 [23]. I tabellen under kan de forskjellige fasene følges, fra krybbe til grav.

Tabell 2 Tabell basert på NS 3720

produktfase	Råmateriale	A1	Cradle to Gate
	Transport til produksjonsstedet	A2	
	Produksjon	A3	
Konstruksjonsfasen	Transport av materialer til byggeplassen	A4	Gate to Grave
	Konstruksjon og installasjonsarbeid	A5	
Bruksfasen	Bruk	B1	Gate to Grave
	Vedlikehold	B2	
	Reparasjon	B3	
	Erstatning	B4	
	Ettermontering	B5	
	Operasjonell energibruk	B6	
	Operasjonell vannbruk	B7	
	Transport i bruksfasen	B8	
livsavslutningstjenestefasen	Riving	C1	Gate to Grave
	Transport	C2	
	Avfallsbehandling	C3	
	Deponering	C4	

2.1.5 Livssyklusanalyse

Vurdering av miljøpåvirkningen til et produkt trenger en vitenskapelig metode som kan fremstille nøyaktig data som kan brukes til materialutvalg. Livssyklusanalyse ble først brukt i miljøstudier rundt 1960-tallet på grunn av bekymring angående ressursbegrensninger. Metoden ble brukt til å vurdere miljøpåvirkningsnivået til et produkt gjennom en «krybbe til grav» analyse. Analysen tar for seg produktets klimapåkjennning gjennom hele livsløpet. Livssyklusanalyse har blitt definert som et adgangsverktøy til den potensielle miljøpåvirkningen og ressurskonsumeringen et produkt har gjennom sitt livsløp, altså fra materialutvinning til avfallshåndtering [12]. Dette verktøyet har blitt en essensiell del av det grønne skiftet i byggenæringen og analysen av bygningers miljøprestasjon blir kan bli tatt til betraktning under prosjekteringsfasen. LCA er fortsatt ansett som en komplisert metode av eksperter [12]. Metoden ble først utviklet for forbrukerprodukter og ble standardisert i ISO 14040/44. Metoden har fire faser: definisjon av mål og omfang, livssyklusinventar (LCI), livssyklussekvensvurderinger (LCIA), og tolkning. I definisjon av mål og omfang skal det skapes klarhet i hva det endelige målet er, og hvilke forventninger leser har til studiet; det er også nyttig å inkludere forutsetninger rundt målsetningen. Videre skal livssyklusinventar kvantifisere ressursene som går inn i alle prosessstegene, og det resulterende klimagassutslippet. Stegene i denne fasen starter med å utvikle et flytdiagram med prosessene som er en del av evalueringen, for så å utvikle en datainnsamlingsplan. Videre skal dataen innsamles og evalueres gjennom et rapportresultat. Denne fasen omhandler derfor prosessen i å kvantifisere energi- og ressursutnyttelsen nødvendig og prosessens utslipp (i vann, atmosfære, avfall, osv.) gjennom produktets livsløp. livssyklussekvensvurderinger ser på virkningene på menneskers helse og miljø knyttet til energi- og råstoffinnsatsen. Her vil også miljøutslippet kvantifiseres basert på inventar. livssyklussekvensvurderinger som fase skal evaluere alle potensielle økologiske effekter og ressursutnyttelser. Denne fasen er viktig med tanke på det helhetlige målet med livssyklusanalysen, som er å etablere en lenke mellom input og output involvert i produktets livssyklus. Det er flere viktige konsekvenskategorier som global oppvarming, forsurening og terrestrisk toksisitet. Ved bruk av dataen fra livssyklusinventar kan det gjøres klassifikasjoner basert på resultatene slik at det kan linkes til riktig påvirkningskategori. Som eksempel er det mulig å klassifisere karbonutslipp til global oppvarming. Videre skal resultat fra livssyklusinventaren karakteriseres, normaliseres, grupperes, og evalueres i forhold til livssyklussekvensvurderinger [17]. Til slutt skal tolkningen gi en enkel livssyklusmodell som viser produktets miljøpåvirkning fra krybbe til grav. Dette er stadiet hvor evalueringen av potensielle feil og vurderer endringer som kan ha en positiv miljøinnflytelse. Analysens resultat vil gi oss et godt grunnlag for å indentifisere relevante miljøpåvirkningskategorier. Illustrasjonen under viser hvordan livssyklusen sirkulerer fra produksjon til sluttfasen til bygningen eller produktet.



Figur 5 Bilde fra University of british Columbia, Embodied carbon pilot study [66]

EN 15804 har blitt utviklet for livssyklusanalyse av byggematerialer og gir et grunnlag for miljøvaredeklarasjoner [14]. EN 15978 er også relatert til byggematerialer og tar for seg tilnærmingen til livssyklusanalyse når det gjelder bygninger. Her defineres flere livssyklusstadier som: produksjon og konstruksjon, bruk og slutfasen. Til slutt kan det også inkluderes et siste livssyklusstadie som beskriver belastningene utover systemets grenser, for eksempel ved gjenvinning.

2.1.6 Operasjonell energi og utslipp

Operasjonelt utslipp omhandler all aktivitet relatert til bruken av bygninger over hele livsløpet. Utslipet kommer fra det å holde innendørsklimaet komfortabelt og beboelig. Operasjonell energikonsumpsjon er energien nødvendig for operasjonsprosesser som oppvarming, nedkjøling og vedlikehold av bygningen. Det gjelder også energibruken som kommer av belysning, hvitevarer og generell strømbruk [7]. Operasjonelt utslipp akkumuleres over tid og kan påvirkes gjennom den effektive livssyklusen til bygningen [8]. Det å konservere utslippet gjennom bygningens livssyklus er en viktig del av det å redusere operasjonelt utslipp og kan gjøres gjennom å optimalisere bruken av energieffektive hvitevarer, strømkonsumerende utstyr og utnytte teknologi som baserer seg på fornybar energi. Illustrasjonen under viser de forskjellige kildene som utgjør en del av den operasjonelle energien, som videre fører til operasjonelt utslipp.



Figur 6 Yuan Chang, Yayin Wei, in *Renewable-Energy-Driven Future*, 2021

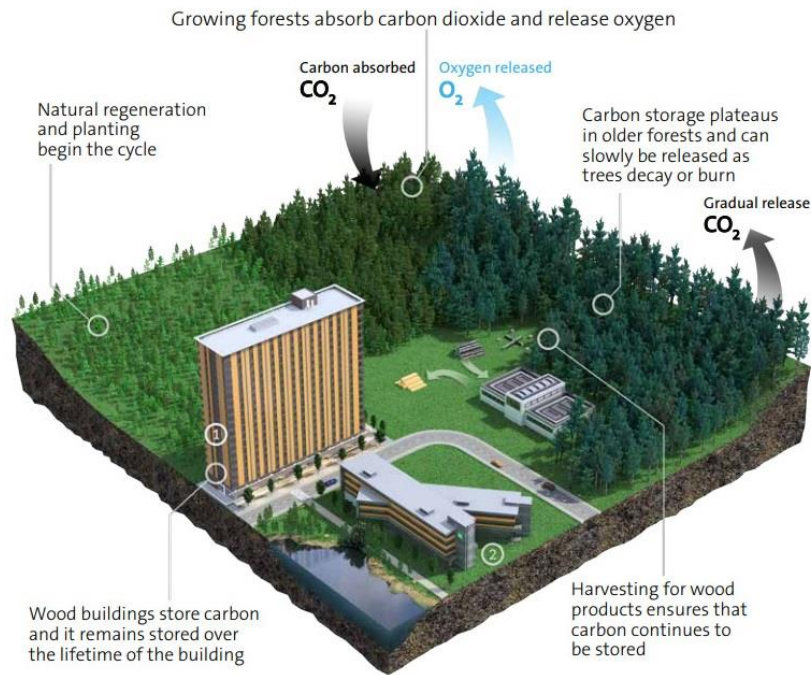
2.1.7 Legemlige energi og utslipp

Mens operasjonell energikonsumpsjon baserer seg på beboerne, gjør legemlig utslipp ikke det. I stedet er energien bygget inn i materialet og er svært avhengig av hvilke materialer som er brukt, primærenergien til kilden og effektiviteten når det kommer til omformingsprosessen under produksjonen [9]. Produksjonen av materialene nødvendig for å lage en bygning konsumerer mye energi. Bygningsmaterialene er produsert med en stor variasjon av materialer og materialproduksjonen har energikonsumpsjon og utslipp i alle produksjonsfasene. Disse fasene består av materialutvinning, transport, produksjon og dekomposisjon. Energien konsumert under produksjonen av materialet, altså, energi brukt i konversjonen og flyten til råmaterialet anses som legemlig energi eller skjult energi. Reddy og Jagadish [10], definerer den legemlige energien til bygningen som den totale energien assosiert med produksjonen, altså utvinning, prosessering og transport. Dette konseptet defineres på flere måter, men her vil oppgaven forholde seg til legemlig energi definert som energi benyttet under produksjonen av bygningen og bygningsproduktene. Legemlig energi blir normalt målt i kvantitet av energi per enhet av bygningsmateriale, bygningskomponent eller bygningsystem. Det blir oftest oppgitt i megajoule (MJ) eller gigajoule (GJ) per enhet av vekt (kg eller tonn) eller per kvadratmeter. Når det er snakk om legemlig utslipp, kan det deles inn i to deler: innledende og tilbakevendende legemlig utslipp. Innledende vil si utslippet som forekommer før selve byggingen av bygningen. Dette representeres av energikonsumpsjonen under utvinning av materialet, prosesseringen, produksjonen, transporten, og konstruksjonen. Videre vil innledende utslipp fordeles i to underkategorier: direkte utslipp og indirekte utslipp. Direkte utslipp er assosiert med utslippet som forekommer av transport av bygningsprodukter, konstruksjonen av bygningen, altså utslippet assosiert med på og av byggeplass operasjoner [11].

Indirekte utslipp er utslippet som forekommer gjennom utvinningen, prosesseringen og produksjonen av byggematerialene, inkludert transporten som er relatert til disse operasjonene. Mange byggematerialer har kortere levetid enn selve bygningen og vil trenge utbytte og rehabilitering. Utslippet som kommer av disse utbyttene og reparasjonene kalles tilbakevendende legemlig utslipp. Denne utslippskategorien inkluderer vedlikehold, reparasjon, restaurering, oppussing og erstatning av komponenter eller system gjennom bygningens effektive levetid.

2.1.8 Karbonlagring

For å forstå effekten byggematerialer har på klimaet må det ses nærmere på karbonlagring. En av de viktigste strategiene for å dempe klimaendring er å finne måter å fange karbon fra atmosfæren. Som eksempel kan er det mulig å se på trekonstruksjoner, hvor treprodukter låser ca. 1 tonn CO₂ per 1 m³ tre. Det vil si at karbonet er hentet fra atmosfæren gjennom forskjellige naturlige prosesser og lagres til materialet brytes ned i slutten av materialets livsløp. Prosessen kan forklares med at trær absorberer CO₂ fra atmosfæren gjennom fotosyntese. De råe materialene blir utvunnet fra skoger og transporteres videre til behandling og produksjon. Tre materialet produseres til materialer og produkter som skal brukes i konstruksjonen av bygningen. I denne bygningen vil karbonet lagres gjennom hele livssyklusen til bygningen. Når byggematerialet møter sluttfasen av livssyklusen, blir materialet konvertert til bioenergi eller resirkuleres og brukes på nytt. I en tradisjonell bygning vil da karbonet lagres over 50 år før det potensielt slippes ut i atmosfæren igjen, eller blir resirkulert [24]. Byggesektoren kan gjøre en reell forskjell ved å bruke trekonstruksjonsmaterialer som både fanger opp karbon i hele levetiden og produseres med svært lite CO₂-utslipp. Karbonlagringen vil ha mye å si for den helhetlige graden av miljøvennlighet når det kommer til byggematerialer. For at en bygning skal bli karbonpositiv må det være et målbart og betydelig volum CO₂ fjernet fra atmosfæren. Det vil også være kritisk at innholdet av karbon lagret i materialet er større enn utslippet knyttet til utvinning, produksjon og transport av alt materialet som blir brukt i bygget [25]. Det er to måter karbon fra atmosfæren kan lagres i byggematerialer: Permanent binding i materialer og midlertidig lagring i biogene materialer. Å beregne sekvestrering i mineralske materialer er relativt lett, siden atmosfæring karbon er låst inn i en molekylstruktur som forblir permanent i fravær av ekstraordinære miljøforhold. Hvert tonn av karbon fjernet vil da forbli i materialene selv om materialene ødelegges.



Figur 7 Bilde fra University of British Columbia, Embodied carbon pilot study [66]

Det er my forskning på å produsere byggematerialer som gir mineralsekvestrering, men dagens tilgjengelighet av slike materialer i byggesektoren er begrenset. I de fleste tilfeller er materialene i denne kategorien i tidlig utviklingsfase og vil kreve store vitenskapelige fremskritt før de når en meningsfull markedsandel [26]. En mer tilgjengelig vei til karbonlagring i byggematerialer er gjennom bruken av biogene materialer. Planter gjør en bemerkelsesverdig jobb med å absorbere atmosfærisk CO₂ og gjøre den om til biomasse. Jordbruk genererer milliarder av tonn med karbonrik biomasse som dyrkes årlig [27]. Mens bruk av karbonlagrende biogene byggematerialer byr på betydelige mengder potensiell lagring, er lagringsperioden relativt kort. På et tidspunkt, målt i tiår eller århundrer, vil disse materialene bli fjernet fra bygningene og det lagrede karbonet slippes ut i atmosfæren. For at denne prosessen skal bidra meningsfullt og hjelpe å unngå klimaendringer, må denne kortsiktige lagringen ha målbar og meningsfull verdi for å redusere effekten av klimaendringene i løp av den korte lagringsperioden [28].

2.2 Byggematerialer

Dette segmentet vil ta for seg tradisjonell materialbruk. Her vil materialegenskapene, relevant bruk og hensikt fremlegges. Videre, for denne delen, vil lavutslippsmaterialer beskrives i detalj sammen med materialutfordringer. Avslutningsvis vil transport av materialer beskrives.

2.2.1 Trevirke

Tre er et fornybart materiale, som binder CO² og er godt valg miljømessig, om man tar bærekraftig skogbruk i betraktning [34]. I Norge har trevirke blitt brukt til husbygging i hundrevis av år, noe som har gitt landet god erfaring og kunnskap på hvordan trevirke kan brukes. Mye av trevirket som brukes til husbygging i Norge i dag blir produsert av norsk tømmer, men i tillegg importeres det en del fra utlandet, og da spesielt fra Sverige. Det stilles strenge krav når det kommer til kvaliteten av konstruksjonstrevirke. Alt blir sortert og merket i henhold til Norsk Standard, med ulike fasthetsklasser. Sorteringen av trevirke kan gjøres ved manuell måling av ulike egenskaper til materialene, men maskinell sortering er det mest effektive [35]. Produksjon av trevirke blir drevet av forholdsvis ren energi, der 72 % kommer av bioenergi, 25 % fra elektrisitet og 3 % fra fossilt brensel [36].

2.2.1.1 Materialeegenskaper

Trevirke har mange gode egenskaper og kan anvendes og brukes innen flere bruksområder. Det finnes mange ulike treslag å velge mellom, med ulike egenskaper og utseende får brukeren større arkitektonisk frihet. Med lav vekt og høy styrke er trevirket godt egnet til bærende konstruksjoner, og kan tåle store spenn. Fuktighet påvirker trevirket med krymping og svelling, med endringer på 8% i tangentiell retning, 4% i radiell og 0,3% i tverrsnittretning. Bestandigheten til naturlig trevirke er noe variabelt mellom de ulike treslagene, men til felles har alle typer tre at de vil råtne raskere i fuktige omgivelser. I kontakt med jord vil gran miste sine fysiske egenskaper som følge av råteskade på under 5 år, mens Furu kan holde ut imellom 10-15 år. Derfor er overflatebehandling og- eller trykkimpregnering en nødvendighet for utsatte konstruksjoner [37]. Tre har dårlig varmeledningsevne i tørr tilstand, og er dermed et godt varmeisolerende materiale. Gran har en densitet på 450 kg/m³ når fuktinnholdet ligger på ca. 12%, og en varmekonduktivitet på $\lambda_d = 0,12$ W/(mk). Tre er et brennbart materiale, men brenner langsomt grunnet lav varmekonduktivitet og et forkullende beskyttende lag som dannes ved brann. Massive tverrsnitt som f. eks limtre kan dermed beholde sin bærende styrke under brann i lengre tid [38].

2.2.1.2 I-bjelker

Masonite I-bjelker er bygd opp av spon/OSB3 plater i stegene med flenser av trevirke i over og underkant slik at snittet av bjelken er formet som en stor I. Rundt 99 % av I-bjelkene består av trevirke, hvor resterende prosent er lim produkter. Dette gir oss en lett konstruksjon som veier nesten bare halvparten av hva heltrebjelker gjør, og man bruker 40-65% mindre skogsråvarer sammenlignet med heltre konstruksjonsvirke. Bjelkene har stor spennvidde, trekker lite fukt og er

nokså rette da de krymper og vrir seg mye mindre en vanlig heltre gjør. Ved å bruke I-bjelker vil man redusere kuldebroene gjennom stendere og oppnå bedre U-verdier på konstruksjoner som også vil holde kravene til brann og lyd med riktige tiltak. Man vil få stivere konstruksjoner enn ved vanlig trevirke, og man har mulighet for å ta større hull i bjelkens steg slik man får skjult all gjennomføring av rør. I-bjelker gjør det enklere å bygge bredere konstruksjoner med tykk isolasjon da man får dem i bredder fra 200-500 mm, veggstendere kan leveres fra 200-400 mm noe som gjør dem ideelle i bruk om man bygger passivhus. Oppbyggingen av konstruksjoner er satt opp på samme måte som bindingsverk i tre med c/c 600 mm stendere og sviller (Se [I-Bjelkemodell](#)). Her kan man sende inn arbeidstegninger og få ferdig kappet og tilpasset I-bjelker tilsendt på arbeidsplassen. Ved å benytte seg av muligheten for ferdig beregnet, kappet og merket material medfølgende monterings tegninger vil man redusere avfall på byggeplass og unødig transport og håndtering av avfallsmaterialer. Den lette vekten gjør det enklere for montering av konstruksjoner på byggeplass, og det vil kunne redusere utslipp fra transport og kranarbeider [39].

2.2.1.3 Massivtre

Massivtre gjør det mulig å bygge høye konstruksjoner av trevirke grunnet sine materialeegenskaper. Et godt eksempel er Mjøstårnet, som er verdens høyeste tømmerbygg med sine imponerende 85,4 høydemeter. Dette viser hvor stor styrke trevirke kan ha ved rett bruk, kvalitet og konstruksjon. Massivtreelementer er veldig formstabile grunnet sin oppbygging og sammenføyning. Elementene kan oppnå stor styrke og stivet, og det muliggjør at man kan benytte massivtre til større konstruksjoner. Elementene kommer ferdig tilpasset fra fabrikk til byggeplass, noe som reduserer kapp på byggeplass. Brannegenskapene til massivtre er meget gode, da det dannes et forkullende lag som vil beskytte indre sjikt i elementene. Eksempelvis kan en 200 mm tykk massivtrevegg stå imot en brannbelastning på 60 minutter, og da tar man bare 50 mm av veggtykkelsen med i beregningene. Lydegenskapene til elementene har gode utgangspunkt, både når det gjelder luftlyd og trinnlyd. En etasjeskiller av massivtre oppnår $R = 37-43$ dB i reduksjon på luftlyd og et lydtryknivå på $L_{n,w} = 77-85$ når det kommer til trinnlyd. Dette er tall som avhenger av tykkelsen, og er beregnet når massivtreet blir eksponert på begge sider. Så utgangspunktet når det kommer til gode lydegenskaper og brannmotstand er mye bedre for en konstruksjon av massivtre enn for tradisjonelle trekonstruksjoner [40].

2.2.2 Betong

Betong har i mange år vært et svært viktig byggemateriale grunnet sine gode egenskaper og styrker. Sammensetningen består av vann, sement og tilslag av sand og passende størrelse av steinmaterialer. Bruksområdene til betong er mange, og kan brukes både som plasstøpt konstruksjoner og som ferdige prefabrikkerte elementer levert på byggeplass. Sementen er en svært viktig del av betongen da det er selve bindemiddelet. Karbonavtrykket av sementproduksjonen er svært høy og kan ha ca. 800 kg CO₂-ekvivalenter per tonn levert fra fabrikkene i Norge, og opp mot 1000 kg CO₂ per tonn andre steder i verden. For å produsere sementen knuses kalkstein til pulver sammen med mindre mengder jernoksid, aluminiumoksid og kvarts. Dette varmes så opp til rundt 1400 °C til produksjon av sementklinker, som senere males opp til sement. Prosessen er svært energikrevende og det brukes organisk brensel til sementovnene. I tillegg spaltes CO₂ fra kalksteinen når den brennes, noe som frigir rundt 480 kg CO₂ per tonn sement [41].

2.2.2.1 Materialeegenskaper

Formbarheten til betong er nesten ubegrenset, noe som gir mange muligheter når det kommer til arkitektoniske utforminger. Stivheten og trykkfastheten er høy og gir betongkonstruksjoner svært god stabilitet. Strekkfastheten til betong alene er ikke mye å skryte av, armering er nødvendig for at konstruksjoner skal kunne ta opp skjærkrefter, bøyestrek og direkte strekk. Kombinasjonen mellom betong og stålarmering gir stor strekkstyrke, bra stivhet, god duktilitet, høy trykkstyrke, bra bestandighet og formbarhet. Betong har en densitet på ca. 2400 kg/m³, med høy varmeledningsevne og dårlige isolasjonsegenskaper. Når det kommer til brann, er ikke betong et brennbart materiale og har god brannmotstand. Ved høye temperaturer vil likevel betongkonstruksjoner ta skade med eksponering over tid, og da spesielt armeringen. Lydegenskapene til betong er gode da tunge konstruksjoner ikke påvirkes så mye av lydølger, og trinnlyd kan enkelt reduseres med trinnlydsplater osv. [42]. Forspenning av betong er også en mulighet, dette gjøres med spenntau av høyfast stål. Den spennarmerte betongen påføres her trykkspenninger som vil kunne kompensere for senere belastning og gjør det mulig med lengre spenn. Betongens bestandighet varierer mye ut ifra hvilken type betong man bruker, det er forholdet mellom vann og sementinnhold (v/c-tall) som har mest å si på hvor tett og motstandsdyktig betongen er [43]. Bestandighetsklassene merkes med M og MF hvor MF er frostbestandig og påfølgende tall viser til bestandigheten, jo lavere jo bedre kvalitet. Hvilken trykkfasthetsklasse vanlig betong har merkes med B med påfølgende tall, B35 har eksempelvis en styrke på 35 MPa ferdig herdet etter 28 døgn [44].

2.2.2.3 Fundament

Hvilken type fundamentering man bør velge avhenger mye av hvordan terrenget på den utvalgte tomten er, grunnforhold og hvilke laster som skal bæres. På flate tomter er det vanlig med gulv mot grunnen med ringmurer og eventuelt fundament. Tomter med skrått terreng er det vanlig med støttemur bak mot skråningen, slik feller man boligen inn i terrenget. Til all fundamentering av mindre boliger bør man bruke betong i henhold til NS-EN 206- 1, som viser til betongkvaliteten B30/M60 eller bedre [45].

2.2.2.4 Lavkarbonbetong

For å bane vei for en mer miljøvennlig betongindustri jobbes det hele tiden med å finne nye og alternative løsninger som vil redusere klimagassutslipp. Lavkarbonbetong er i dag mulig å bestille om ønskelig, og den er produsert i henhold til reglene i NS-EN 206 + NA. Her har det blitt valgt å se på lavkarbonbetongen som Unicon AS har å tilby, da de er ledende betongleverandør med mange fabrikker her i landet. De kan tilby betongtypene Lavkarbon B, Lavkarbon A, Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem. Type B har en karbonreduksjon på 15 % mens type A har en reduksjon på 36 %, begge typer kan leveres i alle fasthetsklasser og bestandighetsklasser og er lett tilgjengelig på alle av Unicons fabrikker. Type B er helt ordiner betong som de fleste betongtypene til Unicon faller innenfor, men når det gjelder Lavkarbon A er det gjort endringer på den ordinære resepten for å tilfredsstille kravene. Lavkarbon Plus har en karbonreduksjon på 51 %, og kan leveres i alle fasthetsklasser med bestandighetsklassene M60 og M90. Ekstrem varianten leveres i alle fasthetsklasser med bestandighetsklassene M90, M60, M45 og M40, og med en karbonreduksjon på hele 63 %. Plus og Ekstrem er satt sammen av spesielle bindingsmidler som gjør dem mindre tilgjengelig, men ikke utilgjengelig. Endringer som gjøres fra de ordinære reseptene vil kunne gå ut over kvaliteten og egenskapene til betongen. Man ser herdeprosessen går tregere for noen typer, men de har tilsetningsstoff som kan motvirke dette. Ekstremversjonen som har størst reduksjon er ikke egnet på frostutsatte konstruksjoner, noe som begrenser bruken noe. Unicon har miljødeklarasjoner som viser klimagassutslippet for sine betongtyper, tabellen under viser tillatt utslipp i kilogram av karbondioksid per m³ for de ulike betongtypene de har [46].

Tabell 3 NS-EN 1992 Eurokode 2

Maksimalt tillatt Klimagassutslipp [kg CO ₂ - ekv. Pr m ³ betong]							
Fasthetsklasse og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
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			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem			110	120	130	140	150

2.2.3 Stål

Stål er et mye brukt material og godt egnet til konstruksjoner, mest vanlig i byggebransjen er profilstål, armering, tynnplater, rør, og ulike festemateriell. Produksjon av stål er en energikrevende prosess med mye forurensing, men likevel kan man se på stål som et av de mer miljøvennlige materialene i det lange løp. Med høy styrke i forhold til vekt vil man kunne spare penger på blant annet transport og fundamentering. Stålet kan leveres i ferdige lengder til byggeplass noe som gir lite svinn, og om svinn forekommer er stål 100% resirkulerbart [47].

2.2.3.1 Materialeegenskaper

Stål er enkelt å montere og demontere, god bestandighet gir materialet lang levetid. Ved høye temperaturer vil stål miste sin stivhet og hardhet, noe som gjør at stål skårer dårlig når det kommer til brannmotstand. Stål må derfor klees inne i brannhemmende materialer, males med brannhemmende maling, overdimensjoneres eller inneholde kjølevann i lukkede rørprofiler for å kunne motstå brann i lengre perioder. Varmeledningsevnen til stål er høy, derfor må stålkonstruksjoner isoleres tilstrekkelig for å unngå kuldebroer [48].

2.2.3.2 Armering

Til armering av betong i Norge brukes kamstål med en flytegrense på 500 N/mm² og duktilitetsklasse C, merket med NS 3576 – B500C Ø mm. I tillegg er det ferdig sveiset armeringsnett som leveres med merkingen B500A [49]. Armeringen vil tilføye betongen skjærkrefter, bøyestrek og direkte strekk, som nevnt i betongdelen.

2.3 Lavutslippsmaterialer

Materialbruk i bygningssektoren bidrar til et betydelig klimagassutslipp. Med en målrettet innsats kan det oppfordres og stimuleres til bruk av lavutslippsmaterialer. Det er store muligheter for reduksjon av klimagassutslipp ved bruk av lavutslippsmaterialer, men materialløsningene må sees i konteksten av bygningens helhet. Med det menes det at et lavutslippsmaterial kan ha lavere utslipp i individuell kontekst, men det kan være andre faktorer og tekniske egenskaper som påvirker summen av materialbruken i bygningen, og som ikke nødvendigvis endrer klimaregnskapet i en positiv trend. I følge Enova SF sin rapport om klimavennlige byggematerialer (Enova SF, 2020) kan klimavennlige materialer påvirkes av gjennomsnittlig produksjonsteknologi og utvikling i markedet, tekniske egenskaper i den sammensatte løsningen og i bygget som helhet, og til slutt robusthet og forventet levetid. For å beregne utslippsnivå av konvensjonelle produkter vil det bli definert en typisk produksjonsmetode for produkt og materialtyper. For å effektivt kunne beregne klimavennlighet er det viktig med et referansenivå. Det vil være forskjellige beregningsmodeller når det kommer til ulike bygningstyper, men i denne oppgaven vil kategorien «enebolig» bli isolert og bygget videre på. I helhet vil beregningen av modellen omfavne materialproduksjon, transport og utbytte av material i løp av byggets forventet levetid. Oppgaven vil avgrenses til materialalternativ som er tilgjengelig på det norske markedet. Et viktig punkt for oss har vært å basere utvalget av material på BAT (*best available technology*) for klimavennlig materialteknologi. For småhus er potensialet for utslippsreduksjon lavere enn andre bygningskategorier på grunn av at det allerede blir brukt relativt klimavennlige materialer. Det brukes mye konstruksjonsvirke og lavt bruk av metal og betong. Det er forskjell på nyproduserte materialer og ombruk. I denne oppgaven vil tyngden ligge på nyproduserte klimavennlige materialer. Ombruk har enorme muligheter for bærekraftighet, men i denne oppgave vil det være mest relevant med nyproduserte materialer.

2.4 Materialutfordringer

Det er grunner til at materialutvalget går mot mindre klimavennlige alternativ. med barrierer i sektoren som hindrer bruk av lavutslippsmaterial. De største utfordringene er økonomisk, tilgjengelighet og etterspørsel. Disse kombinert skaper en ugunstig markedssituasjon. For å endre markedssituasjon vil det være nødvendig med målrettede økonomiske og regulatoriske virkemidler, i tillegg til informasjonsspredning. En holdningsendring er mulig, og håpet om å gjøre klimavennlig materialbruk mer lønnsomt vil skape positive endringer i sektoren. Byggeindustrien er avhengig av at myndighetene følger opp med støtteordninger og regulering slik at bevegelsen skal få moment. Kunnskapsbyggingen blir svært viktig fremover for å inspirere pilotprosjekt og gode eksemplar på klimavennlig materialbruk. Dette vil gi alle ledd i verdikjeden mer informasjon og kunnskap slik at de

kan ta mer miljøvennlige avgjørelser og forhåpentligvis skape en mer konkurransedyktig markedssituasjon for de som velger å gå lavutslippsvegen.

Det første som skal bli sett på er utvinning av materialene. Det er praktiske utfordringer som gjør det vanskelig å finne klimavennlige komponenter til alle formål med tilsvarende egenskaper som de «vanlige» bygningsmaterialene. Ettersom det blir mer konkurransedyktig å velge lavutslippsalternativ vil også forskningen og utviklingen akselereres. Dette vil også være en viktig del av produksjonen av bygningskomponentene. Når det kommer til utvinning og produksjon kan ofte klimavennlige råmaterialer og komponenter være dyrere fordi markedsetterspørselen er lavere enn tradisjonelle materialer. Det blir produsert i mindre kvantitet og har betydelige utviklingskostnader. For eksempel kan det bli sett på karbonfangst i sementproduksjon. Selve produksjonen gir lavere klimagassutslipp for produktet, men det blir en betydelig høyere investeringskostnad. For at lavutslippskomponenter og materialutvinningen skal bli konkurransedyktig må kunnskapsmessige barrierer overkommes. Begrenset dokumentasjon av klimafotavtrykk og mangel på krav til dokumentasjon gjør tradisjonelle byggematerialer enklere å velge.

Logistikk er også avgjørende for hvorvidt de ønskede utslippsreduksjonene blir møtt. Det å få tak i klimavennlige materialene som ikke produseres i Norge kan gi upraktiske barrierer. Som eksempel kan tilgjengeligheten av lavkarbonbetong være upraktisk i en norsk sammenheng. Her møtes store regionale ulikheter. Om man ser på det fra et regulatorisk perspektiv ser man at det er mangel på krav til utslippet fra transporten materialene til byggeplassen. De markedsmessige utfordringene her fører til at transport og tilgjengelighet blir lav og fører derfor til at etterspørselen blant boligutbyggere blir for lav.

I prosjektutviklingen og prosjekteringen møtes store barrierer som f.eks. mangel på målrettet og integrert samhandling mellom aktørene. Det er få prosjekterende og utførende som i dag kan og vil bruke klimavennlige materialer. Konvensjonell materialbruk medfører ofte effektive og gode rutiner ved montering. I byggeindustrien er det mange aktører involvert i et prosjekt, så det å gjøre endringer på utførelsen vil være en kunnskapsutfordring. Man kan se på klimavennlig materialbruk som en uvanlig løsning. Det vil medføre mer tilrettelegging og organisert samhandling.

En barriere man kan støte på med småhus er avkastningsmulighetene og betalingsvilligheten. 'Det er god betalingsvillighet i næringsmarkedet, men ved småhus kan det være mangel på insentiv for å strekke seg etter lavere utslipp. Dette kan mulig løses ved regulatoriske endringer. Til slutt har man utfordringene ved bruk og vedlikehold. Nyskapende teknologier og metoder gir ofte byggetekniske utfordringer i bruksfasen. Manglende kunnskap om vedlikehold og levetid for noen materialer og materialtilpasset renhold kan også være en utfordring.

2.5 Transport

Kjøretøyene som brukes til å transportere byggematerialer og andre byggrelaterte aktiviteter bruker hovedsakelig dieseldrevne motorer, som er fremhevet som en av hovedkildene til veiforurensninger og forurensning fra fossilt brensel. Transport av byggematerialer og varer i byggenæringen er preget av mangel på planlegging, just-in-time levering og lav utnyttelsesgrad av kjøretøy. Gjennom forbedret logistikkstyring kan reduksjonen av CO₂-utslipp, overbelastning og miljøpåvirkning reduseres betydelig. Samtidig vil det bli forbedret produktivitet i samspill med kutting av kostnader. I et nasjonalt perspektiv ble omfanget av problemet fremlagt i Oslo klimastrategi mot 2030, som ble presentert i 2016 [21]. Her ble det klargjort at byggmaskiner stod for 18% av byens direkte klimagassutslipp. For å nå målet med 95% utslippsreduksjon, innen 2030, vil transporthåndtering være en viktig del av det helhetlige bilde. Ifølge Norsk senter for transportforskning (TØI) ble det anslått at anleggsrelaterte transporter i 2017 stod for 51 prosent av den totale transporterte vekten og 15 prosent av kilometer kjørt med lastebil i Oslo. Ut ifra data fremlagt av Norsk senter for transportforskning, antas det at 19 prosent av all trafikk i Oslo er relatert til bygg og anlegg [21]. Ifølge en rapport fra 2021, utgitt av Bellona, er det estimert at byggeplasstransport i Norge utgjør på det minste 565 00 tonn med CO₂ per år, dette tilsvarer det årlige utslippet fra 340 000 passasjerbiler. Rapporten estimerer også at ved hjelp av effektiviseringstiltak, uten å ta høyde for elektrifisering, kan disse utslippene mer enn halveres. Når elektrifisering blir tatt til betraktning, vil direkte utslipp fra byggeplasstransport kunne teoretisk reduseres til null.

Når det gjelder veiforurensning er det et stort problem med forurensningsmaterialer som svevestøv og lystgass. På grunn av forurensningen har regelverket for dieseldrevne motorer blitt styrket over hele verden for å prøve å redusere klimaeffekten og forbedre kvaliteten av luft i byer. Når det gjelder konstruksjonsarbeid slipper denne kategorien ut mest forurensning når det kommer til veitransport. Her er det transport av prefabrikkerte element, ferdigbetong, ståldekke og stålformer som skaper den største delen av utslippet. Tabellen under fremstiller resultatet for utslipp av forurensende stoffer fra transport av byggematerialer basert på kjøretøy registrert i 2016.

Tabell 4 Evaluation of Road Transport Pollutant Emissions from Transporting Building Materials to the Construction Site by Replacing Old Vehicles (2022)

Type arbeid	Utslipp (tonn)				Proporsjoner (%)			
	NOx	VOC	PM	CO	NOx	VOC	PM	CO
Midlertidig	1.78×10^{-2}	2.11×10^{-3}	7.83×10^{-3}	8.68×10^{-3}	0.3	1.6	1.0	1.6
Struktur	4.62×10^0	8.76×10^{-2}	6.16×10^{-2}	3.45×10^{-1}	89.6	64.4	76.6	63.5
Etterbehandling	5.19×10^{-1}	4.63×10^{-2}	1.81×10^{-2}	1.89×10^{-1}	10.1	34.0	22.5	34.9
Total	5.15×10^0	1.36×10^{-1}	8.04×10^{-2}	5.43×10^{-1}	100	100	100	100

Mengden forurensningsutslipp fra transport av byggematerialer, basert på konstruksjonstype viser en tilsvarende trend for alle vegtransportforurensninger. Som tabellen over viser er det tydelig å se at transport av byggematerialer til konstruksjonsarbeid står for mer enn 89, 64, 77 og 64 prosent av de samlede verdiene av henholdsvis NOx, VOC, PM, and CO, [20].

Det er viktig å punktere at distansen materialene må reise er et viktig aspekt av det totale utslippet. Ved å velge lokale leverandører vil reduksjonsmulighetene øke betraktelig, uten å se på drastiske endringer i transportformen. De små utslippsforskjellene materialer kan ha, med tanke på de forskjellige leverandørene og produkttypene, kan fort bli ubetydelige om transportdistansen er lenger for produktet med lavere klimapåkjenning. Dette er tatt til betraktning i analysen av materialene.

2.6 Husbygging og dokumentasjon

2.6.1 Byggeprosessen

Det er søknadspliktig og bygge boliger, og de tekniske kravene og byggereglene man er pliktig å følge finner man i Plan og bygningsloven og Byggeteknisk forskrift. Plan og bygningsloven er en lov som legger krav for hvordan areal rundt om i landet skal brukes og bestemmer også hvordan de reguleres. Loven viser til Byggeteknisk forskrift, men legger selv noen materielle krav. Når det gjelder Byggeteknisk forskrift er det i dag TEK 17 som gjelder, forskriften stiller minimumskrav til hvilke egenskaper bygg må ha her i landet [50]. Byggestart kan skje først når alt forarbeidet er gjort og byggetillatelse er gitt. Først støpes fundament og ringmurer på drenerende masse, så legges bunnledningene inn i huset. Isoleringen av gulv mot grunn skal ha en U-verdi på maksimalt 0,18 [W/m²K] i henhold til TEK17, ringmurene må og isoleres slik man unngår kuldebroer. I tillegg til dette er det krav om radonsperre mot grunnen under støpt plate [51].

Bindingsverk av tre er den mest brukte konstruksjonen til eneboliger og flermannsboliger i dag, og mest relevant for de aktuelle boligene til denne oppgaven (1.3.2 Design I: Giske). Oppbyggingen består av bunnsviller og toppsviller med stendere mellom plassert på c/c 600 mm. Bindingsverket

vindforankres via stendere ned til fundamentet og avstives ved hjelp av skråband eller vindavstivende plater. Bygget pakkes inne i en slags vinsperre med vindsperrereduk eller vindtette plater utenpå stenderverket. Deretter lektes det ut for utvendig kledning med tilstrekkelig lufting mellom kledningen og vindsperreren. Det er krav om dampsperre på den varme siden av isolasjonen med minst $\frac{3}{4}$ av isolasjonen på utsiden av dampsperreren, dette skal hindre kondens og fare for fuktskader i konstruksjonen. For å tilfredsstille tetthetskravene på maks 0,6 i lekkasjetall i henhold til TEK 17 er det viktig at bygget tettes tilstrekkelig under bygningsarbeidet. U-verdikravet til yttervegger skal vær maksimalt 0,18 [W/m²K] eller ved omfordeling maks 0,22 [W/m²K], og må isoleres deretter [52].

Etasjeskilleren på trehus bygges vanligvis opp av bjelker i form av heltre, limtre eller I- bjelker plassert på c/c 600 mm som bærende bjelkelag med sponplater limt og skrudd på toppen. Dette danner et plattformgulv, og oppå dette bygges neste etasje slik som første med bunnsvill montert direkte på plattformgulvet. Det er her vanlig å føre vindforankringen fra stendere i annen etasje, gjennom bjelkelaget og ned til stendere i underetasjen. Slik oppnår man at vindforankringen går hele veien fra fundamentet og opp til takkonstruksjonen sammenhengende, ofte er forbigående lekter på ytterveggen nok til forankring av bjelkelag mellom første og andre etasje på mindre boliger [53]. Når det gjelder takkonstruksjoner er der mange typer å velge mellom. Her er det vanlig å bruke takstoler, taksperrer i heltre, limtre eller I-bjelker, alt etter hvilken takløsning man er ute etter. Boligene som det gjøres beregninger av i denne oppgaven har saltak med opplett, pulttak og dobbelt pulttak med taksperrer. Taksperrere monteres på toppsvillene til ytterveggene og om nødvendig innvendige bærevegger og- eller dragere i øverste etasje, og vindforankres ned til stenderne. Lekting og undertak bestemmes ut fra hvilken taktekking boligen skal ha [54]. De aktuelle boligene til denne oppgaven er prosjektert med 2 ulike typer taktekking (1.3.2 Design I: Giske). Alt av bærende konstruksjon beregnes ut ifra egenlast, nyttelast og lokale krav til vindlast, snølast og ulykkes last. Dokumentasjon og erklæringer på at boligen er innenfor lover og regelverk skal følge med boligene. Det utføres i tillegg uavhengige tredjepartskontroller under byggeperioden på eksempelvis våtrom og trykklekkasjetest på boliger. De strenge kravene er der for å sikre at alle boliger holder akseptable standarder [55].

2.6.2 Miljøprodukterklæring

En miljøprodukterklæring eller EPD er et dokument som transparent kommuniserer miljøytelsen eller påvirkningen til et produkt eller materiale over hele livssyklusen. Formålet med miljøpåstanden er å gi kvantitativ miljøinformasjon om levetiden til et produkt for å lettere gjøre miljøsammenligninger mellom produkter med samme funksjon. EPD har følgende karakteristikk:

- de gir miljøproduktinformasjon om hele livssyklusen til et produkt eller en tjeneste basert på en livssyklusvurdering (LCA) i samsvar med ISO 14040;
- de er basert på uavhengig og verifiserte systematiske data. Dette betyr at en tredjepart skal vurdere validiteten og kvaliteten på dataene med hensyn til den funksjonelle enheten og omfanget av den underliggende LCA-studien;
- de presenteres som et sett med indikatorer knyttet til ulike effektkategorier som beskriver miljøytelsen til produktet;

Det finnes mange forskjellige miljørapporteringsprogrammer rundt om i verden. De er alle basert på et sett med regler, kjent som Product Catalog Rules (PCR), som definerer spesifikke retningslinjer og krav for utvikling av LCA-studier; dette gir miljøindikatorer for ulike påvirkningskategorier.

2.6.3 BREEAM

Miljøsertifisering vil være en kritisk brikke i byggenæringens tilnærming til klimavennlige materialer og prosesser. BREEAM står for Building Research Establishment Environmental Assessment Method, og det brukes en norsk versjon som heter BREEAM-NOR. Denne versjonen av verktøyet for miljøsertifisering er Grønn Byggallianse som forvalter og eier. Tidligere var BREEAM-sertifiseringen bare en vurdering av byggematerialer, energiklasse og byggeprosessen. I en nyere sertifiseringsversjon, BREEAM-samfunn, kan det ses på utviklingen av helheten til området, altså med vektlegging av medvirkning, transport, areal, økologi og sosiale og økonomiske aspekt [18]. BREEAM har fem nivåer av klassifiseringer: Outstanding, Excellent, Very Good, Good og Pass. Formålet med BREEAM-NOR er å motivere aktører til å skape bærekraftige design og byggeprosjekt. Bruken av BREEAM er en effektiv måte å samordne aktørene i et byggeprosjekt. Bruken kan inspirere til bærekraftig prosjektering fra alle parter.

Verktøyet er utviklet for å gi byggenæringen en uavhengig tredjepart sertifisering når det kommer til vurdering av bærekraftytelsen til individuelle bygninger, lokalsamfunn og infrastrukturprosjekter. Vurdering og sertifisering kan skje på flere stadier av det bygde miljøets livssyklus, fra design og konstruksjon til drift og renovering. Når det gjelder BREEAM, involverer tredjepartssertifisering kontroll av upartiske eksperter og er en omfattende vurdering av en bygning eller et prosjekt av en kvalifisert og lisensiert BREEAM-evaluator for å sikre at prosjektet oppfyller ordningens kvalitets- og ytelsesstandarder. I kjernen av denne prosessen er et sertifiseringsorgan. Det vil si en organisasjon som er godkjent av myndighetene, gjennom et nasjonalt sertifiseringsorgan, for å sertifisere produkter, systemer og tjenester [18]. BREEAM-vurdering evaluerer anskaffelse, design, konstruksjon og drift av utviklingsprosjekter mot ytelsesreferanser for å oppnå flere mål. Den

fokuserer på bærekraftig verdi på tvers av kategorier: Energi, Arealbruk og Økologi, Vann, Helse og Velvære, Forurensing, Transport, Avfall og Ledelse.

2.7 Programvare

2.7.1 Archicad

Archicad er et BIM (byggningsinformasjonsmodell)-program, og blir regnet som det første programmeringsverktøyet i verden som startet med tegninger av 3D modeller med BIM informasjon [56]. Ved hjelp av BIMcloud er programmet godt egnet til godt og tett samarbeid mellom arkitekter og ingeniører selv om de ikke befinner seg i samme rom. Programmet kan brukes til å utvikle gode og kreative design av bygg og prosjekter i alle størrelser og omfang. Ved hjelp av 3D-modeller og gode rendering funksjoner kan man enkelt visualisere et prosjekt underveis og til slutt vise frem realistiske bilder av hvordan det ferdige produktet vil bli med alt av nødvendig informasjon [57].

2.7.2 Revit

Tegneprogrammet Revit er et godt BIM verktøy som er tilpasset ingeniører og arkitekter innen byggebransjen. Med gode designer muligheter er programmet godt egnet for 3D-visualisering og vanlige 2D-tegninger. Underveis kan man enkelt kjøre analyser og jobbe sammen med andre involverte i prosjektene. Gode rendering funksjoner gjør det enkelt å visualisere flotte og realistiske 3D modeller [58].

2.7.3 One Click LCA

One Click LCA er et nettbasert kalkulasjonsprogram som kan beregne hvilket klimaavtrykk og økonomiske kostnader prosjekter, produkter og porteføljer vil ha. Beregningene utføres ved å kjøre en livsløpsanalyse hvor man ser på utslipp av brukte produkter helt fra når de utvinnes, til de blir tatt i bruk, til de demonteres og kastes og til slutt håndtert som avfall. Programmet ble etablert i Finland i 2001, og var først ute med LCA og EPD programvare innen konstruksjon. Det blir brukt i over 100 land, og deres mål er å hjelpe byggebransjen med avkarbonisering [59]. Mer informasjon om beregning metoder i seksjon, 3.6 Bruk av OneClick LCA.

3. Metode

Gjennom neste del av oppgaven skal metoden presenteres. Metodene er de spesifikke verktøyene som blir brukt i samspill med prosedyrerene som brukes for å samle og analysere data. Metodene blir brukt for å avdekke ny informasjon som kan skape en bedre forståelse for temaet. For å produsere kunnskap, som senere skal valideres og verifiseres gjennom akademiske krav, er det behov for midler som gir muligheten til å gjennomføre forskningen. Det er ulike metoder som kan undersøke forskningsspørsmål og gi et svar på om det er akademisk og etisk forsvarlig å anta resultatet som troverdig. Det er ingen garanterte sannheter i vitenskapen, bare godt underbygde antagelser. Det er ofte snakk om enten en kvalitativ metode eller en kvantitativ metode. En kvalitativ metode vil si at metoden som rettes mot erfaring og meninger som ikke kan kvantifiseres [22]. Denne forskningsmetoden er basert på sanseinntrykk, tolkning i samspill med erfaring og synspunkt. Når det gjelder en kvantitativ metode tar denne forskningsmetoden for seg numerisk data som underbyggende bevis på forskningsspørsmålet. Dette gjør det lettere å verifisere dataen og gir resultatet en mer reproducerbar struktur. I denne oppgaven er kvantitativ forskningsmetode den mest praktiske og tilnærmelige metoden. Gjennom innsamling av data og bruk av andre studier med samme metode, kan det skapes et vitenskapelig perspektiv med god akademisk kvalitet.

3.2 Litteratursøk

Når en gjennomfører litteratursøk er det viktig at kildene gir resultat med høy akademisk kvalitet. Journalene og studiene er hovedsakelig hentet fra ScienceDirect, en av de største bibliografiske databasene for vitenskapelige publikasjoner. Denne verdensledende kilden til publikasjoner har et stort fokus på ingeniørfeltet [19]. Et viktig oppslagsverk har vært Google Scholar, en effektiv og systematisk søkemotor for publikasjoner. Det har blitt gjort forsøk i å bruke de nyeste utgitte publikasjonen på de forskjellige temaene. Dette er gjort for å sikre informasjon som ikke er i utakt med tiden og gir det mest moderne perspektivet mulig. Det har blitt brukt relevante aktørers offentlige informasjon om produkter og tjenester. Dette er gjort gjennom nettsider, fysiske dokument og brosjyre. Det har blitt tatt til betraktning at informasjonen kommer da fra en partisk kilde og har forsøkt å finne tilsvarende data gjennom fagfelleverderte forskningsartikler og studier. Det har blitt noe kontakt med noen aktører over epost hvor ekstra data på noen byggematerialer har blitt sendt.

Universitetsbiblioteket til NTNU har også blitt brukt for innsamling av informasjon brukt i oppgaven. Her er det hentet ut bøker relevant til temaet. Det har også blitt tatt i bruk Master- og

bacheloroppgaver. Her har det blitt forsøkt å bruke det mer som en tematisk opplysende kilde hvor det kan hentes inspirasjon om relevante kilder og studier som burde undersøkes.

I Oppgaven er det tatt i bruk flere standarder og lovverk. Innenfor lovverk har det blitt brukt plan og bygningsloven. Byggforskserien har også vært en viktig kilde for bruk av prosjektering- og materialstandarder. Det har blitt hentet mye inspirasjon fra Byggforskserien 222.210 (Miljøeffektiv programmering og prosjektering av bygninger). Her er god informasjon rundt dagens krav og anbefalinger. Gjennom denne serien finner man forurensningsloven, produktkontrollloven og andre relevante tema som miljømessige kravspesifikasjoner og miljøvurdering [20].

Når forskningsartiklene og studiene skal tas i bruk i oppgaven er det viktig at det stilles krav. Dette gjøres for å sikre akademisk kvalitet på de brukte kildene. For å oppnå dette har det blitt brukt en metode som heter T-O-N-E prinsippet, som står for troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet. Troverdighet angår hvem som er ansvarlig for den vitenskapelige artikkelen. Hvilken utdanning har forfatteren og er utdanningen relatert til det tematiske innholdet? Er artikkelen fagfellevurdert? Har forfatteren noen affiliasjoner som kan være negativ til forfatterens partiskhet? Slike spørsmål brukes for å sjekke troverdigheten til artikkelen. Objektivitet handler om hvordan data i journalen presenteres. Samsvarer dataen med tidligere forskningsartikler? Prøver forfatteren å overtale deg eller informere deg? Blir flere sider av saken belyst gjennom artikkelen? Disse spørsmålene hjelper oss å skape et realistisk bilde av hvor vidt forskningen kan brukes i samspill med annen forskning. Nøyaktighet handler om metodologien brukt i artikkelen. Er forskningsmetodene forklart på en tilgjengelig måte overfor leseren? Er dataen oppdatert? Kan du finne samme resultat i andre lignende forskningsartikler? Egnethet omhandler hvor godt artikkelens tema og resultat passer leserens behov. Er det relevant data i forhold til egen forskning? Kaster den nytt lys over egen problemstilling? Når disse spørsmålene er systematisk gjennomgått og besvart vil den leste forskningsartikkelen antas som verdifull for oppgaven eller upassende [23]

3.3 BIM og Materialkalkyler

Bygningsinformasjonsmodeller er et viktig verktøy når det kommer til å prosjektere bygninger. BIM har vært en digital revolusjon i byggeindustrien og fortsetter å sette den nye standarden for prosjektutførelse. Det har hovedsakelig blitt hentet ut informasjon fra allerede tegnet 3D tegninger, og systematisert informasjonen slik at det kan ses på byggematerialene i LCA-sammenheng. Bygningsinformasjonsmodellprogrammet Archicad gir brukeren muligheten til å prosjektere nye løsninger, utforske byggematerialets visuelle effekt på bygget og kalkulere nødvendig materialmengde i et tredimensjonalt perspektiv. Det har også blitt brukt todimensjonale

plantegninger for å kalkulere materialmengder sammen med generell datainnsamling. Kalkulasjonstegningene gir all informasjonen nødvendig fra alle kataloghusene som blir brukt i oppgaven. For å anskaffe høy kvalitet data til livssyklusanalysen har det blitt tatt i bruk materialkalkyler, altså lister med materialene, mengden og hvilke leverandører materialene leveres av. Det er gitt i form av et Excel-regneark for hvert kataloghus. Her ble det hentet ut informasjon som varenummer, varenavn, mengde og enhet. Etter anskaffelse og prosessering av materialdataen fra listene ble det gjort mengdeberegninger og modellering. Her ble det brukt forskjellige metoder basert på hvilke materialtyper det gjelder. Videre beregningsmetodene beskrives mer i detalj.

3.3.1 Mengdeberegning av materialer

Materialistene som er blitt brukt i forbindelse med beregning av klimagassutslipp viser mengder i form av m, lm, m³, m², stk., osv. For å kunne gjøre gode beregninger slik man ser hvor mye de ulike konstruksjonene forurenses er materialene fordelt under kategoriene, grunn og fundamenter, vertikale strukturer og fasade, horisontale strukturer som bjelker, gulv og tak og andre strukturer og materialer. Materialer tilhørende grunn og fundamenter ligger ikke inne i materialistene fra Byggmann, så her er det valgt ut passende systemer og gjort beregninger for betongmengder og armering. I forbindelse med grunn og fundament er det valgt å ta med 300mm tykk isolasjon av grunnen i form av Styropor levert av Vartdal Plast og Radonsperre fra Icopal, som begge ligger i systemet til One Click. Informasjon om takkonstruksjonen lå heller ikke inne i materialistene. Her ble det valgt ut taksperer i form av I-bjelker plassert på c/c 600 mm ut fra sperretabeller. Lekter er blitt fordelt ut over konstruksjonene ut fra aktuell senteravstand og antall meter. I forbindelse med forslag til omprosjektering fra opprinnelig bindingsverk til I-Bjelke bindingsverk er det blitt beregnet mengder ut fra Masonite sin tabell for treandel i lengdemeter pr. kvadratmeter vegg, samt ut fra målinger i modellert I-bjelkemodell av boligen Tafjord (Figur 9 Designet i Revit 2022).

3.3.2 Betongberegning

Betongmengder til boligene følger ikke med materialistene fra Byggmann. Ut fra tegninger av snittet har det blitt valgt nærmest identiske løsninger til oppbyggingen av fundament, ringmurer og bunnplate. Valget falt på ferdig isolerte ringmurselementer og soleblokker fra Vartdal Plast. Beregningen av betongmengde til disse systemene er enkelt da det oppgis antall liter betong pr. løpemeter med elementer. De utvalgte ringmurselementene er Vartdal Ringmur VRS41 450 mm, og de tar 53 liter pr. løpemeter, soleblokkene er av typen Vartdal Soleblokk VSE26 260 mm og tar 68 liter pr. løpemeter [60]. Til støttemuren på huset Giske er det ut ifra plantegninger målt tykkelse på

betongveggen og isolasjonen. Målene tilsvarer målene på Vartdal Plasts ferdig isolerte Veggssystem 350, så da falt valget på det. Her er mengden betong regnet ut fra antall liter betong pr. m² med vegg, som er oppgitt til 160 L/m² av Vartdal Plast [61]. Betongmengden til grunnplatene på boligene er beregnet ut fra antall m², dette er blitt målt opp i fundamentplantegninger på Archicad og beregnet med 100 mm tykkelse på platen.

3.3.3 Beregning av armering

Armeringen av Veggsystemet, ringmurselementene og soleblokkene er beregnet ut fra anbefalingene til Vartdal Plast og krav som tilfredsstillende teknisk godkjenning fra Sintef. Veggsystemet armeres i forhold til vegger med opptil 6 meters spenn mellom avstivende vegger. Veggens armeres horisontalt med 2 stk. Ø10 mm plassert på c/c 300 mm de første 2 sjiktene, ett sjikt tilsvarer 600 mm høyde noe som tilsvarer 4 stk. Ø10 mm per element i lengderetning. Videre fra sjikt nr. 3 er kravet 2 stk. Ø10 mm pr. 600 mm, og til slutt skal øverste sjikt som da blir nr. 5 på støttemuren til Giske (Ca. 3 meter høy) armeres med 2 stk. Ø 10 mm med c/c 300 mm. I tillegg til den horisontale armringen er det nødvendig med vertikale armeringer som forankres til fundamentet. Kravet her er Ø 10 mm med c/c 250 mm på veggens ytterside, stengene skal gå minst 500 mm ned i fundamenteringen og minst 1000 mm over toppen av innvendig gulvplan. Fundamentene er ikke 500 mm dype så derfor knekkes armeringen og ligger som en vinkel med horisontal ende i fundament. I hvert hjørne bendes armering i 90° vinkel som går minst 750 mm begge veier. NS 3576 og NS-EN 10025 setter krav om kamstålstenger med merkingen B500NC [62]. Med kamstål av samme kvalitet armeres soleblokkene armeres med 2 stk. Ø 12 mm i toppen. Ringmurselementene armeres med 2 stk. Ø 12 mm i bunnen og 2 stk. Ø 12 mm i toppen [39a]. Til armering i støpte plater mot grunn er det valgt ut armeringsnett på 2000 mm x 5000 mm med Ø6 mm og masker på 150 mm.

3.3.4 Modellering av I-Bjelkemodell

I forbindelse med forslag til omprosjektering til I-Bjelke som bindingsverk ble det modellert opp en 3D- modell i tegneprogrammet Revit. Her ble det tegnet ut ifra mål i plantegninger og snitt levert fra Byggmann. Først ble alle de aktuelle plan det skulle tegnes på satt opp ut ifra riktige høyder tatt ut fra snitt. Så ble tegnet opp Grids ut fra utvendige mål til Bindingsverket, samt grids på c/c 600 mm. Tafjords symmetriske utforming forenklet tegneprosessen mye da man kunne tegne opp en vegg med stendere og sviller å kopiere videre til de andre veggene av samme type ved hjelp av verktøyet «Mirror – Pick Axis». Stendere, bjelker og sperrer ble plassert ut på grids tegnet med c/c

600 mm ved hjelp av verktøyet «At Grid Intersection». Vinkelen på sperrene ble justert ved å justere «Start Level Offset» og «End Level Offset». Til slutt ble det gått over og satt inn utsparinger til vinduer og dører.

3.4 Klimagassberegning

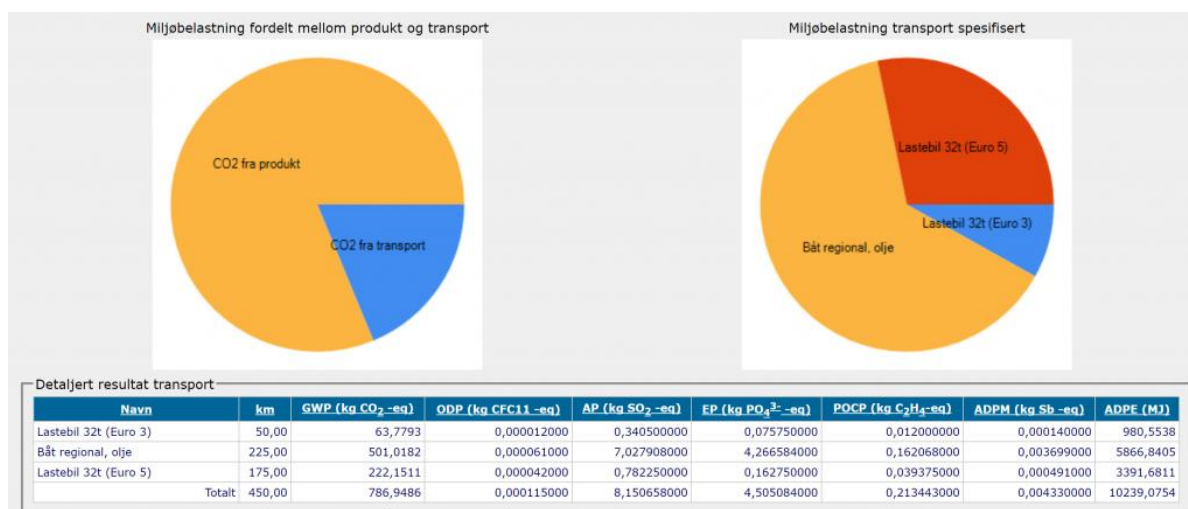
Innsamlingsmetoden for materialmengdene kom hovedsakelig fra kalkylene utdelt av Byggmann. Gjennom disse kalkylene ble det hentet ut type, mengde, leverandør og hvor mange enheter. Dette formatet ga oss rikelig med produktinformasjon, men selve mengden trengte mer detaljprosessering. Ut ifra plantegningene kunne nøyaktige mål beregnes i forhold til materialmengde. For å kunne beregne materialmengden på best mulig måte måtte først plantegningene analyseres for så å samspilles med fasadetegningene og snitt-tegningene av boligen. Tegningene ga en større forståelse for hvordan konstruksjonen er bygget opp og hvilke bygningsdeler den består av. Betongmengden var ikke oppgitt i kalkylene og måtte derfor bare tas ut fra plantegningene av fundamentet. Her har det blitt tatt noen antagelser som ikke vil spille stor forskjell i resultatet. Armeringsmengden og armeringstypen var ikke tilstrekkelig med informasjon om og er vurdert ut ifra minstekrav gitt av Byggforskserien. Mengde festemidler brukt til Massivtreelementer følger leverandørens krav. Når det kommer til materialtyper som festemidler og skruer har Oneclick en standardberegning.

Byggematerialene har EPDer som gir nøyaktig informasjon om klimagasseffekten til produktet. Deklarasjonene er hentet fra leverandørene gjennom nettsider og epost. I disse deklarasjonene oppgis en deklart enhet. For å beregne det totale utslippet i forhold til byggematerialets EPD må materialkalkylene konvertere sine enheter til samme deklart enhet oppgitt av materialprodusenten. Etter det vil det være mulig å gange materialets mengde med materialets deklarte utslipp. Dette er en prosess gjort på leverandører som ikke var tilgjengelig i OneClick sitt interne materialbibliotek.

3.5 Transportberegning

For å beregne distansen materialer er transportert og det tilhørende utslippet har deklarasjonene (EPD) blitt brukt. Deklarasjonene inneholder data relatert til transportaktiviteter. Videre kan informasjonen brukes til å i klimaregnskapet gjennom å kalkulere et totalt utslipp ut ifra en transportkalkulator. Denne transportkalkulatoren er basert på EPD og beregner den potensielle miljøpåvirkningen linket til byggevaretransport. Østfoldforskning i samspill med LCA.no har blitt tildelt oppdraget, fra byggevareindustrien og EPD-Norge, å lage en forenklet versjon av EPD-

transportkalkulatoren. Denne versjonen skal være spesifisert til den norske byggenæringen. Denne kalkulatoren gir deg mulighet til å beregne transportutslipp basert på oppgitt utslipp i EPDer, men også når miljøbelastningen ikke er oppført i deklarasjonen.



Figur 8 Diagram hentet fra Transportøkonomisk institutt, TØI rapport 1321/2014

I tabellen over er det tydeliggjort at CO₂ fra transport er en stor del av det helhetlige utslippet. I kakediagrammet til venstre ser man at den største mengden utslipp stammer fra regional båttransport og olje, mens en betydelig andel kommer fra lastebil. Dette er et eksempel på beregningsformen som er tatt i bruk ved mangel på deklarasjonsdata allerede tilgjengelig i OneClick. Miljøpåvirkningen og den modellerte dataen brukt i kalkulatoren kommer fra Østfoldforskning og Ecoinvent [21]. Transportkalkulatoren er basert på gjennomsnittlig data, noe som skaper usikkerhet i nøyaktigheten til resultatet. Transport med lastebil kan ha store variasjoner med tanke på kjøremønster, værforhold, transportrute osv. Dette er ikke tatt i betraktning utenfor transportkalkulatoren sine innebygde hensyn. Gjennom deklarasjonene er det regnet ut et gjennomsnittlig utslipp når det kommer til transport. Det er derfor ikke relatert til en spesifikk arbeidsplass, men en generell byggeplass for å simplifisere resultatet slik at det kan relateres til alle videre bygginger av konstruksjonene.

3.6 Bruk av OneClick LCA

Kvalitet og nøyaktighet av livssyklusvurderinger er avhengig av kvalitet og nøyaktighet av inputdata, LCA-data og den underliggende LCA-metoden. Kvaliteten og nøyaktigheten av inputdata er hovedsakelig brukerens ansvar som utfører vurderingen [24]. For å hjelpe brukeren med god kvalitet inputdata har OneClick to verktøy. Det første verktøyet er Plausibilitetssjekker, som sjekker byggematerialedataen sin plausibilitet. Det andre verktøyet er fullstendighetssjekker. Dette verktøyet sjekker om de nødvendige elementene er på plass for de gjeldende standardene eller sertifiseringene. Med OneClick er selve metoden innkapslet i LCA-verktøyet. Gjennom denne plattformen er det mulighet til å bruke over hundre verktøy for kalkulering av miljøeffekt i forhold til forskjellige standarder og sertifiseringer. Hvert individuelle verktøy stiller uavhengig av kravene til LCA-dataen som kan brukes, modelleringsomfanget, livssyklusmodulene som brukes i beregningen og formatet resultatet presenteres i. One Click LCA-plattformen gir følgende typer markedsbaserte LCA-data:

Tabell 5 Type LCA data (OneClick LCA)

Type LCA-data	Hva det betyr	Eksempel
1. Offentlig EPD data	Enhver EPD publisert hvor som helst i verden som har passende data for byggesektoren	Alle globale EPD-programmer med konstruksjonsdata
2. Offentlig LCA data	Eventuelle LCA-data publisert hvor som helst i verden som er egnet for konstruksjonsbruk	ICE og EPiC databaser
3. OneClick LCA Generisk data for materialer	Generiske LCA-data for nøkkelmateriale. Kan enten være landsspesifikke eller globale. Alle globale data tilpasses automatisk for å representere bedre lokal produksjon.	One Click LCA sine Generiske materialprofiler
4. OneClick LCA Generisk data for prosesser	Generiske LCA-data for energi og prosesser. Energidata er landsspesifikke eller mer detaljerte. Prosesser er globale eller regionale.	One Click LCA sine Generiske energiprofiler

Generelle LCA-datakrav i henhold til EN 15804 er at de underliggende dataene skal være konsistente, reproducerbare og sammenlignbare. Det vil også være viktig at dataen har blitt

kontrollert for plausibilitet og samsvarer med reglene i EN 15804 [25]. UNs globale veiledning for LCA-databaseutvikling har satt noen kriterier slik at LCA dataen skal være representativt basert på

- **Geografisk** representativitet, hvor veldig godt nivå definert som «data fra samme område som forskningen»
- **Teknisk** representativitet, hvor veldig godt nivå definert som «Data fra prosesser og produkt brukt i studien. Samme tilstand av teknologi som definert i mål og omfang»
- **Tids** representativitet, hvor veldig godt nivå definert som «mindre enn tre år forskjell mellom referanse år og tidsperioden dataen kommer fra»

Generelt er nøyaktigheten av LCA-data høyere når man flytter fra et generisk datasett til en produsentgjennomsnittdata, eller når man går fra et produsentgjennomsnitt til en produktspesifikk data. De veiledende prinsippene for LCA-data sikter på å skape konsistent kvalitet på dataen.

Tabell 6 OneClick prinsipp (OneClick LCA)

Prinsipp	Betydning
Tilgjengelighet	Det blir gjennomgått og integrert all offentlig og tilgjengelig LCA-data for sektorene OneClick støtter.
Plausibilitet (EN 15978)	Alle markedsbaserte LCA-data må tilfredsstillende retningslinjene til OneClick for å bli inkludert.
Konsistens (EN 15978)	Hvis data inkluderer biogent karbonlagring, homogeniseres de for å sikre konsistens i beregningene
Representativitet (UNs veiledning)	Alle data er omfattende klassifisert etter geografisk og tidsrepresentativitet. Dataene er dokumentert basert på tilgjengelig informasjon for teknologisk representativitet

Det er for tiden et problem at mange dokumenter hevder å være EPD-er som ikke oppfyller kravene til EPD-er. Dette er tatt til betraktning og sikret gjennom direkte uthenting av EPDer fra leverandører. Det er viktig at deklarasjonen samsvarer med ISO 14025: Miljømerker og -deklarasjoner (Type III miljødeklarasjoner. Prinsipper og prosedyrer-standard.)

4. Omprosjektering

I denne delen skal oppgavens forslag til omprosjektering og materialutbytte presenteres. Alternative løsninger skal fremlegges for analyse, og de forskjellige kataloghusene sammenlignes i forskjellige aspekt.

4.1 Avgrensning

Det er viktig at byggets pragmatiske funksjon blir vedlikeholdt og materialutbytte er realistisk i forhold til hva det norske markedet kan tilby og godkjenne. Materialtyper og løsninger må følge norske forskrifter og krav til kvalitet. Når det kommer til betongutregningene er det tatt noen antagelser når det kommer til mengde, betongtype og armering. Utregningene og sluttresultatet er basert på norske standarder og krav. Materialkalkylene inneholdte ikke nøyaktig betongtype og beregnet mengde. Beregningene er basert på plantegninger og BIM. Det er noen mengder betong på badetrom, men det er ikke tatt med i betongberegningene. Det er ikke undersøkt andre betongløsninger enn lavkarbonbetong.

Endringene på prosjektering er gjort i hensikt med å forbedre klimagassutslipp. I lys av forbedret klimagassutslipp kan konsekvensene være økonomiske og logistikkbaserte. Det er ikke tatt i betraktning at klimagassreduksjonen kan føre til betydelige økonomiske konsekvenser. Men omprosjekteringene er reelle løsninger som er mulig å utføre. Når det kommer til logistikkbaserte konsekvenser finnes det eksempel på at når det kommer til betongutbytte, på grunn av mangel på tilgjengelige produsenter av lavkarbonbetong. Det er også gjort antagelser på transportdistanser av materialene. OneClick har generiske data på transport, men nøyaktig distanse mellom fabrikk til byggeplass er vanskelig finne ut når det er mangel på materialenes transportrute og en adresse til byggeplassen. Når det kommer til transportløsning er det viktig å punktere at EPDer på de originale produktene mangler. Det er noen få produktleverandører fra materialkalkylene som gir tilstrekkelig med data, men det er ikke mulig å lage nøyaktig reiseberegninger.

4.2 Betongløsning

Den originale løsningen til bygningene er et tradisjonelt fundament med bruk av en B30/M60 betongtype. Ringmuren og betongplaten er også konstruert med samme betongtype. EPDen til Unicon er brukt til å beregne klimaeffekt og forventet utslipp i forhold til kubikkmeter med betong. I tabellen under kan man se forskjellene, når det kommer til betong mengder, på husene. Denne mengdedataen fordeles videre i tre kategorier: Betong til fundament, betong til ringmur og betong til plate.

Tabell 7 Betong, Original løsning (Tall hentet fra OneClick LCA)

Original løsning			
	Giske (m ³)	Tafjord (m ³)	Faro (m ³)
Betong til fundament (B30/M60)	2,723	2,315	4,009
Betong til ringmur (B30/M60)	1,168	2,970	3,124
Betong til plate (B30/M60)	8,352	10,086	13,660
Betong til støttemur (B30/M60)	8.35	0	0

For å redusere karbonutslippet til materialkategorien har det blitt byttet ut betongtype. De nye løsningene tar i bruk lavkarbonklasse A og Lavkarbonklasse Pluss, som begge er B30/M60 kvalitet. Betongen er levert av Unicon. Unicon har godt gjennomførte EPDer og er godkjent for bruk i OneClick. Disse betongtypene skal brukes til å erstatte nåværende betongtype på ringmur, fundament og betongplate, og måles opp mot hverandre. Materialene brukt er ansett som norsk lavkarbonbetong egnet for det regionale klimaet.

4.3 Utbytte av konstruksjonsvirke til I-bjelkeløsning

Bruk av konstruksjonsvirke i bygninger er allerede en svært miljøvennlig løsning. Eneste reelle måten å redusere klimapåkjeningen til trematerialer på er å redusere mengden brukt. I et forsøk på å redusere mengden konstruksjonsvirke, ble mye av konstruksjonen omprosjektert ved hjelp av I-bjelker (Figur 9 Designet i Revit 2022). Ifølge Masonite skal utbytte til I-Bjelker føre til en reduksjon i forbruket av trevirke. Det vil si 40-65% mindre trevirke enn om det ble brukt heltre. Ved å bytte ut det ordinære bindingsverket av heltre med I-Bjelke stendere vil man kunne redusere materialbruken og egenvekten til bygget. Dette vil kunne føre til besparelser på miljøet når det kommer til transport, montering og fundamentering, så sant produksjonen er ren og bærekraftig. U-verdien til bygg med I-Bjelke stendere vil bli noe mindre enn heltre, noe som kan redusere fremtidig energibruk på boliger. Ved bygging av boliger med passivhus standard kan man enkelt oppnå ønskelig tykkelse på veggene. Utbyggingen kan gjøres enkelt uten større endringer på konstruksjonen da oppbyggingen blir den samme. Rent trevirke i seg selv er som sagt svært miljøvennlig som byggemateriale, noe som gjør det vanskelig å finne mer miljøvennlige materialer og erstatte det med. Biogent karbonlagring vil reduseres om man reduserer mengden av trevirke, men tanken her er å se hvilke utslipp I-Bjelkene gir i forhold til heltre, og hvilke besparelser av utslipp man kan oppnå under transport. I forbindelse med utbytte av konstruksjonsvirke til I-Bjelkeløsningen ble det modellert en 3D-modell i Revit som viser oppbyggingen av eneboligen Tafjord med I-bjelker som vist i bildet under (3.3.4

Modellering av I-Bjelmekonstruksjon). Tegnet ut fra 3D-modellert enebolig fra Masonite funnet på nettsiden «Bimobject» [64].



Figur 9 Designet i Revit 2022

4.4 Transportløsning

I analysen av transport er det tatt i bruk generisk utregnet data på transportdistanser, oppgitt i kilometer. Den generiske dataen er hentet fra relevante EPDer og generisk data basert på den norske byggenæringen. Transportavstand avgjør hvor langt produktet transporteres fra produksjon til byggeplass. Standardverdiene for avstand og transportmetode er basert på regionale typiske verdier for produkttypen. Det er mulig å oppdatere transportavstander og metode manuelt, men på grunn av manglende data til materialene funnet i materialistene er det brukt standardverdier. Dette er også gjort på grunn av mangel på adresse til byggeplass. Alle transportberegninger ekskluderer tomme returer, fordi de antas å tjene annen bruk. Beregningene ekskluderer også transportinfrastruktur. Transport sin påvirkning på klimaet er regnskapsført i A4-delen av livssyklusen. Klimapåvirkningen kan også regnskapsføres i A5, om transporten er brukt under konstruksjonen eller installasjonen. I figuren under kan du se de forskjellige transportavstandene brukt. For å gjøre listen oversiktlig og kortfattet har elementene i listen med samme bygningsdel og transportavstand blitt samlet under samme. Det er noen utstikkere med spesifikke transportavstander. Disse materialene dette angår er oppført med bygningsdel og materialtype. Transportmetode er også oppgitt basert på tradisjonell og praktisk bruk.

Tabell 8 Generell transportavstand (Tall hentet fra OneClick LCA)

Generell Transportavstand		
Bygningsdel	Transportmetode	Transportavstand
Grunn og fundament	Betongbil, omtrent 8m ³ , 100% fyllingsrate	70 km
Grunn og fundament	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	110 km
Grunn og fundament <i>Styropor til isolering av plate mot grunn</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	180 km
Vertikale strukturer og fasade	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	130 km
Vertikale strukturer og fasade <i>GLAVA til innervegg, yttervegg og påføring</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	70 km
Vertikale strukturer og fasade <i>Dampsperre</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	110 km
Horisontale strukturer	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	130 km
Horisontale strukturer <i>Produkt fra GLAVA</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	70 km
Horisontale strukturer <i>Stålbjelke, takpanne og dampsperre</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	110 km
Andre strukturer og materialer <i>Vindu, skyvedør og ytterdør</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	60 km
Andre strukturer og materialer <i>Innerdører</i>	Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	130 km

Basert på LCA-dataen og materialene lagt inn i OneClick er det gjort utregninger av den totale transportavstanden og et nøyaktig utslipp er funnet. Resultatet gjelder for det totale utslippet som kommer av transport av materialer til byggeplassen. Dette dekker miljøpåvirkninger til et produkt fra fabrikken til byggeplassen i relasjon med transport. Transportkjøretøyet sin retur fra byggeplassen er ikke tatt med i beregningen. Dette er fordi det antas at returen blir brukt til en annen hensikt, irrelevant til dette prosjektet.

Tabell 9 Total utslipp fra transport til byggeplass (Tall hentet fra OneClick LCA)

Total utslipp fra transport til byggeplass (A4)		
	Transportmetode	Utslipp, CO ₂
Giske	Betongbil, Trailer	566 kg
Tafjord	Betongbil, Trailer	476 kg
Faro	Betongbil, Trailer	629 kg

5. Resultat

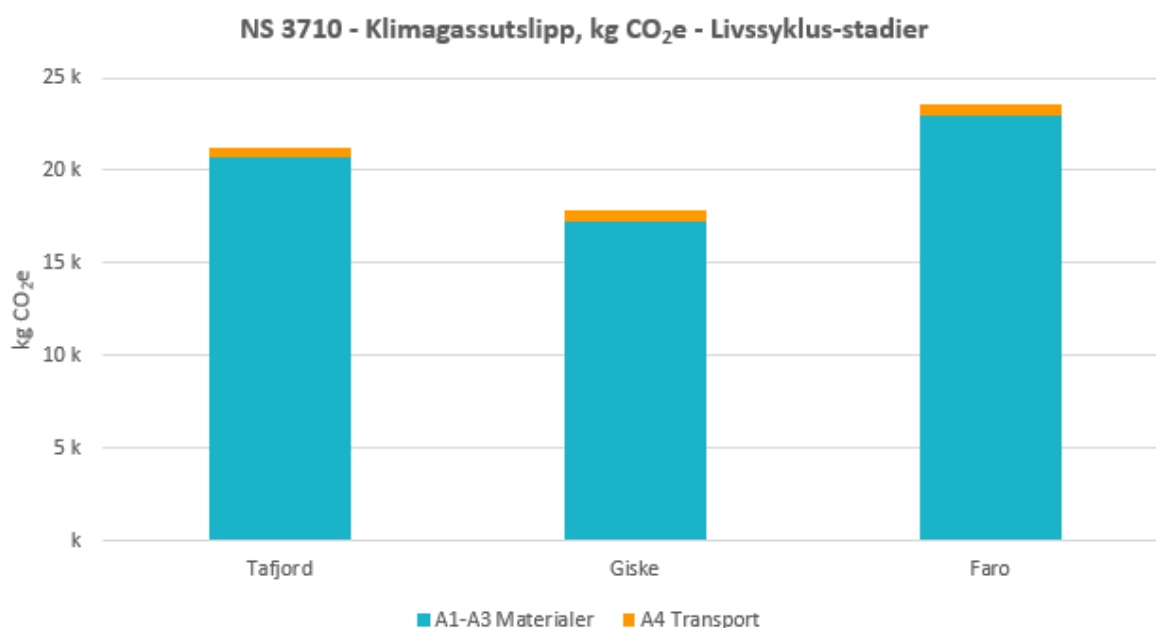
Denne seksjonen presenterer resultatene fra livssyklusanalysen. Først, vil livssyklusanalyseresultatet fra den originale løsningen bli presentert med bruk av relevante datafremstillinger. I første del vil den totale forskjellen på bygningene fremlegges. Etter det skal utslippsforskjellene til bygningene, i forhold til bygningsdel og klassifikasjon, fremlegges. Til slutt, i den første delen, skal de materialene med størst utslippsinnflytelse fremlegges og sammenlignes. Videre skal resultatene fra karbonlagringen presenteres. I neste del skal resultatet fra omprosjekteringene fremlegges. Her starter det med betongløsningen, også videre til I-bjelkeløsningen. Til slutt skal endringene relatert til transport presenteres.

5.1 Livssyklusanalyseresultatet

Resultatet for den originale løsningen er basert på materialkalkylene utdelt av Byggmann. Dataen fra kalkylene er prosessert, og materialmengder er beregnet ved hjelp av materialberegningmetoder. På grunn av materialkalkylenes format og datafremstilling har det blitt gjort noen antagelser på materialmengder og generell materialbruk. OneClick LCA har en fullstendighet og plausibilitetskontroll som gir en totalvurdering over prosjektet, som går fra A til D. Resultatet på denne kontrollen gjenspeiler plausibilitet for 185.6 m², 208.4 m² og 258.7 m² prosjekt av typen nybygg med rammetype treramme, og et omfang bestående av fundament og substrukturer, stenderverk og kledning, innervegger og interiørmaterialer. Resultatet er en indikasjon på plausibiliteten og det er da viktig å punktere at avvik kan forekomme. Prosjektet som helhet fikk en totalvurdering med karakter A.

Diagrammet under viser en fremstilling av det totale utslippet til bygningene over livssyklusstadiene A1 til A4. Det vil si at dette bare viser utslippet for materialproduksjon og transport til byggeplass. Det blå representerer utslippet fra A1 til A3, og det oransje representerer utslippet fra A4. Her er det tydelig at det er markante forskjeller på de tre bygningene. Det er tydelig at størrelsen på byggene og utslippsmengden korrelerer. Utslippet fra A4 er relativt likt hos alle bygningene, men uansett om det totale utslippet til Giske er det laveste, er utslippet fra transporten av materiale til byggeplass høyere enn Tafjord. Dette kommer av at det brukes mer betong i Giske, i forhold til Tafjord.

Tabell 10 Klimagassutslipp, kg CO₂e – Livssyklusstadier (Tall hentet fra OneClick LCA)



I tabellen under er det totale klimagassutslippet, i forhold til kg CO₂, presentert og fordelt i kategoriene materialer og transport. Ut ifra dataen kan det antas at «fra vugge til dør» utgjør et totalt utslipp på 17830 kg CO₂ for Giske, 21187 kg CO₂ for Tafjord og 23578 kg CO₂ for Faro. For Giske, som er en bolig på 185.6 m² BTA, vil det si 96 kg CO₂ per kvadratmeter BTA. For Tafjord, som er en bolig på 208.4 m² BTA, vil det si 102 kg CO₂ per kvadratmeter BTA. For Faro, som er en bolig på 258.7 m² BTA, vil det si 91 kg CO₂ per kvadratmeter BTA. Basert på resultatet er Giske den boligen med høyest utslipp per kvadratmeter.

Tabell 11 Totalt klimagassutslipp (Tall hentet fra OneClick LCA)

Totalt klimagassutslipp, kg CO ₂			
	A1 – A3 Materialer	A4 Transport	Total
Giske	17 264	566	17 830
Tafjord	20 711	476	21 187
Faro	22 949	629	23 578

Tabellen under viser hvor mye utslipp som kommer fra hver bygningsdel, klassifisert i fire kategorier. Her er det tydelig at utslippsandelen for grunn og fundament holder seg relativt likt hos alle bygningene

Tabell 12 Klimagassutslipp, Klassifikasjoner (Tall hentet fra OneClick LCA)

klimagassutslipp, Klassifikasjoner, tonn CO₂e					
	Grunn og fundament	Vertikale strukturer og fasade	Horisontale strukturer	Andre strukturer	Total
Giske	37%	26%	22%	15%	100%
Tafjord	27%	24%	33%	16%	100%
Faro	33%	27%	25%	15%	100%

Avslutningsvis i denne delen skal de mest medvirkende materialene fremlegges gjennom tabellen under. Det er tydelig at betongmaterialet er det mest forurensende. Betongen fra Unicon, som er brukt i livsløpsanalysen, er en av de mer miljøvennlige betongproduktene tilgjengelig i Norge, om det blir sett bort i fra lavkarbonbetong. I lys av det er betong fortsatt det mest medvirkende materialet. Nummer to er vindu, noe som har med kvantiteten av vindu og den komplekse produksjonen av byggevaren. Videre er det sponplater, EPS-panel og isolasjonen. Når det kommer til de tre nederste på listen, ble det sett på muligheten til å bytte de ut med mer miljøvennlige alternativ. På grunn av OneClick sine limiterte alternativ ble det ikke funnet noen bedre alternativ. Det var noen materialer tilgjengelig, men de møtte ikke norske minstekrav til den relevante bruken.

Tabell 13 Mest medvirkende materialer, Giske (Tall hentet fra OneClick LCA)

Giske, Mest medvirkende materialer (klimagassutslipp)			
No.	Ressurs	Påvirkning fra A1-A3	Vugge til port (A1-A3)
1	B30M60 - UN53A-B000	4,8 tonn CO ₂ e	27.6 %
2	Vindu, 3-lags, treramme	1,9 tonn CO ₂ e	11.1 %
3	Forestia Sponplater	1,5 tonn CO ₂ e	8.8 %
4	EPS isolasjonspaneler	1,1 tonn CO ₂ e	6.2 %
5	Glava glassull	1 tonn CO ₂ e	5.8 %

Tabell 14 Mest medvirkende materialer, Taffjord (Tall hentet fra OneClick LCA)

Taffjord, Mest medvirkende materialer (klimagassutslipp)			
No	Ressurs	Påvirkning fra A1-A3	Vugge til port (A1-A3)
1	B30M60 - UN53A-B000	3,7 tonn CO ₂ e	17,7 %
2	Lightweight steel roofing tiles, coated	2,7 tonn CO ₂ e	13 %
3	Vindu, 3-lags, treramme	2,5 tonn CO ₂ e	12,2 %
4	Forestia Sponplater	1,7 tonn CO ₂ e	8,2 %
5	EPS isolasjonspaneler	1,4 tonn CO ₂ e	6,7 %

Tabell 15 Mest medvirkende materialer, Faro (Tall hentet fra OneClick LCA)

Faro, Mest medvirkende materialer (klimagassutslipp)			
No	Ressurs	Påvirkning fra A1-A3	Vugge til port (A1-A3)
1	B30M60 - UN53A-B000	4,9 tonn CO ₂ e	21,6 %
2	Vindu, 3-lags, treramme	2,6 tonn CO ₂ e	11,4 %
3	EPS isolasjonspaneler	1,9 tonn CO ₂ e	8,2 %
4	Forestia Sponplater	1,8 tonn CO ₂ e	8 %
5	Sponplater, Ekstra (Forestia)	1,5 tonn CO ₂ e	6,4 %

5.2 Karbonlagring

Som nevnt tidligere i oppgaven, er biogent karbonlagring en essensiell del av bygningers miljøpåvirkning. Gjennom riktig materialbruk kan klimapåvirkningen til konstruksjonen, i fase A1-A3, være på den negative siden, altså konstruksjonen lagrer mer CO₂ enn den produserer. I tabellen under fremlegges andelen karbonlagring fordelt på klassifikasjoner. Grunn og fundament har ingen karbonlagring på grunn av betong og stål ikke lagrer biogent karbon. Dette gjør materialene ekstra

miljøskadelig. Når det kommer til vertikale og horisontale strukturer, er karbonlagringen betydelig stor. Dette kommer av bruken av trevirke. Andre strukturer har karbonlagring på grunn av vinduskarmene som er laget av tre. Alle tre bygningene har en midlertidig positiv klimapåvirkning ved å lagre mer karbon enn den produserer i fasene A1-A3.

Tabell 16 Biogent Karbonlagring (Tall hentet fra OneClick LCA)

Biogent Karbonlagring, kg CO₂e Bio					
	Grunn og fundament	Vertikale strukturer og fasade	Horisontale strukturer	Andre strukturer	Total
Giske	0%	63,68%	32,7%	3,62%	100%
Tafjord	0%	63,76%	32,9%	3,34%	100%
Faro	0%	63,81%	32,79%	3,4%	100%

Tabellen under viser den totale karbonlagringen sammenlignet med klimagassutslippet i fasene A1 til A3. Dataen viser til at det er mer biogent karbonlagring enn utslipp i denne fasen.

Karbonlagringen er en midlertidig lagring og klimagassutslippet er permanent, så i teorien er utslippet fortsatt betydelig, men det er en midlertidig reduksjon av CO₂ i atmosfæren. Om det ses på hele livssyklusen til konstruksjonen, vil det bli sett at det totale utslippet overgår karbonlagringen med en betydelig mengde.

Tabell 17 Totalt biogent karbonlagring (Tall hentet fra OneClick LCA)

Totalt Biogent Karbonlagring, kg CO₂		
	Biogent karbonlagring	Klimagassutslipp (A1-A3)
Giske	34 400	17 264
Tafjord	38 037	20 711
Faro	45 042	22 949

5.3 Betong

I tabellen under fremlegges det totale utslippet i forhold til prosjekt, betongtype, leverandør, mengde og utslipp. Resultatet er kalkulert ved hjelp av OneClick LCA. Beregningene er gjort med bruk av Unicon sine EPDer. Det er tydelig at reduksjonen i klimautslipp er betydelig når det byttes ut fra original betongtype til lavkarbonklassene. Det er markant forskjell på lavkarbonklasse A og Pluss. Lavkarbonklasse A reduserer utslippet med gjennomsnittlig 18,76 prosent. Lavkarbonklasse Pluss reduserer utslippet med gjennomsnittlig 38,78 prosent. Det burde vært åpenbart å gå for lavkarbonklasse pluss, men det er ulemper som gjør valget litt mer komplisert. Dette diskuteres i siste del av oppgaven.

Tabell 18 Utslipp, Betong (Tall hentet fra OneClick LCA)

Utslipp, Betong, kg CO ₂ e				
	Betongtype	Leverandør	Mengde	Utslipp, reduksjon
Giske	Original løsning	Unicon	20,043 m ³	4 770 kg CO ₂ (0%)
	Lavkarbonklasse A	Unicon	20,043 m ³	3 875 kg CO ₂ (-18,76%)
	Lavkarbonklasse Pluss	Unicon	20,043 m ³	2 922 kg CO ₂ (-38,74%)
Tafjord	Original løsning	Unicon	15,371 m ³	3 658 kg CO ₂ (0%)
	Lavkarbonklasse A	Unicon	15,371 m ³	2 972 kg CO ₂ (-18,75%)
	Lavkarbonklasse Pluss	Unicon	15,371 m ³	2 241 kg CO ₂ (-38,74%)
Faro	Original løsning	Unicon	20,793 m ³	4 949 kg CO ₂ (0%)
	Lavkarbonklasse A	Unicon	20,793 m ³	4 020 kg CO ₂ (-18,77%)
	Lavkarbonklasse Pluss	Unicon	20,793 m ³	3 030 kg CO ₂ (-38,78%)

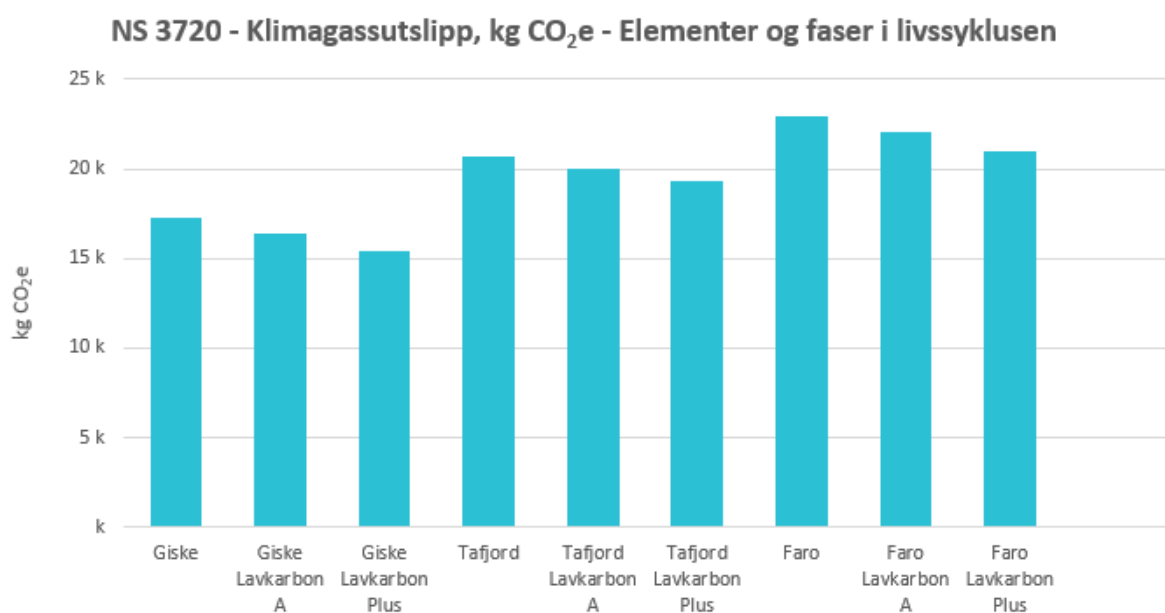
Grafen under viser klimagassutslippet i forhold til bruttoareal av bygningen. Her sammenlignes de tre bygningene, som videre fordeles i original betongtype, lavkarbonklasse A og lavkarbonklasse Pluss. Resultatet er funnet ved å dele totalt utslipp fra betongtypen med bruttoareal. Her tydeliggjøres det at Giske har relativt høyt utslipp i forhold til bruttoareal. Tafjord og Faro har likere resultat.

Tabell 19 Klimagassutslipp per BTA (Tall hentet fra OneClick LCA)

Klimagassutslipp per kvadratmeter BTA				
	BTA (Bruttoareal)	Original løsning (utslipp per m ²)	Lavkarbonklasse A (utslipp per m ²)	Lavkarbonklasse Pluss (utslipp per m ²)
Giske	185,6 m ²	25,7	20,9	15,7
Tafjord	208,4 m ²	17,6	14,3	10,8
Faro	258,7 m ²	19,1	15,5	11,7

I grafen under er resultatet for det totale utslipp under A1 til A3, der det bare er inkludert elementkategorien for grunn og fundament.

Tabell 20 Klimagassutslipp, NS 3720 - Klimagassutslipp, kg CO₂e – Grunn og fundament (Tall hentet fra OneClick)



5.4 Transport

Transporten av materialene til boligen utgjør i snitt rundt 2,7 % av de totale utslippene fra materialene og transporten til byggeplass på de tre boligene Giske, Tafjord og Faro. Dette er beregnet med transportdistansen OneClick LCA opererer med ut fra typiske regionale distanser til de ulike produktene i Norge. Transportdistansene avhenger mye av hvor i landet boligene bygges, siden Byggmann er landsdekkende ble det valgt å følge distansene fra OneClick slik man får et mer helhetlig bilde på transportutgiftene til alle boligene som bygges på landsbasis. Tabellen under viser prosentvis andel av utslipp fra transporten. Nok en gang kommer grunn og fundamenter dårlig ut her, hvor transport av betongen alene står for nesten alt utslippet. Dette skyldes blant annet vekten av betongen med rundt 2,4 tonn per kubikkmeter. Selve transporten til byggeplassen består bare av

ca. 40 % av utslippene, de resterende utslippet kommer av tromling med 20 % utslipp og pumping med 40 %. Dette vil si at 60 % av utslippene skjer på byggeplassen ved plasstøpt betong som er tilfelle her [65]

Avstandene brukt i OneClick er som nevnt tidligere generiske data basert på regionale gjennomsnitt. Avstandene er derfor relativt lange i forhold til et scenario med lokale leverandører. Derfor vil det i resultatdelen av oppgaven simuleres en halvering av transportdistansen. Dette vil være en realistisk reduksjon i forhold til potensielle regionale leverandører tilgjengelig for Byggmann. Denne analysen av transportreduksjonens prosentvise reduksjon på det totale utslippet kommer i slutten av resultatdelen.

Tabell 21 Andel klimagassutslipp fra transport (Tall hentet fra OneClick LCA)

Andel klimagassutslipp fra transport til boligene						
	Grunn og fundament	Vertikale strukturer	Horisontale strukturer	Vinduer og dører	kg CO ₂	Andel av totalutslipp fra A1-A3 og A4
Giske	78 %	13 %	8 %	1 %	566	3,2 %
Tafjord	72 %	17 %	10 %	1 %	476	2,25 %
Faro	74 %	16 %	9 %	1 %	629	2,7 %

5.5 I-Bjelke

Å erstatte bindingsverket til eneboligen Tafjord fra heltre til I-Bjelker resulterte i mer utslipp på de utførte beregningene. Ut fra tallene i tabellen under ser man at klimagassutslippet øker med mer enn det dobbelte mens karbonlagringen synker betraktelig. Det vises til besparelser av klimagassutslipp på transporten. Av den grunn ble det sett på hvordan en økning fra 100 km i transportdistanse til 500 km ville virke inn på beregningene, men besparelsene ble marginale i forhold til utslipp fra produksjon og tap av Biogent karbonlagring vist i Tabell 22 under. Programmet OneClick inneholder et begrenset utvalg av I-Bjelker, noe som resulterer i et noe usikkert utslag da man har måttet bruke H300 bjelker istedenfor R200 bjelker som var tanken. Det kan tenkes at differensen mellom utslippene muligens ville vært noe mindre med R200 bjelker da de består av 100 mm smalere plate av spon i steget. I tillegg vil besparelser under transport øke grunnet lettere vekt på bjelkene, mens karbonlagringen ville blitt noe mindre som følge av mindre mengder trevirke. I tabellen under ser man hvor mange kubikkmeter trevirke som har blitt erstattet med I-Bjelker, I-Bjelkenes volum er beregnet med H400 bjelker og er nesten halvparten av volumet av

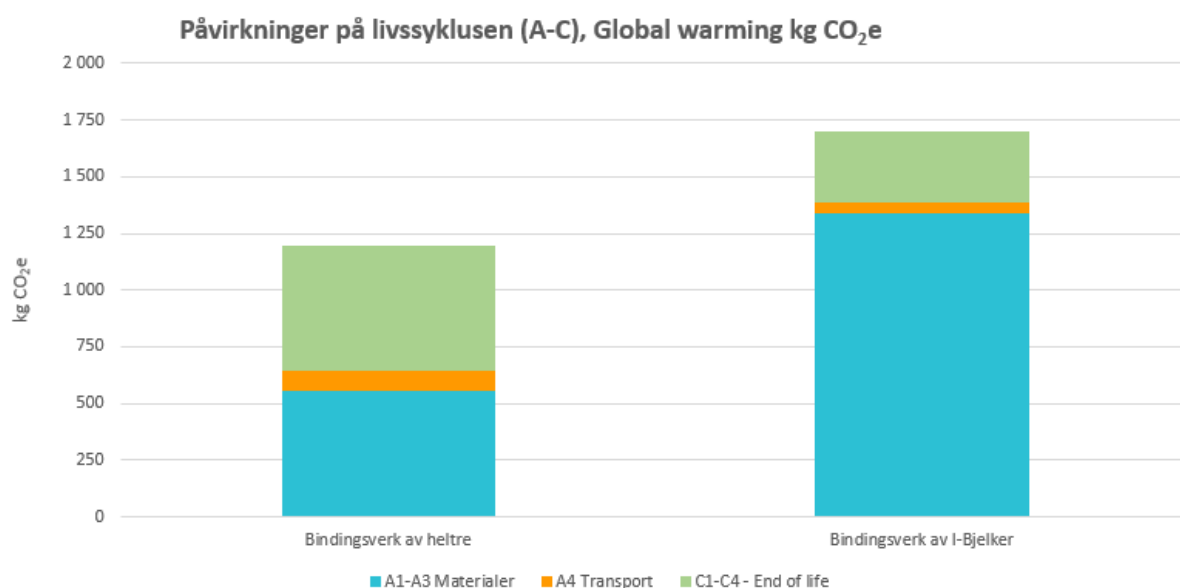
bindingsverket med heltre konstruksjonsvirke. Volumet ved bruk av R200 I-Bjelke stendere ville blitt ca. 4 m³, som er litt under halvparten av volumet til utbyttet trevirke. Dette sier oss at Masonite sine estimater stemmer ut fra mengdeberegningene med rundt halvparten av vekten til bindingsverket av tre (2.2.1.2 I-bjelker).

Tabell 22 Type bindingsverk, sammenligning (Tall hentet fra OneClick)

Type Bindingsverk	Materialmengder i m ³	Klimagassutslipp kg CO ₂	Biogent karbonlagring kg CO ₂	Transport til byggeplass kg CO ₂	Differanse kg CO ₂
Bindingsverk av tre	9,4 m ³	557	7 080	17 (100 km) 84,5 (500 km)	67,5
Bindingsverk av I-Bjelker	4,8 m ³	1 339	3 870	9,5 (100 km) 47,5 (500 km)	38

Diagrammet under viser antall kilogram utslipp av CO₂ gass for bindingsverk av heltre vs. I-Bjelker. Den laveste søylen til venstre viser bindingsverk av tre mens den til høyre viser bindingsverk av I-Bjelker. Markert med blått ser man materialenes utslipp, den sorte markeringen viser til utslipp under transport og den grønne viser materialenes utslipp på slutten, helt til veis ende. Man ser her med enkelhet betydelige forskjeller i de ulike fasene, hvor materialutslipp og transportutslipp allerede er blitt nevnt. Litt interessant er også utslippet materialene har mot slutten av livet, her ser man at heltrevirke har mye mer utslipp en I-Bjelkene. Det kan tenkes at dette har noe med volumet og karbonlagringen og gjør. Den lette vekten av I-Bjelkene vil f.eks. kunne gjøre handtering av materialene enklere under demontering og avfallhåndtering. I denne oppgaven ligger fokuset på fasene A1-A3 (materialer) og A4 (transport til byggeplass), men den markante forskjellen gjør det verdt å nevne.

Tabell 23 Påvirkninger på livssyklusen (Diagram hentet fra OneClick)



5.6 Analyse av endringsinnflytelse

I tabellen under fremlegges prosentvis endring i det totale utslippet basert på endringer gjort i prosjektene. I denne analysen er prosentendringen basert på det totale utslippet fra livssyklusfasene A1 til A4 til den originale løsningen. Effekten fra de individuelle endringene er presentert først i tabellen, for så å legge sammen de beste alternativene til slutt, i en «beste scenario» situasjon. I tabellen viser den markante innflytelsen til betongtypeendringen, og sammenlagt med endring i transport ligger alle boligene på rundt 10% reduksjon i CO₂ utslipp. Endringen i I-bjelkeløsning viste seg å skape en økning i CO₂ utslipp, og i tillegg en reduksjon i karbonlagring.

Tabell 24 Prosentendring av totalt utslipp (Tall hentet fra OneClick)

	Variabelendring	Prosent endring av totalt utslipp kg CO ₂ e (A1 – A4)		
		Giske	Tafjord	Faro
1	Betongtype			
1a	B30 M60 Lavkarbon A	-5.01 %	-3.23 %	-3.92 %
1b	B30 M60 Lavkarbon Pluss	-10.34 %	-6.67 %	-8.11 %
2	I-bjelkeløsning			
2a			3.62 %	
3	Transportdistanse (50% reduksjon)			
3a		-1.59 %	-1.12 %	-1.34 %
	Total prosentendring for beste scenario (1b + 3a)	-11,93%	-7,79%	-9,45%

6. Diskusjon

I denne delen av oppgaven skal resultatene diskuteres og sammenlignes med lignende forskning, for så å prøve å svare på hvilken betydning resultatene har i forhold til videre forskning. I

diskusjonsdelen av oppgaven vil også metodebruken og datakvaliteten vurderes og diskuteres.

Denne delen vil prøve å svare på spørsmålet om hvilke forbedringer kan øke kvaliteten på oppgaven, og hvilke usikkerheter kan påvirke det endelige resultatet.

6.1 Resultatene

Første del av dette kapitlet skal ta for seg diskusjonen rundt de forskjellige resultatene. Her skal resultatet fra originalløsningen diskuteres først, også videre til betongløsning, I-bjelkeløsning, og til slutt transport. Videre skal analysen av endringsinnflytelse diskuteres.

Når analysen av den originale løsningen til bygningene først ble gjort, og potensielle prosjekteringsendringer skulle vurderes, var det tydelig at norske eneboliger bygget i trevirke allerede hadde et svært miljøvennlig utgangspunkt. Når bygningene bygges hovedsakelig i trevirke er utslippet fra materialproduksjonen svært fornuftig i forhold til betong og stål, for ikke å nevne den store karbonlagringen som forekommer fra trevirkebruken. Grunn og fundament hadde en svært stor betydning for det totale utslippet. Dette var på grunn av betongen og stålen som var brukt i denne bygningsdelen. I tabellen som tar for seg klimagassutslipp fordelt i de fire klassifikasjonene ser man at grunn og fundament står for den største andelen av utslippet både hos Faro og Giske, bygningene med mest betong i forhold til kvadratmeter. Her er utslippsandelen til grunn og fundament, for Giske, hele 37% av det totale utslippet. Den økte betongmengden brukt i Giske påvirker ikke bare grunn og fundament i livssyklusfasene A1 til A3, men også transportutslippet i A4. Dette er på grunn av bruken av sementbil står for en betydelig del av det totale utslippet fra transport. Tafjord, som har minst betong per kvadratmeter med bruttoareal, har lavere utslipp i flere av resultatene i forhold til Giske, på tross av at Tafjord er større i størrelsen.

De mest medvirkende materialene ble fremlagt i neste del av resultatet. Her var der betongen som hadde mest påvirkning, etterfulgt av vinduene, også til slutt sponplatene, isolasjonsplatene og isolasjonen. De tre siste ble forsøkt byttet ut, men det var ingen gode alternativ i OneClick, som fulgte norske minstekrav til materialbruken.

Det totale utslippet fra A1 til A3 var som forventet, størrelsen på bygningen korrelerte med utslipp. Det som overasket, var resultatet angående karbonlagringen. I startfasen av prosjektet var reduksjonen i klimagassutslippet under produksjon hovedfokuset, men etter dypere undersøkelse av karbonlagring i materialer, ble det en likeverdige hovedspiller. Karbonlagringen er som nevnt tidligere

bare midlertidig, men det å fjerne så store mengder karbon fra atmosfæren er ganske betydelig i kampen om å stoppe klimaendringene. Ved å fange karbon i materialene i rundt 50 – 100 år, kan vitenskapen få tid til å utvikle ny klimavennlige byggestrategier og metoder. I tabellen for biogent karbonlagring kan man se at vertikale strukturer og fasade har rundt 64% av all karbonlagringen. Dette er på grunn av den store bruken av trevirke. Så ikke bare har grunn og fundament størst andel utslipp, men også 0% karbonlagring. Utslippet til Giske, Tafjord og Faro er henholdsvis 17 264, 20 711 og 22 949, mens karbonlagringen er henholdsvis 34 400, 38 037 og 45 042. Dette er mer karbon lagret enn utslipp. Dette er bare i forhold til utslippet i livssyklusfasene A1 til A3 og basert på relative materialkalkyler. Om man ser på hele livssyklusen til bygningen, fra krybbe til død, er utslippet langt større enn karbonlagringen, men den er fortsatt betydelig. Denne karbonlagringen er selvfølgelig midlertidig, men å holde såpass store mengder CO₂ i sjakk, over lenger tid, er kritisk for klimaet.

6.1.1 Betong

Betongen dukker stadig opp som en miljøver sting gjennom hele oppgaven. Utgiftene er høye for de fleste prosessene som har med betong å gjøre, både når det gjelder produksjon og transport som det fokuseres mest på i denne oppgaven. Det er derfor tydelig at man har mye å gå på når det kommer til reduisering av klimagassutslipp på betongkonstruksjoner. Ved å endre til betongtyper med lavkarbonklasser er det mulig å kutte store mengder med utslipp. Resultatene viser til en reduksjon på snart 40 % ved å benytte Lavkarbonklasse Pluss fra Unicon. For å oppnå kutt av utslipp må endringer av reseptene til betongen gjøres, noe som endrer noe på sammensetningen og konsistensen av betongen. Dette kan gi utfordringer når det kommer til støping på byggeplass og herdingen av betongen, og da spesielt i kaldere klima. Den høyeste lavkarbonklassen Unicon operer med er Lavkarbon Ekstrem, men denne er noe begrenset i bruk og ikke lett tilgjengelig. Så pr. i dag er Lavkarbon A og Lavkarbon Pluss de beste, og mest realistiske alternativet som en erstatning, hvor Lavkarbon Pluss snart har dobbelt så høy karbonreduksjon som Lavkarbon A. Prismessig vil det komme et tillegg i prisen pr. m³ i forhold til vanlig betong, noe som resulterer i at mange velger billigste alternativ da det i dag ikke er krav om å bruke lavkarbonbetong. Det er av den grunn viktig med et større fokus på kutt i utslipp i betong -og byggebransjen, muligens med krav om bruk av lavkarbonbetong om mulig til betongkonstruksjoner. I tillegg til å vær en miljøver sting ved produksjon viste det seg at betongen sto for den største delen av utslippene under transport til byggeplass. Selv med snart bare halvparten av transportdistansen i forhold til alt trevirke viser beregningene at betongtransporten står for rund 70 % av transportutgiftene. Mulighetene for besparelser ved bruk av betong er derfor enorme, og bør absolutt prioriteres for å få ned utslipp knyttet til byggebransjen.

6.1.2 I-bjelke

Utskiftingen til bindingsverk av I-Bjelker resulterte i en såpass stor økning av utslipp at reduserte utslipp fra selve transporten ikke kunne veie opp for det. Siden OneClick LCA ikke inneholdt EPD-er for de eksakte typene bjelker man ville erstatte bindingsverket med ble det valgt å bruke en 100 mm bredere bjelke av samme typen. Resultatet ville av den grunn mest sannsynlig kommet noe bedre ut om de riktige bjelkene ble lagt inn i beregningen som forklart i resultatdelen. Selv med de dårlige resultatene på den gjeldende boligen er det ingen grunn til å avskrive I-Bjelkeløsningen helt da en rekke faktorer kan ha større innvirkninger. Besparelser på utslipp under transport vil øke desto lengre transportdistansen er og ved større mengder materialer. Dette kan spores tilbake til den lette vekten til materialet og plassbesparelse under stabling. Det er vanskelig å komme frem til en konklusjon på hvilket av de to materialalternativene som er best for miljøet sett i et større perspektiv grunnet usikkerhetene rundt de ulike faktorene. Ved å redusere mengden trevirke tar man også bort mye av den biogene lagringen til boligene, noe som er uheldig da dette veier opp mot utslippene. For å kunne avgjøre dette trenger man gode EPD-er på stenderbjelkene de ulike leverandørene av I-Bjelker har å tilby slik man får sammenligne med de riktige dimensjonene. Likevel kan man totalt sett si at det vil være miljømessig uheldig å erstatte heltre med I-Bjelker på eneboligen Tafjord, da det basert på resultatene fra OneClick heller mot at utslippene vil øke noe pr. bygde enebolig av den typen slik I-Bjelker blir produsert i dag.

6.1.3 Transport

Når det kommer til resultatene til transporten fra produksjon til byggeplass, var det rundt 2,7% av det totale utslippet. Resultatet kommer av generisk data levert av OneClick, men dataen er spesifikk for Norge. Det baserer seg på Norsk EPDer, og gir en brukbar antagelse. Resultatet viser at Giske, Tafjord og Faro hadde utslipp på henholdsvis 566, 476 og 629 kg CO₂. Giske kommer over Tafjord, på tross av boligens størrelse. Grunn og fundamenter er den bygningsdelen med størst utslipp når det kommer til transport. Her ligger prosentandelen på rundt 73% av det totale utslippet i fasen A4. Denne mengden utslipp kommer av betongbilens høye utslipp. Her ville det vært mulig å se om det finnes noe forskning på helelektriske betongbiler som et alternativ. Om betongbilens utslipp blir redusert, vil det helhetlige utslippet fra A4 være ekstremt lavt i forhold til det totale utslippet til bygningen. Basert på det totale utslippet til bygningen er transport en relativt liten del. Det er teknologiske fremskritt med helelektriske semitrailere, som vil redusere utslippet betydelig mye, men det er utslippsfaktorer som har mye større innflytelse og burde prioriteres.

Den generiske dataen, som gir regionale transportavstander basert på materialtype, gir relativt lange avstander. Om Byggmann tar i bruk lokale leverandører og bygger en bolig i sirka samme region, vil transport avstandene halveres fra den generiske dataen. For å simulere bruk av lokale leverandører har det blitt regnet ut miljøeffekten til transport, om transportavstanden halveres. Her ble det totale utslippet, fra A1 til A4 redusert, redusert med rundt 1,4%. I det store bilde vil det virke lite, men det vil ha mye å si når det er store kvantiteter med bygninger som bygges.

6.2 Endringsinnflytelsen

I siste del av resultatdelen ble den prosentvise endringen av det totale utslippet analysert. Her ble de individuelle endringenes påvirkning på det totale utslippet presentert og sammenlignet. Det er tydelig at endring i betongtype har størst innflytelse på utslippet. Det som var overraskende med resultatet var at lavkarbonklasse Pluss, i forhold til lavkarbonklasse A, hadde en dobbelt så stor innflytelse på det totale utslippet. Det er praktiske grunner til at lavkarbonklasse Pluss ikke alltid kan brukes, dette står mer om i diskusjonen om betongresultatet. Når det kommer til endringsinnflytelsen til I-bjelkeløsningen, så hadde den en utslippøkning på 3,62%. I følge EPDene kan det ha med produksjonsutslippet å gjøre. Det er en mer kompleks prosess å lage, med tanke på bruken av bindingsmiddel som epoxy resin. Det er også ikke bare rent trevirke, noe som gjør at karbonlagringen er lavere enn konstruksjonsvirke. Basert på noen leverandører av I-bjelker skulle det være en reduksjon i materialbruk og helhetlig vekt, men basert på de godkjente i-bjelkene i OneClick var utslippet litt dårligere enn tradisjonell bruk av konstruksjonsvirke i gran. Til slutt i segmentet om endringsinnflytelse var de beste alternativene fra hver kategori satt sammen til et «beste scenario». Her ble lavkarbonklasse Pluss og transporthalveringen sammenlagt og endte på rundt -11,93% for Giske, -7,79% for Tafjord og -9,79% for Faro. Dette er rundt 10% reduksjon i klimagassutslipp for alle tre bygningene. Dette resultatet er betydelig for å prøve å gjøre bygningen mer miljøvennlig.

6.3 Diskusjon av metode

Det er fordeler og ulemper med bruken av OneClick. Dette er ikke på grunn av OneClick som verktøy, men den norske byggenæringens adopsjon av klimanøytrale deklarasjoner og informasjon. Det er en stor mangel på informasjon fra leverandører når det kommer til miljøpåvirkningen til materialene. Dette er noe som vil kreves i nærmeste fremtid og det er ikke dumt å være tidlig ute. Materialene lagt inn i OneClick var forsøkt å være så lik som mulig materialkalkylene til Byggmann. Det var begrenset med alternativ, men mange av produktene var tilgjengelig med EPDer i OneClick. De

materialene som manglet, ble byttet ut med lignende produkt. Her er det mulighet for feil siden det ikke er materialene Byggmann bruker. Det er mulig at materialene Byggmann bruker er mindre eller mer miljøskadelig. En mulighet for feil er ved bruken av EPDer. Gjennom oppgaven blir det tatt i bruk mange EPDer, og alle er ikke like høy kvalitet som andre. Det er gjort noen snarveier i kalkuleringene til EPDene som kan føre til urealistiske resultat. Det er forsøkt å bruke materialer med de beste EPDene, og den beste metodikken.

Materialkalkylene hadde mye god data, men denne oppgaven gir resultat bare basert på kalkylene. Om noe mangler i kalkylene og er viktig for bygningens helhet, vil det ikke gjenspeiles i resultatene. Det eneste som er tatt med utenfor materialkalkylene er betongen. Den ble beregnet basert på plantegninger. Her er det mulighet for store forskjeller med den reelle betongbruken til Byggmann. Materialkalkylene er bearbeidet for å passe med OneClick, noe som kan føre til forskjeller som kan være betydelige for resultatet. Det blir derfor ikke en helt nøyaktig livssyklusanalyse. For at livssyklusanalysen skal være helt nøyaktig må alle materialene oppgis i samme format som OneClick bruker og ha korrekte EPD i forhold til leverandør. Om det skulle blitt gjort en ny livssyklusanalyse ville det vært nødvendig med en mer detaljert BIM modell. Dette ville gitt muligheten til å bruke data av høyere kvalitet, og kan sikre at alt i bygningen er tatt med i analysen.

6.4 Oppsummering av funn

Gjennom oppgaven har det blitt tydeliggjort at norske eneboliger, laget hovedsakelig trevirke, har gode klimaavtrykk til å begynne med. Før noen endringer er gjort, viser resultatene av livssyklusanalysen at alle tre bygningene har et godt utgangspunkt. Resultatet fra Giske har vist at betongbruk har mye å si på det totale utslippet og en endring i betongtype eller en reduksjon i bruk kan være nødvendig for å ha like bra utslippsresultat som Tafjord og Faro. Tafjord og Faro er større bygninger og har derfor det største utslippet, men Giske har mer utslipp per kvadratmeter på grunn av takkonstruksjonen og betongbruken. Resultatene har vist at betongen har den største innflytelsen på det totale utslippet og det finnes alternativ som gjør det mulig å redusere utslippet betraktelig. Betongalternativene er tilgjengelig på det norske markedet, levert av landsdekkende leverandører som Unicon. Oppgaven har forsøkt å bytte til I-bjelkeløsning uten at det redusere klimagassutslippet. I-bjelkeløsningens resultat er mest sannsynlig påvirket av det begrensede materialutvalget i OneClick. Oppgaven har sammenlignet påvirkningen til de individuelle endringene gjort og kommet frem til at betongtype og transport er gode måter å redusere klimagassutslippet på, ved hjelp av realistiske alternativ som lavkarbonbetong og lokale materialleverandører.

7. Konklusjon

Oppgaven har tatt for seg tre forskjellige bygninger og analysert materialkalkylene, i tillegg til betongbruk, ved hjelp av OneClick LCA. Livssyklusanalysene gjort av bygningene har fokusert på produkt fasen (A1 til A3) og transport til byggeplass (A4). Forskningen som er gjort tidligere på dette temaet viser at norske eneboliger allerede har fornuftige klimafotavtrykk på grunn av hyppig bruk av trevirke, men materialbruk som betong og stål kan føre til høyere klimautslipp.

Resultatene fra livssyklusanalysen av de originale løsningene viser at betongbruken har den største innvirkningen på alle tre bygningene når det kommer til utslipp av CO₂. Resultatene viser at bygningene har svært høye karbonlagringer på grunn av bruken av trevirke, noe som hjelper bygningene i å være mer klimavennlige. Transportresultatet viser at bruk av lokale leverandører spille en betydelig rolle i det totale utslippet i livssyklusfasene A1 til A4. Utslippet i A4 fra de tre bygningene viser at Giske, som er mindre i størrelse enn Tafjord, har høyere transportutslipp på grunn av større betongbruk. Dette viser seg å være på grunn av den store innvirkningen bruk av betongbil har på utslippet. Livssyklusanalysen viser muligheten til å redusere klimagassutslippet betydelig ved bruk av lavkarbonbetong. I oppgaven har både lavkarbonklasse A og lavkarbonklasse Pluss blitt analysert, med lavkarbonklasse Pluss som den største faktoren for reduksjon i utslipp. Det er praktiske grunner til at lavkarbonklasse Pluss ikke alltid kan brukes, men begge alternativene har en stor reduksjon i utslipp.

Ved endring av betongtype og transportdistanse ble boligene Giske, Tafjord og Faro henholdsvis redusert med 11.93%, 7.79% og 9.45%. Ifølge resultatet var det husene med mest betong som hadde de største effektene av tiltakene. Giske hadde mest betong per kvadratmeter, og hadde derfor et CO_{2e} utslipp på 25.7 kg per kvadratmeter, noe som gjør det til boligen med høyest utslipp per kvadratmeter. Her tydeliggjøres det at betongbruken spilte en stor rolle på utslippsresultatet. Klimaregnskapet til bygningene viser at det er mulig å gjøre realistiske endring som utgjør en stor reduksjon i utslipp av CO_{2e}. Materialvalget har mye å si på konstruksjonens klimautslipp. Problemet med å skulle endre materialvalg til mer klimavennlige produkter er at det norske markedet har begrenset med tilgjengelige materialer laget for utslippsreduksjon. Oppgaven viser scenarioer med reelle tiltak som kan vurderes.

8. Videre forskning

Videre arbeid må gå ut ifra en mer nøyaktig liste med materialer, puttet i en BIM modell for så å direkte overføres til OneClick. Det er mulig på få EPDer spesialgodkjent av OneClick. Da må også alle leverandørene brukt ha tilgjengelig EPDer godkjent til bruk i OneClick.

Aspekt med denne oppgaven som kan være interessant å se nærmere på er andre prosjekteringsløsninger. Endring av oppbygningen til huset som kan føre til reduksjon i total vekt. Det ville vært nødvendig med en mer nøyaktig analyse av bruken av I-bjelker. Bytte til I-bjelke har fordeler med isolasjon og kuldebroer. I-Bjelkeløsningen medfører nok flere materialbytter som ikke er gjenspeilet i denne oppgaven. Resultatet vil da potensielt føre til mer klimavennlighet i de senere livssyklusfasene, etter A1 til A4, altså fra port til grav.

Videre arbeid kan se på muligheten for å redusere betongbruken i Giske. Denne bygningen trenger potensielt ikke så mye betong, og vil derfor kunne reduseres uten strukturelle konsekvenser. For alle tre bygningene ville det vært interessant å se hvor mye som skal til for å gjøre husene til passivhus. Her må husene først analyseres, ikke bare fra A1 til A4, men helt til slutten av livssyklusen.

Referanser

1. Inouye, D. W. (2022). Climate change and phenology. *WIREs Climate Change*.
<https://doi.org/10.1002/wcc.764>
2. *GLOBAL STATUS REPORT 2017*. (2017). World Green Building Council.
https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29
3. United Nations. (2021). *Climate Change*. <https://www.un.org/en/global-issues/climate-change>
4. *2018 Global Status Report - GlobalABC*. (2018). World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). <https://www.wbcsd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Sustainable-Cities/Transforming-the-Built-Environment/Decarbonization/news/GlobalABC-2018-Global-Status-Report>
5. United Nations. (2022). *ClimateChange*. <https://www.un.org/climatechange/>
6. *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. (2021). IPCC.
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
7. Park, M., Barrett, M., & Gallo Cassarino, T. (2019). Assessment of future renewable energy scenarios in South Korea based on costs, emissions and weather-driven hourly simulation. *Renewable Energy*, 143, 1388–1396. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.094>
8. Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238–1247. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.016>
9. Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592–1600.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>

10. Venkatarama Reddy, B., & Jagadish, K. (2003). Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, 35(2), 129–137.
[https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(01\)00141-4](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(01)00141-4)
11. Ding, G. K., & Shen, L. (2010). Assessing sustainability performance of built projects: a building process approach. *International Journal of Sustainable Development*, 13(3), 267.
<https://doi.org/10.1504/ijsd.2010.037558>
12. Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., & Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133, 228–236.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.016>
13. *ISO 14044:2006*. (2014, August 12). ISO. <https://www.iso.org/standard/38498.html>
14. European Standards. (2019). *EN 15804+A2*. <https://www.en-standard.eu>. Retrieved 2019, from <https://www.en-standard.eu/csn-en-15804-a2-sustainability-of-construction-works-environmental-product-declarations-core-rules-for-the-product-category-of-construction-products/>
15. *EN 15978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. (2022, January 26). iTeh Standards Store.
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/62c22cef-5666-4719-91f9-c21cb6aa0ab3/en-15978-2011>
16. Gardner, M. (2011). Improving the interpretation of ‘less than’ values in environmental monitoring. *Water and Environment Journal*, 26(2), 285–290.
<https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00287.x>
17. Sala, S., & Andreasson, J. (2018). *Improving Interpretation, Presentation and Visualisation of LCA Studies for Decision Making Support*. SpringerLink.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66981-6_37?error=cookies_not_supported&code=032c2bf9-c135-4ec2-8179-23b2071efa44

18. Shen, L. Y., Lu, W. S., Yao, H., & Wu, D. H. (2005). A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities. *Automation in Construction*, 14(3), 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.017>
19. *Sciencedirect*. (2022). Sciencedirect. <https://www.sciencedirect.com/>
20. *Byggforskserien*. (2022). byggforskserien. <https://www.byggforsk.no/byggforskserien>
21. A. (2021, June 10). *Transportkalkulator*. LCA.no - Skybaserte løsninger for miljødokumentasjon. <https://lca.no/transportkalkulator/>
22. Dalland, O. (2012). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Gyldendal akademisk.
23. Breivik, J. K. (2017, February 22). *Oria, artikler og kildekritikk på 1–2-3 : NTNU Universitetsbibliotekets fagside for realfag*. NTNU. <https://www.ntnu.no/blogger/ub-realfag/2017/02/22/ta-i-bruk-oria/>
24. Bounds, L. (2021, June 29). *How we work with data at One Click LCA*. One Click LCA® Software. <https://www.oneclicklca.com/how-we-work-with-data-at-one-click-lca/>
25. LCA.no AS. (2021, April 29). *EPD basert på EN 15804*. LCA.no - Skybaserte løsninger for miljødokumentasjon. <https://lca.no/epd-basert-pa-en-15804/>
26. *Dette er Byggmann*. (n.d.). Byggmann.No. <https://byggmann.no/om-byggmann/>
27. *Våre merkevarer - BMI Norge*. (n.d.-a). Bmigroup. <https://www.bmigroup.com/no/merkevarer/>
28. *Byggma - Om oss*. (n.d.). Byggma. <https://www.byggma.no/om-oss/>
29. *Masonite - Om I-bjelken og fordeler*. (n.d.). Masonite. <https://www.masonite.no/masonite-i-bjelke/om-i-bjelken-og-fordeler/>
30. *Om oss - Forestia*. (n.d.). Forestia. <https://www.forestia.no/om-ossbaerekraftkarriere/>
31. *Om oss i GLAVA*. (n.d.). Glava. <https://www.glava.no/om-glava>
32. *Om - Optimera*. (n.d.). Optimera. <https://www.optimera.no/om-optimera/>
33. Strømberg, A. (2022, February 23). *Hunton Vindtett™ Vindsperre laget av trefiber*. Hunton Fiber. <https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton-vindtett/>

34. *Treindustriens lille grønne*. (2013, May). Trefokus.
<http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>
35. *Konstruksjonsvirke*. (2012, October). Trefokus.
<http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/43-Konstruksjonsvirke.pdf>
36. *Nøkkeltall | Treindustrien*. (n.d.). Treindustrien. <https://treindustrien.no/nokkeltall>
37. Ekeli, Tom. 2019. «Tre og treprodukter.» I *Materialkunnskap*, redigert av Bjørn Normann Sandaker, Malvin Sandvik og Bjørn Vik, 68-87. Bergen: Fagbokforlaget.
38. Edvardsen, Knut Ivar og Trond Ø. Ramstad. 2018. «Materialer og komponenter». I *Trehusboka*, redigert av Trond Haug, 81-149. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
39. *Masonite*. (n.d.). Masonite. <https://www.masonite.no/>
40. Trefokus. (2011, August). *Fokus på tre, Massivtre* (No. 20). Aarstad, Jarle, Geir Glasø og Aasmund Bunkholt. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>
41. Smeplass, Sverre. 2019. «Betong og miljø». I *Betong: Regelverk, teknologi og utførelse*, redigert av Magne Maage, 44-52. Bergen: Fagbokforlaget.
42. Sandvik, Malvin. 2019. «Betong.» I *Materialkunnskap*, redigert av Bjørn Normann Sandaker, Malvin Sandvik og Bjørn Vik, 35-41. Bergen: Fagbokforlaget.
43. Smeplass, Scerre. 2019. «Betongens egenskaper». I *Betong: Regelverk, teknologi og utførelse*, redigert av Magne Maage, 34-42. Bergen: Fagbokforlaget.
44. Aarstad, K. (2016, March). *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder - Byggforskserien*. Byggforsk.
https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader
45. Edvardsen, Knut Ivar og Trond Ø. Ramstad. 2018. «Fundamentering». I *Trehusboka*, redigert av Trond Haug, 159-172. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
46. *Lavkarbonbetong*. (n.d.). Unicon.no. <https://www.unicon.no/produkter-tjenester/lavkarbonbetong/>
47. *Miljø*. (2022, January 24). Norsk Stålforbund. <https://www.stalforbund.no/miljo/>

48. Sandaker, Bjørn Nordmann. 2019. «Metaller.» I Materialkunnskap, redigert av Bjørn Normann Sandaker, Malvin Sandvik og Bjørn Vik, 56-67. Bergen: Fagbokforlaget.
49. Sandvik, Malvin. 2019. «Betong.» I Materialkunnskap, redigert av Bjørn Normann Sandaker, Malvin Sandvik og Bjørn Vik, 35-41. Bergen: Fagbokforlaget.
50. *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. (2008, June 27). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
51. *Gulv på grunn med Glava Ringmurselement*. (n.d.). Glava. <https://www.glava.no/losninger/gulv-pa-grunn-med-glava-ringmurselement#losningsdata>
52. Edvardsen, Knut Ivar og Trond Ø. Ramstad. 2018. «Veggkonstruksjoner». I Trehusboka, redigert av Trond Haug, 175-217. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
53. Edvardsen, Knut Ivar og Trond Ø. Ramstad. 2018. «Etasjeskillere». I Trehusboka, redigert av Trond Haug, 221-241. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
54. Edvardsen, Knut Ivar og Trond Ø. Ramstad. 2018. «Tak». I Trehusboka, redigert av Trond Haug, 249-292. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
55. *Uavhengig kontroll*. (n.d.). Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/saksbehandling/uavhengig-kontroll/>
56. *Archicad - ledende BIM-verktøy - Nordic BIM Group Norge*. (n.d.). Nordicbim. <https://www.nordicbim.com/no/loesninger/archicad>
57. *Archicad*. (n.d.). Graphisoft. <https://graphisoft.com/solutions/archicad>
58. *Revit programvare*. (2022a, May 12). Autodesk. <https://www.autodesk.no/products/revit/overview>
59. One Click LCA®. (2022, March 15). *About One Click LCA: making carbon assessment & LCA easy and affordable*. One Click LCA® Software. <https://www.oneclicklca.com/about-one-click-lca/>
60. *Ringmur*. (n.d.). Vartdal Plast. <https://vartdalplast.no/no/bygg/produkter/ringmur>

61. *Veggssystem 350*. (n.d.). Vartdal Plast.
<https://vartdalplast.no/no/bygg/produkter/veggssystem>
62. *Vartdal Veggssystem*. (n.d.). Vartdal Plast.
https://vartdalplast.no/Userfiles/Upload/images/Modules/Products/Attachments/103_103_103_VartdalVeggssystem_Rettleiing_V4.pdf
63. *Vartdal Ringmur*. (n.d.). Vartdal Plast.
https://vartdalplast.no/Userfiles/Upload/images/Modules/Products/Attachments/102_102_2020_Vartdal_Ringmur_Web-Light.pdf
64. *Last ned gratis BIM-innhold fra BIMobject Showcase | BIMobject*. (n.d.). BIMobject®.
<https://www.bimobject.com/no/masonitebeams/product/masoniteshowcase>
65. *TrommEL-transport*. (n.d.). Norbetong. https://www.norbetong.no/no/TrommEL_Transport
66. Souza, E. (2021, May 24). *Why Should Architects Understand and Care About Carbon and Life Cycle Assessment?* ArchDaily. https://www.archdaily.com/959800/how-embodied-carbon-and-life-cycle-analysis-can-support-decisions-in-an-architectural-project?ad_medium=gallery

Vedlegg

Vedlegg 1 – Materialliste Giske (Byggmann)

Vedlegg 2 – Materialliste Tafjord (Byggmann)

Vedlegg 3 – Materialliste Faro (Byggmann)

Vedlegg 4 – OneClick Materialdata Giske

Vedlegg 5 – OneClick Materialdata Tafjord

Vedlegg 6 – OneClick Materialdata Faro

Vedlegg 7 – Plantegning Giske

Vedlegg 8 – Plantegning Tafjord

Vedlegg 9 – Plantegning Faro

