

# **Reduksjon av klimagassutslipp fra massivtrekonstruksjoner**

Reducing climate gas emissions of CLT structures

**Trondheim Mai 2022**

Synnøve Nyhammer  
Rolf Sæbø Auran

Intern veileder:  
Tore Kvande

Prosjektnr:  
2022 - 08

Ekstern veileder:  
Erlend Dragesæt, VEIDEKKE

Rapporten er ÅPEN



## FORORD

Denne bacheloroppgaven er skrevet ved studieprogrammet Bygg og miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, innenfor studieretningen husbyggingsteknikk. Oppgaven gjennomføres ved avsluttende semester i forbindelse med faget BYGT 2900.

Bacheloroppgaven er utarbeidet i samarbeid med Veidekke, og tar utgangspunkt i Maskinparken TRE som referansebygg. Gruppen kontaktet selv Veidekke vitende om at entreprenøren er tilknyttet flere massivtreprosjekter i Trondheim. Det har vært stor frihet knyttet til problemstilling og oppgavebeskrivelse, noe som har gjort at gruppen av opplevd et stort eierskap til oppgaven. Studien skal undersøke sentrale temaer knyttet til husbyggingsteknikk, sett fra et klimaperspektiv. Massivtre er valgt som hovedtema på bakgrunn av en interesse og nysgjerrighet for dette fagområdet.

Det ønskes å rette en stor takk til ekstern veileder Erlend Dragesæt, samt øvrige ansatte i Veidekke, for gode innspill og innhenting av større mengder informasjon og data. Det ønskes også rette en spesiell takk til intern veileder Tore Kvande ved NTNU, for god oppfølging og kompetanse innenfor oppgavens tema. Og til slutt en takk til Erlend Andenæs for god rådgivning angående oppgavens struktur.

Arbeidet tilknyttet oppgaven har først og fremst vært et svært lærerikt og inspirerende samarbeid, som i stor grad har bidratt til bedre kunnskap og interesse innenfor aktuelt fagområde.

Trondheim, 20.mai 2022

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

## SAMMENDRAG

Bruk av bærekonstruksjon i tre er å foretrekke før stål og betong med tanke på å redusere klimafotavtrykket til bygninger. Bygninger der krysslaminerte treelementer (massivtre) utgjør komponenter som vegger, tak og etasjeskillere, har derfor blitt en stadig mer anvendt byggemetode de siste årene. Men hvor gunstig er egentlig dagens trekonstruksjonsløsninger med tanke på lavt klimagassutslipp?

Denne bacheloroppgaven undersøker hvordan ulike byggtekniske detaljer tilhørende et referansebygg med bærekonstruksjon i massivtre kan forbedres med formål å ta ned klimagassutslippene. Det er tatt utgangspunkt i byggtekniske løsninger med innsalg av stål og betong. Bakgrunnen for dette valget er at gruppen opplever det som interessant at en bærekonstruksjon hvor stål og betong velges bort til fordel for massivtre, likevel inneholder større innslag av disse materialene. Betong brukes som avrettingsmasse i etasjeskiller for å øke dekkets tyngde, og på den måte bedre de akustiske forholdene i bygget. Stål brukes hovedsakelig til sammenføyninger eller bærende bjelker.

Oppgaven omfatter en livsløpsanalyse av dekkeløsning og ståldetaljer brukt i Maskinparken TRE. Livsløpsanalysen er gjort ved bruk av One Click LCA for en systematisk vurdering av anvendte bygningsmaterialer i prosjektet. One Click estimerer utslipp uttrykt gjennom påvirkningskategorien GWP ( $\text{CO}_2\text{e}[\text{kg}]$ ) fra ulike bygningskomponenter, samtidig som det redegjøres for hvor stor prosentandel av utslippene som kan knyttes til enkeltmaterialene i oppbygningen av løsningene. Resultatet gir en pekepinn på hvilke materialer som bør erstattes for å få ned klimagassutslippene.

Gjennom studien kommer det frem at det er et tydelig potensial for en utslippsreduksjon fra Maskinparken TRE. Av resultatene fremgår det at en løsning hvor avrettingsmasse erstattes med pukk, samt et himlingssystem med redusert stålforbruk, ga størst reduksjon av klimagasser gjennom et utslippskutt på **91029 kg  $\text{CO}_2\text{e}$** . Å erstatte stålkomponenter med løsninger i treverk ga en total besparelse på **1808 kg  $\text{CO}_2\text{e}$** . Disse tiltakene vil til sammen utgjøre en klimagassreduksjon for Maskinparken TRE tilsvarende **11.6%** av byggets totale utslipp knyttet til materialforbruk.

## ABSTRACT

The use of timber structures is preferable to steel and concrete, in the perspective of reducing the climate footprint of buildings. Buildings where cross-laminated timber (CLT) constitute components such as walls, roofs and floor slabs, have therefore become more common in the past few years. But how optimal are today's CLT structural solutions in terms of reducing climate gas emissions?

The aim of this thesis is to examine various building solutions for a cross-laminated timber (CLT) structure. Different structural details featuring elements of steel and concrete are discussed and studied. The subject was chosen because the group found it interesting that a structural solution that foregoes steel and concrete in favour of CLT, will still normally contain large amounts of these materials. A concrete screed is used in floor slabs to increase their mass and stiffness to improve the acoustic performance of the structure. Steel mostly appears in the connection points of composite elements.

The study involves a Life Cycle Assessment (LCA) of a slab solution and steel details for a new CLT building in Trondheim, "Maskinparken TRE". The software One Click will be used as a calculation tool for the LCA. LCA is a systematic, standardized method to quantify the environmental impacts (Hill, 2013) of materials used for building solutions. One Click estimates the global warming potential (GWP) of the solutions in total, and separately by materials, expressed as an equivalent emissions of CO<sub>2</sub> (CO<sub>2e</sub>, [kg]) This information can be used to determine whether some of the materials in the components should be replaced to minimize their environmental impact.

The study aims to present building components with lower environmental impact, but similar quality to the original. Thus, the focus should primarily be on the potential reduction of climate gas emissions. A great reduction of GWP can be achieved if the process of choosing materials for the building components includes their environmental impact in decision making. A new proposed composite slab resulted in a **91029 kg CO<sub>2e</sub>** reduction for the total climate gas emissions from Maskinparken TRE. Alternative solutions for the steel composite connections with sustainable advantages had a total reduction of **1808 kg CO<sub>2e</sub>**. The building solutions proposed in the study achieved a total reduction of CO<sub>2e</sub> of **11.6%**.

## INNHALDFORTEGNELSE

<b>FIGURLISTE .....</b>	<b>v</b>
<b>TABELL-LISTE.....</b>	<b>vi</b>
<b>FORKORTELSER .....</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUKSJON .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemdefinering .....	2
1.3 Avgrensninger .....	3
1.4 Referansebygg.....	4
<b>2. TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Massivtre.....	5
2.1.1 Produksjon .....	5
2.1.2 Bruk av massivtre i Norge .....	5
2.2 Materialelegenskaper .....	7
2.2.1 Brann.....	7
2.2.2 Akustikk.....	8
2.3 Bæresystem .....	9
2.3.1 Massivtre som bærekonstruksjon.....	9
2.3.2 Bruk av stål og betong i massivtrekonstruksjoner .....	9
2.4 Klimagassberegninger .....	11
2.4.1 Utslipp i byggsektoren .....	11
2.4.2 Materialenes miljøpåvirkning .....	12
2.4.3 Livsløpsanalyse.....	14
2.4.4 Klimagassberegning for bygninger.....	16
2.4.5 EPD .....	16
<b>3. METODE .....</b>	<b>17</b>
3.1 Litteraturstudie .....	17
3.2 Fremgangsmåte .....	17
3.2.1 Arbeidsprosess.....	17
3.3 Beregningsmetode.....	18
3.3.1 Livsløpsanalyse.....	18
3.3.2 One Click .....	19
3.3.3 Karbonlagring.....	20
3.3.4 Feilkilder.....	21
3.3.5 Avgrensninger .....	22
<b>4. RESULTATER.....</b>	<b>23</b>

4.1 Materialbruk ved Maskinparken TRE.....	23
4.1.1 Massivtre.....	23
4.1.2 Betong.....	23
4.1.3 Stål.....	24
4.2 Dekkeløsning.....	25
4.2.1 Avgrensing.....	25
4.2.2 Eksisterende dekkeløsning.....	26
4.2.3 LCA av eksisterende dekkeløsning.....	27
4.2.4 Alternativ dekkeløsning 1.....	29
4.2.5 Alternativ dekkeløsning 2.....	31
4.2.6 Alternativ dekkeløsning 3.....	33
4.2.7 Foreslått løsning.....	35
4.3 Ståldetaljer.....	40
4.3.1 Avgrensing.....	40
4.3.2 Stålvinkler.....	40
4.3.3 Skjøting av søyler.....	41
4.3.4 Stålbjelker.....	43
4.3.5 Reduksjon av klimagassutslipp fra ståldetaljer.....	44
4.4 Total reduksjon av klimagassutslipp fra MPTRE.....	47
<b>5. DISKUSJON.....</b>	<b>49</b>
5.1 Forsknings spørsmål.....	49
5.2 Vurdering av studien.....	51
<b>6. KONKLUSJON.....</b>	<b>52</b>
<b>7. VEIEN VIDERE.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERANSELISTE.....</b>	<b>54</b>
<b>VEDLEGGSOVERSIKT.....</b>	<b>58</b>

## FIGURLISTE

Figur 1 Referansebygg, (Lilleby, et grønt byliv, 2019) .....	4
Figur 2 (Think Wood, what is CLT?).....	5
Figur 3 Studentboliger i massivtre 2013-2017 (Nygaard 2016) .....	6
Figur 4 Skipet (Bolin 2018) .....	6
Figur 5 Elastisk opplager mellom vegg- og dekkekonstruksjon (treteknisk håndbok, hefte 5, 2016) ....	8
Figur 6 Innfestning av tresøyle til betongdekke (Norske limtreprodusenters forening 2015) .....	10
Figur 7 Oppbygning av gulvkonstruksjon MPTRE, hentet fra prosjektmappen .....	10
Figur 8 Framsikt 2050 (SINTEF 2020) .....	11
Figur 9 Karbonsyklusen for norske treprodukter (Trefokus 2018) .....	12
Figur 10 Rammeverk for LCA (NS-EN ISO 14040).....	14
Figur 11 Utklipp fra One Click LCA, prosjekt MPTRE.....	19
Figur 12 Utklipp One Click LCA, mengder og produkter .....	20
Figur 13 Opprinnelig dekkeløsning leilighet .....	26
Figur 14 Opprinnelig dekkeløsning fellesareal.....	27
Figur 15 Livssykluspåvirkning etter materiale, Opprinnelig løsning leilighet .....	27
Figur 16 Livssykluspåvirkning etter materiale, Opprinnelig løsning fellesareal.....	28
Figur 17 Eksempel på dekkeløsning med pukk (Gustavsson 2019) .....	29
Figur 18 Dekkeløsning Alternativ 1 .....	30
Figur 19 Livssykluspåvirkning etter materiale, Alternativ 1 .....	30
Figur 20 Dekkeløsning Alternativ 2 .....	31
Figur 21 Livssykluspåvirkning etter materiale, Alternativ 2.....	32
Figur 22 Eksempel på dekkeløsning med avrettingsmasse (Gustavsson 2019).....	33
Figur 23 Dekkeløsning Alternativ 3 .....	33
Figur 24 Livssykluspåvirkning etter materiale, Alternativ 3 .....	34
Figur 25 Foreslått løsning for leilighet .....	36
Figur 26 Livssykluspåvirkning etter materiale, Foreslått løsning leilighet .....	36
Figur 27 Sammenligning opprinnelig og foreslått løsning leilighet .....	37
Figur 28 Foreslått løsning fellesareal .....	37
Figur 29 Livssykluspåvirkning etter materiale, foreslått løsning fellesareal.....	38
Figur 30 Sammenligning opprinnelig og foreslått løsning fellesareal.....	38
Figur 31 Ståldetalj 1 .....	40
Figur 32 Sammenligning av opprinnelig og foreslått løsning, Ståldetalj 1.....	41
Figur 33 Ståldetalj 2 .....	42
Figur 34 Sammenligning av opprinnelig og foreslått løsning, Ståldetalj 2.....	42
Figur 35 Ståldetalj 3 .....	43
Figur 36 Sammenligning av opprinnelig og foreslått løsning, Ståldetalj 3.....	43
Figur 37 Fremstilling av reduksjonspotensiale, Detalj 1 .....	44
Figur 38 Fremstilling av reduksjonspotensiale, Detalj 2 .....	44
Figur 39 Fremstilling av reduksjonspotensiale, Detalj 3 .....	45
Figur 40 Fremstilling av total besparelse med foreslåtte løsninger, ink. fundamentering.....	47
Figur 41 Fremstilling av total besparelse med foreslåtte løsninger, eks. fundamentering .....	48



## TABELL-LISTE

Tabell 1 BKL ut fra risikoklasse og antall etasjer (Treteknisk håndbok, hefte 4, 2006) .....	7
Tabell 2 Klasse C, NS8175 (Akustikkrapport MPTRE).....	9
Tabell 3 Miljøvurdering av byggematerialer (Asplan Viak 2017) .....	13
Tabell 4 Omfang av LCA .....	19
Tabell 5 Klimadeklarasjon, Miljøvurdering av byggematerialer (Asplan Viak 2017) .....	21
Tabell 6 Mengdeberegning massivtre i MPTRE .....	23
Tabell 7 Mengdeberegning avrettingsmasse i MPTRE.....	24
Tabell 8 Mengdeveregning valgte ståldetaljer i MPTRE .....	24
Tabell 9 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Opprinnelig løsning leilighet.....	28
Tabell 10 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Opprinnelig løsning fellesareal .....	29
Tabell 11 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Alternativ 1 .....	31
Tabell 12 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Alternativ 2 .....	32
Tabell 13 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Alternativ 3 .....	34
Tabell 14 Klimaregnskap for dekkeløsning .....	35
Tabell 15 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, foreslått løsning leilighet .....	37
Tabell 16 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, foreslått løsning fellesareal .....	38
Tabell 17 Total besparelse dekkeløsning .....	39
Tabell 18 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Ståldetalj 1 .....	41
Tabell 19 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Ståldetalj 2 .....	42
Tabell 20 Utslipp i KgCO <sub>2</sub> e, Ståldetalj 3 .....	43
Tabell 21 Reduksjonspotensiale detalj 1.....	44
Tabell 22 Reduksjonspotensiale detalj 2.....	44
Tabell 23 Reduksjonspotensiale detalj 3.....	45
Tabell 24 Total besparelse, Ståldetaljer .....	46
Tabell 25 Total besparelse med foreslåtte løsninger, ink. fundamentering.....	47
Tabell 26 Total besparelse med foreslåtte løsninger, eks. fundamentering .....	48

## **FORKORTELSER**

**BAE** – Bygg, anlegg og eiendom

**CLT** – Cross Laminated Timber

**CO<sub>2</sub>e** – CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

**EPD** - Environmental Product Declaration

**GWP** – Global Warming Potential

**LCA** – Life Cycle Assessment

**LULUC** – Land Use and Land-Use Changes

**MPTRE** – Maskinparken TRE

**PRC** – Produktkategoriregler

## INTRODUKSJON

### 1.1 Bakgrunn

Bærekraft og klima står som sentrale begrep når den globale utviklingen i samfunnet diskuteres. Spesielt viktig er temaet i byggenæringen, som på verdensbasis står for 40% av det totale klimagassutslippet (SINTEF,2020). Byggesektoren er på den måten viktig i utviklingen av et mer bærekraftig samfunn. Stortinget har vedtatt at Norge skal være klimanøytralt innen 2030 (Miljødirektoratet, 2022). Målet bør være en pådriver for å ta i bruk innovative løsninger og byggematerialer som et tiltak for en mer klimavennlig bygge- og anleggsnæring. Her vil reduksjon i bruken av stål og betong bidra spesielt mye til å få ned klimagassutslippene.

Som et alternativ til stål og betong, har bruken av massivtre i bærende konstruksjon økt betraktelig de siste årene. Til forskjell fra tradisjonelt treverk, har massivtre tilstrekkelig styrke og stivhet til at materialet egner seg som bærende konstruksjon i høyhus. Massivtre har i tillegg fordeler knyttet til byggetid, prefabrikasjon og kvalitetskontroll (Liu, 2016), men det er i hovedsak miljøfordelen som er den største sett i et samfunnsperspektiv. Livsløpsanalyse (LCA) brukes ofte som en systematisk metode for å kartlegge klimapåvirkningen til et produkt, og vil gjennom oppgaven bidra til en forståelse av de ulike materialenes miljøpåvirkning.

Opgaven tar utgangspunkt i MPTRE, prosjertert av Veidekke i massivtre, som referansebygg. I samme periode ble også Maskinparken 2 prosjertert, hvor betong er brukt i bærende konstruksjon. Veidekke har ført livsløpsanalyse av begge boligblokkene, og gjennom analysen fremkommer det at bærekonstruksjonen i massivtre har et redusert karbonavtrykk på 39% i forhold til bærekonstruksjonen i betong (Vedlegg 1).

Selv om valget av massivtre som bærende konstruksjon medfører besparelser av klimagassutslipp, ligger det et forbedringspotensial innen optimalisering av byggemetoden sett fra et klimaperspektiv. Dette arbeidet er krevende på bakgrunn av brann- og lydkrav som oppfordrer til bruk av uorganiske materialer, gjerne i form av gips og betong. Massivtre er enn så lenge ikke det naturligste materialvalget ved prosjektering av en boligblokk, og det er dermed vanskelig å opparbeide erfaring tilknyttet utfordrende områder som brannsikkerhet og lydisolering (Vasstrand, 2019). Lite bruk av massivtre i boligblokker hemmer utviklingen av kunnskapsnivået, og er dermed en barriere for utvikling av nye løsninger.

## 1.2 Problemdefinering

Bacheloroppgaven skrives med hensikt å 1) belyse problematikken rundt bruk av komponenter med negativ innvirkning på klima i en massivtrekonstruksjon og å 2) bidra til å utvikle kunnskapsnivået om bruk av massivtre.

Det er gjennomført flere studier tilknyttet MPTRE på Lilleby. Studiene undersøker det økonomiske aspektet tilknyttet massivtre som byggemateriale (Halseth, 2019) eller sammenligner klimautslipp fra MPTRE og MP2 (Eliassen, 2019) ,(Andersen, 2022). Gruppen er av den oppfatning at sammenligning av betong og massivtre sett fra et klimaperspektiv er svært typisk for forskning tilknyttet massivtre som fagområde. Svært mange studier konkluderer med at massivtre er det fordelaktige konstruksjonsmaterialet ved ønske om å redusere klimaavtrykket til bygninger (Pierobon, 2019),(Hegeir, 2022),(Leirfall, 2020). Det fremstår derimot krevende å finne forskning på hvordan valg av byggtekniske løsninger og tilhørende materialer påvirker klimagassutslippet fra massivtrekonstruksjoner. På bakgrunn av dette ønskes det å undersøke følgende forskningsspørsmål:

- 1. Hvordan påvirker de ulike byggtekniske løsninger ved Maskinparken TRE en livsløpsanalyse, og hvilke materialer står for den største andelen klimautslipp?*
- 2. Hvilke alternative løsninger kan redusere byggets klimautslipp, og hvor stor kan en utslippsreduksjon potensielt bli?*

### **Stikkord**

Kryss-laminert tre (Massivtre)

Livsløpsanalyse

One Click LCA

Byggtekniske løsninger

Klimagassreduksjon

### **Keywords:**

Cross laminated timber (CLT)

LCA

One Click LCA

Building solutions

Climate gas reduction

### 1.3 Avgrensninger

Det er valgt å gjøre noen avgrensninger av oppgaven for å gjøre arbeidet overkommelig i forhold til tid og arbeidsmengde. Krav og reglement referert til i oppgaven vil omhandle større bygg som boligblokker og lignende konstruksjoner. Oppgaven tar utgangspunkt i MPTRE, og alle analyser/resultater er tilknyttet denne bygningen.

Livsløpsanalysen vil bli begrenset til noen deler av bærekonstruksjonen. Dette vil omfatte dekkeløsning, sammenføyninger i konstruksjonen og bærende bjelker. Livsløpsanalysen er gjort med One Click som beregningsverktøy. Her er det brukt en studentlisens, som gjør at ikke alle hjelpemidler er tilgjengelig. Analysen er dermed gjennomført med noe begrensning av funksjoner. Bruk av One Click har vært en læringsprosess da gruppen ikke hadde erfaring med dette programmet fra tidligere.

Det tas ikke hensyn til faktorer som økonomi og logistikk. Det er resultater tilknyttet klimagassutslipp som er aktuell for studien. Det kan ikke garanteres at de byggtekniske løsningene foreslått i oppgaven oppfyller krav til akustikk og brann, da det ikke er gjort noen beregninger for dette. Det etterstrebes likevel å foreslå løsninger med tilfredsstillende akustiske og branntekniske egenskaper, men det er reduksjon i klimagassutslipp som vektlegges i størst grad.

#### 1.4 Referansebygg

Oppgaven tar utgangspunkt i Maskinparken TRE, en boligbygning med bærekonstruksjon i massivtre prosjektert av Veidekke på Lilleby i Trondheim. Veidekke forklarer valg av konstruksjonsmateriale med et ønske om å redusere bygg- og anleggsnæringens karbonavtrykk (Lilleby, et grønt byliv 2019). Entreprenøren har også prosjektert en svært lignende bygning i betong, kalt Maskinparken 2. Dette ga en unik mulighet for sammenligning, og det ble svært tydelig hva som var fordeler og ulemper ved de ulike byggemetodene. Ved prosjektet ble besparelser av klimagassutslipp og svært rask montering trukket frem som noen av de positive egenskapene. På den andre siden er det økonomiske aspektet kanskje den største utfordringen.

Det er med tiden blitt mer vanlig å benytte massivtre som bærende konstruksjon i skoler, studentboliger og næringsbygg. Bruk av massivtre i boligbygging er likevel fortsatt noe beskjedent (Vikan, 2019).

Gruppen har fått tilgang til prosjektmappen tilhørende MPTRE. Her finnes mengdelister, tegningsfiler og klimaregnskap som vil være grunnlaget for analyser som gjennomføres i oppgaven.



*Figur 1 Referansebygg, (Lilleby, et grønt byliv, 2019)*

## 2. TEORI

### 2.1 Massivtre

#### 2.1.1 Produksjon

Massivtre, også kalt krysslaminert tre, produseres ved at sammenkoblede lag med trelameller legges vinkelrett på underliggende lag. De krysslagte elementene festes vanligvis med lim, hvor tykkelse og antall sjikt enkelt tilpasses etter bruksområde (Norsk treteknisk institutt, 2011). Massivtre har større styrke og bedre brannmotstand enn tradisjonelt treverk, og kan dermed brukes som bærekonstruksjon i høyere bygg. Oppbygningen av massivtreet gir materialet økt styrke i begge retninger og større stabilitet i forhold til vekt (Liu, 2016). Samtidig er det gode muligheter for produksjon av prefabrikkerte massivtrelementer, som gir fordeler tilknyttet byggetid.

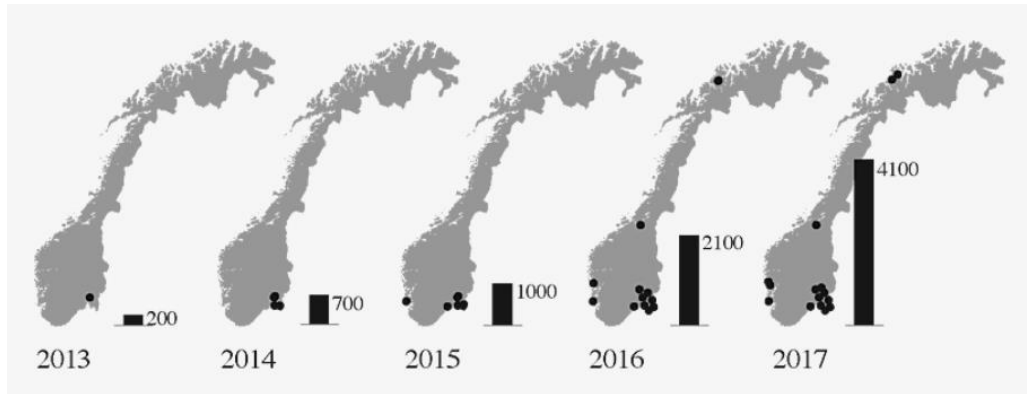


Figur 2 (Think Wood, what is CLT?)

Det er Østerrike og Sverige som står for hovedandelen av massivtreproduksjonen. Spesielt Østerrike er en ledende aktør (Aasheim, 2017). Ved de fleste byggeprosjekter er dermed massivtreet importert fra Nord-Europa.

#### 2.1.2 Bruk av massivtre i Norge

Massivtre har siden midten av 1990-tallet fått et solid fotfeste i byggenæringen i Norge (Norsk treteknisk institutt, 2004). Særlig de siste 10 år har bruken av massivtre som bærende konstruksjon i bygg vokst kraftig. Utviklingen kan sees på som et resultat av bevisstgjøring rundt klimagassutslipp, og massivtreets positive innvirkning på et endelig klimagassregnskap.



Figur 3 Studentboliger i massivtre 2013-2017 (Nygaard 2016)

Figur 3 beskriver vekst av studentboliger bygget i massivtre fra 2013 til 2017. Spesielt studentboliger, næringsbygg og skoler opplever en økning av massivtre som byggemateriale. Om trenden forsetter, vil massivtre kunne ta betydelige deler av dagens markedsandel innenfor bærende konstruksjoner innenfor disse bygningskategoriene. I en markedsanalyse produsert av TreBruk i 2020 (Lier, 2020), fremgår det at bruk av massivtre som bærende konstruksjon på daværende tidspunkt utgjorde 3,7% av det totale markedet i Norge. Et noe beskjedent tall, men prognosene for 2030 er på hele 14,2%.



Figur 4 Skipet (Bolin 2018)

«Skipet» stod ferdig i 2020, og er Bergens første næringsbygg i massivtre



## 2.2 Materialegenskaper

### 2.2.1 Brann

Håndbok: bygge med massivstreelementer - hefte 4 - brann, av Treteknisk brukes som utgangspunkt for informasjon knyttet til brannprosjektering i studien. Tiltak brannsikring er spesielt omfattende for bygging i massivtre. Dette gjelder særlig for bygninger i brannklasse 3 og 4. For bygninger på 5 etasjer eller mer, er det i utgangspunktet skrevet at bærende bygningsdeler skal utføres i ubrennbart materiale. Om dette fravikes vil preaksepterte løsninger ikke lenger kunne benyttes. Det må da utarbeides et brannkonsept for den aktuelle bygningen. I konseptet må det gå frem at bygget kan opprettholde bæreevne og stabilitet gjennom et fullstendig brannforløp.

Tabell 1 BKL ut fra risikoklasse og antall etasjer (Treteknisk håndbok, hefte 4, 2006)

Risiko- klasse	Etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

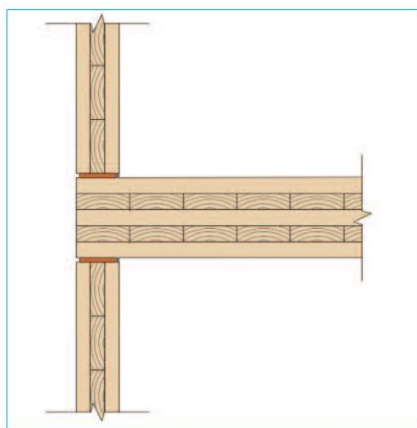
I et massivtrebygg med eksponerte overflater vil et fullstendig brannforløp avhenge av faktorer som vanskeliggjør prosjekteringen. Påvirkningen på bærekonstruksjonen vil ha en sammenheng med ventilasjon, størrelse på eksponerte flater, forkullingshastighet og nedfall av kullsjikt. Kullsjiktet kan være spesielt viktig for bæreevnen til en massivtrekonstruksjon da den er med på å beskytte innenforliggende materialer (Aasheim, 2006). I motsetning til betong og stål, kan massivtreet også være med på å gi et bidrag til en brann om overflatene er eksponerte. I et slikt tilfelle kan overtenning skje raskere, og brannens varighet øke.

Overnevnte grunner gjør at massivtrebygg ofte prosjekteres og bygges med større mengder uorganiske materialer. Med tilstrekkelig tildekning av overflatene, eksempelvis ved bruk av gips, vil brannforløpet kunne foregå på lik linje med en ubrennbar konstruksjon (Wormdal, 2017).

### 2.2.2 Akustikk

I lette konstruksjoner kan det være utfordrende å skape gode lydforhold. Hovedgrunnen til dette er at lette konstruksjoner i større grad er utsatt for svingninger, som igjen fører til lydoverføringer. Lydoverføringer i en konstruksjon deles inn i luftlyd, trinnlyd og flanketransmisjon. Det er spesielt trinnlyd og flanketransmisjon som er aktuelle utfordringer knyttet til bruk av massivtre. Trinnlyd forekommer i etasjeskiller ved gangtrafikk eller andre lavfrekvente lydkilder som tekniske installasjoner og ventilasjonsanlegg (Aarstad, 2010). Det vil på bakgrunn av dette skapes svingninger i etasjeskilleren, som vil spres gjennom konstruksjonen og utstråles som lyd. Flanketransmisjonen er lydoverføringen som skjer via flankerende bygningsdeler, ventilasjonskanaler, himling etc., og er et betydelig bidrag til lydoverføring i en massivtrekonstruksjon.

For å kunne opprettholde gode lydforhold er det avgjørende å innføre ulike tiltak med en reduserende effekt på trinnlyd og flanketransmisjon. Elastiske lagre for veggkonstruksjoner, samt ved reposer og trappeløp vil være svært sentrale tiltak. Nedførede isolerende himlingsplater og økt tyngde i etasjeskiller for å redusere svingninger er også aktuelt (Vedlegg 2).



Figur 5 Elastisk opplager mellom vegg- og dekkekonstruksjon (treteknisk håndbok, hefte 5, 2016)

TEK 17 sier at *Lydforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek* (Byggteknisk forskrift, lyd og vibrasjoner, TEK17, 2017). Utover dette stilles det ikke spesifikke krav i forhold til lydoverføring, men det henvises til Norsk Standard NS 8175. Gjennom å oppfylle kravene i standarden gjeldende lydklasse C bør det være mulig å oppnå gode lydforhold ved boligbygging.

Tabell 2 - Aktuelle grenseverdier angitt i NS 8175:2012 klasse C.

Lydforhold	Type brukerområde	Klasse C
Luftlydisolasjon	Mellom boenheter innbyrdes og mellom en boenhet og fellesareal/ kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp, o.l.	$R'_w \geq 55$ dB
	Mellom en boenhet og kommunikasjonsvei, som svalgang/ utvendig trapp der det er rom med vindu direkte mot disse	$R'_w \geq 45$ dB
	Mellom en boenhet og nærings- og servicevirksomhet, garasjeleg, o.l.	$R'_w \geq 60$ dB
Trinnlyd	Mellom boenheter	$L'_{n,w} \leq 53$ dB
	I en boenhet fra fellesareal/ kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp o.l.	$L'_{n,w} \leq 48$ dB
	I en boenhet fra nærings- og service-virksomhet, garasjeleg, felles takterrasse o.l.	$L'_{n,w} \leq 58$ dB
	I en boenhet fra toalett, bad, bod o.l. samt fra balkong o.l. i en annen boenhet	$L'_{n,w} \leq 58$ dB

## 2.3 Bæresystem

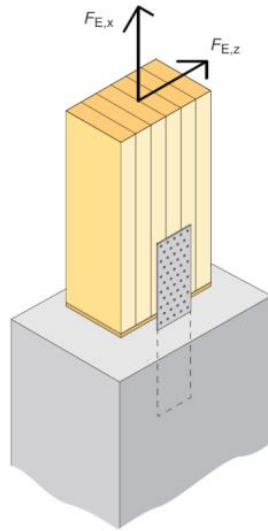
### 2.3.1 Massivtre som bærekonstruksjon

Massivtre egner seg som bærekonstruksjon i bygninger. Ved å tilpasse antall sjikt etter nødvendig styrke og stivhet, vil man få optimaliserte elementer til ulike bruksområder (Aasheim, 2006). Massivtreets lave vekt gir fordeler knyttet til grunnforhold, og kan dermed være aktuelt ved geotekniske utfordringer. Materialet er kjent for å redusere støy og støv på arbeidsplassen, samtidig som montering av massivtreelementer er en rask og effektiv prosess sammenlignet med montering av betongelementer. Massivtre kan brukes som bærekonstruksjon alene, eller i kombinasjon med andre materialer. Bæresystemet kan enten være et bærende veggssystem, søyle- og bjelkesystem eller en kombinasjon av disse (Aasheim, 2006).

### 2.3.2 Bruk av stål og betong i massivtrekonstruksjoner

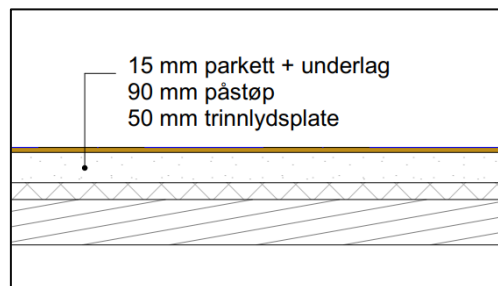
Innfesting av massivtreelementer skjer hovedsakelig ved bruk av skruer. I knutepunkt og sammenføyninger legges det også inn plater og vinkler for å øke stabiliteten til konstruksjonen. Dekkeelementer festes med 5 til 20 skruer pr meter. Da disse skruene kan ha dimensjoner på 200 til 300mm, gir de potensielt et stort bidrag til både vekt og klimagassutslipp. Et gjennomsnittlig skolebygg vil anslagsvis inneholde 10-15 tonn med festemidler (OPAK, 2017).

Massivtrelementene festes til betongplaten med stålplater og skiver. Eksempelbildet er hentet fra Limtreboka (2015) og viser hvordan en limtresøyle kan festes til betongdekket. Prinsippet for massivtre vil være det samme. I tillegg til platen, brukes skruer eller bolter som festemiddel (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).



Figur 6 Innfestning av tresøyle til betongdekke (Norske limtreprodusenters forening 2015)

Etasjeskillere utføres i mange tilfeller med påstøp av betong. Dette gjøres for å øke konstruksjonens tyngde, og på den måte redusere forekomst av svingninger. Denne løsningen skal forbedre byggets akustiske egenskaper. Ved MPTRE er det valgt en løsning hvor gulvoppbygningen består av parkett, påstøp og trinnlydsplate, i tillegg til massivtre som bærende element.

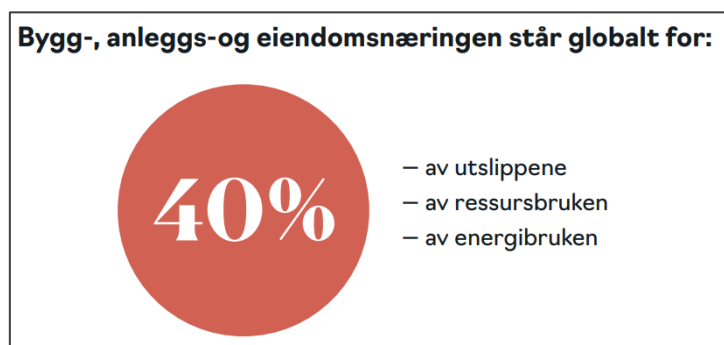


Figur 7 Oppbygning av gulvkonstruksjon MPTRE, hentet fra prosjektmappen

## 2.4 Klimagassberegninger

### 2.4.1 Utslipp i byggsektoren

Bygge-, anleggs-, og eiendomsnæringen (BAE) blir gjerne kalt for 40%-næringen, på bakgrunn av at næringen står for 40% av det globale klimautslippet (SINTEF, 2020).



Figur 8 Framsikt 2050 (SINTEF 2020)

Utslippene inkluderer alt fra produksjon og import av byggevarer, utslipp fra byggeplass og energibruk gjennom byggets levetid. Øyvind Løset fra RIF er blant dem som mener at BAE-næring er en konservativ bransje hvor endring og omstilling tar lang tid (Almaas, 2014). Det norske lovverket og standarder hemmer utvikling og innovasjon for nye løsninger, mener Jan Olav Jensen, arkitekt for Jensen & Skodvin (Almaas, 2014).

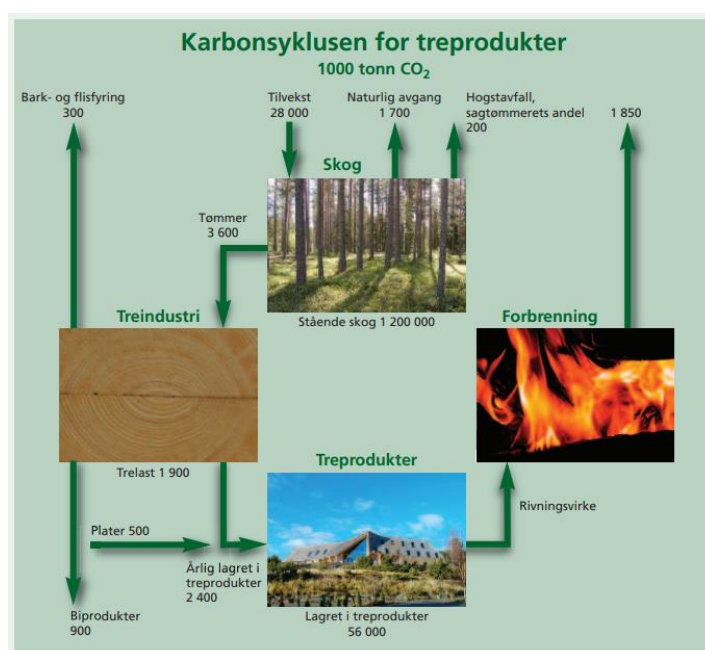
Byggenæringen baseres på et anbudssystem, hvor økonomi ofte er et tungtveiende element. Systemet er organisert på en måte hvor entreprenør utfører arbeid for byggherre, som er den sentrale aktøren. Entreprenører opplever ofte et lite handlingsrom for klimatiltak, når det økonomiske aspekter står i sentrum (Dubois, 2010).

### 2.4.2 Materialenes miljøpåvirkning

Bæresystemet i større bygninger består vanligvis av stål, betong eller massivtre. Materialene påvirker miljøet i varierende grad.

#### MASSIVTRE

Tre har i utgangspunktet ingen negativ innvirkning på klimaet, da det er et naturmateriale bestående av fornybart råstoff (Norsk Treteknisk Institutt, hefte 20, 2011). Dette gjør tre til et relativt miljøvennlig byggemateriale. Tre fungerer som et karbonlager, og ved endt levetid vil karbonet slippes ut i atmosfæren (Norsk Treteknisk institutt, hefte 8, 2004). Det ønskes derfor å forlenge treet levetid i den grad det er mulig, for å forlenge karbonsyklusen. For hver kubikkmeter bygningsmasse i tre, lagres ca. 0,8 tonn CO<sub>2</sub> (Norsk Treteknisk institutt, 2004). I tillegg til å forlenge karbonsyklusen til treet, er det en forutsetning at den totale kubikkmassen med tre som eksisterer ikke reduseres. Det bør altså etterstrebes at tilveksten av tre er omtrent lik hogsten (Trefokus, 2013).



Figur 9 Karbonsyklusen for norske treprodukter (Trefokus 2018)

Hovedandelen av utslipp knyttet til massivtre kommer fra produksjonsfasen. I Norge gjennomføres produksjonen med en høy andel fornybar energi. Deler av produktet som er til overs, som sagflis og kutterspon, kan brukes igjen som bioenergi. Etter endt bruk blir treet vanligvis gjenvunnet til bioenergi eller andre produkter som spon- og fiberplater.

## BETONG

Betongproduksjon står for en relativt stor andel av verdens totale CO<sub>2</sub>-utslipp. Det er spesielt prosessen knyttet sementproduksjon som kan forklare de store utslippene. Sementproduksjon krever store mengder varme, slik at det settes i gang en kjemisk prosess kalt kalsinering (Bjørnstad, 2016). Kalsineringsprosessen brenner bort CO<sub>2</sub> fra kalksteinen, og er hovedgrunnen til at betong står for ca. 5% av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp (Solberg 2016). Noe av karbonet blir senere lagret i betongen ved karbonatisering. Det er mulig å gjenbruke betong til ulike anleggsprosjekter. Knust betong kan eksempelvis brukes som fyllmasse.

## STÅL

Dagens stålproduksjon står for ca. 7% av verdens totale klimagassutslipp (Norsk stål, 2022). Stålproduksjonen deles inn i prosess fra masovn og oksygenkonverter eller elektrisk lysbueovn. De to første bruker kalk, malm og kull til produksjon, mens lysbueovn hovedsakelig benytter elektrisitet og skrap (Norsk stål, 2022). Det er utslipp av karbondioksid som står for den største andelen klimautslipp fra stålproduksjon. Stål egner seg godt til gjenvinning, da det kan smeltes om og brukes til andre formål (Stena recycling).

Tabell 3 Miljøvurdering av byggematerialer (Asplan Viak 2017)

Konstruktive materialer	Enhet	kg CO <sub>2</sub> -ekv/enhet	Antatt levetid
Konstruksjonstrevirke av gran og furu	m <sup>3</sup>	53	60
Massivtre	m <sup>3</sup>	104	60
Limtre	m <sup>3</sup>	92	60
Betong, B45 standard	m <sup>3</sup>	420	60
Betong, B45 lavkarbon klasse B	m <sup>3</sup>	310	60
Betong, B45 lavkarbon klasse A	m <sup>3</sup>	240	60
Lavvarmebetong, B45	m <sup>3</sup>	120	60
Stålsøyle, I,H,U,L,T-profiler (80 % resirk)	kg	1,3	60
Stålsøyle, hulprofiler (13 % resirk)	kg	2,3	60
Stålsøyle, H,S,Q-profiler (11 % resirk)	kg	2,9	60
Stendervegg, trestendere 198x148mm, cc60	m <sup>2</sup>	0,6	60
Stendervegg, stålstendere SKP 145/55, cc60	m <sup>2</sup>	7,0	60

Tabellen over viser en sammenlikning av ulike typiske bygningsmaterialer for bæresystem i bygninger gjort av Asplan Viak. Utslipp beregnes i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

### 2.4.3 Livsløpsanalyse

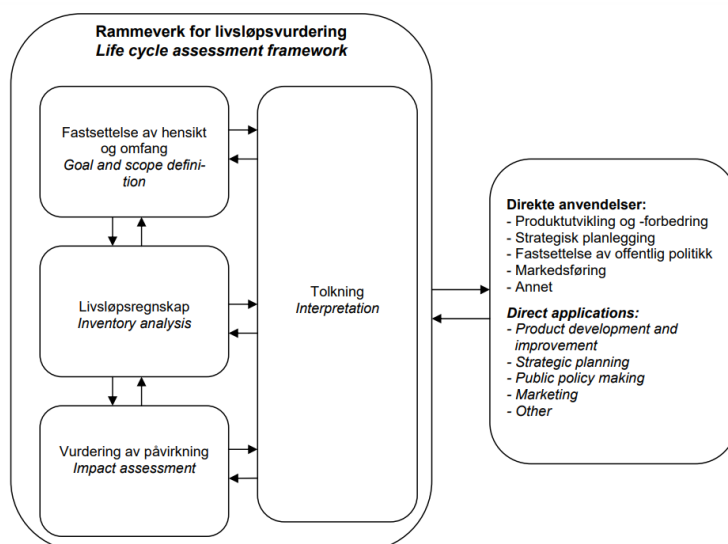
En livsløpsanalyse (LCA) er en systematisk vurdering av klimapåvirkningen til et produkt (Hill, 2013). Analysen baseres på hele livsløpet, fra utvinning til avhending. Hvert enkelt trinn i produktsystemet studeres og det undersøkes hvilken mulig miljøpåvirkning som vil kunne forekomme. En LCA gir mulighet for sammenligning av produkter eller tjeneste på likt grunnlag. Samtidig kan metoden brukes for å identifisere hvilke deler av prosessen i livsløpet som medfører den største miljøbelastningen. En LCA vil derfor kunne brukes som et verktøy for å oppnå en mest mulig klimavennlig prosess.

NS-EN ISO 14040 fungerer som et rammeverk ved gjennomføring av en LCA. Det må ved gjennomføring av analysen defineres en funksjonell enhet (NS-EN ISO 14040, 2006).

Inngangsfaktorer og utgangsfaktorer velges så på bakgrunn av denne. Hensikt og omfang skal også defineres, da dette vil påvirke systemgrenser og detaljgrad i analysen (Rønning, 2011).

Innhenting av informasjon og data bør gjøres i den grad som er relevant for systemet, og bør avgrenses for å gjøre analysen mer gjennomførbar i forhold til tid og arbeidsmengde.

En LCA består av 4 deler: fastsettelse av hensikten og omfanget, livsløpsregnskapsfasen, livsløpseffektvurderingsfasen, og tolkningsfasen (NS-EN ISO 14040, 2006). I den siste fasen er det viktig å vurdere betydningen av de resultater som kommer frem i analysen, og hvordan disse påvirker eventuelle beslutninger. En gjennomført LCA vil åpne for nye funn og forbedringsmuligheter knyttet til produktprosessen.



Figur 10 Rammeverk for LCA (NS-EN ISO 14040)

I redegjørelsen av de ulike fasene er NS-EN ISO 14040 brukt som rammeverk.



## Hensikt og omfang

I den første delen, fastsettelse av hensikt og omfang, skal det defineres hensikten med livsløpsanalysen. Det bør da komme tydelig frem hva analysen skal anvendes til, samt hvilken målgruppe det ønskes å nå frem til. Deretter skal en fastsette omfanget av analysen. Her er produktsystem, funksjonell enhet og systemgrenser viktige begreper. Det vil også være relevant å nevne eventuelle forutsetninger og avgrensninger som er gjort ved gjennomføring.

## Livsløpsvurdering

Neste fase av livsløpsvurderingen vil være livsløpsregnskapsfasen. Denne delen omfatter alt av material og energi som går inn og ut gjennom livsløpet til et produkt. Typiske inngangsfaktorer vil være råmateriale og energi, mens typiske utgangsfaktorer gjerne er knyttet til utslipp og avfall. Den funksjonelle enheten som er satt i første fase, danner grunnlaget for valg av inngangs- og utgangsfaktorer og de beregninger som gjøres basert på disse.

## Livsløpseffektvurdering

Tredje fase kalles ofte livsløpseffektvurderingsfasen, eller bare effektvurdering. Vurderingen gjøres på bakgrunn av de resultatene som kommer frem i livsløpsregnskapsfasen. Hensikten er å vurdere hvilken påvirkning resultatene har på klimaet. Det skal her velges påvirkningskategorier, kategoriindikatorer og karakteriseringsmodeller (NS 14040). Påvirkningskategorier kan for eksempel være global oppvarming eller ozonnedbrytning. Etter å ha definert disse elementene, inkluderer vurderingen fasene klassifisering og karakterisering. Ved klassifisering kategoriseres utslippene til relevante påvirkningskategorier, og ved karakterisering beregnes miljøpåvirkningen. Om en ønsker kan også normalisering, gruppering og vektning inkluderes i vurderingen.

## Tolkningsfasen

I fjerde og siste fase skal en tolke resultatene. Resultatene bør sees i en større sammenheng, og bør knyttes opp mot hensikten av analysen i den grad det er relevant. Det kan også være hensiktsmessig å presentere en konklusjon eller anbefaling som sier noe om selve produktsystemet.

#### 2.4.4 Klimagassberegning for bygninger

Det ble i 2018 utviklet en standardisert metode for klimagassberegninger for bygninger. NS 3720 bygger på den internasjonale standarden EN 15978- «Bærekraftige byggverk- vurdering av bygningers miljøpåvirkning». Den norske standarden ble utviklet for å være et verktøy som forenkler sammenligning av ulike løsninger ved å begrense og presisere metoden til utregning av klimagasser.

Standarden kan også brukes til å se på bestemte bygningsdeler, og det kan på grunnlag av lik bakgrunnsinformasjon om tilsvarende produkt, gjøres miljøvennlige valg. Miljøbelastningen må sees som totalen av utslipp fra vugge til grav. Dette innefatter alt fra produksjonsfasen til endt levetid i form av resirkulering eller ombruk. Nødvendige verdier for utregning av påvirkning hentes fra EPD tilhørende det aktuelle produktet.

#### 2.4.5 EPD

EPD står for Environmental Product Declaration, og er altså en miljødeklarasjon for et produkt eller en tjeneste. En EPD muliggjør sammenlikning av to produkter, sett fra et miljøperspektiv (EPD-Norge,2022). Deklarasjonen baseres på internasjonale standarder, og det er dermed mulig å sammenligne produkter fra ulike land. I utgangspunktet kan man skille mellom to ulike typer: spesifikt produkt EPD og gjennomsnitts-EPD. Ved spesifikt produkt EPD er den representativ for det aktuelle produktet og tilhørende produktsystem. Ved gjennomsnitts-EPD, er det et gjennomsnitt av flere produkter i samme kategori.

ISO 14040 fungerer som rammeverk for livsløpsanalyse, og en EPD bruker denne som grunnlag. Prinsipper og prosedyrer knyttet til utarbeidelse finnes i ISO 14025. Ved utarbeidelse av en EPD skal også en PCR (produktkategori) legges til grunn. Ved sammenlikning av to produkter er det viktig å tilse at disse de tilhører samme PCR (SINTEF, 2011).

### 3. METODE

Bacheloroppgaven består av en litteraturstudie og beregninger/analyser.

#### 3.1 Litteraturstudie

I en stor del av oppgaven brukes relevant litteratur som hovedkilde. Ved innhenting av informasjon og litteratur startet søket relativt bredt, mens det i etterkant er begrenset til å i større grad være relevant for oppgavens problemstilling. Det er i hovedsak brukt ordinære nettsøk, SINTEF byggforsk, NTNU Open og Google Scholar ved litteratursøket. I tillegg har litteratur gjennom Trefokus og Treteknisk vært særlig informativt med hensyn til temaet massivtre.

Ved gjennomføring av litteratursøket er det viktig å ha et bevisst forhold til kildekritikk. Det har til tider vært utfordrende å vurdere objektiviteten til ulike kilder, og det er derfor vektlagt å hente større mengder litteratur for å validere informasjonen som brukes. Dette har likevel vært krevende, da mengden informasjon tilknyttet massivtre er noe begrenset i forhold til andre materialer. Massivtre er i tillegg et fagområde i stadig endring, og det bør derfor prioriteres å finne ny og aktuell informasjon. Litteratursøket tilknyttet oppgaven har derfor i perioder vært en tidkrevende prosess.

#### 3.2 Fremgangsmåte

Sammen med relevant litteratur, har prosjektmappen tilhørende MPTRE vært grunnlaget for å kunne gjennomføre analyser og beregninger i oppgaven. Spesielt tegningsfiler og mengdefiler har vært nødvendig for å kunne beregne klimagassutslipp tilhørende de byggetekniske løsningene som er valgt for bygget, og gjøre vurderinger på bakgrunn av dette.

##### 3.2.1 Arbeidsprosess

Første fase av arbeidet knyttet til oppgaven bestod i stor grad av å innhente relevant informasjon og data. Det har vært en omfattende prosess å skape oversikt over relevant informasjon i prosjektmappen til MPTRE. Samtaler og kommunikasjon med ekstern veileder har derfor vært sentralt for en forståelse av valg som er gjort og bakgrunnen for disse.

Neste fase er å bruke innsamlet informasjon og data til å gjennomføre resultatdelen. One Click er brukt som programvare til å utføre klimagassberegninger. Disse er gjort på bakgrunn av tegningsfiler, mengdelister og produktinformasjon. Videre er prosessen å beregne hvordan alternative løsninger kan redusere klimagassutslipp fra MPTRE. Til dette har samarbeid med intern veileder vært avgjørende.

Sluttfasen av prosjektet vil være å tolke de resultatene som kommer frem i analysedelen, og gjøre en vurdering av løsninger med hensyn på klimagassreduksjon. Denne delen vil besvare oppgavens forskningsspørsmål, hvor de knyttes opp mot resultatdelen.

### 3.3 Beregningsmetode

Mengder og dimensjoner er nødvendig informasjon for å kunne gjennomføre oppgavens klimagassberegninger. Dette er hentet fra mengdelister og Solibri-modell tilhørende MPTRE. Riktige produkter med tilhørende informasjon om EDP og transport finnes i Veidekkes klimagassregnskap. Oppbygning av byggetekniske løsninger er hentet fra prosjektets tegningsfiler. Denne informasjonen er behandlet ved hjelp av One Click LCA for å fremstille en livsløpsanalyse både av eksisterende løsning, men også av alternative løsninger.

#### 3.3.1 Livsløpsanalyse

Livsløpsanalysen i oppgaven skal anvendes til å vurdere klimagassutslippene til både enkeltmaterialer og bygningskomponenter ved MPTRE. Studien gjennomføres for å kunne gi innsikt i hvilke løsninger for massivtrekonstruksjoner som vil kunne ha en reduserende effekt på det totale klimagassutslippet. Målgruppe og mottakere er tenkt å være ulike personer og aktører innenfor arbeid tilknyttet massivtrekonstruksjoner. Det ønskes å belyse hvilke områder i slike konstruksjoner som er spesielt bidragsgivende til klimagassutslipp.

Resultatene er hovedsakelig tiltenkt til å få frem potensialet nye løsninger har i forhold til en klimagassreduksjon, og det kan ikke garanteres at løsningene vil være mulig å gjennomføre.

Tabell 4 Omfang av LCA

OMFANG	
Produktsystemet som skal studeres	Produktsystemet tilhørende aktuelle byggevarer/materialer.
Funksjonell enhet	En byggevare med gitte mål og en gitt levetid.
Systemgrenser	A1-A5, B4-B5, C1-C4
Påvirkningskategori	GWP (kg CO <sub>2</sub> e)

### 3.3.2 One Click

One Click LCA brukes som beregningsverktøy for å gjennomføre klimagassberegninger. Her er det opprettet et prosjekt kalt MPTRE, samt lagt til design tilhørende de ulike løsninger. Dette gjør det mulig å sammenligne resultatene på en oversiktlig måte.

▼ Designfase: 7 design		Parametere	+ Legg til et design	Sammenligne data	Verktøy			
Verktøy	Enhet	2 - Alternativ 3	2 - Alternativ 1	2 - Alternativ 2	2 - Opprinnelig leil	2 - opprinnelig fell	2 - Foreslått leilig	2 - foreslått felles
Klimagassutslipp, NS 3720	kg CO <sub>2</sub> e	210 262	154 388	165 915	221 826	22 363	142 824	10 336

Figur 11 Utklipp fra One Click LCA, prosjekt MPTRE

Ved opprettelse av prosjekt er det valgt boligblokk som bygningstype, hvor analysen skal bruke NS 3720 som standard. Det er valgt 8 etasjer og treramme som rammetype.

I hvert design legges det inn BTA lik 3300m<sup>2</sup>, og beregningsperiode på 60 år. Deretter legges ulike løsninger til, enten eksisterende eller nye alternativer. Det velges aktuelle byggevarer med gitte mål. One Click henter informasjon fra tilhørende EPDer, som fungerer som grunnlag for de beregninger som er gjort. I noen tilfeller hvor EPD for gjeldende byggevare ikke har vært tilgjengelig i One Click, er det brukt en annen for en tilsvarende byggevare. Ved oppgitt informasjon om transport gjennom Veidekke, vil denne informasjonen bli brukt. I resterende tilfeller vil trailer, 40-tonns kapasitet, 100% fyllingsrate legges inn, hvor One Click estimerer kjørelengde på bakgrunn av tilhørende EPD.

Ressurs	Mengde	CO <sub>2</sub> e	Kommentar	Bygningsdel	Transport, kilometer
Plastic carpet, linoleum, 2.25 mm	404,1 m <sup>2</sup> x 2,1 mm	0,65t - 6%		255 - Gulvoverflate	110 Trailer, 40 tonns
Forestia Sponplater, 630 - 700 k	404,1 m <sup>2</sup> x 12 mm	1,2t - 11%		25 - Dekker	130 Trailer, 40 tonns
Steinull-isolasjon, L = 0.034 W/mK	404,1 m <sup>2</sup> x 30 mm	0,82t - 8%		25 - Dekker	70 Trailer, 40 tonns
OSB panels, biogenic CO <sub>2</sub> not sub	404,1 m <sup>2</sup> x 22 mm	1,3t - 13%		25 - Dekker	130 Trailer, 40 tonns
Pukk, produsert ved DC Halsvik pukk	24,3 ton	0,24t - 2%		25 - Dekker	20 Dumper, 19 tonns
Massivtre, 60-260 mm, 420 kg/m <sup>3</sup> (Cr)	47,1 m <sup>3</sup>	5,3t - 51%		25 - Dekker	2000 Tog, elektrisk
Glava glassull, L = 0.032 W/mK, 40	329 m <sup>2</sup>	0,88t - 8%		25 - Dekker	70 Trailer, 40 tonns

Figur 12 Utklipp One Click LCA, mengder og produkter

Når nødvendig informasjon er fylt ut vil One Click kunne fremstille ulike diagrammer for resultatene av klimagassberegningen. I forhold til oppgaven er søylediagrammet for GWP mest relevant. Her er CO<sub>2</sub>-ekvivalenter brukt som indikator for totalt utslipp, og det fremstilles i tillegg hvor stor prosentandel av klimautslippene som er knyttet til hvert material fra den gjeldende kompositten.

Bruk av One Click har gjort klimagassberegningene til en overkommelig prosess, da manuell beregning ville vært svært omfattende og tidkrevende. Programmet muliggjør samtidig å formidle kompleks informasjon på en lett forståelig måte.

### 3.3.3 Karbonlagring

Både tre og betong har evne til å binde karbon, en egenskap som kan knyttes til materialenes fremstilling og avhending. Det er noe uenighet hvorvidt karbonlagring bør implementeres i et klimagassregnskap. Karbonlagring er et komplekst system på bakgrunn av at lagringen er midlertidig. Asplan Viak uttaler i studien «*Klimavennlige byggematerialer potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk*» at «standard LCA-metodikk tar imidlertid ikke hensyn til tidsaspektet ved opptak og utslipp, og det kan dermed ikke benyttes til å vise klimagevinst av midlertidig lagring eller forsinkelse av utslipp» (Asplan Viak 2020).

I oppgaven fremstilles klimagassutslipp gjennom GWP. Dette er summen av oksidasjon av biogent karbon (GWP-IOBC) og netto opptak og utslipp av biogent karbon i hver modul (GWP-BC). Vurderinger i studien gjøres på bakgrunn av GWP-resultater. Karbonlagring fremstilles som en egen søyle for beregning av karbonlagring, slik det kreves i NS3720.

Tabell 5 Klimadeklarasjon, Miljøvurdering av byggematerialer (Asplan Viak 2017)

Klimadeklarasjon									
For å øke transparensen i bidraget til klimapåvirkning, så er indikatoren GWP blitt delt opp her i underindikatorer:									
GWP-IOBC Klimapåvirkning beregnet etter umiddelbar oksidasjon av biogent karbon prinsippet.									
GWP-BC Klimapåvirkning fra netto opptak og utslipp av biogent karbon fra materialene i hver modul.									
Klimapåvirkning									
Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5
GWP-IOBC	kg CO <sub>2</sub> -ekv	7,46E+01	1,27E+01	4,13E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,66E+00	0,00E+00	0,00E+00
GWP-BC	kg CO <sub>2</sub> -ekv	-7,98E+02	0,00E+00	5,57E-03	0,00E+00	0,00E+00	-3,36E-05	0,00E+00	0,00E+00
GWP	kg CO <sub>2</sub> -ekv	-7,23E+02	1,27E+01	4,14E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,66E+00	0,00E+00	0,00E+00

### 3.3.4 Feilkilder

Ved gjennomføringen av livsløpsanalysen, vil det kunne oppstå feilkilder som gjør at det er noe usikkerhet knyttet til oppgavens resultatdel. En stor andel av informasjon og data brukt til å utføre livsløpsvurderingen er hentet fra prosjektfiler fra Veidekke. Ved feil i disse dataene, vil ukorrekte opplysninger videreføres i analysen. En annen mulig feilkilde er knyttet til bruk av EPD. Det er i den grad det er mulig forsøkt å bruke riktig EPD tilhørende de materialer som er brukt i prosjektet. Ved noen tilfeller eksisterer ikke EPD i One Click, og det må da benyttes en liknende. Det kan i tillegg forekomme at det brukes deklarasjoner som er utgått eller ikke dekker alle relevante faser av livsløpet. Det er unngått å bruke EPD med verdier som er langt utenfor normen for den gjeldende produktkategorien.

Det er valgt å ta utgangspunkt i de systemgrensene som oppleves som mest relevant og hvor det er mulig å innhente informasjon. Det betyr at noen deler av produktsystemet er unnlatt å ta med, og dette vil dermed være en mulig feilkilde. Det har også vært krevende å hente informasjon i forhold til transportdelen av produktprosessen. Der det ikke oppgis transportmiddel, vil trailer, 40-tonns kapasitet, 100% fyllingsrate brukes. Transport vil dermed være en av de mer sannsynlige feilkildene i oppgaven. Det er forsøkt å gjennomføre klimagassregnskapet med nøyaktighet, og LCA gjennom One Click har forenklet denne prosessen. Kompleksiteten i produktprosessen til byggematerialer gjør det likevel utfordrende å gjennomføre en beregning som samsvarer helt med virkeligheten.

### *3.3.5 Avgrensninger*

Det er gjort noen avgrensninger i resultatdelen for å begrense omfanget av oppgaven.

Løsninger som foreslås i oppgaven vurderes sett fra et klimaperspektiv. Det er livsløpsanalysen som vil være grunnlaget for vurderinger. En sammenlikning vil gjøres på bakgrunn av reduksjonspotensiale. Ved vurdering av ulike løsninger tas det utgangspunkt i resultater som kommer frem i GWP-søylen.

Løsninger som foreslås i oppgaven skal være fungerende løsninger isolert sett, med det kan ikke garanteres det de er praktisk mulig å gjennomføre. Det kan heller ikke garanteres at løsningene tilfredsstiller byggtekniske krav til boligbygging i massivtre, da det ikke er gjort beregninger knyttet til eksempelvis fukt, brann og akustikk.



## 4. RESULTATER

Det vil i resultatdelen av oppgaven redegjøres for materialbruk ved MPTRE. Deretter skal byggets dekkeløsning og utvalgte ståldetaljer analyseres gjennom en LCA i One Click.

Denne informasjonen benyttes ved de alternative løsninger som foreslås. Det skal også gjøres en anbefaling av hvilken løsning som potensielt kan gi en størst reduksjon i klimagassutslipp.

### 4.1 Materialbruk ved Maskinparken TRE

Mengder og materialer brukt til utregninger av opprinnelig løsning er hentet fra detaljrapport, (Vedlegg 3).

#### 4.1.1 Massivtre

Bæresystemet i massivtre har et totalt volum på 1277m<sup>3</sup>. Dette inkluderer vegger, etasjeskillere og takkonstruksjon. Balkonger, søyler og dragere er også tatt med i regnestykket. Massivtreet er levert av Woodcon, et selskap basert på totalentreprise innen bærekonstruksjoner i tre. Massivtreet brukt i prosjektet er hentet fra Østerrike til Norge med elektrisk tog, og deretter fraktet med trailer til Trondheim.

Tabell 6 Mengdeberegning massivtre i MPTRE

RESSURS	MENGDE (M <sup>3</sup> )	TYKKELSE (MM)
Massivtre dekke	597,1	140/160
Massivtre YV	180,4	160
Massivtre IV	326,2	160
Massivtre balkong	158	160
Massivtre trapp	15,4	160
<b>SUM</b>	1277,1	

#### 4.1.2 Betong

Sett bort i fra parkeringskjeller, finnes hovedandelen av betong brukt i boligblokkens bærekonstruksjon i byggets dekkeløsning. Avrettingsmassen er blant annet brukt for å øke etasjeskillers tyngde, og på den måten forbedre de akustiske egenskapene gjennom reduksjon av trinnlyd og flanketransmisjon.

Tabell 7 Mengdeberegning avrettingsmasse i MP TRE

RESSURS	MENGDE (M <sup>3</sup> )	TYKKELSE (MM)
Avrettingsmasse	15,2	45
Avrettingsmasse	15,4	40
Avrettingsmasse	245,4	90
<b>SUM</b>	<b>276</b>	

#### 4.1.3 Stål

Store deler av stålet brukt i MP TRE kan sees på som nødvendigheter. Med dette menes at det utfordrende å finne gode alternativ til utførelse med andre materialer. Skruer og festemidler, samt stålplater og skiver til innfestning mot betongdekket går inn under denne kategorien. Det er derfor valgt å fokusere på detaljer der stålet kan erstattes uten negative konsekvenser for stabilitet og bæring.

I forbindelse med trapperom er det tatt i bruk stålvingler til opplager for repos, samt understøtte til avsats utført med HEB. Det er også funnet stål gjennomføringer i søyler på byggets fasade.

Tabell 8 Mengdeveregning valgte ståldetaljer i MP TRE

RESSURS	Antall	MENGDE (M <sup>3</sup> )	Total (M <sup>3</sup> )
Stålvinkler	16	0,0034	0,0544
Stålgjennomføring	6	0,00064	0,00384
HEB 240	1	0,082	0,082
<b>SUM</b>			<b>0.14024</b>

## 4.2 Dekkeløsning

Det vil i denne delen redegjøres for dekkeløsningen som er brukt ved MPTRE. Oppbygning av løsninger vil beskrives gjennom detaljtegninger, med forklarende tabell. De byggt tekniske løsningene er analysert i One Click, hvor resultatene fremstilles gjennom ulike diagrammer. Disse gir mulighet til å avlese hvordan de ulike materialene i løsningene påvirker klimagassregnskapet. Med utgangspunkt i resultatene fra One Click ønskes det å undersøke hvordan alternative løsninger vil kunne ha en reduserende effekt på klimagassregnskapet.

### 4.2.1 Avgrensing

Dekkeløsning er avgrenset til å gjelde løsningen som er valgt for etasjeskiller i fellesareal og leilighet. Parkeringskjeller, trapp og tak er ikke tatt til betraktning. For leilighet er det valgt å undersøke den dekkeløsning med størst areal. Det antas derfor at hele leiligheten har samme løsning for dekket, selv om eksempelvis dekke på bad har en litt annen oppbygning.

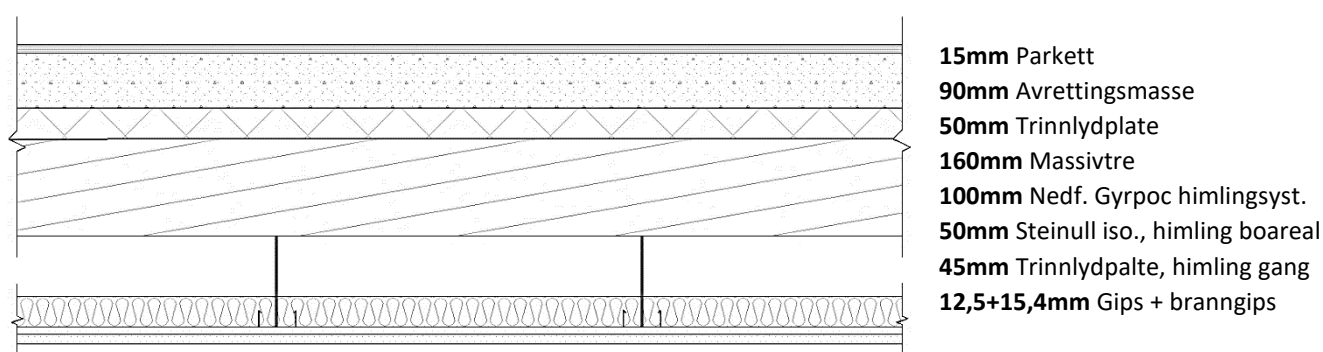
Løsningene er likevel relativt like, og dette oppleves derfor som en fornuftig forenkling.

De alternative løsningene som foreslås i 4.2.4-4.2.6 er avgrenset til å kun vise utslipp for leilighetene, og ikke fellesareal. Dette er gjort for å minske omfanget, samtidig som det får frem den reduserende effekten løsningene vil ha. Ved sluttsammenligning i 4.2.7 vil det fremvises det totale resultatet for dekkeløsning, altså både leilighets- og fellesareal.

#### 4.2.2 Eksisterende dekkeløsning

### LEILIGHET

Den første løsningen som ønskes å undersøke er den dekkeløsningen som er valgt for leilighetene i bygget. Leilighetene ved MPTRE er utført med dekker i massivtre med en tykkelse på 160mm. I tillegg består dekket av 50 mm mineralull trinnlydplate, 90 mm påstøp med betong og 15 mm parkett. For himling er det valgt en løsning som gir en total nedforing på 100mm ved bruk av 50mm mineralull, himlingsystem og til slutt et dobbelt gipslag med 12,5mm gips og 15,4mm branngips.



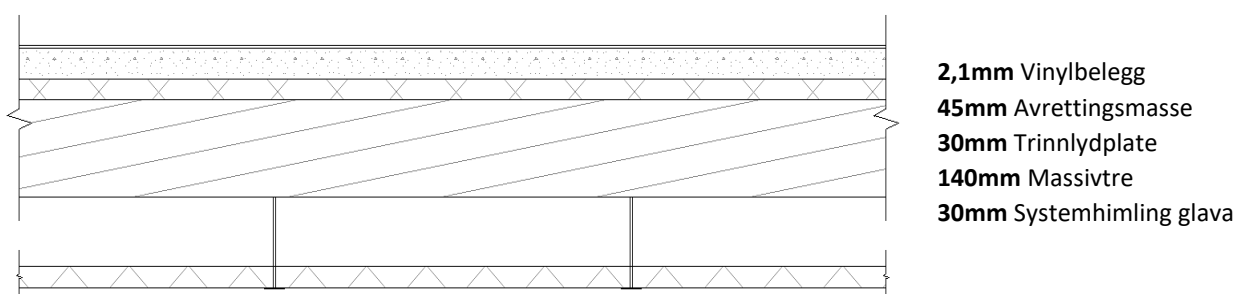
Figur 13 Opprinnelig dekkeløsning leilighet

Valg av dekkeløsning er i stor grad gjort basert på de akustiske egenskapene den endelige løsningen vil ha. Nedforing på 100mm er gjort for å redusere flanketransmisjon og legge til rette for tekniske installasjoner. Dobbelt gipslag er nødvendig for å tilfredsstille brannkrav. Å kle massivtreet med gips er gjort for å forlenge tiden det tar før trevirket blir påvirket av en eventuell brann. På den måten vil en kunne forsinke en større brann og påvirke bæreevnen i bygget. Det er begrenset hvor reduserende effekten er ved bruk av et enkelt lag, og det bør derfor legges dobbelt (Wormdal, 2017).

## FELLESAREAL

Dekkeløsningen i byggets fellesområder består av et bærende massivtredekke med tykkelse 140mm, i tillegg til 30 mm mineralull trinnlydsplate og 40mm påstøp med betong. I fellesområdene er det i hovedsak benyttet systemhimling.

Materialforbruket i dette dekket er mindre enn dekket i boarealene. Dette kommer av at Veidekke har valgt tillegge dekket mellom leiligheter strengere krav enn minstekrav.

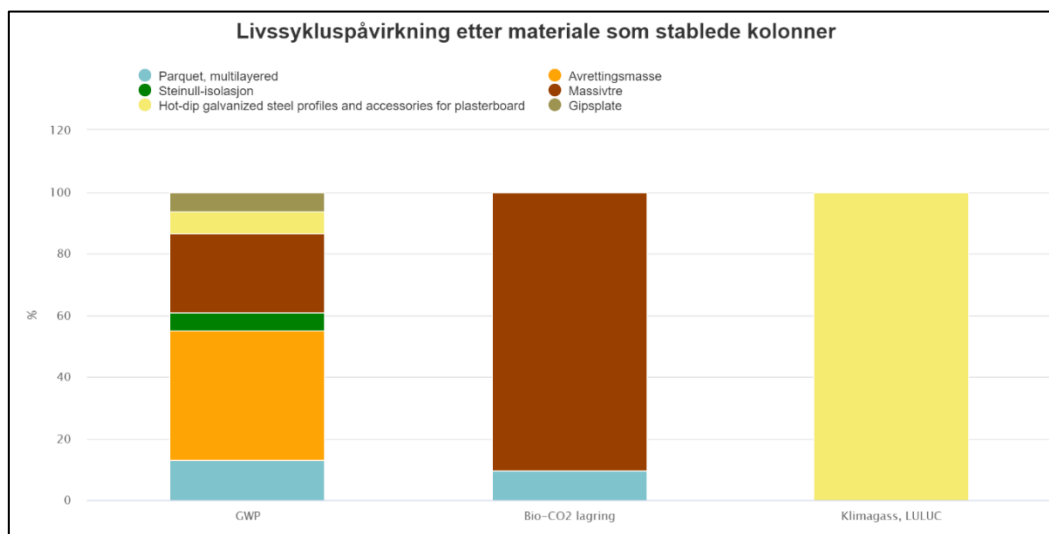


Figur 14 Opprinnelig dekkeløsning fellesareal

### 4.2.3 LCA av eksisterende dekkeløsning

Det er gjort en LCA av dekkeløsning for både leilighet og fellesareal gjennom One Click. Dette gir ut diagrammer som beskriver GWP, CO<sub>2</sub>-lagring og LULUC. Klimagassutslipp er beregnet på bakgrunn av GWP.

## LEILIGHETER



Figur 15 Livssykluspåvirkning etter materiale, Opprinnelig løsning leilighet

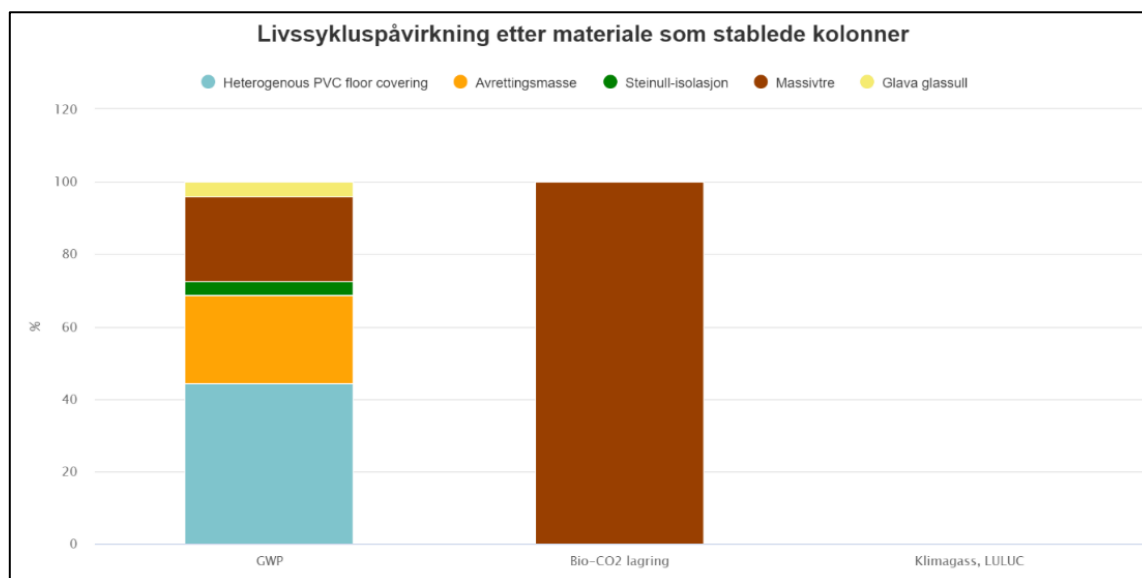
Tabell 9 Utslipp i KgCO2e, Opprinnelig løsning leilighet

MATERIALE	UTSLIPP KgCO2e	ANDEL AV TOTAL
Parkett	27174,02	12,82%
Avrettingsmasse	89787,92	42,37%
Isolasjon	12169,36	5,74%
Massivtre	53975,71	25,47%
Stålprofiler	15421,36	7,28%
Gips	13392,15	6,32%
	<b>211920,52</b>	

På GWP-søylen kan man lese av at avrettingsmassen, altså påstøp med betong, står for ca. 45% av det totale klimagassutslippet fra etasjeskiller i leilighetene. Resterende klimautslipp kommer hovedsakelig fra massivtre og parkett.

Det er på bakgrunn av dette tydelig at avrettingsmassen brukt i den eksisterende dekkeløsningen står for en stor andel klimagassutslipp.

### FELLESAREAL



Figur 16 Livssykluspåvirkning etter materiale, Opprinnelig løsning fellesareal

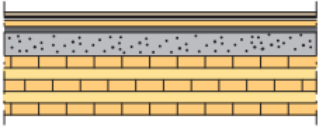
Tabell 10 Utslipp i KgCO<sub>2</sub>e, Opprinnelig løsning fellesareal

MATERIALE	UTSLIPP KgCO <sub>2</sub> e	ANDEL AV TOTAL
Vinyl	9905,46	44,29%
Avrettingsmasse	5481,52	24,51%
Trinnlydplate	823,82	3,68%
Massivtre	5275,48	23,59%
Systemhimling glava	877,04	3,92%
	<b>22363,32</b>	

Også ved fellesarealets dekkeløsning står avrettingsmasse for en større andel av utslippene, men også klimagassutslippene fra gulvbelegget i vinyl fremtrer som en stor bidragsyter til økning av klimagassutslipp. Dette resultatet var noe overaskende, og det vil være interessant å undersøke hvordan alternative gulvbelegg-løsninger vil kunne redusere klimagassutslippene.

#### 4.2.4 Alternativ dekkeløsning 1

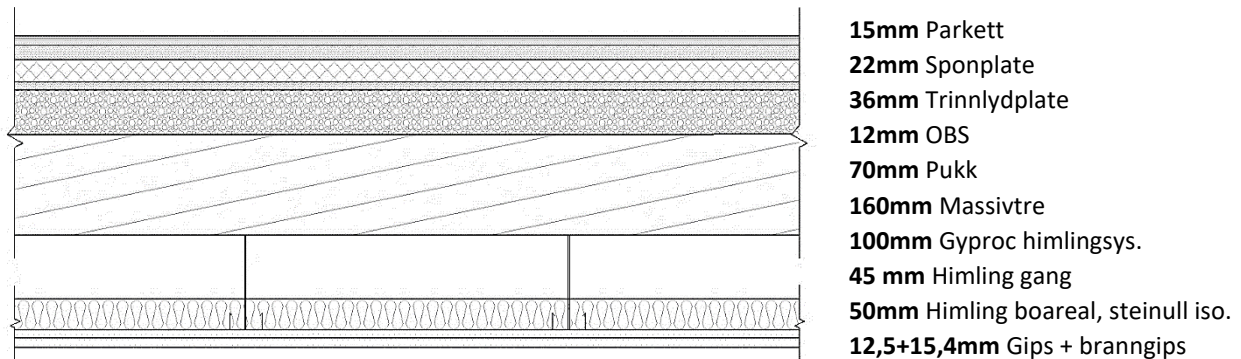
Ved alternativ dekkeløsning 1 ønskes det å øke dekkets tyngde med pukk, fremfor avrettingsmasse. Tilsvarende løsning er brukt ved bygging av Campus Evenstad, et nullutslippsbygg prosjektert og oppført av Statsbygg (Selvig, Sørensen, Wiik, 2017). Bygget ble prosjektert i 2015, følgelig også etter TEK10-standard. Oppbygningen kan sammenlignes med «floor structure type 9» i handbok for CLT, svensk standard 2019 (Gustavsson, 2019).

	<b>Floor structure type 9</b> 14 wood flooring 3 foam 13 plasterboard 22 fibreboard 20 impact insulation 80 washed gravel, 8-11 mm 200 CLT slab	352	235	44 (+6)	63 (-1)
		Residential houses sound insulation class <sup>2)</sup>		B	A
		Offices sound insulation class <sup>3)</sup>		A	A

Figur 17 Eksempel på dekkeløsning med pukk (Gustavsson 2019)

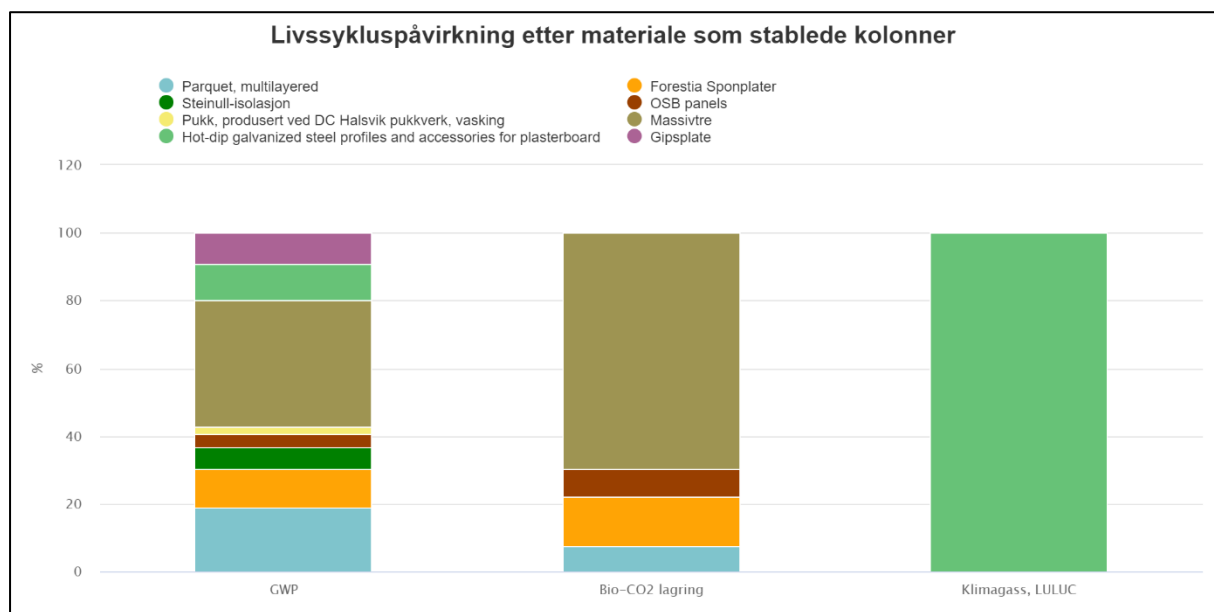
I NS 8175:2012, er krav til lydforhold klasse C satt til  $R'w \geq 55\text{dB}$  og  $L'n,w \leq 53\text{ dB}$ .

Løsning funnet i svensk standard er godt innenfor disse verdiene. Grunnet likheten vil det være naturlig å anta at alt. 1 vil være tilstrekkelig til å oppfylle lydakraav.



Figur 18 Dekkeløsning Alternativ 1

Livsløpsanalyse av dekkeløsning 1 er presentert i figuren under.



Figur 19 Livssykluspåvirkning etter materiale, Alternativ 1



Tabell 11 Utslipp i KgCO<sub>2</sub>e, Alternativ 1

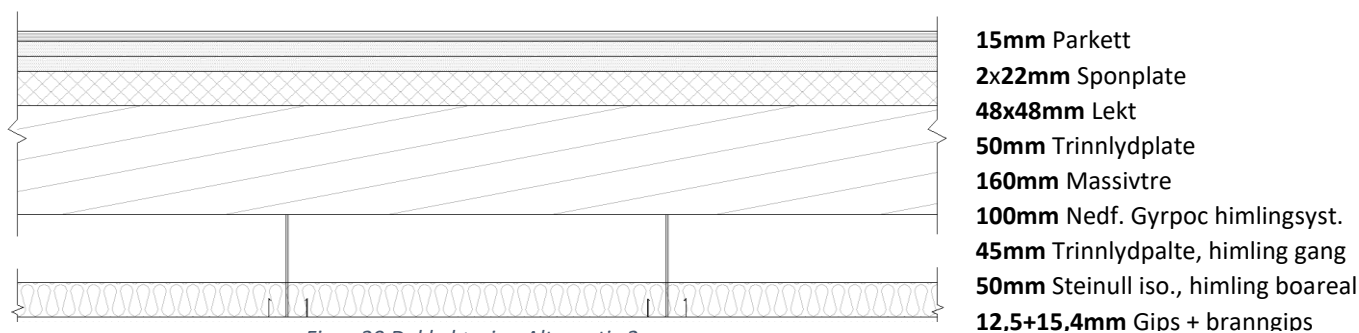
MATERIALE	UTSLIPP KgCO <sub>2</sub> e	ANDEL AV TOTAL
Parkett	27174,02	18,81%
Sponplater	16645	11,52%
Isolasjon	9208,98	6,37%
Osب	5430,15	3,76%
Pukk	3235,04	2,24%
Massivtre	53975,71	37,36%
Stålprofiler	15421,36	10,67%
Gips	13392,15	9,27%
	<b>144482,41</b>	

Alternativ dekkeløsning 1 vil basert på beregninger fra One Click vil ha et utslipp på **144 482 kg CO<sub>2</sub>e**.

#### 4.2.5 Alternativ dekkeløsning 2

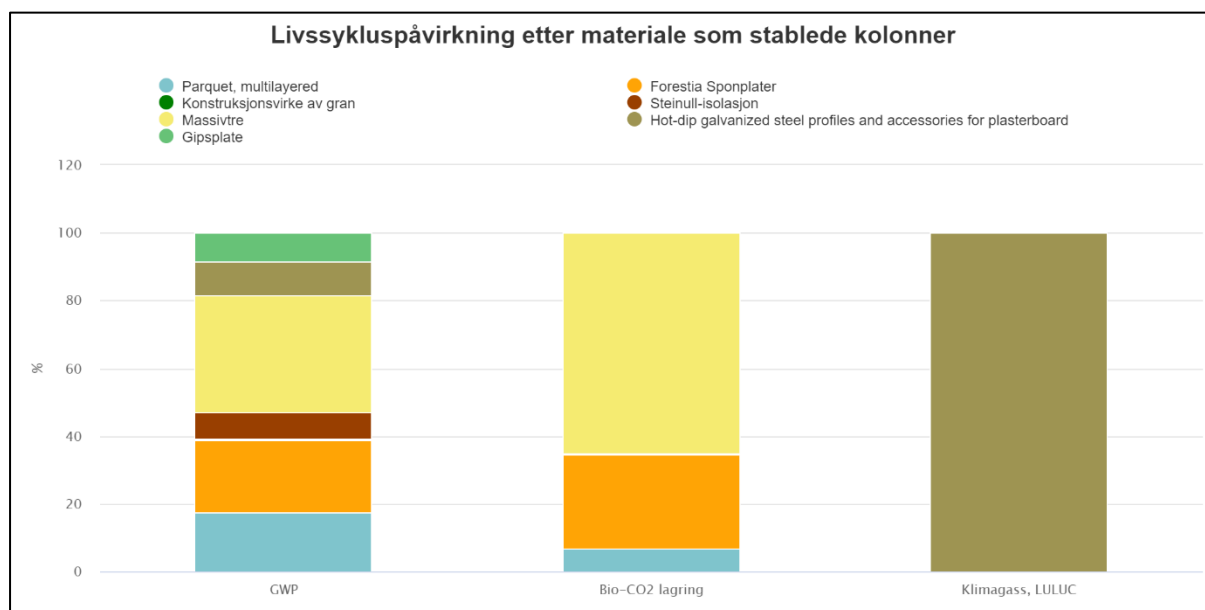
Alternativ dekkeløsning 2 bygger på løsning valgt for ZEB-laboratoriet, hvor det forsøkt å lage en gulvkonstruksjon uten å anvende påstøp av betong (SINTEF, 2021). Dekket vil være å anse som en lett overgulvskonstruksjon i motsetning til etasjeskiller med avrettingsmasse eller pukk. Gulvkonstruksjonen tilfredsstillende lydkrav til kontorbygg, men kriteriene for lydisolering er noe forskjellige for kontorbygg og boligblokker. Det er dermed noe uvisst om denne løsningen vil tilfredsstillende krav til lyd i boligblokk. Det ønskes likevel å undersøke klimagassutslipp knyttet til en lettere konstruksjonsløsning.

Oppbygningen over massivtredekket består av parkett, gulvspon og isolasjonsplater, samt lekt til understøtting av sponplater tilstøtende vegg. Under massivtreet er konstruksjonen uendret.



Figur 20 Dekkeløsning Alternativ 2

Livsløpsanalyse av dekkeløsning 2 er presentert i figuren under.



Figur 21 Livssykluspåvirkning etter materiale, Alternativ 2

Tabell 12 Utslipp i KgCO2e, Alternativ 2

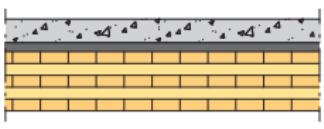
MATERIALE	UTSLIPP KGCO2E	ANDEL AV TOTAL
Parkett	27174,02	17,48%
Sponplater	33289,99	21,42%
Isolasjon	12169,36	7,38%
Lekt	586,7	0,38%
Massivtre	53975,71	34,73%
Stålprofiler	15421,36	9,92%
Gips	13392,15	8,62%
	<b>156009,29</b>	

Alternativ dekkeløsning 2 vil basert på beregninger fra One Click ha et utslipp på **156 009 kg CO2e**.

#### 4.2.6 Alternativ dekkeløsning 3

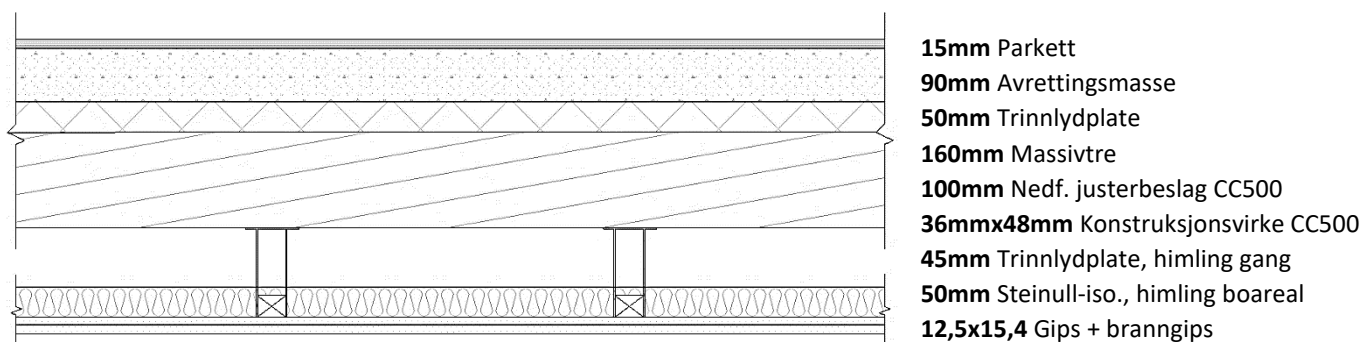
Ved alternativ dekkeløsning 3 ønskes det å se på effekten av å redusere stålmengde i himlingsystemet. Himlingsystemet i områdene med boareal består av metallskinner. Skinnene fungerer som nedføring fra massivtredekket, samt bæring for dobbelt lag med gipsplater. Total vekt på skinesystemet havner på 5,7 tonn (Vedlegg 3). Valgt alternativ løsning vil her være 36x048mm lekt, festet til massivtredekket med justerbeslag. Oppheng velges på bakgrunn av nedføringshøyden, da det er ønskelig med om lag 100mm til rør og kabler over himling. Det er av samme grunn at lydbøylere er valgt bort.

Også her er en lignende løsning funnet i håndboken for CLT i svensk standard.

	<b>Floor structure type 2</b> 80 concrete 30 impact sound insulation, dynamic stiffness $\leq 9 \text{ MN/m}^2$ 200 CLT slab	310	266	52 (+5)	63 (-8)
		Residential houses sound insulation class <sup>2)</sup>		C	C
		Offices sound insulation class <sup>3)</sup>		A	A

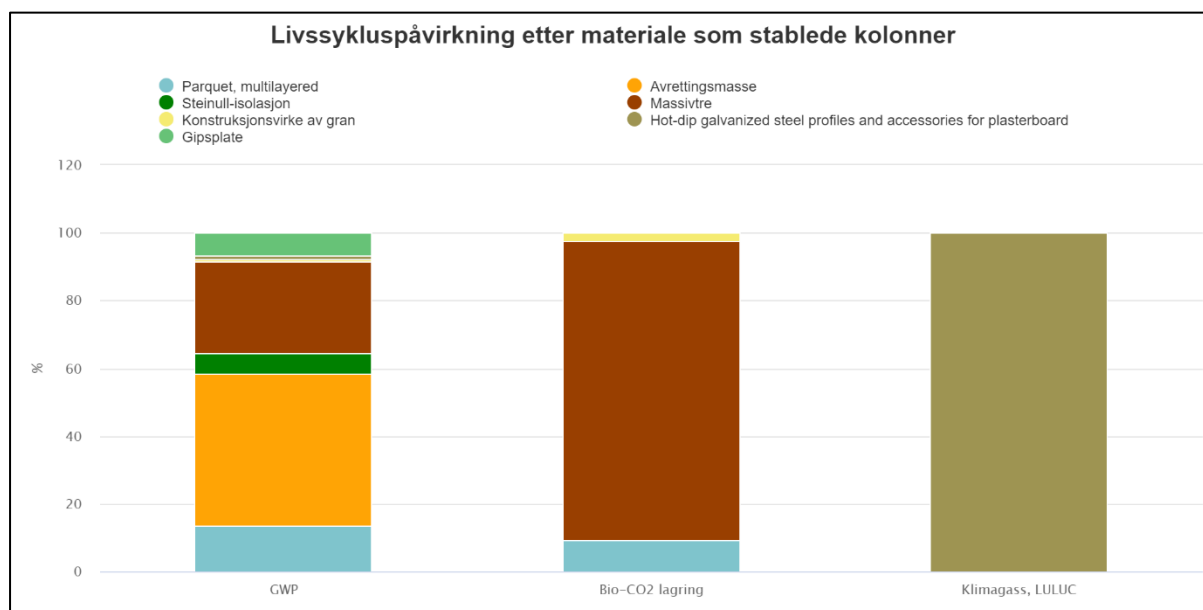
Figur 22 Eksempel på dekkeløsning med avrettingsmasse (Gustavsson 2019)

Med større mengde trinnlyd og avrettingsmasse burde alt.3 ligge godt innenfor kravene til lydklasse C. Særlig når bidraget til gipsen, isolasjonen og luftrommet i himlingen blir medregnet.



Figur 23 Dekkeløsning Alternativ 3

Livsløpsanalyse av dekkeløsning 3 er presentert i figuren under.



Figur 24 Livssykluspåvirkning etter materiale, Alternativ 3

Tabell 13 Utslipp i KgCO2e, Alternativ 3

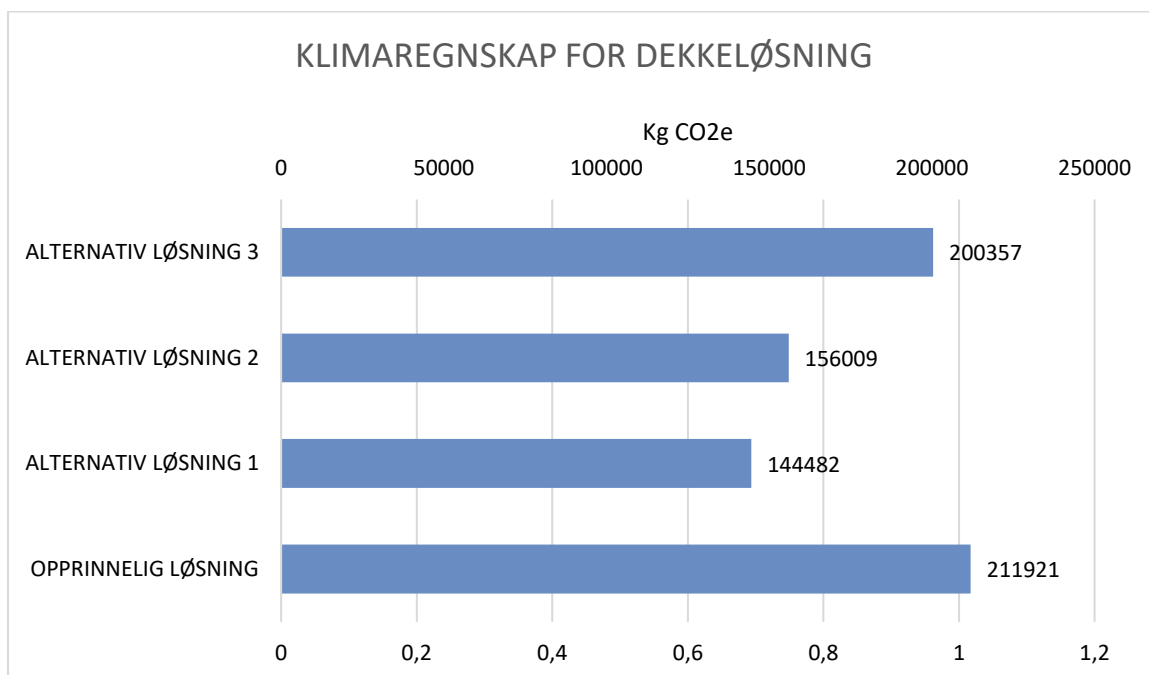
MATERIALE	UTSLIPP KGCO2E	ANDEL AV TOTAL
Parkett	27174,02	13,56%
Avrettingsmasse	89787,92	44,81%
Isolasjon	12169,36	6,07%
Massivtre	53975,71	26,94%
Konstruksjonsvirke	1833,45	0,92%
Stålprofiler	2024,56	1,01%
Gips	13392,15	6,68%
	<b>200357,17</b>	

Alternativ dekkeløsning 2 vil basert på beregninger fra One Click ha et utslipp på **200 357 kg CO2e**.

#### 4.2.7 Foreslått løsning

I denne delen fremstilles den løsningen som på bakgrunn av resultatene fremstår som den mest klimavennlige. Løsningen vil være en kombinasjon av de ulike alternativene, i tillegg til at noen enkeltmaterialer er byttet ut med et tilsvarende produkt med lavere klimaavtrykk.

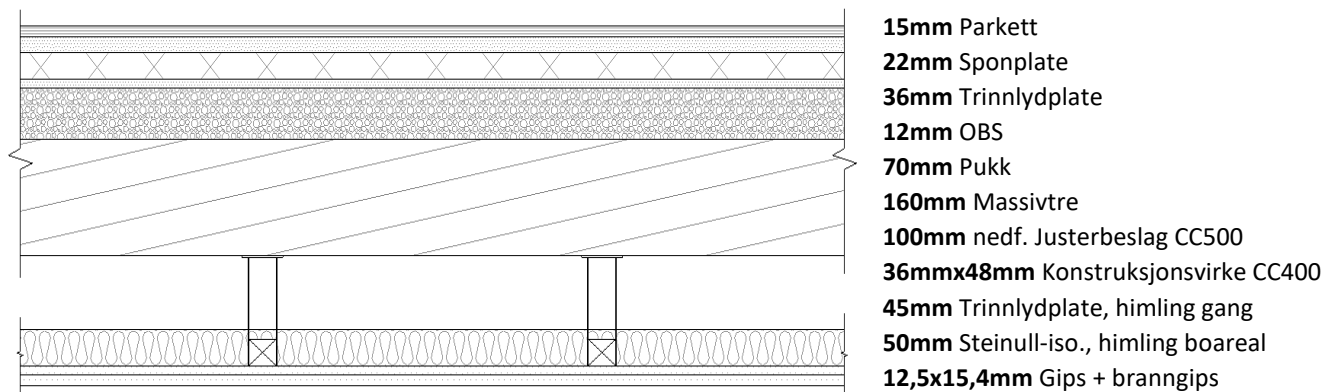
Tabell 14 Klimaregnskap for dekkeløsning



Alternativ løsning 1, hvor avrettingsmasse er byttet ut til fordel for pukk, fremtrer fra resultatene som den løsningen med størst potensiale i forhold til reduksjon av klimagassutslipp. Alternativ løsning 1 er tung dekkekonstruksjon, og vil på bakgrunn av dette ha lignende akustiskegenskaper til den eksisterende løsningen. I tillegg virker utskifting av himlingsystem, alternativ 2, til å ha en merkbart reduserende innvirkning på klimagassutslippene. Det ønskes på bakgrunn av dette, å velge en løsning som kombinerer disse.

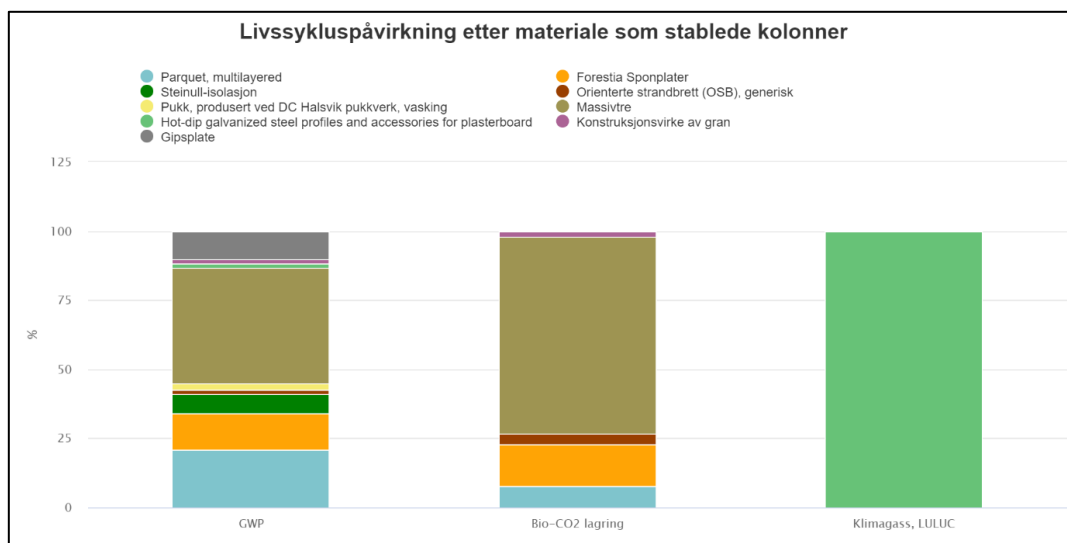
## LEILIGHET

For leilighetsarealet ønskes det å foreslå en løsning hvor pukk benyttes fremfor avrettingsmasse, med tilhørende himlingsystem foreslått i 4.2.5.



Figur 25 Foreslått løsning for leilighet

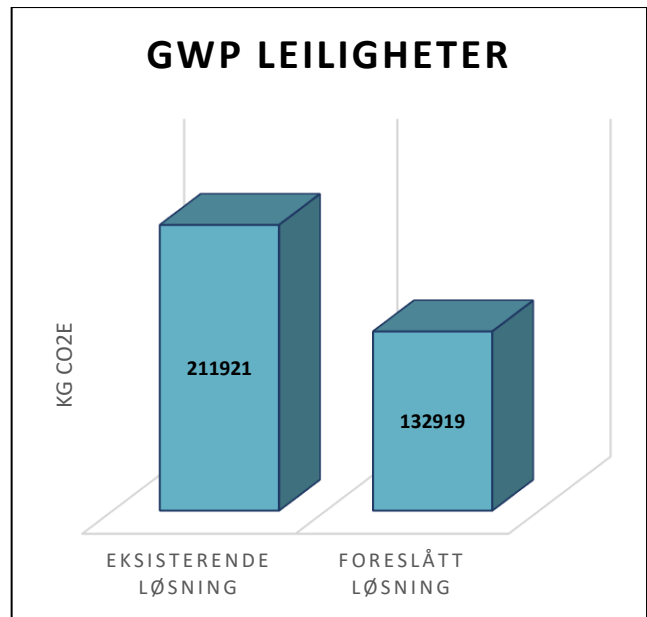
Livsløpsanalyse av foreslått dekkeløsning for leilighetsareal er presentert i figuren under.



Figur 26 Livssykluspåvirkning etter materiale, Foreslått løsning leilighet

MATERIALE	KgCO <sub>2</sub> e
Parkett	27174,02
Sponplater	16645
Isolasjon	9208,98
OSB	5430,15
Pukk	3235,04
Massivtre	53975,71
Konstruksjonsvirke	1833,45
Stålprofiler	2024,56
Gips	13392,15
	<b>132919,06</b>

Tabell 15 Utslipp i KgCO<sub>2</sub>e, foreslått løsning leilighet

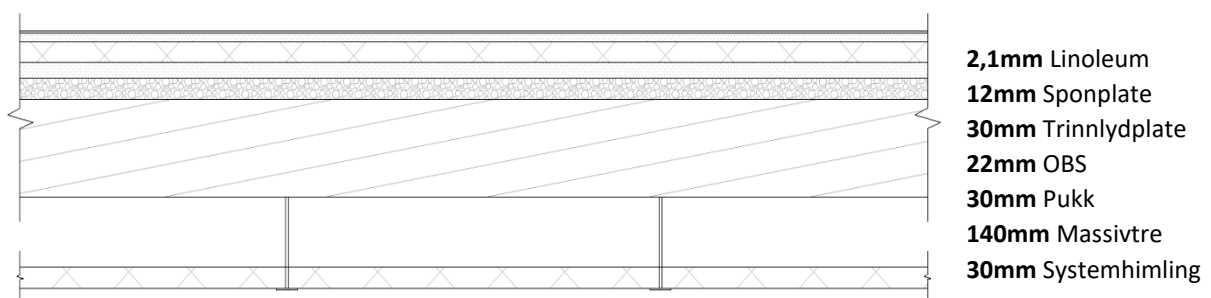


Figur 27 Sammenligning opprinnelig og foreslått løsning leilighet

Ut ifra de beregninger som er gjort, vil en løsning med pukk fremfor avrettingsmasse, med et annet himlingsystem, potensielt kunne gi en reduksjon av klimagassutslipp på **79002 kg CO<sub>2</sub>e**.

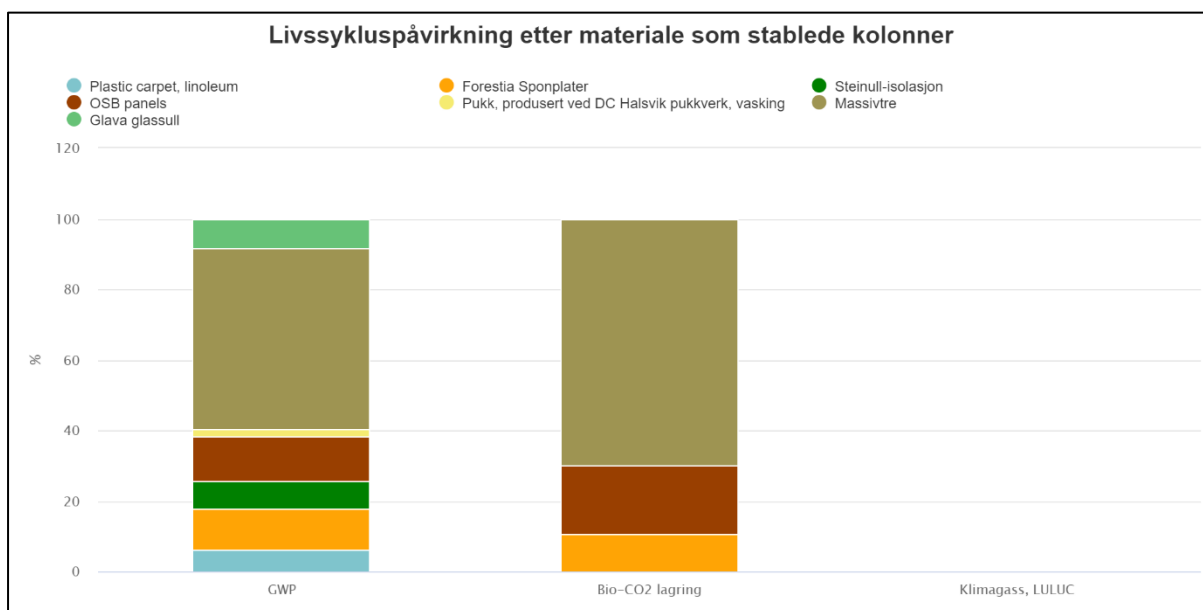
### FELLESAREAL

Også i fellesarealet er det valgt en løsning med pukk fremfor avrettingsmasse. Det ønskes også å velge et annet gulvdekke, da det anvendte gulvbelegget i vinyl er knyttet til en stor andel av klimagassutslippene fra dekkeløsningen.



Figur 28 Foreslått løsning fellesareal

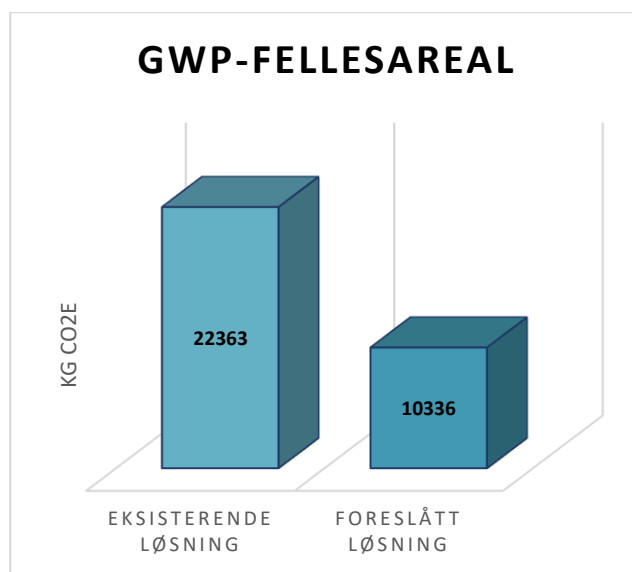
Livsløpsanalyse av foreslått dekkeløsning for fellesareal er presentert i figuren under.



Figur 29 Livssykluspåvirkning etter materiale, foreslått løsning fellesareal

MATERIALE	KGCO <sub>2</sub> E
Linoleum	647,36
Sponplate	1179,05
Trinnlydplate	823,82
OSB	1292,84
Pukk	240,4
Massivtre	5275,84
Systemhimling Glava	877,04
	<b>10336,35</b>

Tabell 16 Utslipp i KgCO<sub>2</sub>e, foreslått løsning fellesareal



Figur 30 Sammenligning opprinnelig og foreslått løsning fellesareal

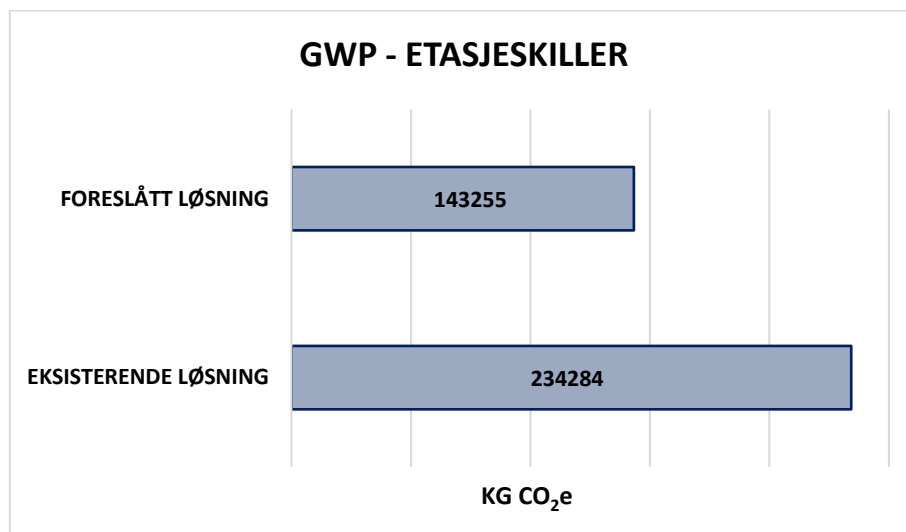
Den valgte dekkeløsningen vil ha et utslipp på **10336 kg CO<sub>2</sub>e**. Ved å velge denne løsningen kan det potensielt spares **12027 kg CO<sub>2</sub>e**. Det er altså mulig å halvere klimagassutslippene fra etasjeskillere i fellesarealet.



## TOTAL BESPARELSE

Tabell 17 Total besparelse dekkeløsning

	Reduksjon av kg CO <sub>2</sub> e
Leilighetsareal	79002
Fellesareal	12 027
<b>SUM</b>	<b>91029</b>



Ved å benytte de foreslåtte løsningene vil det kunne oppnås en total besparelse på **91029 kg CO<sub>2</sub>e** fra boligblokkens dekkekonstruksjon.

### 4.3 Ståldetaljer

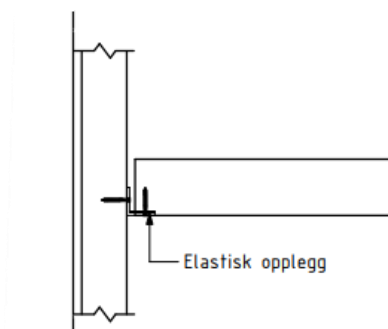
Hovedandelen stål i MPTRE er brukt i forbindelse med oppheng til himling, festemidler og sammenføyninger mellom betongdekket og massivtreelementene. Det er også valgt stålbjelker fremfor limtrebjelker ved noen tilfeller. Det er utfordrende å finne tilsvarende løsninger til disse, da ståldetaljene ofte kan gjennomføres i mindre dimensjoner enn materialer med tilsvarende egenskaper. Det ønskes likevel å undersøke effekten alternative utføringer har i forhold til utslippsreduksjon.

#### 4.3.1 Avgrensing

Bruk av skruer er ikke tatt med i klimaregnskapet, da det er usikkerhet knyttet til hvor mange skruer alternative løsninger vil behøve. Det kan ikke garanteres at løsningene tilfredsstillende nødvendig bæreevne og stivhet, da det ikke er gjort beregninger av dette. Løsninger som foreslås oppleves likevel som fornuftige.

#### 4.3.2 Stålvinkler

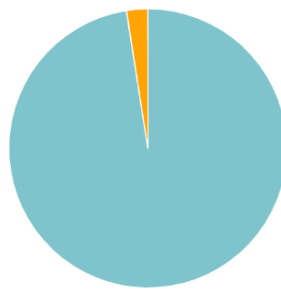
Både trapperom, repos og selve trappen er av massivtre. Som elastisk opplegg til reposene er det brukt vinkler i stål. Vinklene har mål 100x100x10, med en bredde på 1700 mm. Det foreslås en alternativ løsning hvor bjelker i konstruksjonsvirke brukes som understøtte for reposene, fremfor stålvinkler.



Figur 31 Ståldetalj 1

Tabell 18 Utslipp i KgCO<sub>2e</sub>, Ståldetalj 1

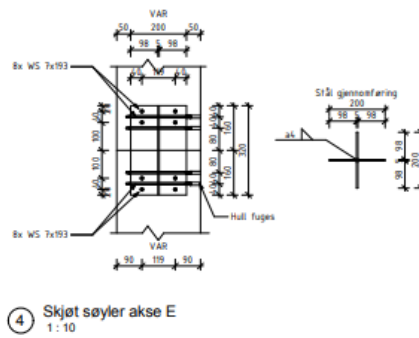
LØSNING	DIMENSJON	ANTALL	VOLUM (M <sup>3</sup> )	KgCO <sub>2e</sub>
Stålvinkel	2 × 100mm × 10mm × 1700mm	16	0,0544	<b>1078,6</b>
Konstruksjonsvirke	48mm × 148 mm × 1700mm	16	0,193	<b>27,3</b>



Figur 32 Sammenligning av opprinnelig og foreslått løsning, Ståldetalj 1

#### 4.3.3 Skjøting av søyler

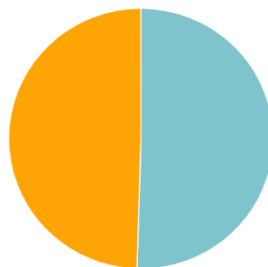
Denne detaljen befinner seg på utsiden av byggets fasade, i forbindelse med balkongene. To søyler strekker seg fra bakkenivå til taket. Søylene er føyd sammen i endene med bruk av stålkryss. Det finnes totalt 6 slike skjøter fordelt på de to søylene. Her kan det være en mulighet å benytte treverk til sammenføyningen, ved å forbinde søylene med eksempelvis konstruksjonsvirke 36x148. I beregnet løsning er det tatt høyde for konstruksjonsvirke med denne dimensjonen langs hele søylens lengde. Forskyvning av skjøter i forhold til søylen vil være viktig for å oppnå stabilitet.



Figur 33 Ståldetalj 2

Tabell 19 Utslipp i KgCO<sub>2e</sub>, Ståldetalj 2

LØSNING	DIMENSJON	ANTALL	VOLUM (M <sup>3</sup> )	kgCO <sub>2e</sub>
Stålgjennomføring	2 × 200mm × 320mm × 5mm	6	0,00384	<b>76,1</b>
Konstruksjonsvirke	2 × 36mm × 148 m × 24500mm	2	0,522	<b>73,9</b>

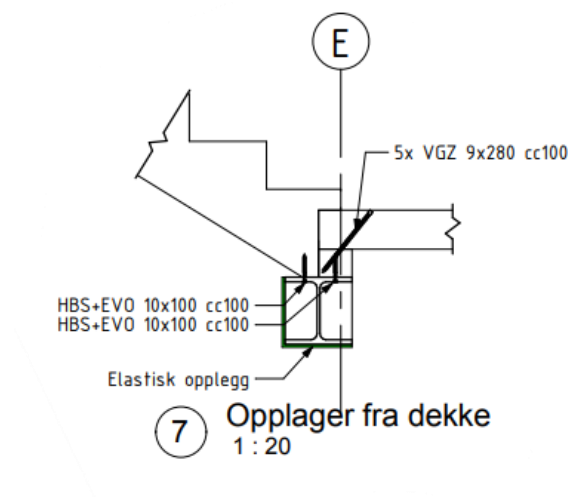


Figur 34 Sammenligning av opprinnelig og foreslått løsning, Ståldetalj 2

Løsningen som foreslås krever relativt store mengder trevirke sammenlignet med mengden stål brukt i skjøtene. Det er dermed begrenset hvor stor utslippsreduksjonen vil være for denne løsningen. Reduksjonen i den foreslåtte løsningen vil være på ca. **3 kg CO<sub>2e</sub>**. Bruk av tre vil medføre større arbeidsmengde og plassbehov. Å skjøte søylene med stålkryss fremtrer på bakgrunn av dette som den foretrukne løsningen i dette tilfellet.

#### 4.3.4 Stålbjelker

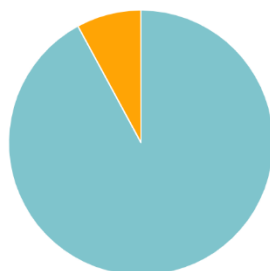
I boligblokkens 1.etasje er det brukt stålbjelker som understøtte til trapp. I resterende etasjer er det brukt limtredragere. Stålbjelken er trolig brukt på grunn av behov for stor bæreevne. Som er erstatning er det foreslått en limtre drager.



Figur 35 Ståldetalj 3

Tabell 20 Utslipp i KgCO<sub>2e</sub>, Ståldetalj 3

LØSNING	DIMENSJON		ANTALL	VOLUM (M <sup>3</sup> )	kgCO <sub>2e</sub>
HEB 240	240mm × 240mm × 7530mm		1	0,082	<b>827,87</b>
Limtre	140mm × 300mm × 7530mm		1	0,326	<b>70,98</b>



Figur 36 Sammenligning av opprinnelig og foreslått løsning, Ståldetalj 3

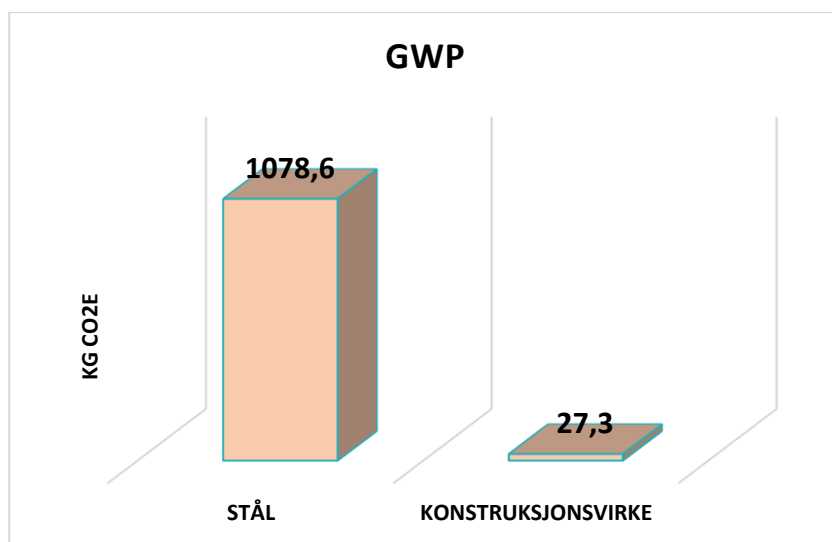
#### 4.3.5 Reduksjon av klimagassutslipp fra ståldetaljer

I dette delkapittelet vil det redegjøres for den totale besparelsen som kan oppnås ved utskifting av de utvalgte ståldetaljene.

##### LØSNING 1: STÅLVINKLER

MATERIALE	KGCO <sub>2</sub> E
Stål	1078,6
Konstruksjonsvirke	27,3
<b>REDUKSJON</b>	<b>1051,3</b>

Tabell 21 Reduksjonspotensiale detalj 1



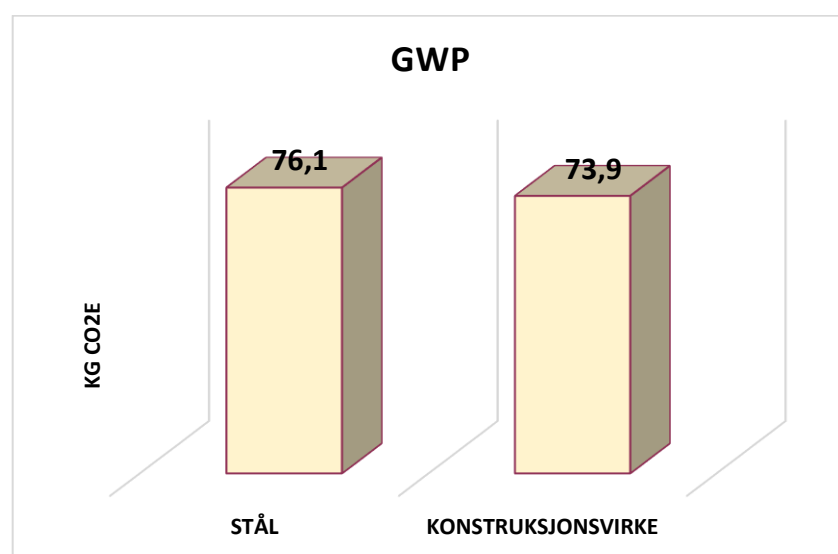
Figur 37 Fremstilling av reduksjonspotensiale, Detalj 1

Ved å bytte ut stålvinkler med en bjelke i konstruksjonsvirke som understøtte, kan det oppnås en reduksjon **1051,3 kg CO<sub>2</sub>e**.

##### LØSNING 2: STÅLSKJØT

MATERIALE	KGCO <sub>2</sub> E
Stål	76,1
Konstruksjonsvirke	73,9
<b>REDUKSJON</b>	<b>2,2</b>

Tabell 22 Reduksjonspotensiale detalj 2



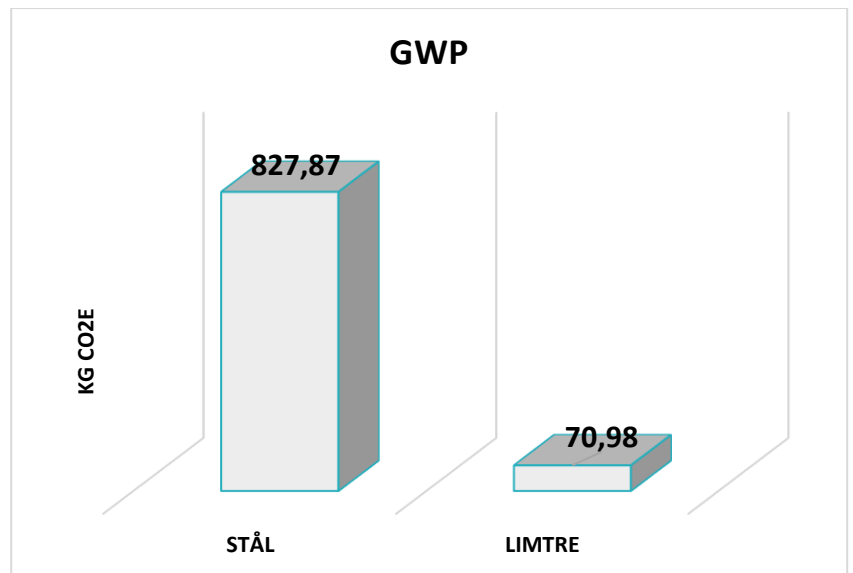
Figur 38 Fremstilling av reduksjonspotensiale, Detalj 2

Løsningen som er foreslått som et alternativ til stålskjøtene har liten virkning knyttet til en utslippsreduksjon. Her fremtrer stål som det mest optimale materialet, fordi besparelsen er for liten til at en løsning i konstruksjonsvirke vil lønne seg.

### LØSNING 3: STÅLBJELKE

MATERIALE	KGCO <sub>2</sub> E
Stål	827,87
Limtre	70,98
<b>REDUKSJON</b>	<b>756,89</b>

Tabell 23 Reduksjonspotensiale detalj 3



Figur 39 Fremstilling av reduksjonspotensiale, Detalj 3

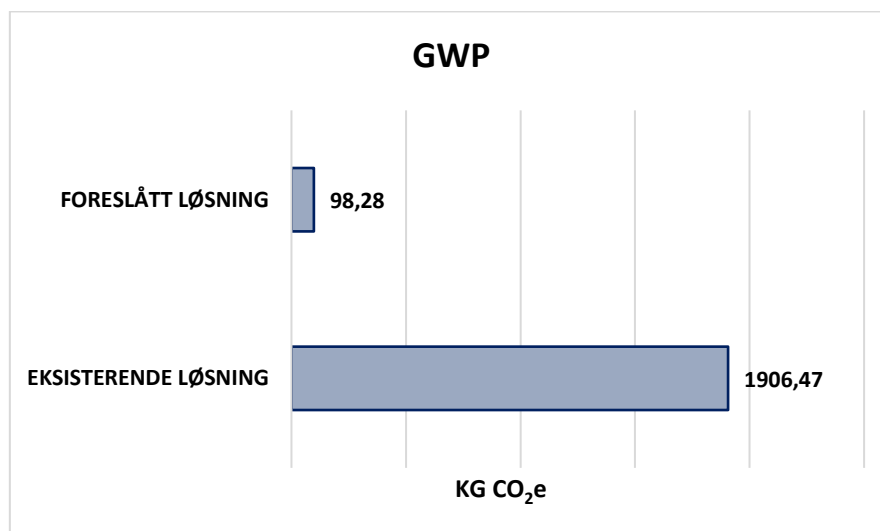
Ved å skifte ut stålbjelkene til fordel for limtrebjelker i 1.etg, vil det potensielt kunne redusere klimagassutslippet med **756,89 kg CO<sub>2</sub>e**.

## TOTAL BESPARELSE

Ved å gå videre med løsning 1 og 3, hvor stålvinkler i forbindelse med trapp byttes ut med bjelker i konstruksjonsvirke og stålbjelker erstattes med limtretragere, vil klimagassutslippet knyttet til bruk av stål kunne reduseres med **1808 kg CO<sub>2</sub>e**.

Tabell 24 Total besparelse, Ståldetaljer

	Reduksjon av kg CO <sub>2</sub> e
Løsning 1	1051,3
Løsning 3	756,89
<b>SUM</b>	<b>1808,19</b>





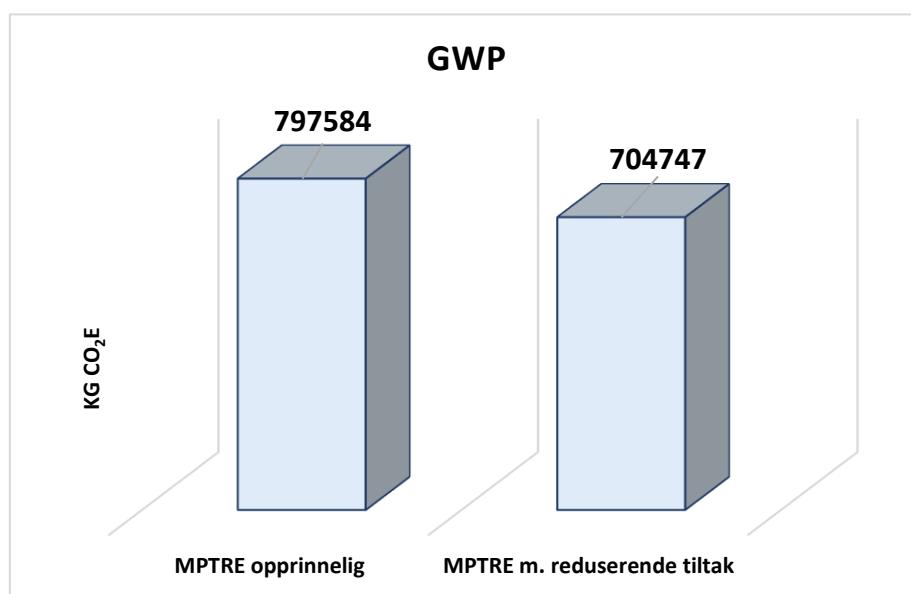
#### 4.4 Total reduksjon av klimagassutslipp fra MPTRE

Det ønskes i denne delen å sette resultatene fra livsløpsanalysen i et helhetlig perspektiv for å få en større forståelse av resultatenes betydning.

Totalt GWP-utslipp for referansebygget MPTRE ble utregnet av Veidekke i en avsluttende LCA-rapport for bygget (Vedlegg 4). Inkludert i totalen ligger også konstruksjoner under bakkenivå, hhv i lavkarbonbetong.

Tabell 25 Total besparelse med foreslåtte løsninger, ink. fundamentering

	Miljøpåvirkning	Prosent av total
MPTRE inkl. fundamentering	797 584	100%
Reduserende tiltak	-92 837	11,6%

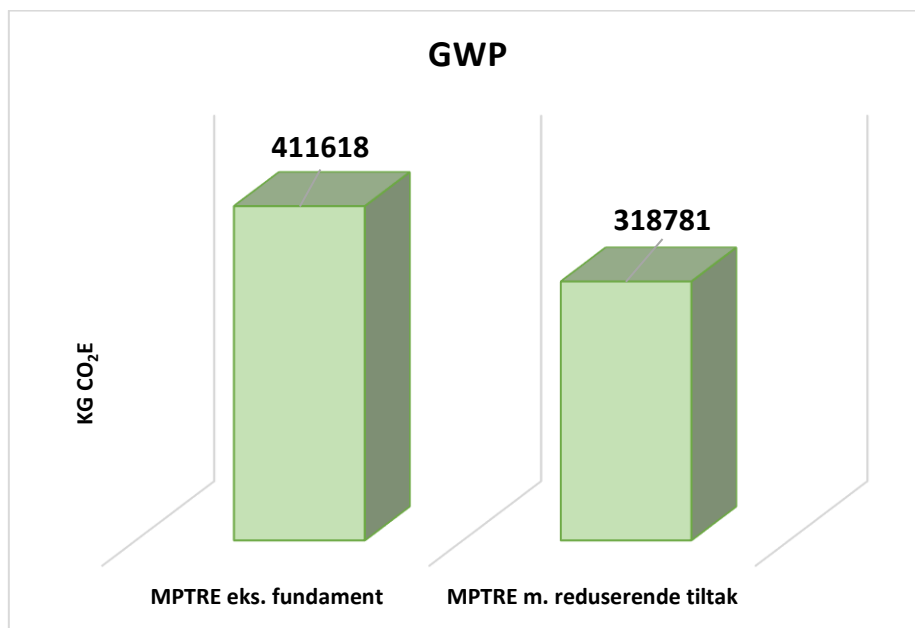


Figur 40 Fremstilling av total besparelse med foreslåtte løsninger, ink. fundamentering

Da denne oppgaven i hovedsak dreier seg om reduksjon av utslipp i massivtrebygg, er det også ønskelig å legge frem resultater som omhandler kun denne delen av konstruksjonen.

Tabell 26 Total besparelse med foreslåtte løsninger, eks. fundamentering

	Miljøpåvirkning	Prosent av total
MPTRE eks. fundamentering	411618	100%
Reduserende tiltak	-92 837	22,6%



Figur 41 Fremstilling av total besparelse med foreslåtte løsninger, eks. fundamentering

## 5. DISKUSJON

I dette kapitlet vil oppgavens forskningsspørsmål besvares ved å knyttes opp mot resultatdelen i studien. Det vil samtidig gjøres en vurdering av oppgavens gyldighet og pålitelighet.

### 5.1 Forskningsspørsmål

*Hvordan påvirker ulike byggtekniske løsninger ved Maskinparken TRE en livsløpsanalyse, og hvilke materialer står for den største andelen klimautslipp?*

Veidekke forklarer valg av krysslaminert limtre som hovedmateriale i bærende konstruksjon med et ønske om å redusere karbonavtrykket fra bygninger (Veidekke, massivtre). Flere studier underbygger denne påstanden (Pierobon, 2019),(Hegeir, 2022),(Leirfall, 2020), og Veidekke kan vise til en reduksjon av klimagassutslipp på 39% fra massivtrebygninger sammenlignet med lignende boligbygg i betong (Vedlegg 1). På en annen side kritiseres bruk av massivtre som «miljømateriale» på bakgrunn av lang transportvei ved importering (Reiersen 2020). Det vises også til at massivtrekonstruksjoner må implementere større mengder betong, gips og stål i konstruksjonen for å oppfylle diverse byggtekniske krav (Galtvik 2019). Uenighet innad i næringen beviser viktigheten av å gjennomføre en klimagassberegning av hele produktsystemet, for å kunne dokumentere de faktiske utslippene.

Livsløpsanalysen gjort i studien viser at dekkeløsningen ved MPTRE har et klimagassutslipp på **234 289 kg CO<sub>2e</sub>**. Det er vanskelig å vurdere dette resultatet isolert sett, uten å se det i en større sammenheng. Resultatet fra analysen forteller også hvor stor andel av utslippene som er knyttet til enkeltmaterialene i oppbygningen av komponentene. På bakgrunn av dette fremgår det hvilke materialer som bør prioriteres å velge bort ved nye løsninger.

Avrettingsmasse har en total mengde på 276 m<sup>3</sup> i byggets etasjeskiller, og står for over 40% av utslipp tilknyttet dekkeløsningen i leilighetene. Avrettingsmasse brukes blant annet for å oppnå tyngde, og på den måte skape bedre lydforhold. For å tilfredsstille krav til brannsikring brukes det også en større mengde gips. Det var dermed forventet en stor andel utslipp tilknyttet dette materialet, men utslippet resulterte i ca. 6%. Et relativt lavt resultat sammenlignet med avrettingsmassen. Et annet resultat som var noe overraskende, var de store utslippene tilknyttet gulvbelegget i vinyl brukt i fellesarealet. For dekkeløsning i fellesareal kan 24,5% av utslippene tilknytttes avrettingsmasse, mens hele 44% kommer fra vinylbelegget.

I lys av disse resultatene er det tydelig at konsekvensen av materialvalg i oppbygningen av byggt tekniske løsninger ved en massivtrekonstruksjon slår tydelig ut på en LCA. Velvalgte materialvalg bør i større grad vektlegges uavhengig av bæresystem.

***Hvilke alternative løsninger kan redusere byggets klimautslipp, og hvor stor kan en utslippsreduksjon potensielt bli?***

Av resultatene fremgår det at etasjeskiller i leilighet med en løsning hvor pukk benyttes fremfor avrettingsmasse og et himlingsystem med redusert stålmengde gir en reduksjon på **79002 kg CO<sub>2e</sub>**. I fellesareal vil en løsning med pukk og gulvdekke av linoleum fremfor vinyl gi en reduksjon på **12027 kg CO<sub>2e</sub>**, noe som tilsvarer en halvering av opprinnelig utslipp. Ved å erstatte stålprofiler i trapp og stålbjelker i første etasje med løsninger i trevirke, vil det kunne oppnås en reduksjon på **1808 kg CO<sub>2e</sub>**. Totalt vil løsningene potensielt kunne redusere klimagassutslippet fra MPTRE med **11,6%**, hvor parkeringskjeller er inkludert. Om bygget avgrenses til å ikke inkludere parkeringskjeller, vil den totale reduksjonen tilsvare **22,6%**.

Basert på utslippsreduksjonen virker det å ligge et stort potensial i å redusere bruken av spesielt stål og betong, til fordel for mer klimavennlige materialer. Et klimavennlig materiale vil i oppgavens sammenheng være et materiale med lavere klimagassutslipp enn tilsvarende materialer med samme funksjon. Asplan Viak uttaler at «*Selv om et materiale kan ha lavere utslipp per enhet, sammenliknet med et annet, kan det være andre forhold og tekniske egenskaper som påvirker summen av materialbruk i bygget, og som kan ha betydning for byggets totale klimaavtrykk*» (Asplan Viak 2017). Selv om utbytte av enkeltmaterialer for å oppnå en utslippsreduksjon fremstår som en relativt enkel prosess, er det krevende å utvikle byggt tekniske løsninger uten at det går på bekostning av kvalitet og funksjon. Spesielt vanskelig er det å utvikle lette gulvkonstruksjoner som er konkurransedyktig på grunnlag av akustiske egenskaper.

På bakgrunn av oppgaven kan det virke som det ligger en stor miljømessig gevinst i å undersøke 1) byggt tekniske løsninger med innslag av stål og betong og 2) større bygningskomponenter som etasjeskiller. Det er likevel vanskelig å fastslå, da oppgaven er begrenset til kun et fåtall detaljer og bygningsdeler. Det ville derfor vært svært interessant å undersøke utslippspotensialet i resterende konstruksjon, på bakgrunn av den relativt store reduksjonen som kom frem i oppgavens resultatdel.

## 5.2 Vurdering av studien

Det er krevende å gjennomføre en klimagassberegning av bygningskomponenter på bakgrunn av et svært komplekst produktsystem, og valg av metodikk er derfor viktig for å skape større pålitelighet tilknyttet resultatene i oppgaven. Det er valgt å bruke livsløpsanalyse som metode for å vurdere klimapåvirkningen til bygningskomponenter og materialer, på bakgrunn av viktigheten av å undersøke klimagassutslipp i et helhetlig livsløpsperspektiv. One Click er brukt som beregningsverktøy, og har gjort det mulig å fremstille kompleks informasjon på en forståelig måte for mottaker, samtidig som programvaren har gjort arbeidsmengde overkommelig.

Den største utfordringen ved bruk av One Click er knyttet til EPD. Ikke alle aktuelle bygningsprodukter lå tilgjengelig med tilhørende EPD i One Click. Det har vært krevende å finne tilsvarende produkter, og dette har bidratt til å skape noe usikkerhet til resultatet av klimagassberegningene. En annen utfordrende faktor er tilknyttet studentlisensen til One Click, som har en varighet på 2 uker. Dette har medført at beregninger kun kan gjennomføres over en begrenset periode. Etter lisensslutt er det ikke mulig å hente resultater eller gjøre endringer, og sett i etterkant burde beregninger blitt gjennomført litt senere i prosessen.

Klimagassberegninger er en relativt ny metode (Wiik, 2020), og det er dermed noe usikkerhet tilknyttet LCA som et verktøy for å vurdere bygningers klimapåvirkning. Det har vært et klart behov for tydeligere rammeverk, og det er derfor opprettet en norsk standard:

Klimagassberegninger for bygninger (NS 3720). One Click legger denne til grunn ved utførelse av klimagassregnskap, og dette bidrar til å kvalitetssikre resultatene i oppgaven.

## 6. KONKLUSJON

BAE-næringen står for mange arbeidsplasser og stor verdiskapning. Næringen står også for 40% av det totale klimagassutslippet. Med innkjøp av 40% av verdens materialressurser (SINTEF, 2020) er det grunnlag for å si at byggesektoren er en kjøpesterk næring. Med dette følger en stor mulighet for påvirkning til valg av bærekraftige løsninger. En LCA belyser hvilke materialvalg som kan tilknyttes de største utslippene, og muliggjør å optimalisere bygninger i forhold til en klimagassreduksjon. Flere velger å bygge i massivtre, som er et fordelaktig materialvalg sett fra et klimaperspektiv. Det er et steg i riktig retning, men resultatene fra oppgaven belyser konsekvensene av resterende materialvalg. Det bør i hele prosjekteringsfasen gjøres veloverveide valg av hensyn til miljø, fra vugge til grav, og fra bæresystem til gulvbelegg.

Oppgavens resultater viser at det er mulig å oppnå en reduksjon av klimagassutslipp fra massivtrekonstruksjonen MPTRE på **92 837 kg CO<sub>2</sub>e**. Dette resultatet bekrefter hypotesen om at det ligger et større forbedringspotensial innen optimalisering av massivtrekonstruksjoner med hensyn til klimagassutslipp. Det aller største potensialet virker å ligge i dekkekonstruksjon, når avrettingsmasse byttes ut med mer klimavennlige materialer. Samtidig har massivtre materialegenskaper som gjør at dette arbeidet ikke er helt uproblematisk, da det er krevende å velge miljøvennlige elementer i bygningskomponentene samtidig som krav til brann og akustikk tilfredsstilles.

Oppgaven løfter frem massivtre som et velfungerende og klimabesparende alternativ til stål og betong i bærende konstruksjon. Resultatene viser likevel at ved planlegging kan det i enda større grad tas i bruk klimavennlige materialer. Oppgaven tar i bruk LCA som metode for å vurdere den endelige miljøbelastningen gitt av materialvalg. Å ta i bruk livsløpsanalysen i tidlig planleggingsfase, og ikke bare som en vurdering av sluttprodukt, kan trolig være et hensiktsmessig verktøy for å oppnå byggetekniske løsninger med lavere klimaavtrykk.

## 7. VEIEN VIDERE

Det er liten tvil om at det innenfor massivtre som fagområde eksisterer større kunnskapsmessige og økonomiske barrierer (Asplan Viak, 2017). For å optimalisere massivtrebygging sett fra et klimaperspektiv, kreves det nyskapende og innovative løsninger. Det behøves et kunnskapsløft og en større endringsvilje, og det fremstår som nødvendig at utbyggere og entreprenører er villig til å ta risiko for å drive utviklingen i riktig retning. På denne måten kan det oppnås erfaringsbasert kunnskap på området.

Ved ZEB-laboratoriet er det forsøkt å utvikle en gulvkonstruksjon som skal redusere klimaavtrykket og samtidig være konkurransedyktig med tyngre konstruksjonsløsninger (SINTEF, 2021). Først ved å ta i bruk løsninger i faktiske massivtrekonstruksjoner kan utfordringer belyses og på den måten forbedres. Det er et større behov for liknende prosjekt, for å utvikle massivtre som en byggemetode med lavt klimaavtrykk og samtidig oppnå byggtekniske løsninger med tilstrekkelig kvalitet.

## REFERANSELISTE

- Almaas, I. H., (2014) Nytenkning i bygg og anlegg?, tilgjengelig fra: <https://arkitektur-n.no/artikler/nytenkning-i-bygg-og-anlegg> (Hentet 11.03.2022)
- Andersen, J. H., Rasmussen, N. L., Ryberg, M. W. (2022), Comparative life cycle assessment of cross laminated timber building and concrete building with special focus on biogenic carbon, tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821008884> (Hentet 19.04.2022)
- Asplan Viak (2017) Miljøvurdering av byggematerialer, tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/contentassets/b3957c1bd5cb4f3c8b25ccb73e2ac2c5/miljc3b8vurdering-av-byggematerialer.pdf> (Hentet 19.04.2022)
- Asplan Viak (2020) Klimavennlige byggematerialer - Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk, tilgjengelig fra: <https://www.asplanviak.no/prosjekter/klimavennlige-byggematerialer-potensial-for-utslippskutt-og-barrierer-mot-bruk/> (Hentet 14.05.2022)
- Bjørnstad, L. (2016) Kan vi bruke betong med god klimasamvittighet? tilgjengelig fra: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248> (Hentet 07.04.2022)
- Bolin, T. A. (2018) "Skipet"- første og største i KL-tre i Bergen, tilgjengelig fra: <https://nyheter.byggfakta.no/skipet-forste-og-storste-i-kl-tre-i-bergen-131597/nyhet.html> (Hentet 19.04.2022)
- Byggeteknisk forskrift (TEK17) (2017), § 13-6. Lyd og vibrasjoner, tilgjengelig fra: [https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/13/iv/13-6/?t\\_q=lyd](https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/13/iv/13-6/?t_q=lyd) (Hentet 11.03.2022)
- Dubois, A., Gadde, L.-E. (2010) The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation, tilgjengelig fra: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01446190210163543?needAccess=true> (Hentet 11.03.2022)
- Eliassen, A. (2019) Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1, tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2627046> (Hentet 07.05.2022)
- EPD-Norge (2022) Hva er en EPD? Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/> (Hentet 14.05.2022)
- Galtvik, R. (2019) Tolkning av brannregelverket for høye bygninger i massivtre, tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2606252> (Hentet 10.05.2022)
- Gustafsson, A. (2019) Svensk standard, The CLT Handbook, CLT structures – facts and planning, tilgjengelig fra: [https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/clt-handbook-2019-eng-m-svensk-standard-2019.pdf?fbclid=IwAR0--CR77NkJPHs3ZyoMO4htgkmNc0mOfm\\_11alC6UjAjjiAhCgs1EJsaQ](https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/clt-handbook-2019-eng-m-svensk-standard-2019.pdf?fbclid=IwAR0--CR77NkJPHs3ZyoMO4htgkmNc0mOfm_11alC6UjAjjiAhCgs1EJsaQ) (Hentet 07.04.2022)
- Halseth, P. T. (2019) Boligbygging i massivtre: Sammenligning av boligblokk i massivtre og betong, tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2622389> (Hentet 07.05.2022)
- Hegir, O. A., Kvande, T., Stamatopoulos, H., Bohne, R. A. (2022), Comparative Life Cycle Analysis of Timber, Steel and Reinforced Concrete Portal Frames: A Theoretical Study on a Norwegian Industrial Building, tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/573> (Hentet 19.04.2022)



- Hill, J. (2013) Life Cycle Analysis of Biofuels, tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-analysis> (Hentet 21.03.2022)
- Leirfall, C., Skei, S., Hermansen, K. (2020) Bruk av massivtre- og betongelement i flerbrukshall, tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2658911> (Hentet 07.05.2022)
- Lier, B., Aasheim, P.A. (2020) Markedsanalyse KL- tre markedet i Norge 2020 -2030, tilgjengelig fra: <https://www.viken.skog.no/files/documents/brosjyrer/markedsanalyse-230120.pdf> (Hentet 17.02.2022)
- Lilleby, et grønt byliv (2019) tilgjengelig fra: <https://www.nyelilleby.no/bolig/leiligheter/maskinparken+tre> (Hentet: 14.02.2022)
- Liu, Y. mfl. (2016) Assessing Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Material for Mid-Rise Residential Buildings in Cold Regions in China—A Life-Cycle Assessment Approach, tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/10/1047/htm> (Hentet 17.02.2022)
- Norsk stål (2022) Stålproduksjon i dag, tilgjengelig fra: <https://www.norskstaa.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/staalproduksjon-i-dag> (Hentet 21.03.2022)
- Norsk treteknisk institutt (2004) Nr. 8, Fokus på tre, tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/8-Tre-og-miljo.pdf> (Hentet 17.02.2022)
- Norsk treteknisk institutt (2011) Nr. 20, Massivtre, tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf> (Hentet 14.02.2022)
- Norske Limtreprodusenters Forening (2015) Limtreboka, tilgjengelig fra: [https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka\\_2015\\_el2.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf) (Hentet 04.03.2022)
- NS-EN ISO 14040 (2006) Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk, tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=14040&subscr=1> (Hentet 21.03.2022)
- Nygaard, M., Sunter, C., Flindall, O. K. (2016) Et gjennombrudd for massivtre, tilgjengelig fra: <https://arkitektur-n.no/artikler/et-gjennombrudd-for-massivtre> (Hentet 07.04.2022)
- OPAK (2017) Montering av massivtre og fysiske belastningsskader, tilgjengelig fra: <https://www.opak.no/fagartikkel-05-2017-montering-av-massivtre-og-fysiske-belastningsskader/> (Hentet 04.03.2022)
- Reiersen, J.-E. (2020) Innlegg: Kunnskapsbasert og sunn konkurranse er ikke fundamentalisme, tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/innlegg-kunnskapsbasert-og-sunn-konkurranse-er-ikke-fundamentalisme/1452591/> (Hentet 10.05.2022)
- Rønning, A., Lyng, K-A., Vold, M. (2011) Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer, tilgjengelig fra: [https://www.regjeringen.no/contentassets/f4ae160c965744efa45151b240ffe38b/kunnskapsplattform\\_beregning\\_klimabelastning\\_fra\\_bygg\\_byggematerialer.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/f4ae160c965744efa45151b240ffe38b/kunnskapsplattform_beregning_klimabelastning_fra_bygg_byggematerialer.pdf) (Hentet 21.03.2022)
- Selvig, E., Sørensen, Å. L., Wiik, M. K. (2017), Jakten på et nullutslippsbygg (ZEB-COM)., tilgjengelig fra: [https://www.researchgate.net/publication/313056580\\_Jakten\\_pa\\_et\\_nullutslippsbygg\\_ZEB-COM](https://www.researchgate.net/publication/313056580_Jakten_pa_et_nullutslippsbygg_ZEB-COM) (Hentet 21.03.2022)

- SINTEF (2011) Veileder for utarbeidelse av miljødeklarasjoner, Versjon 2, tilgjengelig fra: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/134741-1575466571/Dokumenter/DM-%23367992-v2-Veileder for EPD.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/134741-1575466571/Dokumenter/DM-%23367992-v2-Veileder%20for%20EPD.pdf) (Hentet 21.03.2022)
- SINTEF (2020) Framsikt 2050, tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/contentassets/ccf2bfe7339a4a75af3a5a8bfafdccff/framsikt-2050-rapport.pdf> (Hentet 11.03.2022)
- SINTEF (2021) Innovasjonsbrosjyre for ZEB-laboratoriet, tilgjengelig fra: <https://zeblab.no/news/2021/5/5/innovasjonsbrosjyre-for-zeb-laboratoriet> (Hentet 07.04.2022)
- Solberg, M. G (2016) Betong står for 5 prosent av verdens CO2-utslipp. Slik skal forskerne lage en renere variant som varer lenger, tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/betong-star-for-5-prosent-av-verdens-co2-utslipp-slik-skal-forskerne-lage-en-sterkere-og-renere-variant/347625> (Hentet 14.02.2022)
- Stena recycling, metallavfall, skrapmetall og gjenvinning av jern og metall, tilgjengelig fra: <https://www.stenarecycling.no/barekraftig-gjenvinning/materialgjenvinning/jern-og-metallskrap-avfall-gjenvinning/> (Hentet 12.05.2022)
- Think Wood, What is CLT?, tilgjengelig fra: <https://www.thinkwood.com/mass-timber/clt> (Hentet 07.04.2022)
- Trefokus (2013) Treindustriens lille grønne, tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf> (Hentet 11.03.2022)
- Vasstrand, T. S. (2019) Brann tekniske utfordringer ved prosjektering av fremtidens høyhus i massivtre, tilgjengelig fra: <https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/bitstream/handle/11250/2611897/Vasstrand.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet 12.05.2022)
- Veidekke, Massivtre, tilgjengelig fra: <https://www.veidekke.no/tjenester/miljotjenester/massivtre/> (Hentet 09.05.2022)
- Vikan, J.I. (2019) Maskinparken TRE, tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/maskinparken-tre/1383223!/> (Hentet 14.02.2022)
- Wiik, M. (2020) 10 år med klimagassberegninger – hva har vi lært? Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/1806380/> (Hentet 12.05.2022)
- Wormdal, E. D., mfl. (2017) Brannsikkerhet i bygg med massivtre, tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/spfr-a16-20229-brannsikkerhet-i-bygg-med-massivtre-spfr-2017.pdf> (Hentet 21.02.2022)
- Aarstad, J., mfl. (2010) Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus, tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-81.pdf> (Hentet 21.02.2022)
- Aasheim, E. (2016) Håndbok- bygge med Massivtreelementer, hefte 5, tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-5-Lyd.pdf> (Hentet 19.04.2022)
- Aasheim, E., mfl. (2006) Håndbok - bygge med Massivtreelementer, hefte 3, tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-3-Dimensjonering.pdf> (Hentet 21.02.2022)

Aasheim, E., mfl. (2006) Håndbok - bygge med Massivtreelementer, hefte 2, tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-2-Byggeteknikk.pdf> (Hentet 04.03.2022)

Aasheim, E., mfl. (2006) Håndbok- bygge med Massivtreelementer, hefte 4, tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-4-Brann.pdf> (Hentet 14.02.2022)

Aasheim, P.A., Lier, B. (2017) Markedsanalyse massivtre markedet i Norge 2017 – 2024, tilgjengelig fra: <https://byggitre.no/Markedsanalyse%20280217-1.pdf> (Hentet 17.02.2022)

## VEDLEGGSOVERSIKT

Vedlegg 1: Miljøpris, påmeldingsskjema

Vedlegg 2: Akustikkrapport MPTRE

Vedlegg 3: Mengdeberegninger

Vedlegg 4: LCA MPTRE

Vedlegg 5: Resultater og EPD'er fra One Click LCA

Artikkel

Plakat

