

Alexander Roy Eliassen

# Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1

Sammenligning av klimagassutslipp fra en  
plasstøpt betongbygning, massivtrebygning og  
prefabrikkert betongbygning

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Rolf Andre Bohné

Juni 2019



Alexander Roy Eliassen

# Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1

Sammenligning av klimagassutslipp fra en  
plastøpt betongbygning, massivtrebygning og  
prefabrikkert betongbygning

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Rolf Andre Bohné  
Juni 2019

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



# Sammendrag

Menneskeskapte klimagendringer er et stort problem for verden i dag, og for å nå togradersmålet i Parisavtalen må klimagassutslippene reduseres raskt. Bygninger står for 32% av det globale energiforbruket og 19% av energirelaterte klimagassutslipp, og derfor er det viktig å redusere klimagassutslipp fra bygninger.

Livssyklusanalyse (LCA) er en metode for å vurdere miljøeffektene av et produkt gjennom hele livsløpet. NS-EN ISO 14040 gir prinsipper og rammeverk for LCA, mens NS-EN ISO 14044 gir detaljerte krav for gjennomføring av en LCA. NS-EN 15978 gir beregningsregler for å vurdere miljøprestasjonen til bygninger, og her er også systemgrenser for livssyklusanalyse av bygninger gitt.

Det er gjort et klimagassregnskap av bygningene Maskinparken 2 som er bygget i plasstøpt betong og stål, Maskinparken TRE som er bygget i massivtre og Verkstedgården 1 som er bygget i prefabrikkert betong og stål. Alle bygningene har tilnærmet samme planløsning innvendig og dette gjør at de egner seg godt til sammenligning. Mengdene av materialer i de forskjellige bygningene er hentet fra RIB- og arkitektmodellene av byggene. EPDer (Environmental Product Declaration) for de ulike bygningsmaterialene er brukt for å finne klimagassutslippet til bygningene. Fasene som er inkludert er produktfasen (A1-A3), transport til byggeplassen (A4), utskifting (B4) og driftsmessig energibruk (B6). Den funksjonelle enheten er 1 m<sup>2</sup> bruksareal, og levetiden til byggene er satt til 60 år. Biogent karbon lagret i trematerialene og karbonatisering av betong er ikke inkludert i beregningene.

Resultatene viser at dersom det kun sees på bygningene, og parkeringskjelleren sees bort fra, har Maskinparken TRE det laveste klimagassutslippet, Verkstedgården 1 det nest laveste og Maskinparken 2 det høyeste. Maskinparken TRE har noe høyere utslipp i transportfasen enn de to andre byggene. Klimagassutslippet fra utskifting av materialer er omtrent likt for de ulike byggene. Energibruk i drift er fasen som står for de største klimagassutslippene for alle byggene. Maskinparken TRE har noe lavere utslipp fra energibruk i drift ettersom Maskinparken TRE er bygget etter passivhusstandard, mens Maskinparken 2 er bygget etter TEK10 og Verkstedgården 1 vil bli bygget etter TEK17. Parkeringskjelleren står for et stort klimagassutslipp for alle tre byggene, og dette er fordi parkeringskjelleren inneholder en stor mengde betong.

For alle byggene er betong materialet som bidrar med de største klimagassutslippene. Vinduer og balkongdører bidrar også med betydelige klimagassutslipp, dette er fordi det antas at de byttes ut i løpet av levetiden til bygget.

Dersom biogent karbon inkluderes i beregningene, får Maskinparken TRE et negativt klimagassutslipp i produktfasen selv når parkeringskjelleren inkluderes.

Sensitivitetsanalysen viser at utslippsfaktorene for elektrisitet og fjernvarme har mest å si for det totale klimagassutslippet. Levetiden til materialene vil også påvirke resultatene i stor grad.

Det er noen forskjeller på byggene som gjør sammenligning av byggene vanskeligere. Antall etasjer på byggene er forskjellig, og de er bygget etter ulik energistandard. Maskinparken TRE er bygget til passivhusstandard og dette betyr at det burde inneholde mer materialer sammenlignet med de andre byggene. Selv om Maskinparken TRE er bygget til passivhusstandard så har det lavere klimagassutslipp i produktfasen, og det betyr at det kan konkluderes med at massivtrebygninger har lavere klimagassutslipp enn sammenlignbare bygninger i betong og stål.

# Abstract

Man-made climate change is a huge problem for the world today. To reach the two degree target in the Paris agreement, greenhouse gas (GHG) emissions have to be reduced quickly. Buildings account for 19% of energy-related GHG emissions, and therefore it is important to reduce GHG emissions from buildings.

Life Cycle Assessment (LCA) is a method to assess the environmental impact of a product through the whole life cycle. NS-EN ISO 14040 gives principles and the framework for an LCA, while NS-EN ISO 14044 gives detailed requirements for the implementation of an LCA. NS-EN 15978 provides calculation principles to assess the environmental performance of buildings, and here system boundaries for LCA of buildings are given.

An LCA has been done of the buildings Maskinparken 2 (cast-in-place concrete and steel), Maskinparken TRE (cross laminated timber, CLT) and Verkstedgården 1 (prefabricated concrete and steel). All three buildings have approximately the same floor plan and this means they are well suited for comparison. The amounts of the materials in the buildings are taken from the BIM-models of the buildings. EPDs (Environmental Product Declaration) of the building materials are used to find the total GHG emissions of the buildings. The stages that are included are the product stage (A1-A3), transport to the building site (A4), replacement (B4), and operational energy use (B6). The functional unit is 1 m<sup>2</sup> gross internal area, and the lifetime of the buildings is set to 60 years. Biogenic carbon and carbonation of concrete is not included in the calculations.

The results show that if the underground car park is disregarded, Maskinparken TRE has the lowest GHG emissions, Verkstedgården 1 has the second lowest and Maskinparken 2 has the highest GHG emissions. Maskinparken TRE has somewhat higher emissions in the transport phase compared to the other buildings. GHG emissions from the replacement of materials is approximately equal for the three buildings. Operational energy use is the phase that accounts for the largest GHG emissions for all three buildings. Maskinparken TRE has lower emissions from operational energy use compared to the other buildings because Maskinparken TRE is built according to the passive house standard, while Maskinparken 2 is built to TEK10, and Verkstedgården 1 will be built to TEK17. The underground car park accounts for a large GHG emission for all three buildings because the underground car park consists of a large amount of concrete.

For all buildings concrete is the material that contributes with the largest GHG emissions. Windows and balcony doors also contribute significantly to the GHG emission, and this is because it is assumed that they are replaced during the lifetime of the buildings.

If biogenic carbon is included in the calculations, Maskinparken TRE has a negative GHG emission in the product stage even if the underground car park is included.

The sensitivity analysis shows that the emission factors for electricity and district heating affects the total greenhouse gas emissions the most. In addition, the lifetime of the materials affects the results considerably.

Some differences in the buildings make comparison more difficult. The number of stories are different, and they are built to different energy standards. Maskinparken TRE is built to the passive house standard and this means it should contain more materials compared to the other buildings. Even though Maskinparken TRE is built to the passive house standard it has lower GHG emissions in the product stage, and this means that CLT buildings have lower GHG emissions than comparable buildings in concrete and steel.

# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2019 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Det er den avsluttende delen av det toårige sivilingeniørstudiet i Bygg- og miljøteknikk med hovedprofilen Bygnings- og materialteknikk.

Oppgaven omhandler klimagassberegning av betong- og massivtrebygninger og er skrevet i samarbeid med Veidekke. Oppgaven bygger på en prosjektoppgave som ble skrevet høsten 2018.

I forbindelse med arbeidet med oppgaven er det også skrevet en artikkel til konferansen SBE19 Graz som har tittelen «*Comparative LCA of a concrete and steel apartment building and a cross laminated timber apartment building*». Denne omhandler det samme temaet og caset som denne masteroppgaven.

Jeg vil takke veileder på oppgaven Rolf André Bohne for god hjelp og gode innspill underveis i arbeidet med masteroppgaven. Jeg vil også takke Sigbjørn Faanes i Veidekke for idé til oppgaven og for veiledning, i tillegg til Vidar Amundal i Veidekke for informasjon om bygningene som er brukt som case. Jeg vil også takke Liv Højjord Svare i Rambøll for å ha utført energiberegninger.

Trondheim 10.06.2019



---

Alexander Roy Eliassen





# Innhold

Figurer .....	xii
Tabeller .....	xiii
Forkortelser .....	xiv
1 Introduksjon .....	1
1.1 Forsknings spørsmål .....	2
1.2 Strukturering av oppgaven .....	2
2 Teori .....	3
2.1 Klimaendringer .....	3
2.1.1 Drivhuseffekten .....	3
2.1.2 Global oppvarming .....	4
2.1.3 Klimaendringer og bygninger .....	5
2.1.4 Klimatilpasning av bygninger .....	5
2.2 Livssyklusanalyse .....	5
2.2.1 LCA av bygninger .....	7
2.2.1.1 Systemgrenser .....	7
2.2.1.2 NS 3720 .....	8
2.2.2 EPD – Environmental product declaration (miljødeklarasjon) .....	9
2.3 Energibruk i bygninger .....	9
2.3.1 Krav i TEK17 .....	9
2.3.2 Passivhus .....	11
2.3.3 Nullenergibygge og nullutslippsbygg .....	11
2.4 Bygningsmaterialer .....	12
2.4.1 Betong .....	12
2.4.1.1 Lavkarbonbetong .....	13
2.4.1.2 Karbonatisering av betong .....	14
2.4.1.3 Bygging med plasstøpt betong .....	15
2.4.1.4 Bygging med prefabrikkerte betongelementer .....	15
2.4.2 Massivtre .....	16
2.4.2.1 Tre og miljø .....	16
2.4.2.2 Biogent karbon .....	16
2.4.2.3 Massivtre og brann .....	17
2.4.2.4 Massivtre og lyd .....	17
2.4.2.5 Andre trematerialer .....	17
2.4.3 Stål .....	17
2.5 Tidligere forskning på klimagassutslipp av betong- og massivtrebygninger .....	18

2.5.1	Klimagassutslipp fra bygninger i betong og tre.....	18
2.5.2	CO <sub>2</sub> premie for bygningshøyde for tekniske installasjoner.....	20
2.5.3	Effekt av termisk masse.....	20
2.5.4	Effekt av håndtering av materialer etter bruk .....	21
2.5.5	Usikkerhet i LCA av bygninger .....	21
2.5.6	Oppsummering av de viktigste funnene .....	21
2.6	Levetid av bygningsmaterialer og bygningsdeler .....	21
3	Metode .....	25
3.1	Litteratursøk.....	25
3.2	Klimagassberegning.....	26
3.2.1	Mengdeberegning.....	26
3.2.1.1	Mengdeberegning av Verkstedgården .....	26
3.2.1.2	Allokering av parkeringskjeller .....	27
3.2.1.3	Mengdeberegning av baderomskabiner .....	27
3.2.2	Beregning av klimagassutslipp.....	27
3.2.3	Systemgrenser og funksjonell enhet .....	27
3.2.3.1	Cut-off.....	28
3.2.3.2	Biogent karbon og karbonatisering av betong .....	28
3.2.4	Beregning av klimagassutslipp fra transport (A4) .....	28
3.2.5	Beregning av klimagassutslipp fra utskifting (B4) .....	30
3.2.6	Beregning av klimagassutslipp fra energibruk i drift (B6) .....	30
3.2.7	Sensitivitetsanalyse.....	31
3.2.7.1	Endring av betongkvalitet og betongleverandør.....	31
3.2.7.2	Energi, fjernvarme og elektrisitet .....	31
3.2.7.3	Endring av levetid for bygning og materialer .....	32
3.2.7.4	Endring av massivtreleverandør og transportdistanse for massivtre....	32
3.2.7.5	Endring av leverandør av hulldekker.....	33
3.2.7.6	Endring av mengde festemidler.....	33
3.2.8	Antall etasjer i Maskinparken 2 .....	33
4	Case.....	35
4.1	Maskinparken 2.....	36
4.2	Maskinparken TRE .....	36
4.3	Verkstedgården 1 .....	37
5	Resultater .....	39
5.1	Mengdeberegning.....	39
5.2	Resultater fra klimagassregnskap .....	39
5.2.1	Bygningene uten parkeringskjelleren .....	39

5.2.2	Bygningene og parkeringskjelleren .....	40
5.2.3	Ulike materialer sin påvirkning på resultatene.....	42
5.2.4	Biogent karbon .....	44
5.3	Sensitivitetsanalyse .....	45
5.3.1	Levetid til bygning .....	47
5.4	Betydning av antall etasjer på Maskinparken 2.....	47
6	Diskusjon.....	49
6.1	Tolkning av resultatene fra klimagassregnskapet.....	49
6.2	Sammenligning av resultater med andre studier.....	51
6.3	Sterke og svake sider ved metoden .....	52
6.3.1	Usikkerheter i klimagassberegningene .....	52
6.3.2	Forskjeller på byggene.....	53
6.3.3	Faktorer som ikke er inkludert i klimagassberegningene.....	54
6.4	Oppsummering av funnene.....	55
7	Konklusjon .....	57
8	Videre arbeid.....	59
	Referanser.....	61
	Vedlegg.....	67

# Figurer

Figur 1: Sammenligning av varmestrålingen ved bakken og varmestrålingen målt av satellitter. Figuren viser at varmestrålingen fra bakken er sterkere enn jordens varmetap, og at atmosfæren fanger opp strålingen. Figuren er hentet fra Benestad og Mamen (2019). .....	3
Figur 2: Globale menneskeskapt CO <sub>2</sub> -utslipp fra fossilt brensel, sementproduksjon og fakling og fra skogbruk og annen arealbruk (IPCC, 2014). .....	5
Figur 3: Figuren viser at det er viktig å redusere energibruken så mye som mulig for å ha mulighet til å lage en nullenergibygning (Sartori, Napolitano og Voss, 2012).....	12
Figur 4: Figuren viser at karbonatiseringen av betong øker drastisk etter knusing av betongen (Standard Norge, 2017). .....	15
Figur 5: Sammenligning av miljøpåvirkning fra bygningsmaterialer per m <sup>2</sup> . Tallwood building er bygningen i massivtre, og Cedar building er bygningen i betong (Teshnizi <i>et al.</i> , 2018). .....	19
Figur 6: Levetid som en statistisk variabel (SINTEF byggforsk, 2004).....	23
Figur 7: RIB-modell av Maskinparken 2 (til venstre) og Maskinparken TRE (til høyre) som viser bæresystemet til de to byggene og parkeringskjelleren byggene står på. ....	35
Figur 8: RIB-modellen med bæresystemet til Verkstedgården 1 med parkeringskjelleren under. ....	35
Figur 9: Maskinparken 2, bildet er tatt av arkitektmodellen av Maskinparken 2. ....	36
Figur 10: Maskinparken TRE, bildet er tatt av arkitektmodellen av Maskinparken TRE ...	37
Figur 11: Verkstedgården 1, bildet er tatt av arkitektmodellen .....	37
Figur 12: Klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> for Verkstedgården 1, Maskinparken 2 og Maskinparken TRE uten parkeringskjellerene. ....	40
Figur 13: Klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> for Verkstedgården 1, Maskinparken 2 og Maskinparken TRE inkludert parkeringskjellerene. ....	41
Figur 14: De forskjellige bygningsdelene sine bidrag til klimagassutslippet i prosent. Parkeringskjelleren er her tatt med i 21 Grunn og fundament. Alle materialer i bæresystemene til byggene (plasttøpt betong, stål, prefabrikkert betong, massivtre) er tatt med i 22 Bæresystem, selv om bæresystemet ifølge NS3451 skulle vært fordelt på dekker, vegger osv. ....	42
Figur 15: Materialene i Maskinparken 2 inkludert parkeringskjelleren som bidrar med størst utslipp av klimagasser. For isolasjon er både plastisolasjon og steinull inkludert. .	43
Figur 16: Materialene i Maskinparken TRE inkludert parkeringskjelleren som bidrar med størst klimagassutslipp. For isolasjon er både plastisolasjon og steinull inkludert. ....	43
Figur 17: Materialene i Verkstedgården 1 inkludert parkeringskjelleren som bidrar med størst utslipp av klimagasser. For isolasjon er alt av isolasjon inkludert, både plastisolasjon og steinull.....	44
Figur 18: Forskjellen i klimagassutslipp med og uten biogent karbon fra bygningene og parkeringskjellerne i fasene A1-A3.....	44
Figur 19: Klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> /år for ulike levetider av bygningene. ....	47

# Tabeller

Tabell 1: Noen klimagasser med globalt oppvarmingspotensial (GWP) med en tidshorisont på 100 år (Toldnæs, 2017).....	4
Tabell 2: De ulike fasene for livssyklusanalyse av bygninger fra NS-EN 15978. ....	7
Tabell 3: Maksimalt netto energibehov for ulike bygningskategorier i henhold til TEK10 og TEK17 §14-2 (1). Kravene i parentes gjelder for arealer der varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensing eller smitte. ....	10
Tabell 4: Tabell over minimumskrav for ulike bygningsdeler fra TEK17, TEK10 og fra passivhusstandarden NS 3700. ....	10
Tabell 5: Maksimalt tillatt klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>3</sup> for ulike klasser lavkarbonbetong. Klimagassutslippet gjelder fra råvareuttak til betongprodusentens fabrikkport (Smeplass <i>et al.</i> , 2015). ....	13
Tabell 6: Eksempel på hvilken levetid som inntreffer først for ulike bygningsdeler (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009). ....	22
Tabell 7: Foreslåtte minimumslevetider i ISO 15686-1 (International Organization for Standardization, 2011).....	23
Tabell 8: Hvordan kombinasjonen av teknisk kvalitet og påkjenninger påvirker levetiden til bygningsdeler (SINTEF Byggforsk, 2017b). ....	23
Tabell 9: Transportdistanse og antakelser der det er regnet ut utslipp fra transport. Alle distanser er regnet ut ved hjelp av Google Maps med mindre det ikke står annet. ....	29
Tabell 10: Utslippsfaktorer for elektrisitet og fjernvarme. ....	31
Tabell 11: Utslippsfaktorer for elektrisitet brukt i sensitivitetsanalysen. ....	32
Tabell 12: Utslippsfaktorer for fjernvarme brukt i sensitivitetsanalysen. ....	32
Tabell 13: Egenskaper, forskjeller og likheter ved byggene. ....	38
Tabell 14: Levert energi til bygningene i [kWh/m <sup>2</sup> ] basert på energiberegninger av Maskinparken 2 og TRE (Svare, 2018a, 2018b). ....	38
Tabell 15: Resultater av mengdeberegning. ....	39
Tabell 16: Klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> når det sees bort fra parkeringskjelleren, og kun sees på materialene i selve bygningene.....	39
Tabell 17: Klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> for Verkstedgården 1, Maskinparken 2 og Maskinparken TRE inkludert parkeringkjellerene. ....	40
Tabell 18: Resultater av sensitivitetsanalysen for Maskinparken 2. ....	45
Tabell 19: Resultater av sensitivitetsanalysen for Maskinparken TRE. ....	46
Tabell 20: Resultater av sensitivitetsanalysen for Verkstedgården 1. ....	46
Tabell 21: Klimagassutslippet til bygningene for forskjellige levetider av bygningene [kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> /år]. A1-A4, B4, B6. ....	47
Tabell 22: Klimagassutslipp i kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> for Maskinparken 2 og en versjon av Maskinparken 2 med åtte etasjer. Her er parkeringskjelleren sett bort fra og kun fasene A1-A3 er inkludert. ....	48
Tabell 23: Klimagassutslipp fra andre studier av betong- og massivtrebygninger. ....	51

# Forkortelser

BRA	Bruksareal
EPD	Miljødeklarasjon (Environmental Product Declaration)
EPS	Ekspandert polystyren
LCA	Livssyklusanalyse (Life Cycle Assessment)
MP2	Maskinparken 2
MPTRE	Maskinparken TRE
Net ZEB	Nullenergibygget (Net Zero Energy Building)
TEK	Byggteknisk forskrift
VG1	Verkstedgården 1
ZEB	Nullutslippsbygg (Zero emission building)

# 1 Introduksjon

Verden står i dag overfor store problemer når det kommer til menneskeskapte klimaendringer og global oppvarming. Ifølge IPCC er det menneskeskapte klimagassutslipp som er hovedårsaken til global oppvarming. Dersom den globale oppvarmingen ikke begrenses vil det få svært negative konsekvenser for mennesker og natur over hele kloden. Blant annet vil havnivået stige på grunn av ismelting, det vil bli vanskeligere å produsere mat, og det vil bli kraftigere og hyppigere ekstremvær. Det er verdens fattigste som vil bli rammet hardest av klimaendringene, men klimaendringer vil også få store konsekvenser her i Norge.

Bygningssektoren står for en stor del av verdens totale klimagassutslipp. I 2010 stod bygninger for 32% av den totale globale energibruken, og 19% av energirelaterte klimagassutslipp (Lucon *et al.*, 2014). Derfor kan det å redusere klimagassutslipp fra bygningssektoren være et viktig tiltak for å nå målene om å redusere den globale oppvarmingen så mye som mulig.

Betong er et av verdens mest brukte og viktigste byggematerialer, og brukes i dag til å bygge alt fra broer og dammer til leilighetsbygninger. Et problem med å benytte betong som byggemateriale er at betong bidrar med store klimagassutslipp globalt. Det er spesielt sement, som er en viktig bestanddel i betong som bidrar til klimagassutslippene. I 2017 stod sementklinkerproduksjon for rundt 4% av de totale CO<sub>2</sub> utslippene. (Olivier og Peters, 2018).

En måte å senke klimagassutslippene fra bygninger kan være å bruke massivtre som byggemateriale i stedet for betong. Med tanke på miljøet er tre et bra materiale å bruke til bærekonstruksjonen i bygninger ettersom det ikke er like store klimagassutslipp knyttet til produksjonen av trematerialer i forhold til betong. I tillegg er tre et lett og sterkt materiale. Mens treet vokser knyttes det karbondioksid til treet. Dette blir lagret i treet til det enten råtner eller brennes, og på denne måten kan karbondioksid lagres i bygninger. Flere og flere større bygninger bygges i dag i trematerialer i stedet for mer tradisjonelle materialer som stål og betong. Blant annet kan det nevnes Mjøstårnet i Brumunddal som er et 85 meter høyt leilighets- og hotellbygg i limtre og massivtre som var ferdigstilt i mars 2019 (Abrahamsen, 2018).

I denne oppgaven skal klimagassutslippet fra leilighetsbygninger med bærekonstruksjon i plasstøpt betong, massivtre og prefabrikkert betong sammenlignes, og det skal undersøkes om noen av disse typene bæresystem er bedre enn de andre med tanke på klimagassutslipp.

Caset i oppgaven er tre sammenlignbare bygninger på Lilleby i Trondheim. Maskinparken 2 er et femetasjes leilighetsbygg i plasstøpt betong og stål, Maskinparken TRE er et åtteetasjes leilighetsbygg oppført i massivtre, og Verkstedgården 1 er et åtteetasjes leilighetsbygg i prefabrikkerte betongelementer. Maskinparken 2 og TRE var ferdig bygget i henholdsvis august og desember 2018, mens Verkstedgården 1 har planlagt byggestart i november 2019. Byggene har samme grunnflate, men forskjellig antall etasjer, og dette gjør at byggene er sammenlignbare. Det skal gjennomføres et klimagassregnskap av alle materialene i de tre byggene med forskjellig bæresystem slik at det blir mulig å sammenlikne klimagassutslippene fra de tre byggene og å se hvilket

av byggene som har det laveste karbonavtrykket. Det skal også gjøres en sensitivitetsanalyse av resultatene for å se hvilke materialer og faktorer som har størst innvirkning på det totale klimagassutslippet, og hva det er viktig å fokusere på når det gjøres en LCA av en bygning.

## 1.1 Forskningsspørsmål

Oppgaven handler om klimagassberegninger av bygninger med forskjellige materialer i bæresystemet. Forskningsspørsmålene i oppgaven er:

- *Har bygninger av plastøpt betong, prefabrikkert betong eller massivtre lavest klimagassutslipp når hele bygget tas i betraktning?*
- *Hvilke materialer har størst påvirkning på klimagassutslippet av massivtre-, plastøpt betong- og prefabrikkert betongbygninger?*
- *Hva er det som har størst innvirkning på resultatene av en LCA av et bygg, og hva er det viktig å fokusere på når en LCA av et bygg gjennomføres?*

## 1.2 Strukturering av oppgaven

Først i oppgaven blir teori om klimaendringer, livssyklusanalyse, energibruk i bygninger, bygningsmaterialer og levetid av bygninger og bygningsmaterialer presentert. Deretter redegjøres det for metoden som ble brukt for å gjøre klimagassregnskapet. I neste kapittel gis det en nærmere presentasjon av caset Maskinparken 2 og TRE og Verkstedgården 1. Deretter blir resultatene fra klimagassregnskapet presentert og resultatene blir diskutert. Til slutt i oppgaven blir det gitt en konklusjon og forslag til videre arbeid.

I forbindelse med denne oppgaven er det også blitt skrevet en artikkel til konferansen SBE19 Graz som omhandler samme tema og samme case som denne oppgaven. I denne artikkelen er kun Maskinparken 2 og TRE undersøkt, og Verkstedgården 1 er ikke tatt med. Denne artikkelen er lagt ved som vedlegg 1.



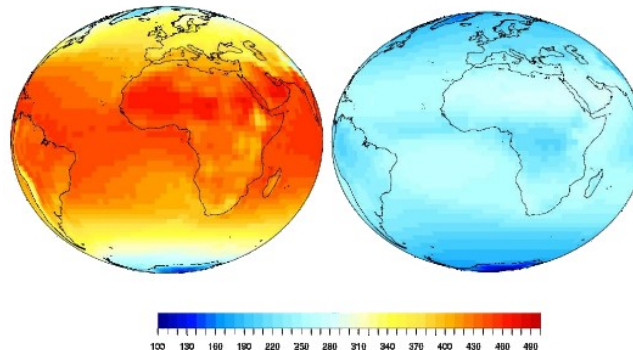
## 2 Teori

### 2.1 Klimaendringer

Klimaendringer er ifølge Fuglestad *et al.* (2019) endringer i hvor ofte ulike typer vær forekommer. Dette kan for eksempel være endringer i gjennomsnittstemperatur, mengden nedbør eller vind. Det finnes både naturlige og menneskeskapte årsaker til klimaendringer. Endringer i innstrålingen av solenergi, mengden drivhusgasser, støv og partikler i atmosfæren, endringer i havstrømmer og refleksjonen til jordoverflaten er blant de viktigste årsakene til at klimaendringer skjer. Klimaendringer kan skje både på kort og lang sikt, fra ulike årstider til millioner av år.

#### 2.1.1 Drivhuseffekten

Forandringer i mengden av drivhusgasser i atmosfæren fører til klimaendringer. De viktigste drivhusgassene er vanddamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ), karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), lystgass ( $\text{N}_2\text{O}$ ) og ozon ( $\text{O}_3$ ) (Fuglestad *et al.*, 2019). Drivhuseffekten fungerer ved at drivhusgassene i atmosfæren slipper gjennom kortbølget strålingen fra solen, men fanger opp langbølget stråling fra jorden. Ca. 70% av sollyset blir absorbert av jorden og jorden blir varmet opp. Denne varmeenergien blir avgitt som oppadgående stråling. Halvparten av denne strålingen blir igjen sendt tilbake til jordoverflaten av atmosfæren, og dette fører til økt temperatur.



**Figur 1: Sammenligning av varmestrålingen ved bakken (til venstre) og varmestrålingen målt av satellitter (til høyre). Figuren viser at varmestrålingen fra bakken er sterkere enn jordens varmetap, og at atmosfæren fanger opp strålingen. Figuren er hentet fra Benestad og Mamen (2019).**

Konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  i atmosfæren har økt med ca. 30% fra starten av 1700-tallet til i dag, og konsentrasjonen av metan er nå ca. 2,5 ganger høyere enn før den industrielle revolusjonen (Benestad og Mamen, 2019). Vanddamp er drivhusgassen som har størst effekt, og står for ca. 50% av drivhuseffekten. I tillegg står skyer for ca. 25% av drivhuseffekten og  $\text{CO}_2$  for ca. 20%.

Globalt oppvarmingspotensial (GWP, global warming potential), måler oppvarmingseffekten ulike drivhusgasser har på atmosfæren (Toldnæs, 2017). Globalt oppvarmingspotensial kan brukes til å regne om klimagassutslippet av ulike drivhusgasser til  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter. Da sammenlignes oppvarmingseffekten med effekten av  $\text{CO}_2$  over en valgt tidshorisont. Av tabell 1 kan det for eksempel sees at metan er en

mye sterkere drivhusgass enn CO<sub>2</sub>, men samtidig har den mye kortere levetid i atmosfæren (Toldnæs, 2017).

**Tabell 1: Noen klimagasser med globalt oppvarmingspotensial (GWP) med en tidshorisont på 100 år (Toldnæs, 2017).**

Gass	Levetid i atmosfæren (år)	Globalt oppvarmingspotensial
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	50-200	1
Metan (CH <sub>4</sub> )	12	21
Dinitrogenoksid (N <sub>2</sub> O)	120	310
Perfluormetan (CF <sub>4</sub> )	50 000	6 500

### 2.1.2 Global oppvarming

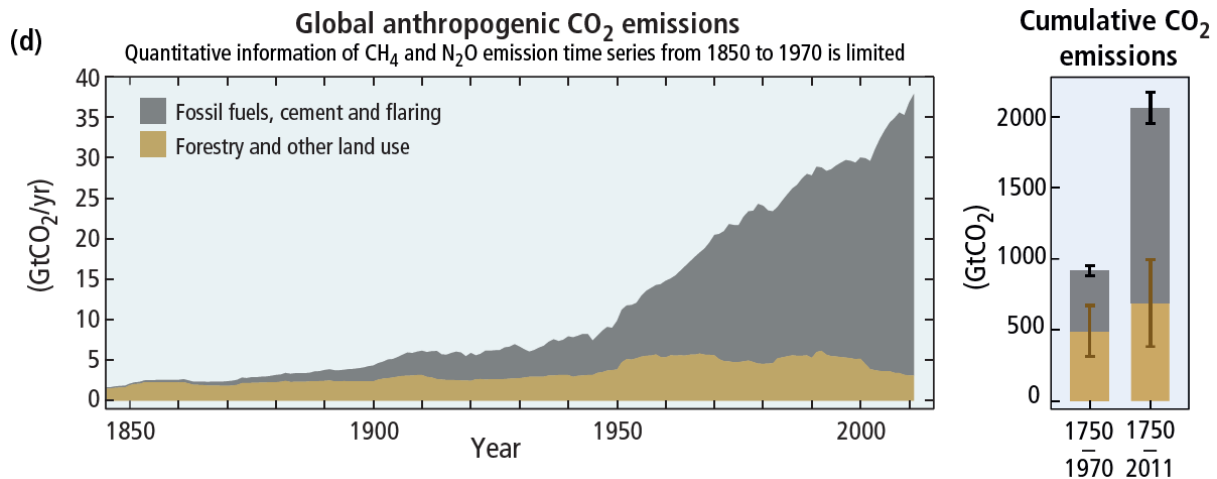
Ifølge Parisavtalens artikkel 2 skal den globale temperaturøkningen holdes godt under 2°C og det skal forsøkes å holde temperaturen under 1,5°C i forhold til førindustriell tid:

Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change (United Nations, 2015).

IPCC sin rapport om global oppvarming på 1,5° C sier at menneskelig aktivitet står for rundt 1,0° C av global oppvarming over førindustrielt nivå (IPCC, 2018). For å holde temperaturøkningen under 1,5° C må de globale menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippene reduseres med ca. 45% innen 2030 i forhold til 2010 nivå, og være netto null innen 2050. Dersom temperaturøkningen skal være under 2° C må utslippene reduseres med 25% innen 2030 og nå netto null innen 2070 (IPCC, 2018). Dette betyr at det er viktig å redusere klimagassutslipp raskt.

Ifølge IPCC sin rapport fra 2014 er det ingen tvil om at mennesker har innflytelse på klimasystemet. Atmosfæren og havene har blitt varmere, mengden snø og is har minsket, og havnivået har økt (IPCC, 2014). Hvert av de siste tiårene har vært varmere enn noen andre tiår siden 1850. De siste tiårene har klimaendringer forårsaket forandringer for naturlige og menneskelige systemer på alle kontinenter og på alle verdenshavene. Siden starten av den industrielle tiden har opptak av CO<sub>2</sub> ført til forsuring av havene, og pH til overflatevann har sunket med 0,1. Grønlandsisen og den antarktiske isen har blitt mindre fra 1992 til 2011, og isbreer har krympet over hele verden. Den arktiske havisen har også minsket mellom 1979 til 2012 (IPCC, 2014).

De menneskeskapte klimagassutslippene er nå høyere enn noensinne. Den atmosfæriske konsentrasjonen av karbondioksid, metan og nitrogenoksid er den største på minst 800 000 år. Figur 2 viser menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslipp fra 1850 til 2010. Det er meget sannsynlig at disse klimagassene er den dominerende årsaken til global oppvarming siden midten av det 20 århundret (IPCC, 2014). Fortsatt utslipp av klimagasser vil forårsake oppvarming og langsiktige endringer i alle delene av klimaet. Mange aspekter og konsekvenser av klimaendringene vil fortsette i århundrer selv om de menneskelige utslippene av klimagasser stoppes.



**Figur 2: Globale menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslipp fra fossilt brensel, sementproduksjon og faking og fra skogbruk og annen arealbruk (IPCC, 2014).**

### 2.1.3 Klimaendringer og bygninger

Bygninger står for en stor del av verdens energibruk og er derfor en stor del av klimaproblemene vi har i dag. I 2010 stod bygninger for 32% av det globale energiforbruket og for 19% av alle energirelaterte klimagassutslipp (Lucon *et al.*, 2014). Dersom det ikke gjøres tiltak, kan energibruken til bygninger i verden dobles eller potensielt tredobles innen 2050. Dette kan skje ettersom flere og flere i utviklingsland får tilgang til boliger og elektrisitet. I tillegg vil befolkningsvekst, flytting til byer, endret størrelse på husholdninger, og økt velstand også føre til økt energibruk i bygninger. Adferd og livsstil vil ha stor effekt på energibruken til bygninger, og det er dermed mulig å redusere energiforbruket ved å informere brukere om energibruk i bygninger og klima.

Det er mulig å holde energibruken til bygninger konstant, dersom dagens teknologi og beste praksis tas i bruk (Lucon *et al.*, 2014). Ettersom bygninger har lang levetid, risikerer man å «låse inn» utslipp i de bygningene som bygges nå. Derfor er det viktig at de bygningene som bygges i dag er så energieffektive som mulig.

### 2.1.4 Klimatilpasning av bygninger

Et endret klima vil ha store innvirkninger på bygninger. Mer nedbør kan gi flere forsinkelser og dyrere byggefaser, og det kan forventes økte problemer med råte og fuktskader. Dette gjør at det er spesielt viktig med fuktsikre detaljer på fremtidens bygninger. Fuktsikker byggeprosess er noe det vil være viktig å fokusere på for å unngå skader på bygninger fra fuktighet og nedbør i byggefasen. Teltoverbygg på byggeplass kan være et tiltak som gjør byggeprosessen mer fuktsikker. Større mengde nedbør vil gi økt slitasje på kledninger og tak, og gi økt vedlikeholdsbehov. Mer intens nedbør vil gi problemer med flom og overvann, og det vil være viktig med gode løsninger for lokal overvannshåndtering. Åpne løsninger for overvann som lar vannet infiltrere i grunnen kan motvirke flom (Miljødirektoratet, 2019).

## 2.2 Livssyklusanalyse

Livssyklusanalyse er en metode for å vurdere miljøeffektene av et produkt gjennom hele produktets livsløp, fra utvinning av ressurser til avhending. Livssyklusanalyse kalles Life Cycle Assessment (LCA) på engelsk. LCA blir brukt til å vurdere alle typer produkter og produktsystemer.

En grunn til å gjøre en livssyklusanalyse er for å unngå forskyvning av problemer. En type forskyvning av problemer kan være å definere problemet utenfor systemet. Et eksempel på dette kan være å si at en elektrisk bil har null utslipp. Dette stemmer ikke, ettersom det er utslipp både fra å produsere bilen og fra å produsere strømmen som driver bilen. En annen type forskyvning av problemer kan være å løse et miljøproblem, men å samtidig skape et nytt miljøproblem. Et eksempel på dette kan være bruk av kjernekraft, som har lave CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon av strøm, men som samtidig skaper et problem med radioaktivt avfall fra kjernekraftverket (Ellingsen, 2018a).

NS-EN ISO 14040 er en standard som beskriver prinsipper og rammeverk for en LCA (Standard Norge, 2006b), mens standarden NS-EN ISO 14044 gir detaljerte krav for gjennomføring av en LCA (Standard Norge, 2006a).

Det er fire faser i en LCA (Standard Norge, 2006b):

- Fastsettelse av hensikt og omfang: Hensikten gir den tiltenkte anvendelsen og grunnene for å gjennomføre studien, i tillegg til hvem resultatene av studien skal kommuniseres til. Omfanget omfatter blant annet produktsystemet som skal studeres, funksjonell enhet, systemgrensen, allokeringprosedyrer, forutsetninger og begrensninger.
- Livsløpsregnskapsfasen (LCI, life cycle inventory på engelsk): Omfatter innsamling av data og beregninger som kvantifiserer inngangsfaktorer til og utgangsfaktorer fra et produktsystem.
- Livsløpseffektvurderingsfasen (LCIA, life cycle impact assessment på engelsk): Her vurderes betydningen av miljøpåvirkningene gjennom bruk av resultatene fra livsløpsregnskapsfasen.
- Tolkningsfasen: I denne fasen blir funnene fra livsløpsregnskapsfasen og livsløpseffektvurderingsfasen satt i sammenheng, og det trekkes konklusjoner og gis anbefalinger. Det skal gis en forståelig, sammenhengende og fullstendig presentasjon av resultatene fra livssyklusanalysen.

En funksjonell enhet er et kvantitativt mål på funksjonen til et produkt. Den funksjonelle enheten gir en referanse som inngangsfaktorene og utgangsfaktorene forholder seg til (Standard Norge, 2006b). Dette er for å sikre seg at resultatene fra livssyklusanalysen er sammenlignbare. Det er viktig at den funksjonelle enheten er lik dersom ulike studier skal sammenlignes. Eksempler på funksjonelle enheter kan være 1 kWh elektrisitet generert, eller 1 kilometer kjørt med bil. En vanlig funksjonell enhet som brukes for bygninger er 1 m<sup>2</sup> bruksareal over en levetid på 60 år (Fufa *et al.*, 2016).

Systemgrensen definerer hvilke prosesser som omfattes av systemet. Kriteriene som brukes for å fastsette systemgrensen skal forklares i livssyklusanalysen. Ifølge NS-EN ISO 14044 er det kun tillatt å utelate livsløpsstadier eller prosesser dersom det ikke på vesentlig måte endrer hovedkonklusjonene i studien.

Det finnes to hovedtyper LCA: regnskaps-LCA og konsekvensiell LCA (attributional LCA og consequential LCA). Regnskaps og konsekvensiell LCA er nevnt kort i NS-EN ISO 14040 tillegg A2. Ifølge denne standarden er regnskaps-LCA «en som tilordner elementærstrømmer og mulige miljøpåvirkninger til et spesifikt produktsystem, som regel funksjon av produktets historie», mens konsekvensiell LCA er «en som studerer miljøkonsekvensene av mulige (fremtidige) endringer mellom alternative produktsystemer» (Standard Norge, 2006b).

Regnskaps-LCA ser på hvilke miljøpåvirkninger som er knyttet til aktivitetene som har bidratt til produksjon, forbruk og avhending av et produkt. Regnskaps-LCA bruker gjennomsnittsdata fra leverandører. Denne typen LCA ser bort fra indirekte effekter som substitusjon og «rebound» effekt. «Rebound» effekt er at f.eks. dersom biler blir mer miljøvennlige, kan dette føre til at folk kjører mer bil, som igjen fører til høyere utslipp. Da vil den positive miljøeffekten forsvinne.

Konsekvensiell LCA ser på miljøpåvirkningene knyttet til den delen av aktivitetene som forventes å bli endret når produktet blir produsert, brukt og avhendet. Her inkluderes «rebound» effekt. Konsekvensiell LCA ser på endringen i systemet som oppstår av å legge til eller å fjerne en menneskelig aktivitet. Datainnsamling kan være en utfordring for konsekvensiell LCA, og det kan være stor usikkerhet i å forutsi sannsynlige fremtidige endringer (Ellingsen, 2018b).

## 2.2.1 LCA av bygninger

NS-EN 15643-1 er en standard som gir generelle prinsipper og krav for vurdering av bygninger når det gjelder miljøprestasjon og samfunnsmessig og økonomisk prestasjon (Standard Norge, 2010). Standarden er en del av en serie av standarder som gir et system for vurdering av bygninger i et bærekraftperspektiv. NS-EN 15643-2 gir prinsipper og krav for vurdering av bygningers miljøprestasjon. Rammeverket kan brukes for både nye og eksisterende bygninger (Standard Norge, 2011a).

### 2.2.1.1 Systemgrenser

Standarden NS-EN 15978 gir beregningsregler for å kunne vurdere miljøprestasjonen til nye og eksisterende bygninger. I denne standarden er det definert systemgrenser for livssyklusanalyse av bygninger. Systemgrensen bestemmer hvilke prosesser som skal med for bygningen som vurderes (Standard Norge, 2011b). Tabell 2 viser de ulike fasene i bygningens livsløp.

**Tabell 2: De ulike fasene for livssyklusanalyse av bygninger fra NS-EN 15978.**

Produktfase			Gjennomføringsfase		Bruksstadium					Livsløpets sluttstadium				Fordeler og ulemper utover systemgrensen
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Forsyning av råmaterialer	Transport	Produksjon	Transport	Bygge-/monteringsprosess	Monterte produkter i bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskifting	Renovering	Dekonstruksjon/rivning	Transport	Avfallshåndtering	Avhending	Potensial for gjenbruk, gjenvinning, resirkulering
					B6 Driftsmessig energibruk									
					B7 Driftsmessig vannbruk									

Systemgrensene som brukes når man skal gjøre en LCA av en bygning er ifølge NS-EN 15978 og NS-EN 15804:

- Modul A1-A3 er produktfasen og er definert i NS-EN 15804:
  - Modul A1: Uttak og prosessering av råmaterialer, og behandling av sekundært materiale som resirkulerte materialer.
  - Modul A2: Transport til produsenten.
  - Modul A3: Fremstilling av produktet.
- Modul A4-A5 er gjennomføringsfasen:
  - Modul A4: Transport av materialer og produkter fra fabrikkporten til byggeplassen.
  - Modul A5: Byggefase, det vil si blant annet grunnarbeider, transport innenfor byggeplassen, tilførsel av varme eller kjøling osv.
- Modul B1-B7 er bruksfasen:
  - Modul B1: Påvirkningene fra monterte produkter i bruk.
  - Modul B2: Vedlikehold, skal blant annet gjelde rengjøringsprosesser og andre prosesser for å vedlikeholde bygningskonstruksjonen.
  - Modul B3: Reparasjon, omfatter prosesser for å reparere bygningskomponenter i bygningsens bruksfase, for eksempel et knust vindu.
  - Modul B4: Utskifting av komponenter, for eksempel en takbjelke.
  - Modul B5: Renovering, for eksempel en betydelig endring av bygningskroppen eller den innvendige løsningen.
  - Modul B6: Driftsmessig energibruk, og omfatter energi som det bygningsintegreerte tekniske systemet bruker når bygningen er i drift.
  - Modul B7: Driftsmessig vannbruk, det vil si alt vann som brukes i bygningen og behandling av vannet før og etter bruk.
- Modul C1-C4 er livsløpets sluttstadium:
  - Modul C1: Dekonstruksjon, det vil si demontering eller riving av bygningen og sortering av materialer på byggeplass.
  - Modul C2: Transport av materialer for eksempel til et resirkuleringsanlegg.
  - Modul C3: Håndtering av avfall, for eksempel innsamling av avfall fra dekonstruksjonen.
  - Modul C4: Behandling etter transport som er nødvendig før avhending. I denne modulen kvantifiseres miljøbelastninger fra disponering av materialer, som forbrenning eller deponering.
- Modul D er fordeler og ulemper utenfor systemgrensen. Her kvantifiseres netto miljømessige fordeler og ulemper ved gjenbruk, resirkulering eller energigjenvinning.

### **2.2.1.2 NS 3720**

NS 3720 er en standard som gir en beregningsmetode for klimagassutslipp fra bygninger (Standard Norge, 2018). Denne standarden bygger på NS-EN 15978, men ser kun på klimagasser og ser bort fra andre påvirkningskategorier. I NS 3720 er systemgrensen endret og utvidet i forhold til NS-EN 15978 ettersom den også inkluderer transport i driftsfasen, det vil si transport av personer som bruker bygningen og varetransport. Metoden for å beregne klimagassutslipp fra transport i driftsfasen er bygget på grunnprinsippene i NS-EN 16258 (Metode for beregning av og deklarerer av energiforbruk og klimagassutslipp for transporttjenester). Det totale utslippet fra

transport per år i driftsfasen er summen av utslipp fra personbiler og kollektive transportmidler som buss, båt, fly og tog. NS 3720 baserer seg på en regnskaps-LCA.

I NS3720 er det definert to nivåer av datakvalitet, nivå 1 og nivå 2. Datakvalitet på nivå 1 er spesifikke data for et produkt eller tjeneste, og datagrunnlaget skal reflektere det reelle produktet eller den reelle tjenesten. Datakvalitet på nivå 2 er andre LCA-data som ikke tilfredstillere kravene til å være på nivå 1. Data på nivå 2 kan være generiske data og gjennomsnittsdata. EPDer som representerer alle eller en gruppe av produsenter for en type produkter er datakvalitet på nivå 2 (Standard Norge, 2018).

I innledende fase og i detaljeringsfasen kan det brukes datakvalitet på nivå 2, mens i «som bygget»-fasen skal det brukes datakvalitet på nivå 1 så langt det er mulig.

### 2.2.2 EPD – Environmental product declaration (miljødeklarasjon)

En miljødeklarasjon blir ofte kalt en EPD (Environmental Product Declaration). En miljødeklarasjon bygger på en LCA av et produkt, og den gir verifiserbar, nøyaktig, ikke-villedende miljøinformasjon for å støtte vitenskapelig baserte valg av produkter (Standard Norge, 2013b). EPDer oppsummerer miljøprestasjonen til produkter, og kan brukes til å sammenligne ulike produkter opp mot hverandre for å oppnå en lavest mulig miljøpåvirkning. Standarden NS-EN ISO 14025 gir krav til hvordan en EPD skal lages. Det kreves at organisasjonen som avgir deklarasjonen sikrer at data blir uavhengig verifisert enten internt eller eksternt. Programoperatøren for EPDer i Norge er EPD Norge (The Norwegian EPD Foundation, 2019). På EDP-Norges nettsider finnes EPDer for blant annet byggevarer, møbler og emballasje.

Standarden NS-EN 15804 gir grunnleggende produktkategoriregler for alle byggeprodukter og tjenester (Standard Norge, 2013b). Kun deklarasjon av produktfasen A1-A3 er nødvendig for å være i henhold til NS-EN 15804. En EPD som kun dekker fasene A1-A3 kalles "vugge til port". Deklarering av de andre fasene er valgfritt. En EPD som tar for seg produktfasen og enkelte andre faser kalles "vugge til port med alternativer". En slik EPD kan for eksempel ta for seg modul A1-A3 og i tillegg modul D. En EPD som dekker alle modulene fra A1 til C4 kalles "vugge til grav". Modul D kan også tas med i en EPD som er "vugge til grav".

## 2.3 Energibruk i bygninger

### 2.3.1 Krav i TEK17

Byggteknisk forskrift (TEK17) gir minimumskrav for hva et byggverk må ha av egenskaper for å oppføres lovlig i Norge. TEK17 er det nyeste regelverket, og det trådte i kraft 1. juli 2017. TEK10 er det tidligere regelverket som ble erstattet av TEK17.

I TEK 17 kapittel 14 er det gitt krav til energibruk i bygninger. Det totale netto energibehovet skal ikke overstige de verdiene som er gitt i tabell 3. Det er gitt et krav om at det totale netto energibehovet for boligblokker ikke skal overstige 95 kWh/m<sup>2</sup> oppvarmet bruksareal per år. Beregningene av bygningers energibehov og varmetapstall skal utføres i samsvar med standarden NS 3031:2014 (Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data).

**Tabell 3: Maksimalt netto energibehov for ulike bygningskategorier i henhold til TEK10 og TEK17 §14-2 (1). Kravene i parentes gjelder for arealer der varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensing eller smitte.**

<b>Bygningskategori</b>	<b>TEK 17 og TEK10: Totalt netto energibehov [kWh/m<sup>2</sup> oppvarmet BRA per år]</b>
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m <sup>2</sup> oppvarmet BRA	100 + 1600/(m <sup>2</sup> oppvarmet BRA)
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110
Universitet/høyskole	125
Sykehus	225 (265)
Sykehjem	195 (230)
Hotellbygning	170
Idrettsbygning	145
Forretningsbygning	180
Kulturbygning	130
Lett industri/verksteder	140 (160)

For boligbygninger kan kravet til energieffektivitet også oppfylles ved å følge energitiltaksmetoden som er gitt i tabell 4. Dersom kravene til energitiltak i tabell 4 er fulgt trenger bygningen ikke å oppfylle kravene gitt i tabell 3. Det er noen minimumskrav alle bygninger uansett må overholde. Disse minimumskravene er også listet opp i tabell 4.

**Tabell 4: Tabell over minimumskrav for ulike bygningsdeler fra TEK17, TEK10 og fra passivhusstandarden NS 3700.**

<b>Egenskap</b>	<b>Energiltak i TEK17 og TEK10 for boligblokk</b>	<b>Minimumskrav i TEK17 og TEK 10</b>	<b>Passivhus NS3700</b>
U-verdi yttervegg [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,18	0,22	-
U-verdi tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,13	0,18	-
U-verdi gulv [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,10	0,18	-
U-verdi vinduer og dører [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,80	1,20	0,80
Andel vindus- og dørareal av BRA (%)	25	-	-
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner (%)	80	-	80
Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SPF) [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	1,5	-	1,5
Luftlekkasjetall per time ved 50 Pa trykkforskjell	0,6	1,5	0,6
Normalisert kuldebroverdi [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,07	-	0,03



Som det kan sees av tabell 3 og 4 er det ikke forskjell på energikravene i den nyeste versjonen av det tidligere regelverket TEK10 og det gjeldende regelverket TEK17.

### 2.3.2 Passivhus

Et passivhus er en bygning med svært lavt energiforbruk. Konseptet for passivhus ble opprinnelig utviklet i Tyskland av Passivhus-instituttet og dr. Wolfgang Feist (Rygh, 2009).

Fordeler med å bygge et passivhus kan være lavere driftsutgifter, bedre kvalitet på huset, bedre komfort med liten risiko for trekk, energisikkerhet på grunn av lavt energibehov og enkel og lite plasskrevende varmedistribusjon (SINTEF byggforsk, 2013). Å bygge et passivhus kan blant annet gi konsekvenser for bygningsform. Dersom man har en kompakt bygningsform vil overflatearealet til bygningen være mindre i forhold til det innvendige volumet, og dette vil gjøre at varmetapet til bygget blir lavere. I tillegg vil enkel geometri gi færre kuldebroer og mindre kompliserte detaljer som kan gi luftlekkasjer. Det er også gunstig med et så lavt areal av vinduer som mulig. Det bør også være få store vinduer i stedet for mange små, for å få så kort kuldebro langs kanten på vinduene som mulig. Samtidig som det er bra med et lite areal av vinduer, er det viktig å opprettholde dagslyskravene i TEK17, derfor må vinduer plasseres riktig. Andre prinsipper for å senke energibehovet er å ha en effektiv varmegjenvinner, effektiv belysning og behovsstyrt ventilasjon og lys.

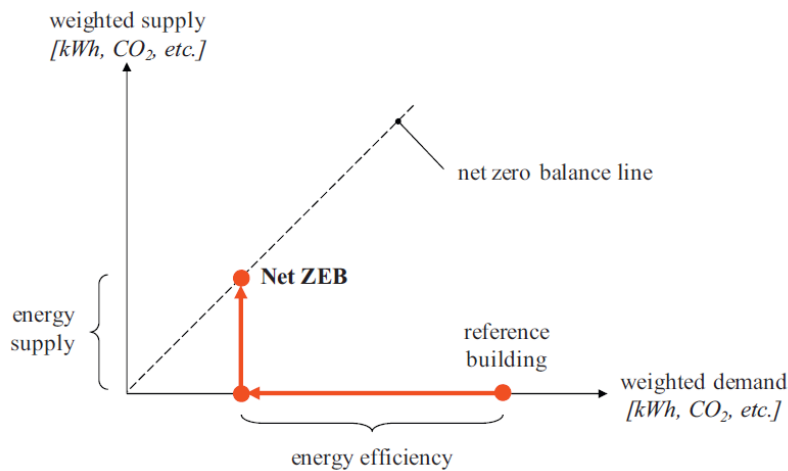
Kriterier for passivhus og lavenergibygninger for boligbygninger er gitt i standarden NS 3700 (Standard Norge, 2013a). I denne standarden er det gitt krav til tre nivåer av boligbygninger: Passivhus, lavenergibygning klasse 1 og lavenergibygning klasse 2. Passivhus er den strengeste kategorien med lavest energibruk, mens lavenergibygning klasse 2 er den minst strenge.

Det er i NS3700 gitt krav til høyeste varmetapstall for transmisjons- og infiltrasjonstap for passivhus. For et passivhus med BRA større enn 250 m<sup>2</sup> er dette tallet 0,43 W/(m<sup>2</sup>K). NS3700 stiller også krav til det høyeste beregnede netto energiforbruket til oppvarming, og dette er avhengig av årsmiddeltemperaturen på stedet. Årsmiddeltemperaturen i Trondheim er 5,8° C (SINTEF byggforsk, 2018). Dette betyr at det høyeste beregnede netto energibehovet til oppvarming i Trondheim for en bygning med BRA større enn 250 m<sup>2</sup> ifølge tabell 3 i NS3700 er 16,1 kWh/m<sup>2</sup>/år. NS3700 stiller også noen minstekrav til bygningsdeler og lekkasjetall, som kan sees i tabell 4.

### 2.3.3 Nullenergib bygg og nullutslippsbygg

Det finnes flere andre typer bygninger og konsepter som har gått enda lenger når det gjelder energibruk enn passivhus. Dette betyr at det må produseres fornybar energi på tomten.

En Net Zero Energy Building (net ZEB) betyr at bygningen skal ha en balanse mellom energien som blir importert og energien som blir eksportert til strømmettet sett over ett år. Dette betyr at bygningen produserer den samme mengden fornybar energi som den energien som trengs til drift. (Sartori, Napolitano og Voss, 2012).



**Figur 3: Figuren viser at det er viktig å redusere energibruken så mye som mulig for å ha mulighet til å lage en nullenergibygning (Sartori, Napolitano og Voss, 2012).**

En Zero Emission Building (ZEB) er en bygning som produserer nok fornybar energi til å kompensere for klimagassutslippene til bygningen over hele levetiden til bygget. Det finnes flere ulike ambisjonsnivåer for en ZEB-bygning, der ZEB-O-EQ er det laveste ambisjonsnivået og ZEB-COMplete er det høyeste (Fufa *et al.*, 2016):

- ZEB-O-EQ: Klimagassutslipp relatert til energibruk for drift, unntatt energi til utstyr i bygningen skal kompenseres med fornybar energiproduksjon (B6\*).
- ZEB-0: Utslipp relatert til energibruk i driftsfasen skal kompenseres med produksjon av fornybar energi (B6).
- ZEB-OM: Klimagassutslipp relatert til energibruk i drift (O) pluss innebygde utslipp fra materialer (M) skal kompenseres med fornybar energiproduksjon (A1-A3, B4, B6).
- ZEB-COM: Samme som ZEB-OM, men tar i tillegg hensyn til utslipp i byggefasen. Dette vil si transport av materialer og produkter til byggeplassen og selve byggeprosessen (A1-A5, B4, B6).
- ZEB-COME: Samme som ZEB-COM, men tar også hensyn til utslipp på slutten av livsløpet til bygningen (A1-A5, B4, B6, C1-C4). Slutten av livsløpet inkluderer riving (C1), transport (C2), avfallshåndtering (C3) og avhending (C4).
- ZEB-COMplete: Utslipp fra hele livssyklusen må kompenseres for. Produktfasen, byggefasen, bruksfasen og slutfasen må tas med og kompenseres for (A1-C4). Modul D kan også tas med dersom det er relevant.

## 2.4 Bygningsmaterialer

### 2.4.1 Betong

Betong er et byggemateriale som består av sement, vann, tilslag (sand og singel eller sand og pukk) og tilsetningsstoffer. Betong tåler meget godt trykk, men har dårlig strekkstyrke. Derfor må betongen armeres med armeringsjern for å ta opp strekkrefter.

Den mest brukte sementtypen kalles portlandsement. Denne sementen produseres ved at kalkstein, kvarts, jernoksid og aluminiumoksid knuses til pulver og brennes i en sementovn ved ca. 1400° C. Ved brenningen av kalkstein spaltes CO<sub>2</sub> av, og man får kalk (Smeplass *et al.*, 2015). Portlandsement produsert i Norge kan ha et klimagassutslipp på ca. 800 kg CO<sub>2</sub>-ekv. per tonn sement levert fra fabrikk, og av dette

stammer ca. 480 kg CO<sub>2</sub>-ekv. fra kalsineringen. Fyring av sementovnen bidrar også med store klimagassutslipp. Energikilden som brukes til å fyre i sementovnene i Norge er kull, propan, spillolje, gamle bildekk og spesialavfall (Thue, 2018).

#### 2.4.1.1 Lavkarbonbetong

Lavkarbonbetong er en betong der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Det finnes tre ulike klasser av lavkarbonbetong, der A er den strengeste klassen og C er den minst strenge. Lavkarbonbetong er definert i Norsk betongforening publikasjon nr. 37 (Smeplass *et al.*, 2015).

**Tabell 5: Maksimalt tillatt klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup> for ulike klasser lavkarbonbetong. Klimagassutslippet gjelder fra råvareuttak til betongprodusentens fabrikkport (A1-A3) (Smeplass *et al.*, 2015).**

Lavkarbonklasse	B20 M90	B25 M90	B30 M60	B35 M(F)45	B35 M(F)40	B45 M(F)40	B55 M(F)40
<b>A</b>	170	180	200	210	230	240	250
<b>B</b>	200	220	240	270	300	310	320
<b>C</b>	240	260	280	320	350	360	370

Det er mulig å redusere mengden sementklinker i betongen ved å bruke tilsetningsmaterialer med gode bindemiddelegenskaper og lavere klimagassutslipp enn sementklinker. Sementklinker er klumper av sement før sementen blir malt opp. Da erstatter man noe av sementklinkeren i sementen med materialer som har lavere klimagassutslipp, og dette fører til at klimagassutslippet til sementen og dermed betongen blir lavere. Tilsetningsstoffer kan være pozzolaner, som er flyveaske eller silikastøv, eller hydrauliske bindemidler som slagg. Flyveaske er et restprodukt fra kullkraftverk, og det kan brukes i inntil 35% av den totale bindemiddelmengden. Silikastøv er et restprodukt fra produksjon av ferrosilisium eller silisiummetall, og kan brukes inntil 11% av den totale bindemiddelmengden. Slagg er et restprodukt fra råjernproduksjon, og kan tilsettes i mengder opp til 80%. Det er viktig å merke seg at disse materialene er restprodukter fra industri som har store klimagassutslipp (Smeplass *et al.*, 2015).

En ulempe ved bruk av lavkarbonbetong er at bruk av flyveaske og slagg gir en mer langsom fasthetsutvikling enn betong uten disse materialene. Forskjellen på fasthetsutvikling mellom betong med og uten flyveaske er mindre ved lave temperaturer enn ved høye temperaturer, og dette betyr at lavkarbonbetong kan brukes på vinteren. Lavkarbonbetong klasse B og C kan brukes på vinteren med ordinære tiltak, mens lavkarbonbetong klasse A krever ekstra tiltak. Tiltak kan for eksempel være økt bruk av isolasjonsmaterialer. Ved å bruke flyveaske som tilsetningsmateriale i betong får betongen en lavere varmeutvikling, og dette kan begrense maksimumstemperaturen i store konstruksjoner og redusere faren for opprissing.

Som det kan sees av tabell 5 kan det være like viktig å velge riktig fasthetsklasse på betongen som å velge hvilken lavkarbonklasse som skal brukes for å få et lavest mulig klimagassutslipp. Det er derfor viktig å ikke bruke bedre betongkvalitet enn nødvendig.

Knust, resirkulert betong kan brukes som tilslag i ny betong. Tilslag av betong har ofte dårligere egenskaper enn vanlige tilslag, og derfor kan bruk av dette gi høyere forbruk av sement i betongen (Smeplass *et al.*, 2015). Dette vil øke klimagassutslippene fra

betongen. Dermed kan det være et bedre alternativ å benytte knust betong i veibygging eller som fyllmasse.

#### 2.4.1.2 Karbonatisering av betong

Når betong blir utsatt for luft vil betongen over tid ta opp CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, og denne prosessen kalles karbonatisering. Dette er vanligvis en uønsket prosess, ettersom karbonatisering senker pH-en i betongen, og dette kan føre til korrosjon på armeringen. Overdekning over armeringen skal gjøre at korrosjon på armeringen ikke skjer. Karbonatisering øker styrken til betongen (Standard Norge, 2017).

Den forenklete kjemiske reaksjonen som skjer når betong karbonatiserer er:  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (Standard Norge, 2017).

For prefabrikkerte betongelementer kan karbonatisering starte før levering dersom betongelementene lagres lenge. Opptaket av CO<sub>2</sub> avhenger av styrken på betongen og forholdene betongen er eksponert for. Betong med lavere styrke tar opp mer CO<sub>2</sub> enn betong med høy styrke (Standard Norge, 2017).

Karbonatiseringsdybden kan finnes ved følgende formel (Pade og Guimaraes, 2007):

$$d = k * t^{0,5}$$

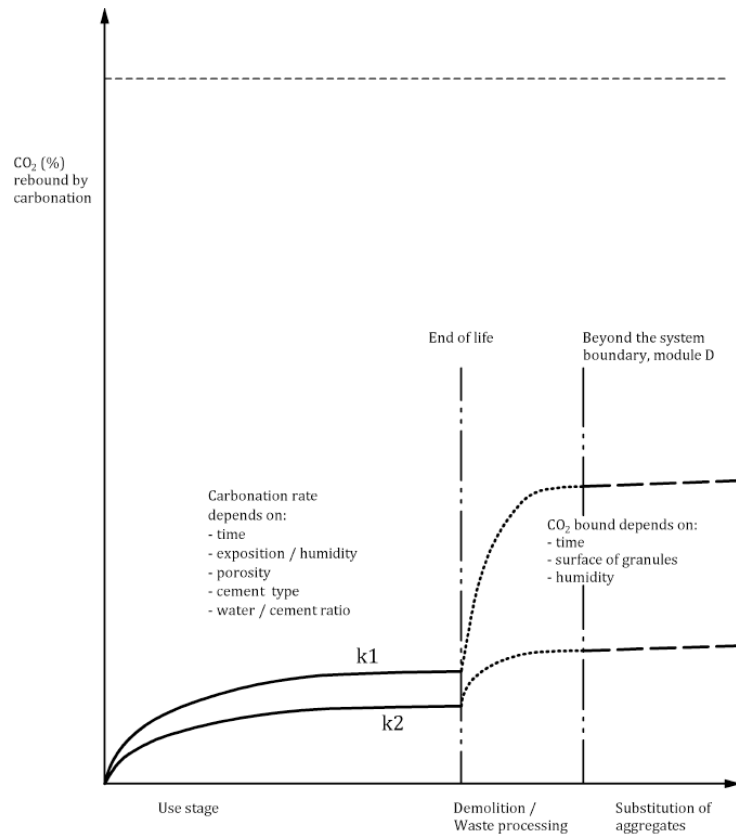
hvor d er karbonatiseringsdybden, k er karbonatiseringskonstanten og t er tid. Karbonatiseringskonstanten varierer fra 0,5 til 15, og er avhengig av styrken til betongen, og hva slags forhold betongen er eksponert for.

Ifølge NS-EN 16757 kan CO<sub>2</sub>-opptak i kg pr m<sup>2</sup> betongoverflate regnes ut ved formelen:

$$CO_2\text{opptak} = k * \left( \frac{\sqrt{t}}{1000} \right) * U_{tcc} * C * (D_c)$$

der k er karbonatiseringskonstanten, t er tid i år, U<sub>tcc</sub> er det maksimale teoretiske opptak i kg CO<sub>2</sub>/kg sement, C er sementinnholdet i kg/m<sup>3</sup> betong, og D<sub>c</sub> er graden av karbonatisering. Denne formelen gjelder kun for opptak av CO<sub>2</sub> i bruksfasen av bygget, og tar ikke med opptak av CO<sub>2</sub> etter at betongen er revet.

Etter at betongkonstruksjonen er revet blir betongrester vanligvis knust og deretter lagret mellom 2 uker til 4 måneder. Betongen blir deretter vanligvis brukt i veibygging. Karbonatiseringen øker etter at betongen er knust til mindre biter, ettersom overflatearealet øker. Da vil betongen ta opp langt mer CO<sub>2</sub> etter at den er knust enn den ville gjort dersom den ikke hadde blitt knust (Pade og Guimaraes, 2007).



**Figur 4: Figuren viser at karbonatiseringen av betong øker drastisk etter knusing av betongen (Standard Norge, 2017).**

#### 2.4.1.3 Bygging med plasstøpt betong

Plasstøpt betong er betong som støpes på byggeplassen i forskalingsformer. Fordeler ved å bygge i plasstøpt betong i forhold til med betongelementer er at det er fleksibelt, og det kan formes til alle former som det er mulig å bygge forskaling til. Ulemper ved å bygge i plasstøpt betong er at byggetiden kan være lengre enn for prefabrikkerte konstruksjoner, i tillegg til at det krever mye bemanning og stor lagringsplass til armering og forskalingssystemer (Hjelseng, 2014).

#### 2.4.1.4 Bygging med prefabrikkerte betongelementer

Prefabrikkerte betongelementer er elementer som er laget på fabrikk og deretter blir transportert til byggeplassen. Fordeler med å bruke betongelementer er reduserte tilriggingskostnader og kortere byggetid i forhold til plasstøpt betong (Alexander og Vinje, 2010). I tillegg er elementene herdet når de kommer til byggeplassen, og dette kan føre til mindre byggfukt fra tørking av betong i forhold til bygg av plasstøpt betong. Ulemper ved å bygge med prefabrikkerte elementer er det er mindre muligheter for å endre konstruksjonen underveis og i ettertid, og det er færre muligheter for hulltaking i prefabrikkerte spennarmerte elementer. I tillegg kan bygg av prefabrikkerte betongelementer være mindre fleksible når det kommer til utforming i forhold til plasstøpt betong.

Betongelementer monteres vanligvis med mobilkraner, og det er mulig å montere 50-100 tonn betongelementer på en dag på et gjennomsnittlig bygg. Hulldekker brukes som dekker og tak, og de kan ha en spennvidde på 10-21 m. Forspente hulldekker støpes i store lengder, og de blir sagt til ønsket lengde etter herding (Alexander og Vinje, 2010).

## 2.4.2 Massivtre

Massivtreelementer er lameller som er satt sammen i en 90 graders vinkel med spiker, skruer, lim eller tredybler. Massivtreelementer kalles cross laminated timber (CLT) på engelsk. Tykkelsen på elementene varierer mellom 60 til 240 mm, og lengden av elementene kan være opptil 14 m. Antall lag varierer vanligvis mellom 3 og 9. Krysslagte massivtreelementer er meget dimensjonsstabile, og dette betyr at elementene vil ha liten endring i tverrsnitt på grunn av endringer i fuktighet. I lengderetningen vil elementene ha samme dimensjonsendring som tradisjonelt konstruksjonsvirke. Krysslagte massivtreelementer kan brukes som bærende og ikke-bærende elementer i vegger, tak og etasjeskillere. Massivtreelementer har lav vekt, og dette betyr at bygninger konstruert med massivtreelementer kan ha lavere total vekt enn for eksempel stål- og betongbygninger. Dette gjør at fundamentene til en massivtrebygning kan være mindre og bestå av mindre betong sammenliknet med en bygning av stål eller betong. Det maksimale spennet for et krysslagt massivtreelement brukt som etasjeskiller er 7-7,5 m. Dersom betong- eller limtrebjelker brukes sammen med massivtreelementet kan spennet være opp til 14 m (Aarstad og Glasø, 2008).

### 2.4.2.1 Tre og miljø

Tre som materiale er en fornybar ressurs så lenge skogen treet kommer fra er forvaltet på en bærekraftig måte. Forutsetningen for at trematerialet er bærekraftig er at ikke den samlede massen av tre i skogene reduseres. De siste hundre årene har det vært mindre uttak av trevirke i norske skoger i forhold til tilveksten (Treindustrien, 2013).

Produksjonsprosessen til treprodukter benytter i stor grad fornybar energi, og bark, sagflis og andre biprodukter blir brukt til å produsere energi som brukes internt i produksjonen eller selges som varme.

Det finnes flere internasjonale sertifiseringsordninger for bærekraftig skogdrift, og det meste av tømmeret fra norske skoger er sertifisert. I Norge er det to sertifiseringsordninger for skog, PEFC (Programme for the endorsement of Forest Certification) og FSC (Forest Stewardship Council).

### 2.4.2.2 Biogent karbon

Ved fotosyntesen kan planter omdanne karbondioksid, vann og lysenergi til sukker og oksygen:  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{lysenergi} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ . Sukker brukes til å lage cellulose og lignin, som er de viktigste bestanddelene i treet (Treindustrien, 2013).

Biogent karbon er  $\text{CO}_2$  som er tatt opp i treet gjennom fotosyntesen. NS-EN 16449:2014 gir en metode for å kalkulere mengden atmosfærisk karbondioksid basert på biogent karboninnhold i tre. Når trær vokser absorberer de karbondioksid fra atmosfæren som innlemmes i cellene i treet. Det absorberte karbondioksidet er lagret i treet som biogent karbon. Ved slutten av levetiden til treet, for eksempel når treet blir brent, blir karbondioksidet sluppet ut igjen til atmosfæren. Formelen for å beregne karbondioksid basert på biogent karboninnhold er (Standard Norge, 2014):

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} * cf * \frac{\rho_{\omega} * V_{\omega}}{1 + \omega/100}$$

der  $P_{\text{CO}_2}$  er biogent karbon oksidert som utslipp av karbondioksid (kg),  $cf$  er karbonfraksjonen av trevirke,  $\omega$  er fuktinnholdet i treproduktet,  $\rho_{\omega}$  er densiteten til treproduktet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), og  $V_{\omega}$  er volumet av treproduktet ( $\text{m}^3$ ).

#### **2.4.2.3 Massivtre og brann**

Tre er et brennbart materiale, og det brenner med tilnærmet konstant hastighet. Det vil danne seg et forkullende lag ettersom tre brenner, og dette forkullede laget vil beskytte det bakenforliggende trevirket. Den delen av trevirket som ikke blir forkullet vil tilnærmet beholde sine stivhets- og styrkeegenskaper (Glasø og Landrø, 2012). Tre har lav varmeledningsevne og det vil gi liten økning av temperatur på den siden av treet som ikke er eksponert for brann. Massive trekonstruksjoner vil være mer robuste enn lette trekonstruksjoner ettersom de har større reserver i bæreevne, og dermed er det mindre sannsynlighet for kollaps (Glasø og Landrø, 2012).

#### **2.4.2.4 Massivtre og lyd**

Tre er et lett materiale og dermed vil det lettere kunne settes i svingninger i forhold til tyngre materialer som betong. Derfor kan lydisolasjon være en utfordring i trebygninger. Det er spesielt viktig at det tas hensyn til trinnlyd og flanketransmisjon i etasjeskillere av massivtre. Økt tyngde i konstruksjonen vil øke lydisolasjonsevnen, og dermed vil massivtreelementer kunne ha bedre lydisolasjon enn lette trebjelkelag og stendervegger (Glasø, 2011).

#### **2.4.2.5 Andre trematerialer**

Trebaserte bygningsmaterialer kalles ofte EWP (Engineered Wood Products). Disse produktene er videreforedledede i forhold til rent tre. Fordeler med å bruke disse typene produkter er blant annet at de er dimensjonsstabile, har lav variasjon i fasthet og stivhet, optimal materialbruk og lav vekt i forhold til bæreevne (Solli og Glasø, 2011).

Limtre er bjelker som limes sammen av lameller av tre med samme fiberretning. I teorien kan limtre produseres i hvilken som helst størrelse. Limtre kan også ha forskjellige former, som krumme bjelker og pulttaksbjelker. De ytterste lamellene i et limtrevversnitt har høyere fasthet enn lamellene i midten, slik at materialbruken er mest mulig optimal. Bruksområder for limtre kan være bjelker og søyler i boliger og næringsbygg, konstruksjon av trebruer, bjelkelag i gulv med store spenn, og som deler av fagverkskonstruksjoner.

Andre typer EWP materialer er I-bjelker, som er bjelker med flenser av trevirke og steg av trebaserte plater, og LVL-bjelker (Laminated Veneer Lumber), som er bjelker som er bygget opp av limte finérlag med samme fiberretning.

### **2.4.3 Stål**

Stål er jern som inneholder mindre enn 1,7-2% karbon. Stål fremstilles ved raffinering av råjern, og det er fire hovedtrinn ved fremstilling av stål. Ved fersking blir karboninnholdet i råjernet og andre oksiderbare grunnstoffer fjernet. Det neste trinnet er deoksidasjon og legering, som blir gjort for å få kontroll over gassutvikling under størkning og for å justere sammensetningen av stålet. Det tredje trinnet er utstøping, som skjer gjennom et tappehull i bunnen av øsen. Det siste trinnet er valsing, der stålet blir formgitt (Christensen og Almar-Næss, 2019).

Stålindustrien er en av verdens mest energikrevende industrier, og er ansvarlig for ca. 5% av verdens totale energibruk. Stålindustrien står også for rundt 3-4% av verdens totale klimagassutslipp (Chunbao Charles og Cang, 2010). Den største delen av klimagassutslippene fra stålproduksjon kommer fra forbrenning av fossile brennstoff, bruk av elektrisitet og av bruk av kull og kalk som råstoff (Turner, u.å.). For å redusere klimagassutslippene fra stålindustri på kort sikt kan det brukes mer energieffektive

metoder, mens på lang sikt kan det brukes mer fornybare energikilder til stålproduksjon. CO<sub>2</sub> fangst og lagring (CCS) kan også være aktuelt for å redusere klimagassutslipp fra stålproduksjon (Chunbao Charles og Cang, 2010).

En fordel med stål er at det kan resirkuleres. Å produsere stål ved resirkulering krever ca. 80% mindre energi i forhold til å produsere stål fra jernmalm. En ulempe ved resirkulering av stål er at det kan føre til store utslipp av tungmetaller og organisk forurensing på grunn av urenheter i skrapstål (European Commission, u.å.).

## 2.5 Tidligere forskning på klimagassutslipp av betong- og massivtrebygninger

### 2.5.1 Klimagassutslipp fra bygninger i betong og tre

Dodoo, Gustavsson og Sathre (2014) så på klimagassutslippene fra hele livssyklusen fra tre forskjellige bygningssystemer i tre. Det ble tatt utgangspunkt i en fire-etasjes bygning i Växjö i Sverige. Det ble designet tre forskjellige versjoner av denne bygningen, både etter vanlig svensk energistandard og til passivhusstandard. Bygningssystemene som ble undersøkt mot hverandre var å bygge i massivtre, et bjelke/søyle-system av limtrebjelker og -søylar, og en bygning av elementer av bindingsverk bygd på fabrikk og deretter transportert til byggeplass. Det ble gjort en konsekvensiell livssyklusanalyse.

Resultatene fra denne studien viste at massivtrebygningen i passivhusstandard gav lavest livssyklus CO<sub>2</sub>-utslipp mens bjelke/søyle-systemet i vanlig standard gav de høyeste livssyklus CO<sub>2</sub>-utslippene. Noe av grunnen til at bjelke/søyle-systemet kommer dårlig ut her er at det krever mer stål og betong i forhold til de to andre systemene. Det er brukt 36% mer betong i bjelke/søyle-systemet i forhold til massivtresystemet og det prefabrikkerte systemet. Blant annet har dette systemet heissjakt i betong, mens de andre bygningene har heissjakt i massivtre. Det har også mer betong i fundamentene enn i de to andre bygningssystemene for å ta opp punktlaster. Gips var det dominerende materialet når det gjaldt CO<sub>2</sub>-utslipp for de konvensjonelle husene, mens det var glass/steinull-isolasjon som var det dominerende materialet for lav-energibygningene.

En sensitivitetsanalyse viste at deponering av trerester med og uten gjenvinning av gasser (metan) fra deponi hadde stor innvirkning på CO<sub>2</sub> utslippet fra bygningene, mens transportavstanden for materialene ikke hadde like stor effekt. Studien konkluderer med at signifikante reduksjoner i karbonutslipp kan oppnås ved å bruke tre som byggemateriale i stedet for betong for bygninger med flere etasjer.

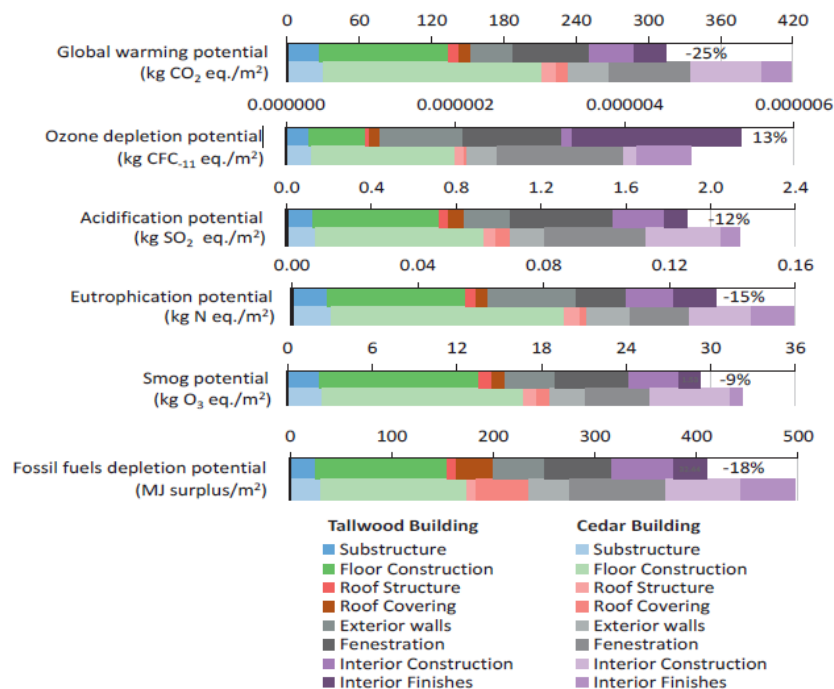
Börjesson og Gustavsson sin rapport fra 2000 så på primærenergibruk og klimagassutslipp fra byggingen av en 4-etasjes bygning i tre eller betong (Börjesson og Gustavsson, 2000). Primærenergibruken i produksjon av bygningsmaterialer var 60-80% høyere for betongbygningen i forhold til trebygningen. De fant også ut at klimagassbalansen for trematerialer er sterkt avhengig av hvordan treet behandles etter riving av bygningen. Dersom treet brukt i bygningen ble deponert uten oppsamling av biogasser var de netto klimagassutslippene omtrent like store som dersom det var brukt betong som bærekonstruksjon. Studien tok hensyn til karbonisering av betong, men energibruk i drift av bygningen ble ikke inkludert i analysen. Levetiden til bygningen ble satt til 100 år. Den netto balansen av klimagassen var noe positiv dersom treverket fra bygningen ble brukt til å erstatte fossile brensler. Dersom noe av treverket ble resirkulert



og brukt på nytt, kunne klimagassbalansen være negativ. Det som gav de dårligste resultatene var å deponere treverket etter rivning, ettersom det da vil slippes ut metan og karbondioksid. Metan er en mye sterkere drivhusgass enn karbondioksid, dermed vil effekten av klimagassene bli større.

Gustavsson, Joelsson og Sathre (2010) undersøkte primærenergibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp fra en åtte-etasjes leilighetsbygning i tre. De inkluderte alle fasene i livssyklusen fra produksjon av materialer, byggeprosess, drift av bygningen, rivning og avhending av materialene. Resultatene fra studien viser at driften av bygningen er den fasen som bruker den største delen av energibruken gjennom livssyklusen, og at jo lengre levetiden til bygningen er, jo viktigere er denne fasen. Hvilket varmesystem som ble brukt i bygningen spilte også en stor rolle i primærenergibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp.

Ved University of British Columbia i Canada ble det gjort en livssyklusanalyse (og livssyklusostandsanalyse) av to 18 etasjes studentboligblokker, én blokk i massivtre og én blokk i betong (Teshnizi *et al.*, 2018). Den ene bygningen er en blanding av betong og massivtre, der fundamentet, førsteetasje, andreetasje og heis/trappesjakter er i betong, mens resten av bygningen er i massivtre og limtre. Massivtreet i bygningen er innkapslet med 3-4 lag gips for brannbeskyttelse. Den andre bygningen har fundamenter, dekker, søyler og heissjakter i betong. Det ble gjort en vugge til grav livssyklusanalyse, der produkter og konstruksjon, bruk, vedlikehold, oppussing og rivning var inkludert. Resultatene fra studien viser at dersom det kun sees på materialer, har bygningen i massivtre mindre negative virkninger i fem av seks påvirkningskategorier i forhold til bygningen i betong. Bygningen i massivtre hadde 25% mindre globalt oppvarmingspotensial når det kun sees på bygningsmaterialer, mens betongbygningen hadde lavere utslipp når det gjelder ozonnedbrytingspotensial (Teshnizi *et al.*, 2018). Dette var den eneste kategorien der betongbygningen hadde mindre negative virkninger.



**Figur 5: Sammenligning av miljøpåvirkning fra bygningsmaterialer per m<sup>2</sup>. Tallwood building er bygningen i massivtre, og Cedar building er bygningen i betong (Teshnizi *et al.*, 2018).**

Skullestad (2016) så i en masteroppgave på klimapåvirkningen fra bærekonstruksjoner i tre og betong for bygninger med forskjellig antall etasjer. Systemgrensen var vugge til port (A1-A3). Konklusjonen i oppgaven var at bæresystemer i tre har betraktelig lavere klimapåvirkning enn bæresystem i betong. Dersom det ble benyttet et regnskapsmessig perspektiv var klimapåvirkningen fra trekonstruksjonen 34-84% lavere enn for betongkonstruksjonen. Dersom det ble benyttet et konsekvensielt perspektiv var klimapåvirkningen fra trekonstruksjonen negativ, ettersom det ble antatt at trevirkerester ble brent for å erstatte varmeenergi fra naturgass etter riving.

Oppgaven så også på CO<sub>2</sub>-premien for bygningshøyde. Dette kommer av at det trengs større materialmengder per m<sup>2</sup> for høye bygg i forhold til lavere bygg, og da vil klimagassutslippene øke. Studien fant at besparelsen i klimagassutslipp per m<sup>2</sup> ved å velge bæresystem i tre i stedet for betong avtok med antall etasjer opp til 12 etasjer, men økte fra 12 til 21 etasjer.

Erlandsson *et al.* (2018) så i en svensk rapport på hele livssyklusen til en seks-etasjes leilighetsbygning med fem forskjellige bæresystemer. De forskjellige bæresystemene som ble undersøkt var plasstøpt betong med vegger i betong, plasstøpt betong med lette vegger i tre, prefabrikkert betong, prefabrikkerte volumelementer i tre og massivtre. Resultatene viste at bygningen i massivtre gav det laveste klimagassutslippet i produktfasen, mens bygget i plasstøpt betong med vegger av betong gav de høyeste utslippene. I de andre fasene var det ikke like store forskjeller mellom byggene som i produktfasen, men det ble regnet med at bygget i volumelementer av tre og massivtrebygget hadde noe høyere utslipp til vedlikehold og utskifting i forhold til de andre byggene.

Tettey, Dodoo og Gustavsson (2019) undersøkte primærenergibruk over livssyklusen av en leilighetsbygning i tre forskjellige bygningssystemer. Bygningssystemene som ble undersøkt var prefabrikkert betong, massivtreelementer og prefabrikkerte tremoduler. Resultatene fra studien viste at massivtrebygget og bygningen med prefabrikkerte tremoduler hadde lavere primærenergibruk for materialproduksjon og i byggefasen. Studien viste også at det var bruksfasen som hadde størst bruk av primærenergi, etterfulgt av produktfasen. Massivtrebygget gav totalt 20% lavere livssyklus primærenergibruk i forhold til bygningen i prefabrikkert betong, når levetiden til bygget var 80 år. Bygget med prefabrikkerte tremoduler gav 9% lavere primærenergibruk.

### 2.5.2 CO<sub>2</sub> premie for bygningshøyde for tekniske installasjoner

Kaspersen, Lohne og Bohne (2016) så på CO<sub>2</sub>-premien for bygningshøyde for tekniske installasjoner i næringsbygg med høyde fra 4 til 21 etasjer. Systemgrensene i studien var vugge-til-port og energibruk i drift (A1-A3, B6), det vil si materialproduksjon og energibruk fra tekniske installasjoner. Resultatene fra studien viste at det var en minimal CO<sub>2</sub>-premie fra produktfasen for tekniske systemer, og studien konkluderte med at CO<sub>2</sub>-premien for bygningshøyde for tekniske systemer var neglisjerbar opp til 21 etasjer.

### 2.5.3 Effekt av termisk masse

Dodoo, Gustavsson og Sathre (2012) så på effekten av termisk masse på energibruken til oppvarming og livssyklus primærenergibalansen av en bygning i betong og en bygning i bindingsverk. Resultatene fra denne studien viste at bygningen av betong hadde noe lavere behov for romoppvarming enn bygningen av bindingsverk. Dette er fordi betongen har en høyere termisk masse enn trebygningen. Livssyklus primærenergibalansen var lavest for bygningen i bindingsverk av tre. Dette var på grunn av lavere

primærenergi bruk i produksjonen av materialer og på grunn av gjenvinning av energi fra treet. Dette veide mer enn opp for energisparingen man oppnår ved å ha større termisk masse.

#### 2.5.4 Effekt av håndtering av materialer etter bruk

Dodoo, Gustavsson og Sathre (2009) undersøkte også effektene av håndtering av materialer etter bruk på livssyklus karbonbalansen av bygninger. De fant ut at karbonatisering av knust betong gav signifikant opptak av CO<sub>2</sub>, men at utslippet av CO<sub>2</sub> fra fossile brensler som brukes til å knuse betongen reduserte CO<sub>2</sub>-fordelene fra karbonatiseringen. De fant også at resirkulering av armeringsjern og energigjenvinning av tre var viktigere og gav større CO<sub>2</sub>-fordel enn karbonatisering av betong.

#### 2.5.5 Usikkerhet i LCA av bygninger

Hoxha *et al.* (2017) studerte 15 enfamiliehus og 15 flerfamiliehus i Frankrike for å finne de bygningsmaterialene som har det største relative bidraget til bygningens miljøpåvirkning og usikkerhet. Resultatene fra studien viste at livssyklusanalyse kan skille signifikant mellom to prosjekter hvis forskjellen i resultatene er høyere enn ca. 20%. Isolasjonsmaterialer var den største bidragsyteren til usikkerheten for enfamiliehus, mens tre som ikke er i det bærende systemet var den største bidragsyteren til usikkerhet for flerfamiliebygninger. Plastøst betong var det materialet som var den største bidragsyteren til miljøpåvirkningen for både enfamiliehus og flerfamiliehus.

#### 2.5.6 Oppsummering av de viktigste funnene

Den tidligere forskningen på dette temaet viser at for alle studiene som er undersøkt gav massivtrebygninger lavere klimagassutslipp enn betongbygninger. Hva som gjøres med treet etter bruk vil påvirke klimagassregnskapet i stor grad, og hvis treet blir deponert på feil måte vil dette slippe ut store mengder klimagasser. Studiene viser også at driften av bygninger er fasen som står for den største delen av energibruken gjennom livssyklusen til bygninger.

### 2.6 Levetid av bygningsmaterialer og bygningsdeler

Levetiden til bygninger og bygningsdeler er en viktig faktor når det skal gjøres livssyklusanalyse av bygninger. Forskjellige levetider kan gi store utslag på resultatene. Data på levetid kan også være viktig når det skal planlegges vedlikehold, fastsettes verdi på bygninger og når det skal beregnes livssykluskostnader.

Levetiden til et bygg eller en bygningsdel er ifølge SINTEF byggforsk (2004) definert som «*tiden som bygget eller dets deler oppfyller krav til (ønsket) funksjon*». Levetiden til en bygningsdel vil være når ytelsesnivået til ikke lenger er tilfredstillende. Det skilles mellom teknisk, økonomisk og funksjonell levetid:

- Den tekniske levetiden avhenger blant annet av materialkvalitet, design, utførelse, eksponeringsmiljø, bruksbelastning og vedlikehold, og er tiden det tar å slite ut en bygningsdel (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009).
- Den funksjonelle levetiden er tiden når en bygningsdel ikke lenger tilfredsstiller opprinnelige krav eller funksjon, selv om bygningsdelen fungerer rent teknisk. Funksjonell levetid skjer ofte før teknisk levetid, og kan for eksempel inntreffe ved bytte av leietakere (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009).

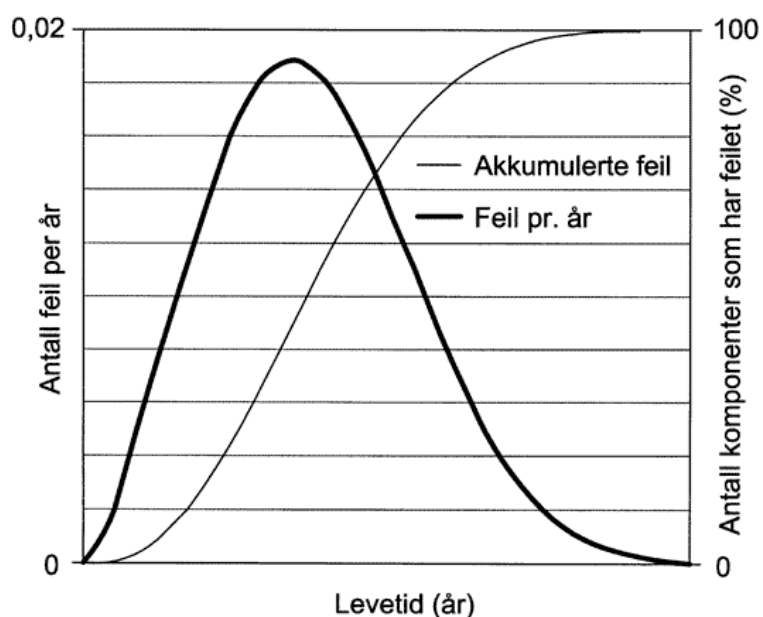
- Estetisk levetid inntreffer når en bygningsdel ikke lenger er estetisk tilfredsstillende. Dette kan for eksempel gjelde for tapet og gulvbelegg.
- Økonomisk levetid er «når totaløkonomien ved å beholde og vedlikeholde en bygningsdel er mindre gunstig enn totaløkonomien ved å skifte den ut» (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009)

Tabell 6 viser et eksempel på hvilken levetid som kan inntreffe først av teknisk, funksjonell, estetisk og økonomisk levetid for ulike bygningsdeler. Ofte vil funksjonell levetid inntreffe før teknisk levetid.

**Tabell 6: Eksempel på hvilken levetid som inntreffer først for ulike bygningsdeler (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009).**

Bygningsdel	Levetid som trolig inntreffer først
21 Grunn og fundamenter	Teknisk levetid
22 Bæresystemer	Teknisk levetid
23 Yttervegger	Teknisk eller estetisk levetid
24 Innervegger	Funksjonell levetid
25 Dekker	Teknisk levetid
26 Yttertak	Teknisk levetid
27 Fast inventar	Funksjonell levetid
28 Trapper, balkonger m.m.	Teknisk levetid

Levetiden til en komponent eller en bygningdel er en statistisk variabel som vist i figur 6. Feil per år vil øke til en maksimumsverdi og deretter synke (SINTEF byggforsk, 2004). Dette betyr at det er vanskelig å gi levetid som en enkelt verdi. Ofte vil levetider være gitt med tre verdier: kort, middels og lang (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009). Levetidsdata kan skaffes gjennom observasjon og målinger enten gjennom langtidseksponering under bruksbetingelser eller korttidseksponering i laboratorier (SINTEF byggforsk, 2004). Levetidsdata vil ikke være en dokumentert sannhet, men tabellene må benyttes som en veiledning. De gir en indikasjon på når det kan forventes at en bygningsdel må byttes.



**Figur 6: Levetid som en statistisk variabel (SINTEF byggforsk, 2004).**

ISO 15686 er en serie standarder som handler om levetidsplanlegging. I standarden ISO 15686-1 er det gitt eksempel på minimumslevetider for komponenter avhengig av ulike levetider for bygninger, som kan sees i tabell 7.

**Tabell 7: Foreslåtte minimumslevetider i ISO 15686-1 (International Organization for Standardization, 2011).**

Levetid til bygning	Utilgjengelige eller strukturelle bygningsdeler	Bygningsdeler der utbytting er dyrt eller vanskelig	Store utskiftbare komponenter	Tekniske systemer
<b>Ubegrenset</b>	Ubegrenset	100	40	25
<b>150</b>	150	100	40	25
<b>100</b>	100	100	40	25
<b>60</b>	60	60	40	25
<b>25</b>	25	25	25	25
<b>15</b>	15	15	15	15
<b>10</b>	10	10	10	10

Tabell 8 viser hvordan levetiden til bygningsdeler varierer med påkjenninger og teknisk kvalitet. Jo større påkjenningene bygningsdelen er utsatt for, jo kortere vil levetiden være.

**Tabell 8: Hvordan kombinasjonen av teknisk kvalitet og påkjenninger påvirker levetiden til bygningsdeler (SINTEF Byggforsk, 2017b).**

Teknisk kvalitet	Påkjenninger		
	Små	Middels	Store
<b>Lav</b>	Middels	Kort	Kort
<b>God</b>	Lang	Lang	Middels
<b>Meget god</b>	Lang	Lang	Middels



## 3 Metode

Kvantitative metoder gir informasjon som gjøres om til målbare enheter, mens kvalitative metoder brukes for å fange opp meninger og opplevelser som det ikke er mulig å tallfeste (Dalland, 2000). I denne oppgaven har både kvalitative og kvantitative metoder blitt brukt. Den kvalitative delen er et litteratursøk for å få bakgrunnsinformasjon om temaet LCA av bygninger, mens den kvantitative delen er et klimagassregnskap av Maskinparken 2 og TRE og Verkstedgården 1.

### 3.1 Litteratursøk

Det er gjort et litteratursøk for å finne tidligere forskning på klimagassutslipp av betong- og massivtrebygninger, og for å få kunnskap om temaer som er relevante for klimagassberegninger av bygninger.

Databasene som er brukt til å søke etter litteratur er Google Scholar og Oria. Google Scholar er en database der det er blant annet mulig å finne artikler, avhandlinger og bøker. I Oria kan det søkes i NTNU Universitetsbiblioteket og Norske fagbibliotek sine samlinger, og i artikler som biblioteket har tilgang til. Det har også blitt gjort vanlig søk i Google for å finne rapporter og kilder som ikke er vitenskapelige artikler.

Det ble gjort et systematisk søk for å finne relevante artikler til oppgaven. Først er tittelen på artiklene undersøkt for å finne de artiklene i søket som var mest relevante og sortere bort de som ikke hadde noe med temaet å gjøre. Deretter ble abstractet i artiklene som var relevante lest for å sortere videre. De artiklene som var interessante for oppgaven etter at abstractet var lest, ble lest i sin helhet og inkludert i litteraturlisten. Det ble også funnet relevant litteratur ved å se i kildelistene til tidligere oppgaver, dette er et såkalt kjedesøk (Rienecker *et al.*, 2013). Spesielt kildelisten i Skullestad (2016) ble brukt for å finne litteratur ettersom denne oppgaven omhandler samme tema.

Søkeord som ble brukt er:

- building/apartment building
- wood
- concrete
- prefabricated
- CLT/Cross laminated timber
- LCA/Life cycle assessment
- greenhouse gas

Søkeordene er brukt hver for seg og i kombinasjon med hverandre.

Nyere litteratur ble prioritert å lese over eldre artikler, ettersom dette er et fagfelt som er i stor utvikling der det skjer mye. Derfor kan resultatene i eldre artikler være annerledes enn i nyere. Det ble også prioritert å lese artikler fra Skandinavia og Europa, ettersom det er mer relevant med en studie av klimagassutslipp fra bygninger i Norge eller Sverige i forhold til bygninger i Asia eller Amerika. Dette er fordi byggeteknikken kan være annerledes i Skandinavia i forhold til andre steder, og fordi det kan være andre systemer for avfallsbehandling og lignende. I tillegg ble det vurdert om artikkelen var publisert i et anerkjent tidsskrift.

Diverse standarder har også blitt brukt i stor grad i denne oppgaven. Standardene som er brukt er lastet ned fra Standard Norge sine nettsider (Standard Norge, 2019).

EPDer brukt i klimagassregnskapet er hovedsakelig hentet fra EPD-Norge (The Norwegian EPD Foundation, 2019), den tyske databasen Okobaudat (Federal Ministry of the Interior, 2019), Institut Bauen und Umwelt e.V. (2017) og The International EPD System (2019). EPDer har også for enkelte materialer blitt hentet fra produsenters nettsider eller har blitt skaffet ved å kontakte produsentene direkte.

## 3.2 Klimagassberegning

### 3.2.1 Mengdeberegning

Mengder for de forskjellige bygningsdelene er hentet fra arkitekt- og RIB-modellene for de ulike byggene. RIB-modellene er brukt for å få mengdene til bæresystemet til byggene, mens arkitektmodellene er brukt til å få mengder på materialer som ikke er en del av bæresystemet. Programmet Solibri model checker v9.8 er brukt til å hente ut mengdene. Funksjonen Information takeoff er brukt i Solibri, og mengdene er deretter eksportert til et excel-ark der de er sortert og arbeidet videre med. Tegninger av byggene er også brukt for å finne mengder av enkelte bygningsdeler og for å få en forståelse av oppbygningen av byggene.

Mengden armering brukt i den plasstøpte betongen for Maskinparken 2 og TRE er hentet fra bestillingslister for armering. Derfor antas denne mengden å være nøyaktig. For parkeringskjelleren under Verkstedgården 1 er det antatt 100 kg armering per m<sup>3</sup> betong (Knippa, 2018), ettersom det ikke finnes beregninger av armeringsmengde for parkeringskjelleren når denne oppgaven ble skrevet. Volumet av armeringen er regnet ut for alle bygningsdeler og trukket fra mengden betong for å gi en riktig total mengde betong.

Mengden av festemidler for massivtre er beregnet fra informasjon om festemidlene gitt av Woodcon som er leverandør av massivtreet. Volumet av de enkelte skruene og festemidlene er regnet ut, og deretter er det totale volumet summert.

Det er antatt at betong og armering i dekket over parkeringskjelleren tilhører byggene, mens resten av betongen under byggene tilhører parkeringskjelleren. Det betyr at alle materialer over og inkludert det nederste dekket tilhører bygningene, mens resten av materialene tilhører parkeringskjelleren.

#### **3.2.1.1 Mengdeberegning av Verkstedgården**

For Verkstedgården 1 er mengder for bæresystemet og parkeringskjeller hentet fra RIB-modellen. For andre materialer i bygget, som materialer i yttervegger, innervegger osv. er mengder fra Maskinparken 2 brukt, men tilpasset for å stemme med antallet etasjer i Verkstedgården 1. Dette er gjort fordi detaljprosjekteringen av Verkstedgården 1 ikke hadde startet når denne oppgaven ble skrevet. Det ble opplyst av Veidekke at oppbyggingen av Verkstedgården 1 ville være lik som Maskinparken 2, med unntak av et tykkere isolasjonssjikt over dekket (Faanes, 2019). Derfor er mengden isolasjon over dekkene også justert.

For Verkstedgården 1 antas det at dekket over parkeringskjelleren har samme mengde betong og armering som dekket over parkeringskjelleren i Maskinparken TRE. Det ble opplyst av Veidekke at dekket over parkeringskjelleren er plasstøpt. Derfor er samme mengde betong og armering som i dekket under Maskinparken TRE antatt for dekket



under Verkstedgården 1. I RIB-modellen til Verkstedgården 1 er det hulldekker, men disse er sett bort fra og erstattet med plasstøpt betong.

### **3.2.1.2 Allokering av parkeringskjeller**

Maskinparken 2 og TRE står på en felles parkeringskjeller. Denne parkeringskjelleren er allokert mellom de to byggene ved bruk av bruksarealet som en faktor. Dette betyr at Maskinparken TRE får den største delen av materialene i parkeringskjelleren, mens det er antatt at Maskinparken 2 får en mindre mengde materialer. Per m<sup>2</sup> får da byggene samme klimagassutslipp fra parkeringskjelleren.

### **3.2.1.3 Mengdeberegning av baderomskabiner**

Baderommene brukt i prosjektet er prefabrikkerte baderomskabiner fra Finland. For å finne mengdene av ulike materialer i baderomskabinene er tegninger av baderomskabinene og SINTEF Teknisk godkjenning brukt (SINTEF Byggforsk, 2017a). Baderommene er antatt å bestå av betong, armering, stål og fliser som en forenkling.

Se vedlegg 4 og vedlagte filer for beregninger av mengder og forutsetninger.

### **3.2.2 Beregning av klimagassutslipp**

For å finne klimagassutslippet for de ulike bygningsdelene er det brukt EPDer for de ulike bygningsmaterialene. Informasjonen om klimagassutslipp i EPDene og dataene på mengder er samlet i et excel-ark, se vedlegg 3. I EPDene er det oppgitt en deklart enhet, og utslippene i EPDen er oppgitt i forhold til den deklarte enheten. Mengden av materialer ganges med klimagassutslippet oppgitt i EPDen for å få det totale klimagassutslippet for hvert materiale for de forskjellige fasene.

Bygningsdelene er delt opp etter bygningsdelstabellen i NS3451 (Standard Norge, 2009). Det er noen forskjeller i oppdelingen i forhold til standarden. Alt som hører til parkeringskjelleren på byggene er inkludert i 21 Grunn og fundamenter. I tillegg er alt av bæresystemer (det vil si plasstøpt betong, massivtre og betongelementer) inkludert i 22 Bæresystem. I utgangspunktet skal bærende yttervegger være med i 23 Yttervegger, bærende innervegger være med i 24 Innervegger osv. Grunnen til at dette er gjort er fordi det ikke var mulig å dele opp massivtremodellen til Maskinparken TRE i vegger og dekker, og dermed ble det valgt å inkludere alt i 22 Bæresystem. Det samme er blitt gjort for Maskinparken 2 og Verkstedgården 1 for å gjøre det mulig å sammenligne byggene.

Klimagassregnskapet kan sees i vedlegg 3 og excel-filene som er vedlagt oppgaven.

### **3.2.3 Systemgrenser og funksjonell enhet**

Fasene som er inkludert i denne studien er produktfasen (A1-A3), transport til byggeplassen (A4), utskifting (B4) og driftsmessig energibruk (B6). Byggeprosessen (A5) og livsløpets sluttstadium (C1-C4) er ikke inkludert i klimagassberegningene på grunn av manglende data i EPDene. Monterte produkter i bruk (B1), vedlikehold (B2), reparasjon (B3) er valgt å se bort fra ettersom det er antatt at klimagassutslippene i disse fasene er lave i forhold til de andre fasene som er inkludert. LCA typen som er brukt er regnskaps-LCA.

Den funksjonelle enheten er 1 m<sup>2</sup> bruksareal, og levetiden til byggene er satt til 60 år. Ifølge NS3720 skal det brukes 60 års levetid på bygninger med mindre byggherren oppgir en annen påkrevd levetid (Standard Norge, 2018).

Tekniske systemer som VVS-installasjoner, elektriske systemer, heis og tele og automatisering er ikke inkludert i klimagassregnskapet på grunn av mangel på data på mengder og klimagassutslippet fra de tekniske systemene. I tillegg er hovedmålet med studien å sammenligne de ulike byggene, og ikke å undersøke klimagassutslippet fra de tekniske systemene. Det er antatt at de tekniske systemene er veldig like i de tre byggene, og derfor antas det at det ikke vil ha noen effekt på resultatene at de tekniske systemene ikke inkluderes.

### 3.2.3.1 Cut-off

Enkelte materialer som det ikke er store mengder av i byggene er ikke inkludert i klimagassberegningen. Dette er for eksempel treverk som lekter osv. som det er små mengder av i forhold til den totale mengden treverk. Ifølge NS 3720 kan produkter som inngår i små mengder i byggene utelates: «*Totalt utelatte produkter innenfor hver bygningsdel på 2-siffernivå skal ikke overskride 5 vektprosent av bygningens totale vekt*» (Standard Norge, 2018). Det antas at de produktene som ikke er tatt med i klimagassregnskapet er godt under 5 vektprosent.

### 3.2.3.2 Biogent karbon og karbonatisering av betong

Biogent karbon som er lagret i trematerialene er ikke inkludert i beregningene. Dette er fordi livsløpets sluttstadium ikke er en del av beregningene. Ifølge ZEB senteret bør ikke biogent karbon inkluderes i beregningene med mindre man også inkluderer slutten av livsløpet, det vil si fasene C1-C4 (Fufa *et al.*, 2016). Dette er fordi biogent karbon som blir lagret i treet vil slippes ut i livsløpet sluttstadium når treet brennes. Karbonatisering av betong i bruksfasen til byggene er heller ikke inkludert i beregningene, selv om dette antakelig vil gi et lite optak av CO<sub>2</sub>.

### 3.2.4 Beregning av klimagassutslipp fra transport (A4)

Transportdistansen og klimagassutslippet som er oppgitt i EPDene er brukt i klimagassregnskapet for de materialene der EPDen inneholder informasjon om klimagassutslipp fra transport i fasen A4. For de materialene der EPDen ikke inneholder informasjon om transport i A4, er transport regnet ut ved hjelp av en transportkalkulator utviklet av Østfoldforskning (LCA.no, 2019).

Transportkalkulatoren er basert på data fra Ecoinvent versjon 3.1 (Saxegård *et al.*, 2016). I denne kalkulatoren legges det inn informasjon om vekt på materialet som skal transporteres, distanse og transportmiddel. Både direkte og indirekte miljøpåvirkninger er inkludert i de totale miljøpåvirkningene fra transportkalkulatoren. Det er flere usikkerheter ved bruk av denne kalkulatoren til å regne ut transport.

Transportkalkulatoren er basert på gjennomsnittlige data. Utslippene fra en lastebil for eksempel kan variere med løypeprofil, kjøremønster, værforhold, fyllingsgrad osv. Det er ikke mulig å endre fyllingsgrad i kalkulatoren, men statistiske data fra Ecoinvent er brukt for denne parameteren (Saxegård *et al.*, 2016). I tillegg er det en stor usikkerhet i om det transportmiddelet som er valgt for ulike materialer er det riktige for den faktiske ruten. For eksempel er det mulig at en vare transporteres med tog i virkeligheten men at det regnes med at varen transporteres med lastebil i kalkulatoren. Det er også en usikkerhet i om ruten og distansen som er valgt for transporten er den riktige.

Alle transportdistanser kan sees i klimagassregnskapet i vedlegg 3, og antagelser som er gjort for utregning av transport kan sees i tabell 9.

**Tabell 9: Transportdistanse og antakelser der det er regnet ut utslipp fra transport. Alle distanser er regnet ut ved hjelp av Google Maps med mindre det ikke står annet.**

<b>Materiale</b>	<b>Transportdistanse</b>	<b>Forklaring/Antagelser</b>
Massivtre	Elektrisk tog: 2551 km	Transport fra fabrikken i Ybbs an der Donau i Østerrike til Trondheim med elektrisk tog.
Skruer og festemidler	Lastebil 32t (Euro 5): 487 km	Antatt transport fra Oslo til Trondheim.
Rockwool isolasjon	Lastebil 32t (Euro 5): 25 km	Rockwool har en fabrikk i Trondheim, og 25 km er da valgt som distanse for å dekke en byggeplass i Trondheimsområdet.
Glassvegg	Lastebil 32t (Euro 5): 1030 km Ferje: 160 km	Antatt Transport fra Tyskland til Norge. Bruker transportdistanse som er standard i Transportkalkulatoren.
Fermacell	Lastebil 32t (Euro 5): 1030 km Ferje: 160 km	Antatt Transport fra Tyskland til Norge. Bruker transportdistanse som er standard i Transportkalkulatoren.
Glassrekkverk	Lastebil 32t (Euro 5): 1030 km Ferje: 160 km	Antatt Transport fra Tyskland til Norge. Bruker transportdistanse som er standard i Transportkalkulatoren.
Badekabiner	Lastebil 32t (Euro 5): 957 km Båt regional, Olje: 96 km	Transport fra Fabrikken i Forssa i Finland til Trondheim.
Båndteking, lakkert stål	Lastebil 32t (Euro 5): 487 km	Antar transport fra Oslo til Trondheim.
Fasadeplate, StoVentec	Lastebil 32t (Euro 5): 1030 km Ferje: 160 km	Antatt Transport fra Tyskland til Norge. Bruker transportdistanse som er standard i Transportkalkulatoren.
Puss, Sto	Lastebil 32t (Euro 5): 467	Antar transport fra Oslo til Trondheim.
Kuldebryter	Lastebil 32t (Euro 5): 1030 km Ferje: 160 km	Antatt Transport fra Tyskland til Norge. Bruker transportdistanse som er standard i Transportkalkulatoren.

Utslipp fra transporten som er oppgitt i EPDene vil være for en gjennomsnittlig transport av de ulike byggevarene. De totale utslippene for transport som er regnet i denne oppgaven vil derfor være for en gjennomsnittlig byggeplass, og ikke for den aktuelle byggeplassen. Grunnen til at det ikke er regnet spesifikt på transportdistansen for hvert materiale er fordi det er usikkert hvor langt hvert materiale blir transportert og med hvilket transportmiddel. Derfor er det vurdert at det er bedre å bruke transportdistansene som er oppgitt i EPDene, ettersom dette er hvor langt produktene vanligvis blir transportert. Dette betyr også at det er vanskelig å sammenligne transporten for byggene, ettersom usikkerheten er stor. Klimagassutslippene fra

transport i denne oppgaven vil vise i hvilken størrelsesorden utslipp fra transport vil være for en gjennomsnittlig byggeplass.

### 3.2.5 Beregning av klimagassutslipp fra utskifting (B4)

Formelen for å beregne antall utskiftninger for et produkt er ifølge NS-EN 15978:

$$N_R(j) = E \left( \frac{ReqSL}{ESL(j)} - 1 \right)$$

Der  $N_R(j)$  er antall utskiftninger for produkt  $j$ ,  $E$  er funksjonen som runder opp til høyeste verdi med hele tall,  $ReqSL$  er bygningens påkrevde levetid og  $ESL(j)$  er estimert levetid for produkt  $j$ . Dette tallet er så ganget med utslippene fra A1-A4 for hvert produkt for å finne det totale klimagassutslippet for utskifting i B4.

I Byggforskbladet 700.320 Intervaller for vedlikehold og utskifting (SINTEF Byggforsk, 2017b) er det oppgitt intervaller for reparasjon og utskifting for forskjellige bygningsdeler. Det oppgitt gitt tre forskjellige intervaller, kort middels og lang for utskifting og vedlikehold av bygningsdeler og komponenter. Denne tabellen er brukt for å beregne tid mellom utskiftingen av bygningsdeler. Intervaller for utskifting er her basert på teknisk levetid av bygningsdelene. For å regne ut klimagassutslippet for utskifting er det brukt middels levetid på bygningsdelene fra (SINTEF Byggforsk, 2017b).

Bygningsdeler som er en del av bæresystemet og bygningsdeler det ikke er mulig å skifte ut antas å ha samme levetid som bygget. For de bygningsdelene det er mulig å skifte ut og det ikke er oppgitt noen levetid for i Byggforsk 700.320, er det antatt en utskifting etter 60 år. Dette betyr at det er antatt at det vil være en stor ombygging etter 60 år, der ytter- og innervegger, gulv og himling byttes ut.

### 3.2.6 Beregning av klimagassutslipp fra energibruk i drift (B6)

For å beregne energibruken i driftsfasen for byggene er energiberegninger for Maskinparken 2 og TRE utført av Rambøll brukt (Svare, 2018a, 2018b).

Energiberegningene er gjort i det dynamiske beregningsprogrammet Simien 6.009, og det er beregnet med bygget som en sone. En årssimulering er gjort der Trondheims klima er lagt til grunn. Se vedlegg 2 for resultatene fra årssimuleringen. Levert energi til bygningen er brukt for å regne ut klimagassutslippet. Levert energi tar hensyn til virkningsgraden til varmesystemet.

Det er ikke utført energiberegninger for Verkstedgården 1, ettersom detaljprosjekteringen av dette bygget ikke var utført når denne oppgaven ble skrevet. For Verkstedgården 1 er det antatt at bygget vil ha samme energiforbruk som Maskinparken 2 per m<sup>2</sup> bruksareal. Maskinparken 2 og Verkstedgården 1 er bygget etter tilnærmet samme standard, og derfor antas det at energiforbruket vil være tilnærmet likt. Dette gjør at usikkerheten i klimagassutslippet fra energibruk i drift for Verkstedgården 1 er større enn for Maskinparken 2 og TRE.

Utslippsfaktoren for elektrisitet brukt i denne oppgaven er den samme som ZEB-senteret bruker, se tabell 10. Denne faktoren er basert på simuleringer av det europeiske elektrisitetsnettet frem mot 2050. Det er antatt at Norge er en del av det Europeiske kraftsystemet, og at kraftnettet i Europa vil bli mer integrert i årene som kommer. Utslippsfaktoren er et gjennomsnitt for en bygning konstruert i 2010 med en levetid på 60 år. Det er her antatt at man når null utslipp i år 2054. (Dokka, 2011; Graabak, Bakken og Feilberg, 2014).

For fjernvarme er en utslippsfaktor for klimagassutslipp fra Statkraft Varme for Trondheim i 2017 brukt, og det er da antatt at denne ikke vil endre seg i løpet av levetiden til bygget. Utslippsfaktoren gjelder levert energi til bygget, og det vil si at produksjonsvirkningsgrad og tap i distribusjonsnettet på 12% er tatt hensyn til (Statkraft Varme AS, 2018).

**Tabell 10: Utslippsfaktorer for elektrisitet og fjernvarme.**

	<b>Utslippsfaktor (kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	<b>Kilde</b>
<b>Elektrisitet</b>	0,132	(Graabak, Bakken og Feilberg, 2014)
<b>Fjernvarme</b>	0,0511	(Statkraft Varme AS, 2018)

### 3.2.7 Sensitivitetsanalyse

Det er utført en sensitivitetsanalyse for å se hvilke faktorer som har størst påvirkning på resultatene. Faktorene som er testet ut i sensitivitetsanalysen er:

- Endring av betongkvalitet
- Endring av betongleverandør
- Endring av faktor for elektrisitet
- Endring av faktor for fjernvarme
- Endring av levetid for bygg
- Endring av levetid for materialer
- Endring av massivtreleverandør for MPTRE
- Endring av transportdistanse massivtre MPTRE
- Endring av leverandør for hulldekker VG1
- Endring av mengde festemidler

#### 3.2.7.1 Endring av betongkvalitet og betongleverandør

Det er undersøkt hva det vil si for det totale klimagassutslippet for Maskinparken 2 å endre betongkvaliteten til B45 og B30. Her er det brukt EPDer fra samme betongleverandør, men med forskjellig styrke på betongen. Det er også undersøkt å endre betongleverandøren, men beholde samme styrke på betongen.

#### 3.2.7.2 Energi, fjernvarme og elektrisitet

Det er gjort en sensitivitetsanalyse av faktorene for elektrisitet og fjernvarme som er brukt i klimagassregnskapet, for å se hvor stor innvirkning det vil ha på resultatene å velge ulike utslippsfaktorer.

Utslippsfaktorene som er brukt i sensitivitetsanalysen er vist i tabell 11 og 12. For elektrisitet er det brukt en utslippsfaktor fra NS3720 som er beregnet som et gjennomsnitt for perioden 2015 til 2075, der utslippsfaktoren er «beregnet på bakgrunn av norsk produksjon i dag og antatt vann-, vind- og varmekraft i 2050» (Standard Norge, 2018). Dette kan antas å være et veldig optimistisk scenario. Den andre elektrisitetsfaktoren som er undersøkt er klimagassutslippet fra elektrisitet i EU i 2016 (European Environment Agency, 2018). Det blir da antatt at klimagassutslippet fra elektrisitet er konstant gjennom bygningens levetid. Dette er et pessimistisk scenario ettersom det antas at klimagassutslippet fra elektrisitet i EU ikke blir lavere de neste 60 årene.

**Tabell 11: Utslippsfaktorer for elektrisitet brukt i sensitivitetsanalysen.**

	<b>Utslippsfaktor (kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	<b>Kilde</b>
<b>ZEB-senteret</b>	0,132	(Graabak, Bakken og Feilberg, 2014)
<b>Norsk scenario i NS3720, gjennomsnitt for 2015 til 2075</b>	0,018	(Standard Norge, 2018)
<b>Gjennomsnitt i EU i 2016</b>	0,296	(European Environment Agency, 2018)

For sensitivitetsanalysen for fjernvarme er det undersøkt utslippsfaktorer for andre fjernvarmeanlegg i Norge, fra Eidsiva Fjernvarmenett og Fortum Oslo Varme. Alle utslippsfaktorene er inkludert tap i varmeproduksjon og tap i fjernvarmenett. Hamar har en langt høyere utslippsfaktor enn de andre stedene, dette kommer av at Hamar er basert på avfallsforbrenning og at dette her ikke er klassifisert som en klimavennlig teknologi.

**Tabell 12: Utslippsfaktorer for fjernvarme brukt i sensitivitetsanalysen.**

	<b>Utslippsfaktor (kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	<b>Kilde</b>
<b>Trondheim</b>	0,0511	(Statkraft Varme AS, 2018)
<b>Hamar</b>	0,205	(Cochard, 2018)
<b>Brumunddal</b>	0,005	(Cochard, 2018)
<b>Oslo</b>	0,019	(Fortum Oslo Varme, 2018)

### 3.2.7.3 Endring av levetid for bygning og materialer

Det er undersøkt hva forskjellig levetid på bygningen har å si for klimagassutslippet per år. Levetiden på bygningene er variert mellom 40 til 120 år.

Det er også undersøkt å endre intervallene mellom utskifting til kort og lang i henhold til Byggforsk 700.320, for å se hva effekten er av å bytte ut bygningsdeler ofte eller skjeldent. For scenarioet der kort levetid på bygningsdelene er antatt, er utbytting av ytter- og innervegger, gulv og himling antatt etter 40 år. For scenarioet der det er lang tid mellom utbytting er det antatt at ytter- og innervegger ikke byttes ut. I sensitivitetsanalysen av levetiden på materialer er 60 års levetid på bygget brukt.

### 3.2.7.4 Endring av massivtreleverandør og transportdistanse for massivtre

For Maskinparken TRE er det undersøkt hva valg av leverandør av massivtre har å si for resultatene. Her er transportdistansen for massivtreet holdt konstant, slik at det kun er utslippene fra produksjonen av massivtre som påvirkes. Leverandører av massivtre fra forskjellige land er undersøkt.

Det er også undersøkt å endre transportdistansen og transportmiddelet for massivtre for å se innvirkningen på klimagassregnskapet.

### **3.2.7.5 Endring av leverandør av hulldekker**

For Verkstedgården 1 er det undersøkt hvor stor påvirkning det har på resultatene å endre leverandør av hulldekker. Det er undersøkt både norske og utenlandske leverandører av hulldekker.

### **3.2.7.6 Endring av mengde festemidler**

Mengden av festemidler som skruer og spiker brukt til å sette opp vegger og tak er en usikker mengde som er basert på en enkel beregning. Derfor er en sensitivitetsanalyse av mengden festemidler utført for å se påvirkningen på det totale utslippet.

### **3.2.8 Antall etasjer i Maskinparken 2**

På grunn av at Maskinparken 2 er fem etasjer, og Maskinparken TRE og Verkstedgården 1 er åtte etasjer, kan det være noen forskjeller i utslippene på grunn av forskjellig antall etasjer.

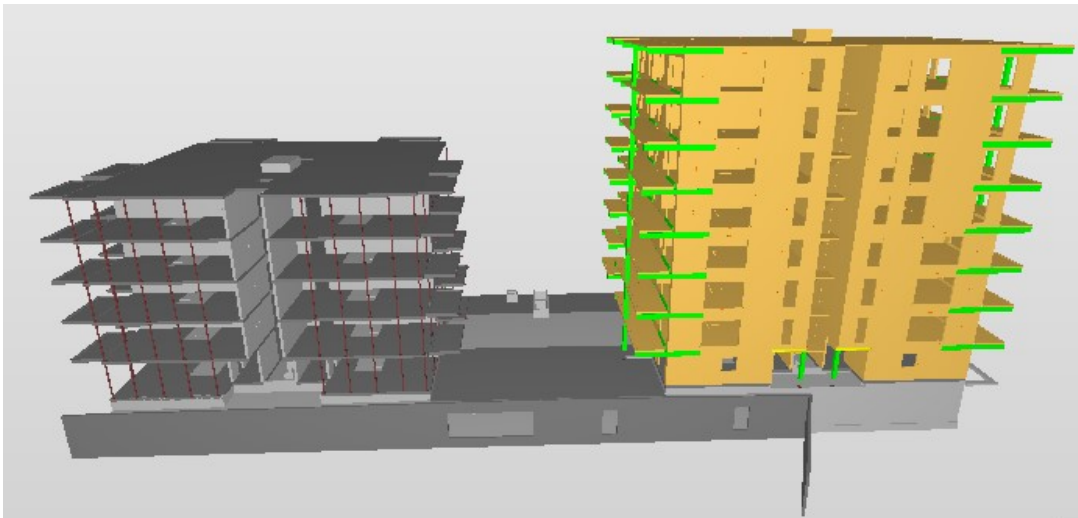
Det er laget en versjon av Maskinparken 2 med åtte etasjer, for å se effekten av antall etasjer på Maskinparken 2 og for å lettere kunne sammenligne resultatene med Maskinparken TRE og Verkstedgården 1. Dette har blitt gjort ved å skalere opp mengdene av materialer slik at de stemmer med et bygg på åtte etasjer, i tillegg til at arealet til bygget er skalert opp. Materialer som takisolasjon, takmembran og dampspærre på taket er ikke skalert opp, ettersom disse materialene vil ha samme mengde uansett høyde på bygget. Det er også antatt samme mengde vinduer, balkonger o.l. per etasje som i den vanlige versjonen. Det er antatt samme mengde plastøst betong og armering per etasje som i bygningen med 5 etasjer.



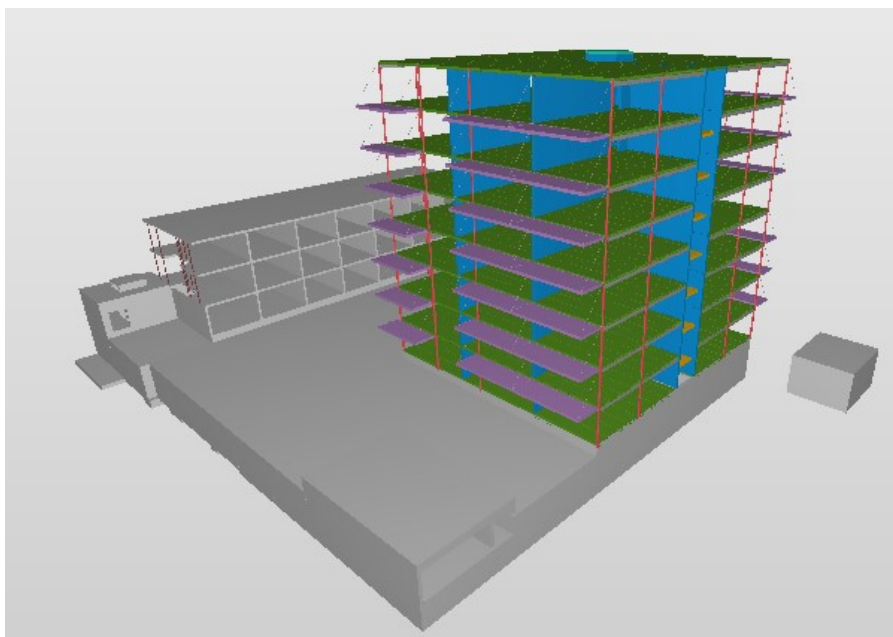


## 4 Case

Caset som er brukt i denne oppgaven er Maskinparken 2 (MP2), Maskinparken TRE (MPTRE) og Verkstedgården 1 (VG1), som er tre leilighetsbygg på Lilleby i Trondheim. Lilleby er et nytt boligområde i Trondheim som er under utvikling. Maskinparken 2 var ferdigstilt i august 2018, og Maskinparken TRE ble ferdigstilt i desember 2018. Planlagt byggestart for Verkstedgården 1 er november 2019. Totalentreprenør på prosjektene er Veidekke Entreprenør AS. Alle byggene har tilnærmet samme planløsning innvendig og samme areal per etasje. Dette gjør at byggene egner seg godt til sammenligning.



**Figur 7: RIB-modell av Maskinparken 2 (til venstre) og Maskinparken TRE (til høyre) som viser bæresystemet til de to byggene og parkeringskjelleren byggene står på.**



**Figur 8: RIB-modellen med bæresystemet til Verkstedgården 1 med parkeringskjelleren under.**

## 4.1 Maskinparken 2

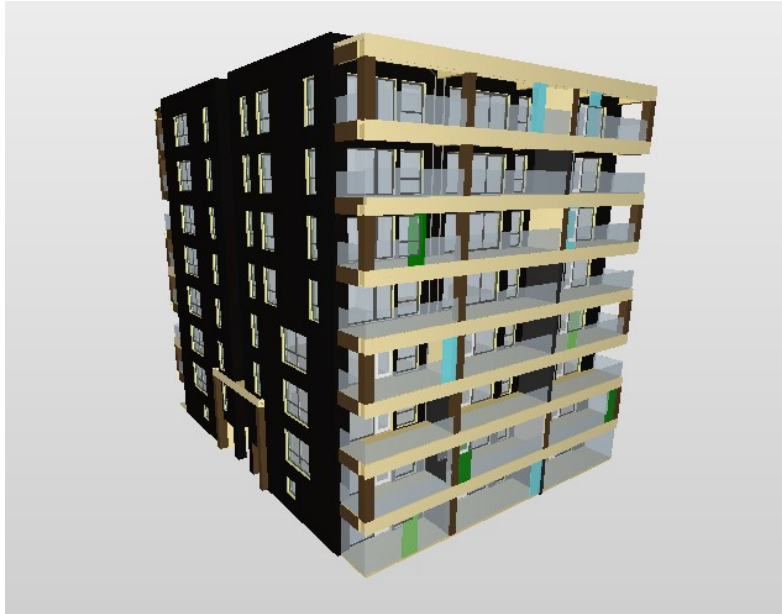
Maskinparken 2 er en fem-etasjes boligblokk som inneholder 31 leiligheter. Bærekonstruksjonen er bygget opp av dekker og vegger i armert betong, i tillegg til stålsøyler i ytterkant av dekkene. Dekkene i Maskinparken 2 er spennarmerte. Bygget er fundamentert på en parkeringskjeller bestående av armert betong. Betongkvaliteten i parkeringskjelleren og bygget er B35. Hovedtrappen i Maskinparken 2 er laget av betongelementer, og heissjakten er plasstøpt betong. Yttervegger er bygget opp som isolert bindingsverk med utvendig vindsperre og innvendig dampspærre med gips. Fasadekledning er et luftet puss-system. Maskinparken 2 er prosjektert etter energikrav i TEK10.



**Figur 9: Maskinparken 2, bildet er tatt av arkitektmodellen av Maskinparken 2.**

## 4.2 Maskinparken TRE

Maskinparken TRE er en åtte-etasjes boligblokk med totalt 47 leiligheter. Bærekonstruksjonen over kjelleren er bygget opp av massivtredekker og vegger. Hovedtrappen, heissjakt og balkonger er også i massivtre. Ytterveggene og innvendig bærende vegger er foret ut, isolert og kledd med gips. Massivtreveggene er isolert utvendig med steinull. Fasadekledningen på Maskinparken TRE er dobbelfalset trepanel. Maskinparken TRE er prosjektert for energikrav i TEK10, men skal også oppfylle kravene til passivhus i henhold til NS3700.



**Figur 10: Maskinparken TRE, bildet er tatt av arkitektmodellen av Maskinparken TRE.**

### 4.3 Verkstedgården 1

Verkstedgården 1 er en åtte-etasjes boligblokk med totalt 46 leiligheter. I motsetning til Maskinparken 2 og TRE som er ferdig bygget når denne oppgaven skrives, er Verkstedgården 1 under utvikling, og byggstart er planlagt til november 2019. Bæresystemet på Verkstedgården 1 er prefabriserte betongelementer og stål. Dekkene er hulldekker av betong, mens bærende innervegger er prefabriserte massive betongelementer. Dekkene bæres av bjelker og søyler i stål. Bygget vil bli prosjektert etter TEK17.



**Figur 11: Verkstedgården 1, bildet er tatt av arkitektmodellen av Verkstedgården 1.**

**Tabell 13: Egenskaper, forskjeller og likheter ved byggene.**

	<b>Maskinparken 2</b>	<b>Maskinparken TRE</b>	<b>Verkstedgården 1</b>
<b>Bruksareal</b>	2376,1 m <sup>2</sup>	3784,8 m <sup>2</sup>	3893,6 m <sup>2</sup>
<b>Antall etasjer</b>	5	8	8
<b>Antall leiligheter</b>	31	47	46
<b>Bæresystem</b>	Plasstøpt betong og stål	Massivtreelementer	Prefabrikkerte betongelementer og stål
<b>Fundament</b>	Parkeringskjeller i plasstøpt betong		
<b>Yttervegger</b>	Isolert bindingsverk	Utforede massivtreegger	Isolert bindingsverk
<b>Fasade</b>	Luftet puss	Dobbelfalset trepanel	Luftet puss
<b>Balkonger</b>	Betongelementer	Massivtreelementer	Betongelementer
<b>Gipsplater</b>	Standard	Standard og branngips	Standard
<b>Takisolasjon</b>	EPS	Steinull	EPS
<b>Trinnlydplate</b>	EPS	Steinull	EPS
<b>Energistandard</b>	TEK10	Passivhus og TEK10	TEK17

**Tabell 14: Levert energi til bygningene i [kWh/m<sup>2</sup>] basert på energiberegninger av Maskinparken 2 og TRE (Svare, 2018a, 2018b).**

	<b>Maskinparken 2</b>	<b>Maskinparken TRE</b>	<b>Verkstedgården 1</b>
<b>Direkte elektrisitet</b>	34,0	36,4	34,0
<b>Fjernvarme</b>	63,9	19,9	63,9

## 5 Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene fra klimagassregnskapet og sensitivitetsanalysen som er utført.

I dette kapitlet og neste kapittel blir Maskinparken 2 forkortet til MP2, Maskinparken TRE til MPTRE og Verkstedgården 1 til VG1.

### 5.1 Mengdeberegning

**Tabell 15: Resultater av mengdeberegning.**

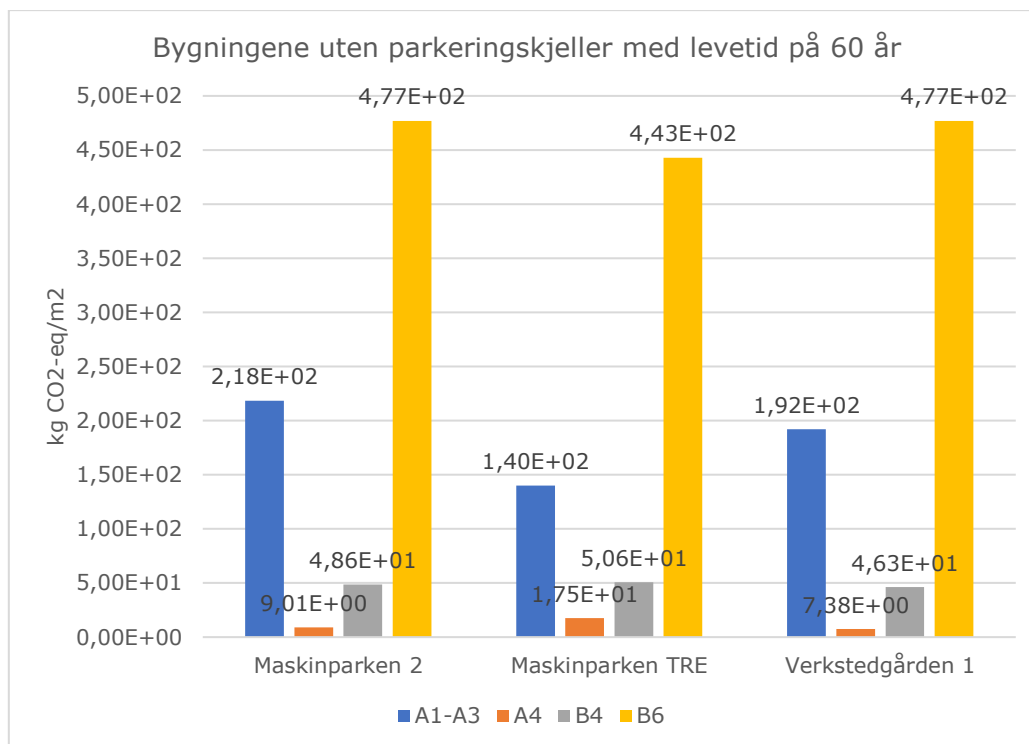
	<b>Maskinparken 2 [tonn]</b>	<b>%</b>	<b>Maskinparken TRE [tonn]</b>	<b>%</b>	<b>Verkstedgården 1 [tonn]</b>	<b>%</b>
<b>Plasstøpt betong</b>	3874	82,8	3184	65,6	5681	66,4
<b>Prefabrikkert betong</b>	227	4,9	65	1,4	1926	22,5
<b>Stål</b>	20	0,4	23	0,5	48	0,6
<b>Påstøp</b>	196	4,2	417	8,6	314	3,7
<b>Armering</b>	151	3,2	125	2,6	253	3,0
<b>Massivtre</b>	4	0,1	540	11,1	0	0,0
<b>Trematerialer</b>	34	0,7	51	1,1	54	0,6
<b>EPS</b>	2	0,1	0	0,0	2	0,0
<b>Baderomskabiner</b>	62	1,3	102	2,1	99	1,2
<b>Fasadepanel</b>	13	0,3	0	0,0	20	0,2
<b>Gipsplater</b>	51	1,1	207	4,3	82	1,0
<b>Steinull</b>	8	0,2	71	1,5	13	0,1
<b>Vinduer og balkongdører</b>	16	0,3	25	0,5	26	0,3
<b>Dører</b>	11	0,2	16	0,3	17	0,2
<b>Glassrekkverk</b>	0	0,0	17	0,3	0	0,0
<b>Andre materialer</b>	10	0,2	10	0,2	19	0,2

### 5.2 Resultater fra klimagassregnskap

#### 5.2.1 Bygningene uten parkeringskjelleren

**Tabell 16: Klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> når det sees bort fra parkeringskjelleren, og kun sees på materialene i selve bygningene.**

	<b>A1-A3</b>	<b>A4</b>	<b>B4</b>	<b>B6</b>	<b>Totalt</b>
<b>Maskinparken 2</b>	2,18E+02	9,01E+00	4,86E+01	4,77E+02	7,53E+02
<b>Maskinparken TRE</b>	1,40E+02	1,75E+01	5,06E+01	4,43E+02	6,51E+02
<b>Verkstedgården 1</b>	1,92E+02	7,38E+00	4,63E+01	4,77E+02	7,23E+02



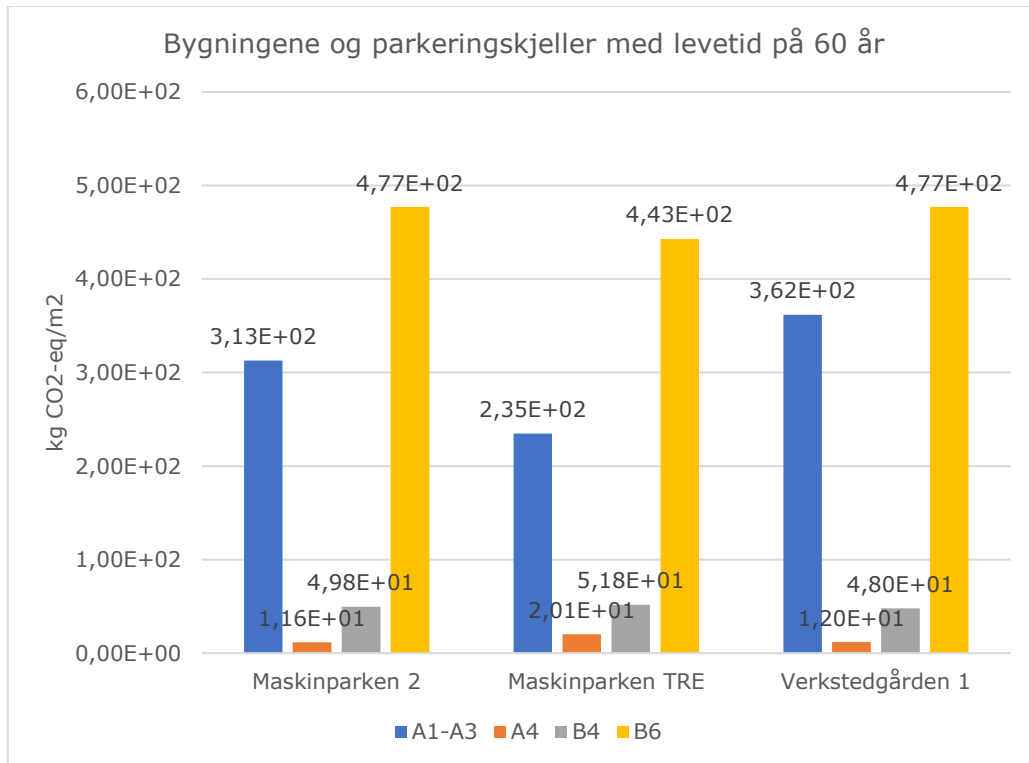
**Figur 12: Klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> for Verkstedgården 1, Maskinparken 2 og Maskinparken TRE uten parkeringskjellerene.**

MP2 har det høyeste totale klimagassutslippet når det sees kun på materialene som inngår i bygningene, og parkeringskjelleren er sett bort fra. MPTRE har det laveste utslippet. I produktfasen (A1-A3) har MPTRE 36% lavere klimagassutslipp og VG1 12% lavere klimagassutslipp i forhold til MP2.

### 5.2.2 Bygningene og parkeringskjelleren

**Tabell 17: Klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> for Verkstedgården 1, Maskinparken 2 og Maskinparken TRE inkludert parkeringskjellerene.**

	A1-A3	A4	B4	B6	Totalt
<b>Maskinparken 2</b>	3,13E+02	1,16E+01	4,98E+01	4,77E+02	8,51E+02
<b>Maskinparken TRE</b>	2,35E+02	2,01E+01	5,18E+01	4,43E+02	7,49E+02
<b>Verkstedgården 1</b>	3,62E+02	1,20E+01	4,80E+01	4,77E+02	8,99E+02



**Figur 13: Klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> for Verkstedgården 1, Maskinparken 2 og Maskinparken TRE inkludert parkeringkjellerene.**

Resultatene fra klimagassregnskapet viser at med de fasene som er vurdert i denne oppgaven er det VG1 som har de største klimagassutslippene per m<sup>2</sup> når både bygget og parkeringskjelleren inkluderes. MP2 har de nest høyeste utslippene, og MPTRE har de laveste.

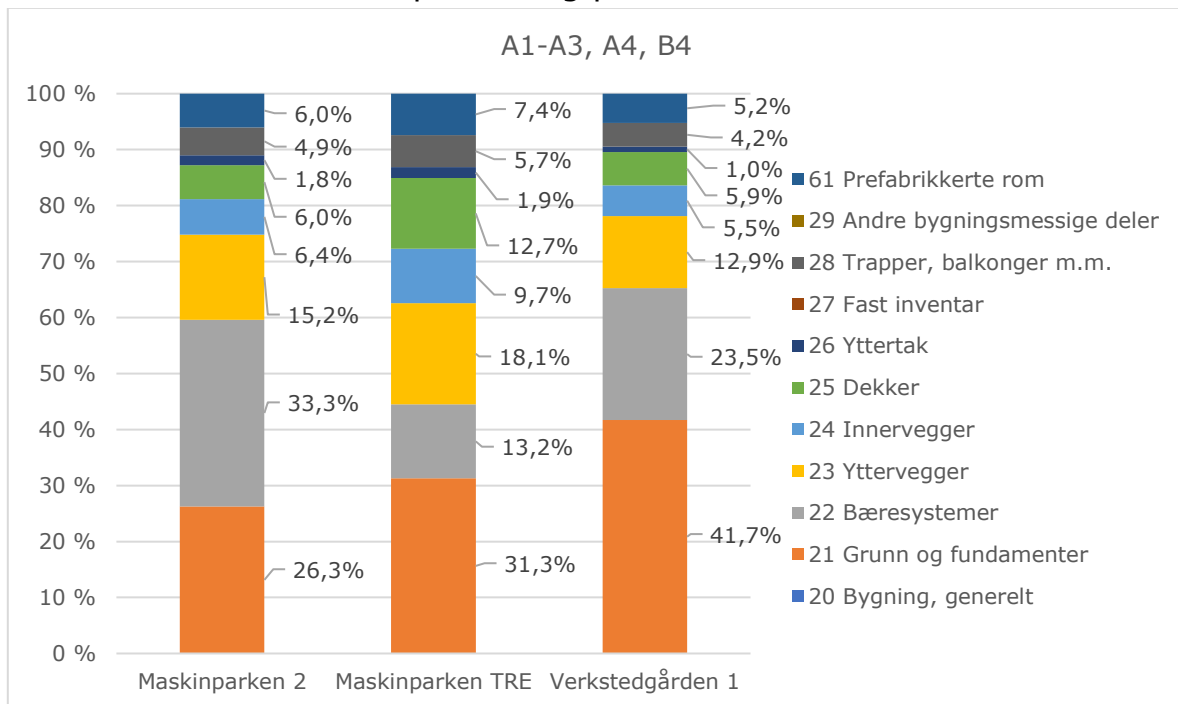
I produktfasen (A1-A3) har VG1 det høyeste utslippet, MP2 det nest høyeste og MPTRE det laveste.

Når det gjelder transportfasen (A4), har MPTRE et høyere utslipp enn VG1 og MP2. Dette er som forventet, ettersom massivtreet er produsert i Østerrike og transporteres til Norge, mens betongen som brukes til plasstøpt betong og betongelementene transporteres kortere.

Når det gjelder utskifting (B4) er det ikke store forskjeller mellom de ulike byggene, men MPTRE har et noe høyere klimagassutslipp her i forhold til de andre byggene.

Driftsmessig energibruk (B6) er fasen som har det høyeste klimagassutslippet av fasene som er undersøkt i denne oppgaven. MPTRE har et noe lavere utslipp av klimagasser i B6 enn MP2 og VG1. Dette er fordi MPTRE er bygd etter passivhusstandard mens MP2 og VG1 er bygget etter TEK10 og TEK17.

### 5.2.3 Ulike materialer sin påvirkning på resultatene



**Figur 14: De forskjellige bygningsdelene sine bidrag til klimagassutslippet i prosent. Parkeringskjelleren er her tatt med i 21 Grunn og fundament. Alle materialer i bæresystemene til byggene (plastøpt betong, stål, prefabrikkert betong, massivtre) er tatt med i 22 Bæresystem, selv om bæresystemet ifølge NS3451 skulle vært fordelt på 25 Dekker, 24 Innervegger osv.**

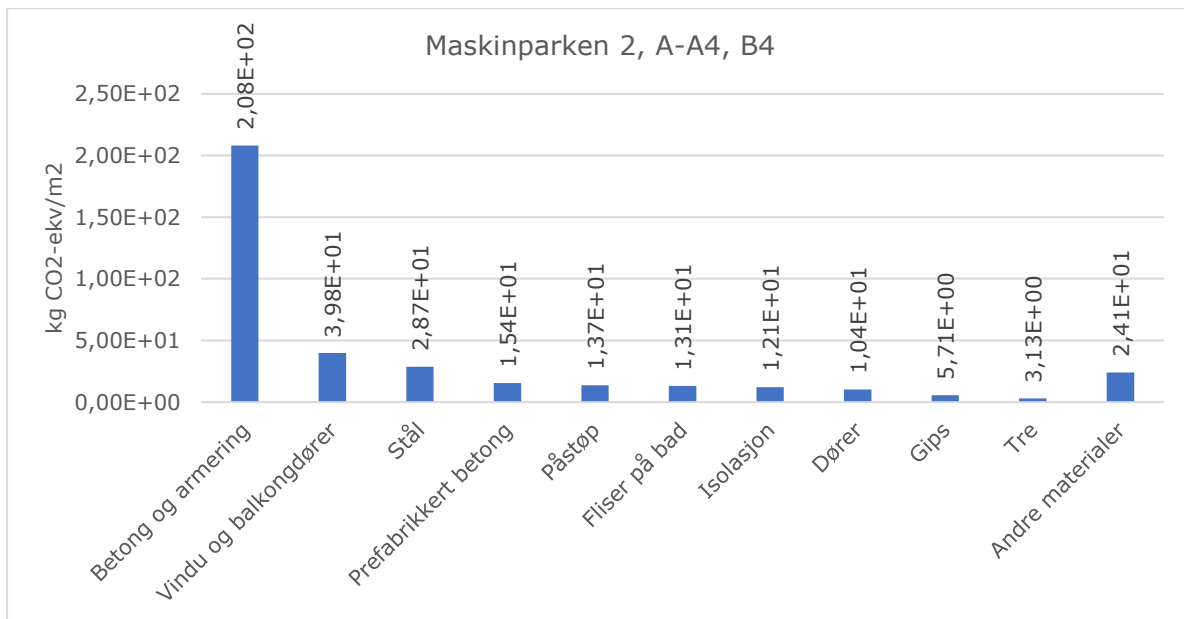
Figur 14 viser hvilke bygningsdeler oppdelt i henhold til NS3451 som bidrar med de høyeste klimagassutslippene.

22 Bæresystemer for det største utslippet for MP2 med 33,3% av klimagassutslippet. 21 Grunn og fundament (parkeringskjeller) står også for et stort utslipp med 26,3%.

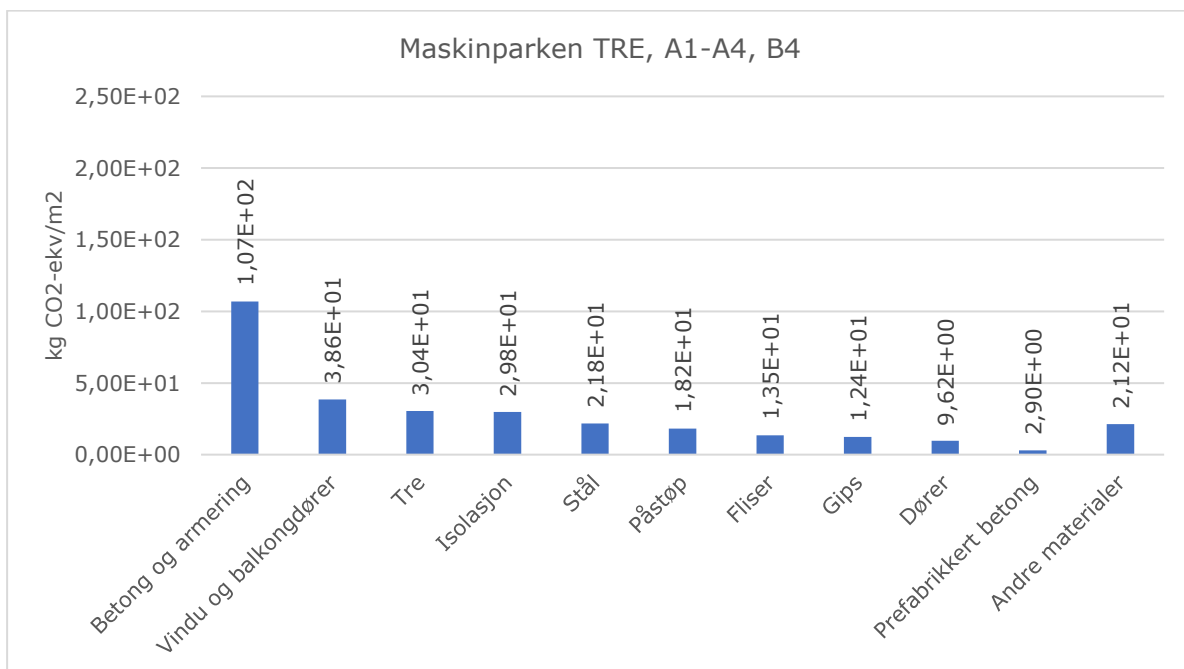
For MPTRE kan det sees at 22 Bæresystemer står for en mindre del av utslippene i forhold til MP2 og VG1, og at utslippene er mer jevnt fordelt mellom alle bygningsdelene. Yttervegger og dekker står for en større del av utslippene for MPTRE i forhold til de to andre byggene.

21 Grunn og fundamenter, det vil si parkeringskjelleren, er bygningsdelen som har det største klimagassutslippet for VG1 med 41,7% av utslippene. Deretter har 22 Bæresystemer også et stort utslipp, med 23,5% av utslippene. Resten av bygningsdelene står for 34,7% av klimagassutslippet.



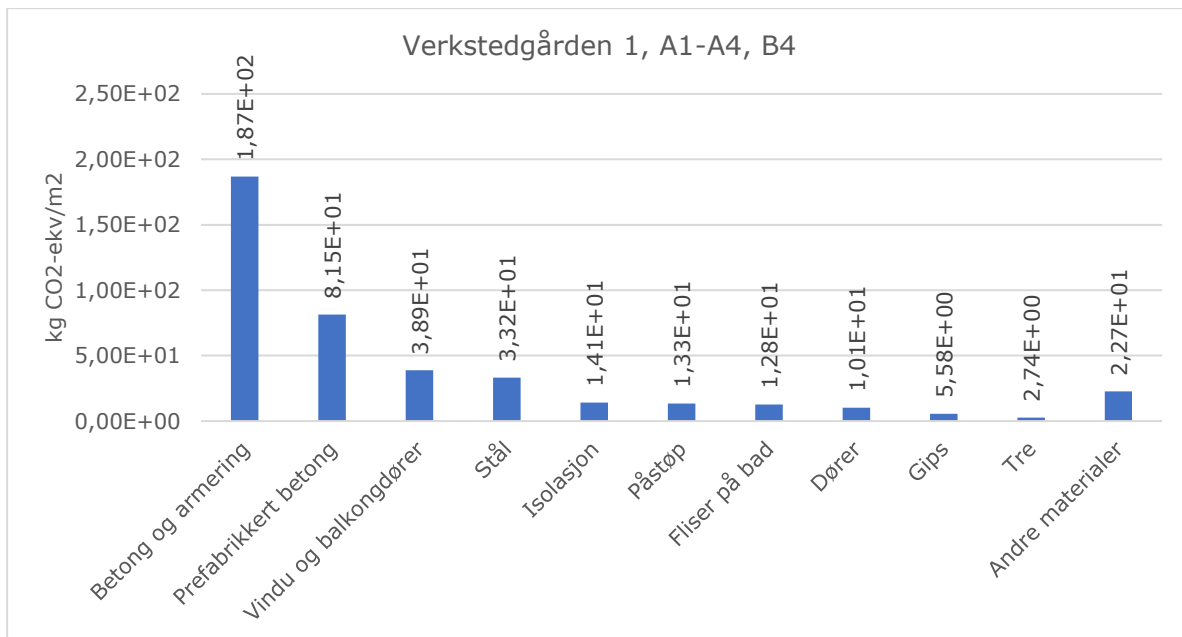


**Figur 15: Materialene i Maskinparken 2 inkludert parkeringskjelleren som bidrar med størst utslipp av klimagasser. For isolasjon er både plastisolasjon og steinull inkludert.**



**Figur 16: Materialene i Maskinparken TRE inkludert parkeringskjelleren som bidrar med størst klimagassutslipp. For isolasjon er både plastisolasjon og steinull inkludert.**

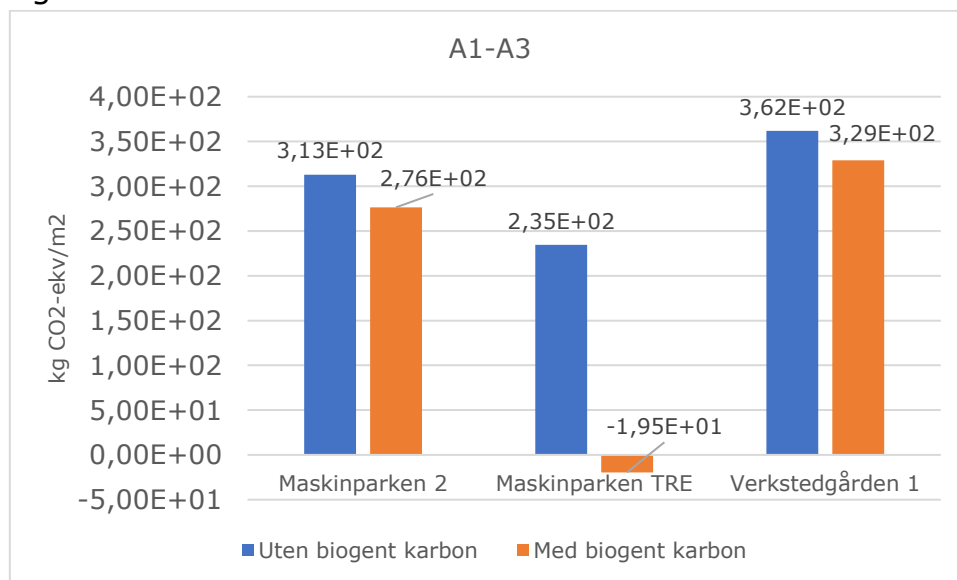
Figur 16 viser at for MPTRE er det betong og armering som står for den største delen av utslippet, på grunn av parkeringskjelleren som MPTRE står på. Vinduer og balkongdører står for det nest største utslippet. Det antas at vinduer og balkongdører byttes ut i løpet av levetiden til bygget, og dette gjør at klimagassutslippet blir større. Trematerialer står også naturlig nok for en stor del av utslippene, ettersom bæresystemet er av tre.



**Figur 17: Materialene i Verkstedgården 1 inkludert parkeringskjelleren som bidrar med størst utslipp av klimagasser. For isolasjon er alt av isolasjon inkludert, både plastisolasjon og steinull.**

For MP2 og VG1 er klimagassutslippene mindre jevnt fordelt på ulike materialer enn det er for MPTRE, og det er betong og armering som står for de største utslippene. Vinduer og balkongdører og stål står også for en stor del av utslippet for begge byggene, se figur 15 og 17.

#### 5.2.4 Biogent karbon



**Figur 18: Forskjellen i klimagassutslipp med og uten biogent karbon fra bygningene og parkeringskjellerne i fasene A1-A3.**

Figur 18 viser forskjellen i klimagassutslipp fra bygningene og parkeringskjelleren når det tas hensyn til lagring av biogent karbon og når det ikke tas hensyn til biogent karbon. Som det kan sees av figuren får MPTRE et negativt klimagassutslipp når biogent karbon

inkluderes. Dette karbonet vil bli lagret i treet frem til bygningen enten rives og treet brennes.

VG1 og MP2 får også et lavere klimagassutslipp når det tas hensyn til biogent karbon, men denne forskjellen er mye mindre enn for MPTRE. Dette er fordi VG1 og MP2 inneholder langt mindre trematerialer enn MPTRE.

## 5.3 Sensitivitetsanalyse

**Tabell 18: Resultater av sensitivitetsanalysen for Maskinparken 2.**

<b>Endring av betongkvalitet (fra B35 M45)</b>	
B45 MF40	1,1%
B30 M60	-1,8%
<b>Endring av betongleverandør (fra Alltid betong*)</b>	
Dyrøy	-0,9%
Velde	-0,4%
<b>Endring av elektrisitet (fra ZEB 0,132 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	
Norsk NS3720 (0,018 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-28,0%
EU2016 (0,2958 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	40,3%
<b>Endring av fjernvarme (fra Statkraft 0,0511 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	
Hamar (0,205 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	71,0%
Brummunddal (0,005 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-21,3%
Oslo (0,019 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-14,8%
<b>Levetid til materialer (fra middels)</b>	
Lang	-3,5%
Kort	7,5%
<b>Endring av mengde festemidler (fra 332 kg)</b>	
Mengde x0,5	-0,02%
Mengde x2	0,05%
Mengde x10	0,44%

\*Betong Øst er betongleverandør på prosjektet, men siden Betong Øst ikke hadde EPD tilgjengelig er det brukt EPD fra Alltid Betong.

Sensitivitetsanalysen viser at det er endring av faktorene for elektrisitet og fjernvarme som har størst påvirkning på resultatene. Lang eller kort levetid for materialer har også en stor effekt på det totale klimagassutslippet. Endring av betongkvalitet eller endring av leverandør av betong har også en effekt, men denne effekten er liten sammenlignet med de andre faktorene som er undersøkt.

Sensitivitetsanalysen viser også at mengden festemidler ikke har stor innvirkning på det totale klimagassutslippet.

**Tabell 19: Resultater av sensitivitetsanalysen for Maskinparken TRE.**

<b>Endring av massivtreleverandør (fra Stora Enso)</b>	
KL-tre	-0,6%
Cross timber systems	3,2%
<b>Endring av transport av massivtre (Fra Ybbs til Trondheim elektrisk tog)</b>	
Oslo-Trondheim lastebil 32t (Euro 5)	-0,32%
Oslo-Trondheim elektrisk tog norsk	-0,93%
<b>Elektrisitet (fra ZEB 0,132 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	
NS3720 (0,018 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-33,3%
EU2016 (0,2958 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	47,9%
<b>Fjernvarme (fra Statkraft 0,0511 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	
Hamar (0,205 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	61,7%
Brumunddal (0,005 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-18,5%
Oslo (0,019 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-12,9%
<b>Levetid til materialer (fra middels)</b>	
Lang	-4,2%
Kort	9,8%
<b>Endring av mengde festemidler (fra 773,3 kg)</b>	
Mengde x0,5	-0,04%
Mengde x2	0,08%
Mengde x10	0,73%

Sensitivitetsanalysen for MPTRE viser at faktorer for fjernvarme og elektrisitet har den største innvirkningen også her. Hvilken leverandør som leverer massivtreet har også en del å si for utslippet.

**Tabell 20: Resultater av sensitivitetsanalysen for Verkstedgården 1.**

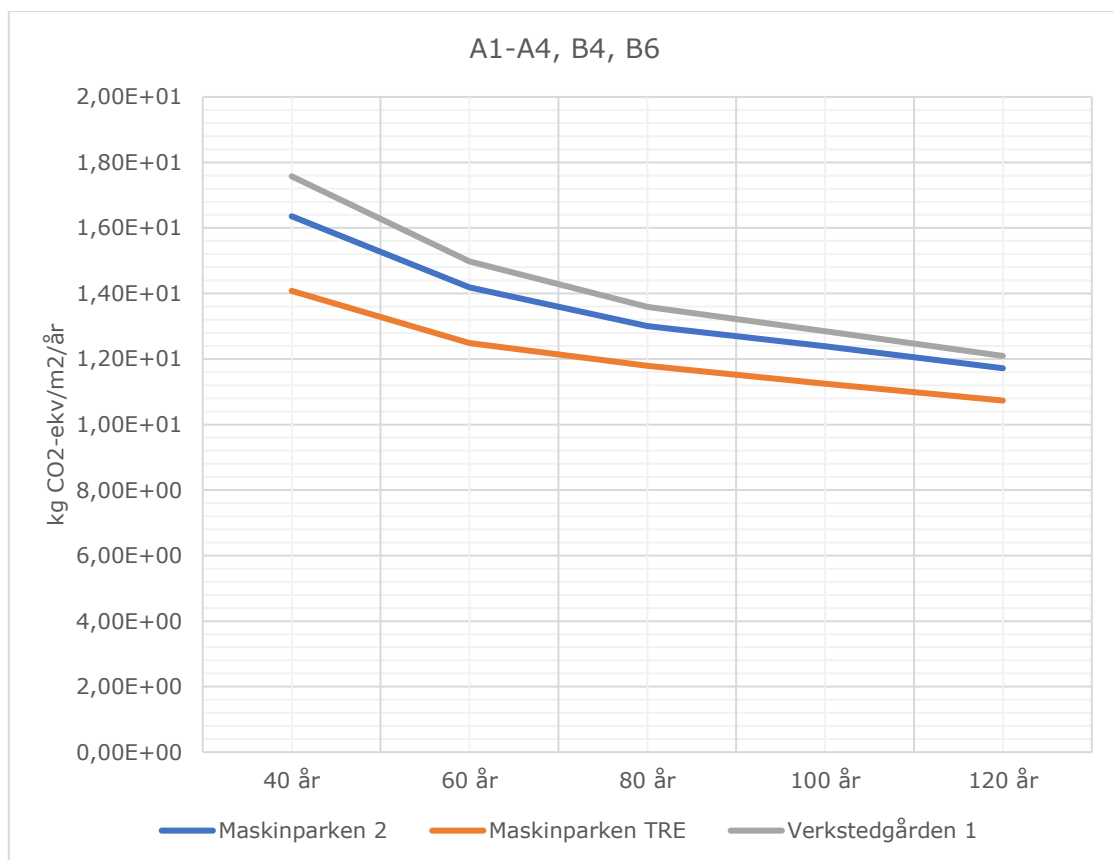
<b>Endring av hulldekker (fra Contiga, lavkarbon B)</b>	
Contiga, lavkarbon A	-0,3%
Spenncon	-0,7%
INHUS, Litauen	2,0%
Skonto, Latvia	3,8%
<b>Elektrisitet (fra ZEB 0,132 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	
NS3720 (0,018 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-26,7%
EU2016 (0,2958 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	36,4%
<b>Fjernvarme (fra Statkraft 0,0511 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh)</b>	
Hamar (0,205 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	65,1%
Brumunddal (0,005 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-20,2%
Oslo (0,019 kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	-14,2%
<b>Levetid til materialer (fra middels)</b>	
Lang	-3,3%
Kort	6,9%
<b>Endring av mengde festemidler (fra 531,6 kg)</b>	
Mengde x0,5	-0,02%
Mengde x2	0,04%
Mengde x10	0,40%

For VG1 kan det sees at endring av hulldekker ikke har veldig stor betydning, men å velge en leverandør av hulldekker fra utlandet vil gi større klimagassutslipp. Å velge hulldekker av lavkarbon klasse A i forhold til lavkarbon B har liten effekt på det totale klimagassutslippet. Som for de andre byggene er det faktorene for fjernvarme og elektrisitet som har mest å si for klimagassutslippet.

### 5.3.1 Levetid til bygning

**Tabell 21: Klimagassutslippet til bygningene for forskjellige levetider av bygningene [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år]. A1-A4, B4, B6.**

	40 år	60 år	80 år	100 år	120 år
<b>Maskinparken 2</b>	1,64E+01	1,42E+01	1,30E+01	1,24E+01	1,17E+01
<b>Maskinparken TRE</b>	1,41E+01	1,25E+01	1,18E+01	1,13E+01	1,07E+01
<b>Verkstedgården 1</b>	1,76E+01	1,50E+01	1,36E+01	1,28E+01	1,21E+01



**Figur 19: Klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år for ulike levetider av bygningene.**

Figur 19 viser at jo lengre levetiden til bygningen er, jo lavere blir utslippene per m<sup>2</sup> per år. Forskjellen på å ha kort og lang levetid på bygget er størst for MP2 og VG1, og noe mindre for MPTRE.

## 5.4 Betydning av antall etasjer på Maskinparken 2

Klimagassutslippet fra en versjon av MP2 med åtte etasjer er sammenlignet med den vanlige versjonen med fem etasjer. Her er kun klimagassutslippet fra fasene A1-A3 sammenlignet. I tillegg sees det kun på klimagassutslippet fra selve bygningen, og parkeringskjelleren er her sett bort fra.

Resultatene viser at MP2 med åtte etasjer har noe lavere klimagassutslipp per m<sup>2</sup> i forhold til den vanlige versjonen med fem etasjer. Klimagassutslippet fra versjonen med åtte etasjer er 3,4% lavere enn for den vanlige versjonen med fem etasjer.

**Tabell 22: Klimagassutslipp i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> for Maskinparken 2 og en versjon av Maskinparken 2 med åtte etasjer. Her er parkeringskjelleren sett bort fra og kun fasene A1-A3 er inkludert.**

<b>Antall etasjer på Maskinparken 2</b>	<b>Klimagassutslipp A1-A3 uten parkeringskjeller</b>
<b>5</b>	2,18E+02
<b>8</b>	2,10E+02

## 6 Diskusjon

### 6.1 Tolkning av resultatene fra klimagassregnskapet

Resultatene fra klimagassregnskapet viser at over en levetid på 60 år, har MP2 de høyeste klimagassutslippene når parkeringskjelleren ikke inkluderes. VG1 har de nest høyeste klimagassutslippene, mens MPTRE har de laveste utslippene. Hvis det sees på bygningen og parkeringskjelleren, så har VG1 de høyeste klimagassutslippene, MP2 de nest høyeste og MPTRE de laveste. Dette er fordi parkeringskjelleren i VG1 inneholder større volum betong (2254,1 m<sup>3</sup>) enn parkeringskjelleren i MP2 (761,3 m<sup>3</sup>) og MPTRE (1214,1 m<sup>3</sup>).

Figur 15, 16 og 17 viser at det er betong som er det materialet som det bidrar med de største klimagassutslippene for alle tre byggene. Den største delen av klimagassutslippet for VG1 og MPTRE kommer fra betong og armering i parkeringskjelleren, mens for MP2 er det også en stor del fra bæresystemet til bygget, som vist i figur 14. Disse resultatene viser at det er viktig å forsøke å begrense bruken av betong så mye som mulig. I tillegg er det, som tidligere vist tidligere i oppgaven, viktig å ikke benytte bedre betongkvalitet enn nødvendig.

Som vist i figur 14 er utslippet fra parkeringskjelleren meget stort for alle tre byggene. Dette betyr at det er mulig å spare store klimagassutslipp ved å unngå å bygge parkeringskjeller i leilighetsbygg. Ved å ikke bygge parkeringskjeller vil man også spare klimagassutslipp ved å unngå graving på byggeplassen. Klimagassutslipp fra graving og lignende er ikke inkludert i denne oppgaven ettersom fasen A5 ikke er inkludert i beregningene.

MPTRE har det høyeste utslippet fra transportfasen (A4). Dette er på grunn av at massivtreet i MPTRE transporteres en lang distanse, fra Østerrike til Trondheim. Forskjellen i klimagassutslipp fra transport mellom MP2 og VG1 er ikke stort. Klimagassutslippene fra transport er ikke regnet nøyaktig i denne oppgaven, og for de fleste materialene er klimagassutslippet som er oppgitt i EPDene brukt.

Utslippene fra transport er for alle byggene små sammenlignet med de andre fasene. Utslippene fra transport er mellom 3-8% av produktfasen når både byggene og parkeringskjelleren inkluderes. Dette viser at klimagassutslipp fra transport ikke er veldig viktig for det totale utslippet, selv om det naturligvis bør gjøres tiltak for å gjøre utslippene fra transport så små som mulig. Et tiltak kan være å kjøpe massivtre fra en leverandør nærmere byggeplassen, og å velge så miljøvennlige transportmidler som mulig.

Klimagassutslippene fra utskifting (B4) er omtrent like store for alle tre byggene med de forutsetningene som er gjort i denne oppgaven, og forskjellene er ikke store nok til at det kan sies noe om hvilket bygg som har lavest utslipp fra utskifting. Resultatene viser likevel at det er viktig å ta hensyn til utskifting i klimagassregnskapet, ettersom utslippet er opp til 36% av klimagassutslippet av produktfasen for MPTRE når parkeringskjelleren ikke inkluderes. Sensitivitetsanalysen viser også at hvilken levetid som blir valgt for materialer har mye å si for det totale klimagassutslippet, og det er derfor viktig å velge materialer med så lang levetid som mulig.

Energibruk i drift (B6) er fasen som bidrar med det største klimagassutslippet for alle tre byggene når det sees på en levetid på 60 år. Resultatene for energibruk i drift er veldig sensitive for endring i faktorene som brukes, som vist i sensitivitetsanalysen. Det er svært vanskelig å si hva energibruken til byggene eller klimagassutslippet fra elektrisitet kommer til å være i fremtiden, og derfor er tallene for energibruk i drift svært usikre. Dette viser likevel at det er mulig å senke det totale klimagassutslippet fra byggene ved å forsøke å senke energibruken til byggene eller ved å kjøpe strøm og fjernvarme som er fra fornybare kilder og som har en lav utslippsfaktor. En annen mulighet kan være å produsere strøm på byggene, f.eks. fra solcellepaneler for å redusere mengden strøm som må kjøpes.

For MP2 og VG1 er det betong som står for den største delen av utslippene, og de andre materialene brukt i byggene har mindre å si. For MPTRE er klimagassutslippene mer jevnt fordelt mellom de ulike bygningsmaterialene, selv om betong og armering i parkeringskjelleren fortsatt står for det største utslippet. Dette er blant annet fordi det brukes mer gips, en annen type isolasjon og tykkere påstøp i MPTRE i forhold til MP2 og VG1. MPTRE har en påstøp på 80 mm, mens MP2 og VG1 har en påstøp på 40 mm. De ulike byggene har også forskjellige produkter som trinnlydplate. MPTRE bruker steinull som trinnlydplate, mens MP2 og VG1 bruker et EPS-produkt.

Vinduer og balkongdører står for den nest største delen av klimagassutslippet for alle byggene. En grunn til dette er at det antas at vinduer og balkongdører byttes ut i løpet av levetiden til bygget og derfor vil de ha et større utslipp i forhold til enkelte andre materialer som isolasjon som ikke byttes ut. Fliser på bad er også et materiale som står for et stort klimagassutslipp i forhold til hvor stor mengde det er av materialet i bygget.

I denne oppgaven er det regnet konservativt med tanke på klimagassutslippene fra trematerialer ettersom biogent karbon ikke er inkludert i beregningene. Dersom biogent karbon inkluderes, påvirker dette resultatene svært mye, som vist i figur 18. Det vil gjøre at MPTRE får et negativt klimagassutslipp, og det vil kompensere for utslippet fra både bygget og parkeringskjelleren for MPTRE i produktfasen. Dette utslippet vil være negativt frem til bygget rives og materialene brennes. Dersom materialene ikke brennes men blir brukt på nytt, vil karbonet fortsette å være lagret i materialene. Derfor kan det spares i klimagassutslipp dersom trematerialene brukes på nytt.

Dersom materialene forbrennes etter bruk kan de bli brukt til energiproduksjon, og da kan denne energien erstatte andre energikilder som kull og gass som har høyt utslipp av klimagasser. Skullestad (2016) viste at å bruke rester av trevirke og avfall til bioenergi som erstatter naturgass hadde svært stor innvirkning på utslippsfaktorene for tre.

Det er svært vanskelig å si hva som kommer til å skje med materialene når bygningen rives ettersom det er langt frem i tid, og det er usikkert hva det vil være behov for å gjøre med materialene. Utregningen med biogent karbon viser at det lagres en stor andel CO<sub>2</sub> i trematerialene, og at denne effekten kan ha svært stor innvirkning på klimagassutslippet.

Figur 19 viser at klimagassutslippene per år fra bygningene synker jo lengre levetiden til byggene er, selv om materialer byttes ut underveis i levetiden. Forskjellen er størst i starten, og kurvene flater ut etter hvert som tiden går. For VG1 er forskjellen mellom 40 og 120 års levetid 31%. Dette betyr at det er viktig å planlegge byggene for en så lang levetid som mulig, og at byggene bygges i god kvalitet. Dette gir lavest mulig klimagassutslipp.



## 6.2 Sammenligning av resultater med andre studier

**Tabell 23: Klimagassutslipp fra andre studier av betong- og massivtrebygninger. Forskjellen mellom disse studiene og bygningene i denne oppgaven uten parkeringskjelleren er gitt i parentes.**

	<b>A1-A3</b> [kg CO <sub>2</sub> - ekv/m <sup>2</sup> ]	<b>A4</b> [kg CO <sub>2</sub> - ekv/m <sup>2</sup> ]	<b>B2 og B4</b> [kg CO <sub>2</sub> - ekv/m <sup>2</sup> ]	<b>B6</b> [kg CO <sub>2</sub> - ekv/m <sup>2</sup> /år]	<b>Kilde</b>
<b>Plasstøpt betong med lette vegger</b>	2,34E+02 (7%)	1,1E+01 (22%)	1,7E+01 (-65%)	3,8E+00 (-53%)	(Erlandsson et al., 2018)
<b>Prefabrikkert betong</b>	2,14E+02 (11%)	2,4E+01 (225%)	1,8E+01 (-61%)	3,8E+00 (-53%)	
<b>Massivtre</b>	1,67E+02 (19%)	1,9E+01 (9%)	2,2E+01 (-57%)	3,8E+00 (-49%)	
<b>Massivtre, lavenergi</b>	1,27E+02 (-9%)	-	-	6,8E+00 (-8%)	(Dodoo, Gustavsson og Sathre, 2014)

Resultatene i denne oppgaven kan sammenlignes med resultatene i den svenske undersøkelsen Erlandsson *et al.* (2018). Her ble det studert en boligbygning med 22 leiligheter og seks etasjer. For plasstøpt betong med lette vegger er det rapportert et klimagassutslipp på 234 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> i produktfasen (A1-A3), og dette er 7% høyere enn resultatene i denne oppgaven. For prefabrikkert betong ble det rapportert et klimagassutslipp på 214 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> som er 11% høyere, og for massivtre ble det rapportert et klimagassutslipp på 167 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> i produktfasen, noe som er 19% høyere enn i denne oppgaven.

I transportfasen var forskjellene større. For plasstøpt betong-bygget regner Erlandsson *et al.* med 22% høyere utslipp fra transport, og for prefabrikkert betong regner de med 225% høyere utslipp i transportfasen. For massivtrebygningene er ikke forskjellen i transportfasen like stor, her regner Erlandsson *et al.* med 9% høyere utslipp enn i denne oppgaven. Disse store forskjellene viser at klimagassutslipp fra transport burde undersøkes nærmere i videre forskning.

Vedlikehold og utskifting (B2 og B4) er slått sammen i Erlandsson *et al.* Det er beregnet langt lavere klimagassutslipp fra utskifting og vedlikehold i Erlandsson *et al.* i forhold til denne oppgaven. For plasstøpt betongbygget er klimagassutslippet fra utbygging 65% lavere enn i denne oppgaven, for prefabrikkert betongbygget er klimagassutslippet 61% lavere og for massivtrebygget er klimagassutslippet 57% lavere. Grunnen til den store forskjellen kan være forskjellige antagelser for hvor hyppig bygningsdeler byttes ut, eller at det i denne oppgaven antas at flere bygningsdeler byttes ut enn i Erlandsson *et al.*

I Erlandsson *et al.* er også tekniske installasjoner og heis inkludert i klimagassberegningene, og dette vil øke klimagassutslippet i produktfasen noe i forhold til resultatene i denne oppgaven. I tillegg har bygningene som er studert forskjellig utforming, og er bygget til forskjellig standard, og derfor er det forventet at det vil være forskjeller. Likevel stemmer resultatene i produktfasen i Erlandsson *et al.* bra overens med resultatene i denne oppgaven når det tas med at tekniske installasjoner ikke er inkludert i denne oppgaven.

Resultatene for massivtrebygningen kan også sammenlignes med Dodoo, Gustavsson og Sathre (2014). Her ble det undersøkt en fireetasjers leilighetsbygning i Sverige, og det ble undersøkt forskjellige bygningssystemer til konvensjonell og lavenergistandard. Dodoo, Gustavsson og Sathre bruker ikke fasene i NS-EN 15978 og derfor er sammenligning med denne studien noe vanskeligere. For CO<sub>2</sub>-utslippene fra en lavenergi massivtrebygning for materialproduksjon er det her kommet frem til 127 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>, noe som er 9% lavere enn resultatene for MPTRE i denne oppgaven. Dodoo, Gustavsson og Sathre fant også at det var gips og glassull/steinull-isolasjon som bidro mest til klimagassutslippet til bygningen. Dette stemmer ikke overens med resultatene funnet i denne oppgaven.

Når det gjelder utslipp klimagassutslipp fra energibruk i drift bruker Erlandsson *et al.* en verdi på 3,8 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år, mens for massivtrebygget i Dodoo, Gustavsson og Sathre brukes 6,8 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år. I denne oppgaven har MP2 og VG1 et klimagassutslipp fra energibruk i drift på 8,0 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år, mens MPTRE har 7,4 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>/år. Det betyr at klimagassutslippene fra energibruk i drift er regnet som høyere i denne oppgaven sammenlignet med de andre studiene, og det kan derfor konkluderes med at klimagassutslippet fra energibruk i drift ikke er undervurdert i denne oppgaven.

Grunnen til at det er kommet frem til forskjellig klimagassutslipp fra energibruk i drift i de ulike studiene kan både være at bygningene har forskjellig energibruk, at energiberegningene er utført på forskjellig måte, og at utslippsfaktorer for elektrisitet og fjernvarme er forskjellig. I Erlandsson *et al.* er det brukt en noe lavere utslippsfaktor for elektrisitet enn i denne oppgaven (0,102 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh), mens for fjernvarme er det brukt en noe høyere faktor (0,062 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh). Som nevnt tidligere er klimagassutslippet fra energibruk i drift et svært usikkert tall, og dette burde bli nærmere undersøkt i videre forskning, for eksempel ved å bruke faktisk målt energibruk i de forskjellige bygningene.

Totalt sett viser sammenligningen med andre studier at klimagassutslippet som er beregnet for bygningene i produktfasen i denne oppgaven er i samme størrelsesorden som klimagassutslippet som er beregnet i tidligere studier. I transportfasen er det større forskjell i resultatene, spesielt for prefabrikkert betong. For utskifting er klimagassutslippet i denne oppgaven høyere enn i andre studier undersøkt. Klimagassutslippet fra energibruk i drift er beregnet til å være noe høyere i denne oppgaven i forhold til andre studier.

## 6.3 Sterke og svake sider ved metoden

### 6.3.1 Usikkerheter i klimagassberegningene

En svakhet med metoden som er brukt i denne oppgaven er at dersom klimagassutslippet som er oppgitt i EPDene er feil eller unøyaktig vil dette ha stor innvirkning på resultatene. Dette kan gjøre at man kommer frem til feil konklusjoner, spesielt når det gjelder sammenligning av hvilke materialer som slipper ut størst mengde klimagasser. Ettersom det ikke er sannsynlig at alle EPDene er feil, vil sannsynligvis ikke totalutslippet være feil eller bli veldig forandret av at en EPD er feil eller unøyaktig.

En annen svakhet ved metoden er at for noen materialer har det vært nødvendig å bruke gamle EPDer som har gått ut på dato. Dette kan gjøre at dataene fra disse EPDene ikke lenger er gyldige på grunn av at produksjonen har endret seg siden EPDen ble utgitt. Bruken av disse EPDene vil gjøre resultatene mer usikre. Grunnen til at det er valgt å

bruke EPDer som er utgått er fordi det ikke var tilgjengelig nyere EPD for disse produktene. Da er det prioritert å bruke en gammel EPD som er gjeldende for produktet brukt i bygget i stedet for å bruke en nyere EPD for et lignende produkt. Dette kan være en feilkilde i resultatene.

Data for mengder av bygningsmaterialer som er brukt i klimagassregnskapet antas å være gode, ettersom de er tatt fra BIM-modellene av byggene. Likevel har det vært nødvendig å gjøre noen antagelser for mengden av enkelte materialer. Det er antatt at dette ikke har stor innvirkning på usikkerheten i resultatene. Dersom det er feil mengde av enkelte bygningsmaterialer i modellene som er brukt til å hente ut mengdene vil dette derimot ha stor innvirkning på resultatene.

Den største usikkerheten i resultatene kommer som tidligere nevnt fra klimagassutslippet fra energibruk i drift. Det er stor usikkerhet ved bygningenes fremtidige energibruk og utslippsfaktorer for elektrisitet og fjernvarme. I oppgaven er det antatt konstant energibruk og at utslippsfaktorene ikke endrer seg i løpet av levetiden. At energibruken og utslippsfaktorene ikke kommer til å endre seg i løpet av levetiden til byggene er sannsynligvis ikke riktig, og dermed er dette en kilde til stor usikkerhet som vist i sensitivitetsanalysen.

En svakhet i resultatene er at detaljprosjekteringen av VG1 ikke hadde startet når oppgaven ble skrevet, og derfor ble mengder fra MP2 brukt for materialer utenom bæresystemet på VG1. Det finnes heller ikke data på energibruk for VG1, og energibruken til MP2 per kvadratmeter er brukt. Derfor vil resultatene for VG1 ha større usikkerhet enn resultatene for MP2 og MPTRE.

### 6.3.2 Forskjeller på byggene

Byggene som er studert i denne oppgaven er ikke helt identiske utenom bæresystemet, og det er noen forskjeller mellom byggene som gjør sammenligning vanskeligere. Høyden på bygningene er forskjellig, arkitekturen er noe annerledes, og enkelte materialer er forskjellige i de ulike byggene. Det er brukt forskjellige materialer blant annet på kledningen og til isolasjon. En annen viktig forskjell er at de er bygget etter forskjellig energistandard.

En svakhet ved studien når de tre ulike byggene skal sammenlignes er at MP2 er fem etasjer høyt, mens MP3 og VG1 er åtte etasjer høyt. Dette betyr at MP2 har et lavere bruksareal enn de to andre byggene, og dette gjør at materialer som takisolasjon og takmembran blir fordelt på et lavere areal. Dette betyr at klimagassutslippet fra MP2 vil være noe høyere per m<sup>2</sup> enn det ville være dersom også MP2 hadde vært åtte etasjer høyt.

Resultatene i tabell 22 viser at klimagassutslippet per kvadratmeter blir lavere for versjonen med åtte etasjer sammenlignet med versjonen med fem etasjer. Forskjellen på versjonen med fem etasjer og åtte etasjer er rundt 3-4% når det kun sees på fasene A1-A3. Dette betyr at forskjellen ikke er spesielt stor, men det er noe det er viktig å tenke på når klimagassutslippet fra de ulike byggene sammenlignes. Det antas likevel at dette ikke vil påvirke resultatene og konklusjonene i oppgaven i stor grad, og at resultatene derfor fortsatt er gjeldende.

Balkongene på MPTRE er bygget på en annen måte enn i MP2, og det er brukt mer treverk til blant annet kledning her. MPTRE har balkonger på to sider av bygget, mens

MP2 har balkonger på tre sider. Balkongene på MPTRE har glassrekkverk, mens balkongene på MP2 har stålrekkverk.

Kledningen på MPTRE er luftet trekledning, mens på MP2 og VG1 er det brukt et puss-system. Klimagassregnskapet viser at utslippet fra trekledningen på MPTRE er ca. 9 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> kledning (A1-A3, A4, B4), mens puss-systemet har et klimagassutslipp på ca. 26 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> kledning (A1-A3, A4, B4). Det betyr at utslippet fra kledningen på MP2 og VG1 vil være høyere enn for MPTRE.

Det er også brukt betydelig mer gips i MPTRE enn i MP2 og VG1 blant annet for å oppnå brann- og lydkrav. Totalt har MPTRE 5,4 m<sup>2</sup> gips per m<sup>2</sup> BRA, mens MP2 og VG1 har 2,5 m<sup>2</sup> gips per m<sup>2</sup> BRA. Altså har MPTRE mer enn dobbelt så mye gips per kvadratmeter BRA som MP2 og VG1. Resultatene i figur 15, 16 og 17 viser likevel at gips ikke er blant de materialene som bidrar til størst klimagassutslipp for noen av byggene, selv om klimagassutslippet fra gips er større for MPTRE enn for de to andre byggene. Dette betyr at selv om det brukes mer gips i massivtrebygg enn i betongbygg, så har ikke dette stor innvirkning på klimagassregnskapet. Massivtrebygg har lavere klimagassutslipp enn betongbygninger selv om gipsbruken er høyere.

Isolasjonen som er brukt er også noe forskjellig i de ulike byggene. I MPTRE er det brukt steinull til takisolasjon, trinnlydplate, og isolasjon i ytter- og innervegger. I MP2 og VG1 er det brukt EPS-isolasjon som takisolasjon, og et EPS produkts som trinnlydplate, mens i ytter- og innervegger er det brukt steinull. Grunnen til at det ikke er brukt EPS på taket og som trinnlydplate i MPTRE er på grunn av brannkrav. Klimagassregnskapet viser at MPTRE har et mer enn dobbelt så høyt klimagassutslipp fra isolasjonsmaterialer sammenlignet med MP2 og VG1.

En viktig forskjell på de tre byggene er at de er bygget etter forskjellige standarder og regelverk, og dette er en svakhet når de skal sammenlignes. MPTRE er bygget etter passivhusstandard, MP2 er bygget etter TEK10-standard og VG1 vil bli bygget etter TEK17. Dette gjør at energibruken til MPTRE vil være lavere enn for MP2 og VG1. Samtidig vil det være brukt en større mengde materialer blant annet til isolasjon i MPTRE i forhold til MP2, på grunn av at energikravene er strengere for passivhusstandard enn for TEK10 og TEK17. Dette vil gi unøyaktigheter i sammenligningen av de ulike byggene.

MPTRE har lavere klimagassutslipp i produktfasen i forhold til de andre byggene, til tross for at materialbruken burde være høyere i MPTRE. Dette betyr at klimagassutslippet i produktfasen fra leilighetsbygg i massivtre er lavere enn lignende bygninger i betong og stål.

Skulle man hatt en sammenligning av byggene for å finne det eksakte forskjellen i klimagassutslipp mellom byggene måtte de blitt konstruert med mest mulig samme materialer, samme bygningshøyde og til samme energistandard. I realiteten kan dette være vanskelig å få til, ettersom byggene skal passe inn i området de er bygget i og skal være lønnsomme for utbyggeren.

### 6.3.3 Faktorer som ikke er inkludert i klimagassberegningene

Karbonatisering av betong er ikke inkludert i klimagassberegningene, men hadde det vært inkludert ville det gitt et lavere klimagassutslipp for MP2 og VG1. Mesteparten av karbonatiseringen av betong vil skje etter at bygget er revet og betongen er delt opp i mindre biter (Pade og Guimaraes, 2007). Livsløpets sluttstadium til byggene er ikke inkludert i denne oppgaven, og derfor er det heller ikke naturlig å ta hensyn til

karbonatisering av betong etter bygget er revet. Likevel er det viktig å vite at det vil være et opptak av CO<sub>2</sub> dersom betongen blir knust etter at byggene er revet.

I Erlandsson *et al.* (2018) er det undersøkt karbonatisering av betong i bruksfasen til betongbygg. Her er karbonatisering av CO<sub>2</sub> i bruksfasen rundt 1 til 2% av klimagassutslippet i produktfasen for en levetid på 50 år. Dette viser at karbonatisering i bruksfasen av byggene ikke vil ha store innvirkninger på resultatene, og dette vil ikke endre konklusjonene eller resultatene for klimagassregnskapet i denne oppgaven. Dadoo, Gustavsson og Sathre (2009) viste at knust betong gav et signifikant opptak av CO<sub>2</sub>, men at utslipp av CO<sub>2</sub> fra fossile brensler som blir brukt til å knuse betongen reduserer denne fordelene. Totalt ble det konkludert med at effekten av karbonatisering av betong etter bruk var liten.

Tekniske systemer som VVS-installasjoner, elektriske systemer, heis og tele og automatisering er ikke inkludert i klimagassregnskapet på grunn av mangel på data på mengder av de tekniske systemene. Det antas at de tekniske anleggene for alle byggene vil være like, ettersom utformingen av byggene innvendig er like sett bort fra antall etasjer. Derfor kan det antas at klimagassutslippet fra tekniske systemer vil være likt for alle tre byggene, og det vil ikke gi noen forskjell på resultatene å utelate dette fra klimagassberegningene. Tekniske bygningsinstallasjoner ble undersøkt av Kaspersen, Lohne og Bohne (2016), og her ble det funnet at tekniske systemer bidro med rundt 30 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>. Dette var for hotellbygget Scandic Lerkendal, og derfor er ikke dette klimagassutslippet sammenlignbart med klimagassutslippet fra tekniske installasjoner i byggene som er undersøkt i denne oppgaven. Likevel viser dette at klimagassutslippet fra tekniske systemer burde vært undersøkt og at utslippene er vesentlige i forhold til det totale klimagassutslippet. Derfor kan ikke tekniske installasjoner sees bort fra dersom man vil undersøke de totale klimagassutslippene fra bygningene.

## 6.4 Oppsummering av funnene

### **Har bygninger av plasstøpt betong, prefabrikkert betong eller massivtre lavest klimagassutslipp når hele bygget tas i betraktning?**

Resultatene i denne oppgaven viser at når hele bygget tas i betraktning, har massivtrebygget de laveste utslippene. Massivtrebygget har lavest utslipp i produktfasen, men noe høyere utslipp i transportfasen på grunn av lang transport av massivtreet. Bygningen i prefabrikkert betong har lavere klimagassutslipp i produktfasen enn bygningen i plasstøpt betong. Utslippene fra transport, utskifting og energibruk i drift er omtrent like for bygget i prefabrikkert betong og bygget i plasstøpt betong.

Basert på resultatene i denne oppgaven har massivtrebygget lavest utslipp, prefabrikkert betongbygget nest lavest utslipp og plasstøpt betongbygget høyest utslipp. Siden massivtrebygget er bygget etter passivhusstandard, men likevel har lavere klimagassutslipp i produktfasen i forhold til betongbyggene, betyr det at leilighetsbygninger i massivtre har lavere klimagassutslipp enn sammenlignbare bygninger i betong og stål.

### **Hvilke materialer har størst påvirkning på klimagassutslippet av massivtre-, plasstøpt betong- og prefabrikkert betongbygninger?**

Resultatene viser at det er betong som har klart mest å si for klimagassutslippet til bygningene som er undersøkt her. Selv for massivtrebygningen er betong det materialet som bidrar med størst klimagassutslipp på grunn av den store mengden betong i

parkeringskjelleren. Resultatene viser at også vinduer og balkongdører har et stort klimagassutslipp, og dette kommer blant annet av at vinduer og balkongdører byttes ut i løpet av levetiden til bygget. Stål, isolasjon og påstøp er også materialer som bidrar med store klimagassutslipp.

**Hva er det som har størst innvirkning på resultatene av en LCA av et bygg, og hva er det viktig å fokusere på når en LCA av et bygg gjennomføres?**

Materialene det er store mengder av i byggene bør fokuseres på når en LCA av et bygg gjøres, ettersom det er disse som bidrar med den største delen av klimagassutslippet. For energibruk i drift vil utslippsfaktorene for elektrisitet og fjernvarme påvirke resultatene svært mye, og derfor bør disse faktorene vurderes nøye. Levetider til materialene og bygget har også mye å si for det totale klimagassutslippet.

## 7 Konklusjon

I denne oppgaven er klimagassutslippet fra tre ulike leilighetsbygninger med forskjellig bæresystem sammenlignet. Byggene som er sammenlignet er en bygning i plasstøpt betong og stål, en bygning i massivtre og en bygning i prefabrikkert betong og stål. Fasene som er undersøkt er produktfasen (A1-A3), transport til byggeplassen (A4), utskifting (B4) og driftsmessig energibruk (B6).

Litteraturen som er undersøkt i forbindelse med oppgaven viser at i tidligere studier av klimagassutslipp av betong- og massivtrebygninger, er det funnet at massivtrebygninger har lavere klimagassutslipp enn betongbygninger. I tillegg viser litteraturen at hva som gjøres med trematerialene etter rivning har stor innvirkning på klimagassutslippene.

Resultatene fra klimagassregnskapet viser at både når det gjelder utslipp i produktfasen og driftsfasen, har Maskinparken TRE de laveste klimagassutslippene. Verkstedgården 1 har de nest laveste utslippene i produktfasen, mens Maskinparken 2 har de høyeste.

Resultatene viser også at parkeringskjelleren som står under de tre byggene står for et svært stort klimagassutslipp. Dette betyr at der det er mulig å ha parkering over bakken og det ikke trengs kjeller av andre grunner, bør det unngås å bygge bygninger med parkeringskjeller.

Betong er materialet som står for den klart største andelen av klimagassutslippene for alle tre byggene. Vinduer og balkongdører står også for en stor mengde klimagassutslipp for alle tre byggene, ettersom det antas at vinduer og balkongdører vil bli byttet ut i løpet av levetiden på 60 år.

Tas det hensyn til at biogent karbon blir lagret i trematerialene, vil Maskinparken TRE få et negativt klimagassutslipp i produktfasen, selv om klimagassutslippene fra parkeringskjelleren er inkludert. Lagring av biogent karbon har ikke like mye å si for Maskinparken 2 og Verkstedgården 1, ettersom disse inneholder mye mindre andel trematerialer.

Sensitivitetsanalysen viser at energibruk i drift er den mest usikre fasen, og at klimagassutslippene fra denne fasen er svært avhengige av hvilke utslippsfaktorer som brukes for fjernvarme og elektrisitet. Levetiden til materialene som brukes i bygget hadde også stor innvirkning på resultatene. Levetiden til bygningen har også mye å si, og forskjellen i klimagassutslipp per år for 40 og 120 års levetid for byggene er mellom 24-31% for de ulike byggene.

Forskjeller på byggene annet enn bæresystemet gjør de vanskeligere å sammenligne. Maskinparken TRE er bygget etter passivhusstandard, og Maskinparken 2 og Verkstedgården 1 er bygget etter TEK10/TEK17. Dette betyr at det vil være brukt en større mengde materialer blant annet til isolasjon i Maskinparken TRE. Likevel kan det sees av resultatene at Maskinparken TRE har et lavere klimagassutslipp i produktfasen enn Maskinparken 2 og Verkstedgården 1. Dermed kan det konkluderes med at til tross for disse forskjellene på byggene, har leilighetsbygg i massivtre lavere klimagassutslipp enn leilighetsbygg i betong og stål.





## 8 Videre arbeid

Det er flere funn fra denne masteroppgaven som kan undersøkes videre for å få et enda bedre bilde av klimagassutslippet fra de tre bygningene undersøkt i denne oppgaven.

Klimagassutslippet fra fasene som ikke er inkludert i denne oppgaven, spesielt livsløpets sluttstadium (C1-C4 og D) er viktig for å få klimagassregnskapet til hele livssyklusen. Dette vil kreve EPDer som er mer komplette enn de som er brukt i denne oppgaven, eller andre kilder til data på klimagassutslipp. Det er også interessant å undersøke nærmere hva klimagassutslippet i byggefasen (A5) er for de ulike byggene, og hvordan dette kan reduseres. Klimagassregnskapet til de tekniske systemene i bygget er også interessant for å gjøre klimagassberegningen mer komplett.

Hva som skjer med trematerialene etter bruk og effekten på klimagassregnskapet kan også undersøkes nærmere ved en konsekvensiell livssyklusanalyse. Det kan være interessant for eksempel å se effekten av å bruke trematerialene til å erstatte andre energikilder, og hva dette utgjør på klimagassregnskapet.

Om det er mulig å redusere bruken av betong i parkeringskjellere, eller bygge parkeringskjellere i andre materialer enn betong er også noe som er interessant å studere videre.



# Referanser

- Aarstad, J. og Glasø, G. (2008) *Fokus på tre nr 20: Massivtre*. Treteknisk. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/publikasjoner/fokus-pa-tre/20--massivtre> (Hentet: 18.02.2019).
- Abrahamsen, R. (2018) *Mjøstårnet - 18 storey timber building completed*. 24. Internationales Holzbau-Forum IHF 2018: Moelven Limtre AS.
- Alexander, S. og Vinje, L. (2010) *Betongelementboken Bind A: Bygging med betongelementer*. Oslo: Betongelementforeningen.
- Benestad, R. og Mamen, J. (2019) Drivhuseffekten *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/drivhuseffekten> (Hentet: 30.05.2019).
- Börjesson, P. og Gustavsson, L. (2000) Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives, *Energy policy*, 28(9), s. 575-588.
- Christensen, N. og Almar-Næss, A. (2019) Stål *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/stål> (Hentet: 26.03.2019).
- Chunbao Charles, X. og Cang, D.-q. (2010) A brief overview of low CO2 emission technologies for iron and steel making, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 17(3), s. 1-7.
- Cochard, K. S. (2018) *Klimaregnskap og NOx utslipp Eidsiva Fjernvarmenett*. Eidsiva Bioenergi AS. Tilgjengelig fra: [https://www.eidsiva.no/.../10205996\\_eidsiva\\_fjernvarme\\_bream--levert-12.09.2018](https://www.eidsiva.no/.../10205996_eidsiva_fjernvarme_bream--levert-12.09.2018) (Hentet: 02.05.2019).
- Dalland, O. (2000) *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal akademisk.
- Dodoo, A., Gustavsson, L. og Sathre, R. (2009) Carbon implications of end-of-life management of building materials, *Resources, Conservation and Recycling*, 53(5), s. 276-286.
- Dodoo, A., Gustavsson, L. og Sathre, R. (2012) Effect of thermal mass on life cycle primary energy balances of a concrete-and a wood-frame building, *Applied Energy*, 92, s. 462-472.
- Dodoo, A., Gustavsson, L. og Sathre, R. (2014) Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems, *Energy and Buildings*, 82, s. 194-210.
- Dokka, T. H. (2011) *Proposal for CO2-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition*. (The Research Centre on Zero Emission Buildings). Tilgjengelig fra: <http://www.zeb.no/index.php/en/reports/item/116-proposal-for-co2-factor-for-electricity-and-outline-of-a-full-zeb-definition>.
- Ellingsen, L. A.-W. (2018a) *Forelesning NTNU TEP4223 21.08.2018*. Tilgjengelig fra: [https://ntnu.blackboard.com/webapps/blackboard/content/listContent.jsp?course\\_id=\\_11254\\_1&content\\_id=\\_360333\\_1&mode=reset](https://ntnu.blackboard.com/webapps/blackboard/content/listContent.jsp?course_id=_11254_1&content_id=_360333_1&mode=reset) (Hentet: 30.05 2019).
- Ellingsen, L. A.-W. (2018b) *Forelesning NTNU TEP4223 25.09.2018*. Tilgjengelig fra: [https://ntnu.blackboard.com/webapps/blackboard/content/listContent.jsp?course\\_id=\\_11254\\_1&content\\_id=\\_360333\\_1&mode=reset](https://ntnu.blackboard.com/webapps/blackboard/content/listContent.jsp?course_id=_11254_1&content_id=_360333_1&mode=reset) (Hentet: 01.06 2019).
- Erlandsson, M. et al. (2018) *Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport*. Tilgjengelig fra: <https://www.ivl.se/sidor/publikationer/publikation.html?id=5658>.
- European Commission (u.å.) *Energy Efficiency and CO2 Reduction in the Iron and Steel Industry*. Tilgjengelig fra: <https://setis.ec.europa.eu/newsroom/library/technology-information-sheets/energy-efficiency-and-co2-reduction-in-the-iron-steel-industry/view> (Hentet: 21.05 2019).
- European Environment Agency (2018) *Overview of electricity production and use in Europe*. Tilgjengelig fra: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4> (Hentet: 01.05 2019).
- Faanes, S. (2019) Epost 25.02.19.

- Federal Ministry of the Interior, B. a. C. (2019) *Database - Ökobaudat*. Tilgjengelig fra: <https://www.oekobaudat.de/en/database/database-oekobaudat.html>.
- Fortum Oslo Varme (2018) *Nøkkeltall for miljø og klima 2018*. Tilgjengelig fra: <https://www.fortum.no/fjernvarme/fortum-oslo-varmes-miljoarbeid/nokkeltall-miljo-og-klima-2018> (Hentet: 02.05 2019).
- Fufa, S. M. et al. (2016) *A Norwegian ZEB definition guideline. ZEB project report 29*. Tilgjengelig fra: <https://www.zeb.no/index.php/en/news-and-events/256-a-norwegian-zeb-definition-guideline>.
- Fuglestvedt, J. S. et al. (2019) *Klimaendringer Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klimaendringer> (Hentet: 30.05.2019).
- Glasø, G. (2011) *Fokus på tre nr 36: Tre og lyd*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/publikasjoner/fokus-pa-tre> (Hentet: 15.04.2019).
- Glasø, G. og Landrø, H. (2012) *Fokus på tre nr 37: Tre og brann* Treteknisk. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/publikasjoner/fokus-pa-tre> (Hentet: 15.04.2019).
- Graabak, I., Bakken, B. H. og Feilberg, N. (2014) Zero emission building and conversion factors between electricity consumption and emissions of greenhouse gases in a long term perspective, *Environmental and Climate Technologies*, 13(1), s. 12-19.
- Gustavsson, L., Joelsson, A. og Sathre, R. (2010) Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building, *Energy and Buildings*, 42(2), s. 230-242.
- Hjelseng, G. V. (2014) *Plasstøpt vs. prefabrikkert betong. Valg av løsning*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Hoxha, E. et al. (2017) Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability, *Journal of cleaner production*, 144, s. 33-47.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (2017) *EPD Programme*. Tilgjengelig fra: <https://ibu-epd.com/en/epd-programme/>.
- International Organization for Standardization (2011) *ISO 15686-1 Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=482729> (Hentet: 07.05 2019).
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- IPCC (2018) *Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Kampesæter, A., Bjørberg, S. og Listerud, C. A. (2009) *Levetider i praksis - Prinsipper og bruksområder*. Multiconsult. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider\\_i\\_praksis.pdf](https://dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider_i_praksis.pdf) (Hentet: 07.05.2019).
- Kaspersen, B., Lohne, J. og Bohne, R. A. (2016) Exploring the CO<sub>2</sub>-Impact for Building Height; A Study on Technical Building Installations, *Energy Procedia*, 96, s. 5-16.
- Knippa, L.-E. (2018) *Armering og praktisk jernbinding. Forelesning TBA4130 20.02.18*. Tilgjengelig fra: [https://ntnu.blackboard.com/webapps/blackboard/execute/content/file?cmd=view&content\\_id=\\_299737\\_1&course\\_id=\\_5804\\_1](https://ntnu.blackboard.com/webapps/blackboard/execute/content/file?cmd=view&content_id=_299737_1&course_id=_5804_1) (Hentet: 19.05 2019).
- LCA.no (2019) *Transportkalkulator*. Tilgjengelig fra: <https://lca.no/transportkalkulator/> (Hentet: 26.04 2019).
- Lucon, O. et al. (2014) *Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Miljødirektoratet (2019) *Klimatilpasning: Bygg og anlegg*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimatilpasning.no/sektorer/bygg-og-anlegg/> (Hentet: 23.04 2019).
- Olivier, J. G. J. og Peters, J. A. H. W. (2018) *Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions: 2018 report*. The Hague: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Pade, C. og Guimaraes, M. (2007) The CO2 uptake of concrete in a 100 year perspective, *Cement and concrete research*, 37(9), s. 1348-1356.
- Rienecker, L. et al. (2013) *Den gode oppgaven : håndbok i oppgaveskriving på universitet og høyskole*. 2. utg. utg. Bergen: Fagbokforl.
- Rygh, P. (2009) *Passivhus Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/passivhus> (Hentet: 20.05.2019).
- Sartori, I., Napolitano, A. og Voss, K. (2012) Net zero energy buildings: A consistent definition framework, *Energy and Buildings*, 48, s. 220-232.
- Saxegård, S. A. et al. (2016) *Transportkalkulator: EPD-verktøy*. (OR.08.16). Kråkerøy: Østfoldforskning.
- SINTEF byggforsk (2004) *700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler*. Oslo. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3208/definisjoner\\_etablering\\_og\\_bruk\\_av\\_levetidsdata\\_for\\_bygg\\_og\\_bygningsdeler](https://www.byggforsk.no/dokument/3208/definisjoner_etablering_og_bruk_av_levetidsdata_for_bygg_og_bygningsdeler) (Hentet: 06.05.2019).
- SINTEF byggforsk (2013) *473.010 Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt\\_om\\_passivhus\\_valg\\_og\\_konsekvenser](https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser) (Hentet: 20.05 2019).
- SINTEF Byggforsk (2017a) *Teknisk godkjenning Parmarine prefabrikkerte baderomsmoduler nr. 2453*. SINTEF. Tilgjengelig fra: [https://www.sintefcertification.no/product/index/1583/tg\\_2453](https://www.sintefcertification.no/product/index/1583/tg_2453).
- SINTEF Byggforsk (2017b) *700.320 Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler*. Oslo. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller\\_for\\_vedlikehold\\_og\\_utskifting\\_av\\_bygningsdeler](https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller_for_vedlikehold_og_utskifting_av_bygningsdeler) (Hentet: 03.05.2019).
- SINTEF byggforsk (2018) *451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata\\_for\\_termisk\\_dimensjonering\\_og\\_frostsikring](https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring) (Hentet: 20.05 2019).
- Skullestad, J. L. (2016) *Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Smeplass, S. et al. (2015) *Publikasjon nr. 37: Lavkarbonbetong*. Norsk Betongforening. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/> (Hentet: 26.03.2019).
- Solli, K. H. og Glasø, G. (2011) *Fokus på tre nr. 27: Trebaserte konstruksjonselementer*. Treteknisk. Tilgjengelig fra: <http://trefokus.no/publikasjoner/fokus-pa-tre> (Hentet: 31.05.2019).
- Standard Norge (2006a) *NS-EN ISO 14044:2006 Environmental management, Life cycle assessment, Requirements and guidelines (ISO 14044:2006)*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236803> (Hentet: 20.11 2018).
- Standard Norge (2006b) *NS-EN ISO 14040:2006 Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework (ISO 14040:2006)*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236802> (Hentet: 20.11 2018).
- Standard Norge (2009) *NS 3451:2009 Bygningsdelstabell*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=364700> (Hentet: 19.05 2019).
- Standard Norge (2010) *NS-EN 15643-1:2010 Bærekraftige byggverk, Vurdering av bygninger i et bærekraftsperspektiv Del 1: Generelt rammeverk*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=461934> (Hentet: 26.03 2019).

- Standard Norge (2011a) *NS-EN 15643-2:2011 Bærekraftige byggverk, Vurdering av bygninger i et bærekraftsperspektiv Del 2: Rammeverk for vurdering av miljøprestasjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=600238> (Hentet: 26.03 2019).
- Standard Norge (2011b) *NS-EN 15978:2011 Sustainability of construction works, Assessment of environmental performance of buildings, Calculation method*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=516244> (Hentet: 15.11 2018).
- Standard Norge (2013a) *NS 3700:2013 Criteria for passive houses and low energy buildings - Residential buildings*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=636902> (Hentet: 13.11 2018).
- Standard Norge (2013b) *NS-EN 15804:2002+A1:2013 Sustainability of construction works, Environmental product declarations, Core rules for the product category of construction products*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=679924> (Hentet: 15.11 2018).
- Standard Norge (2014) *NS-EN 16449:2014 Tre og trebaserte produkter, Beregning av biogent karboninnhold i tre og omdanning til karbondioksid*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=698761> (Hentet: 26.03 2019).
- Standard Norge (2017) *NS-EN 16757:2017 Bærekraftige byggverk, Miljødeklarasjoner, Produktkategoriregler for betong og betongelementer*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=934413> (Hentet: 29.04 2019).
- Standard Norge (2018) *NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162> (Hentet: 26.03 2019).
- Standard Norge (2019) *Standard.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/> (Hentet: 18.05 2019).
- Statkraft Varme AS (2018) *Data til bruk i Breeam-sertifisering for kunder av Statkraft Varme i Trondheim - 2018*. Trondheim. Tilgjengelig fra: <https://www.statkraftvarme.no/om-statkraftvarme/vare-anlegg/norge/trondheim/> (Hentet: 02.05.2019).
- Svare, L. H. (2018a) *Maskinparken 2: Energikonsept*. Rambøll.
- Svare, L. H. (2018b) *Maskinparken TRE: Energikonsept*. Rambøll.
- Teshnizi, Z. et al. (2018) Lessons Learned from Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Two Residential Towers at the University of British Columbia.
- Tetty, U. Y. A., Dadoo, A. og Gustavsson, L. (2019) Effect of different frame materials on the primary energy use of a multi storey residential building in a life cycle perspective, *Energy and Buildings*, 185, s. 259-271.
- The International EPD System (2019) *Search the EPD database*. Tilgjengelig fra: <https://www.environdec.com/EPD-Search/>.
- The Norwegian EPD Foundation (2019) *Byggevarer*. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/byggevarer/category315.html>.
- Thue, J. V. (2018) *Betong Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/betong> (Hentet: 26.03.2019).
- Toldnæs, J. P. (2017) Globale oppvarmingspotensialer *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/globale\\_oppvarmingspotensialer](https://snl.no/globale_oppvarmingspotensialer) (Hentet: 30.05.2019).
- Treindustrien (2013) *Treindustriens lille grønne*. Treindustrien, TreFokus, Treteknisk, Norges Skogeierforbund. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/publikasjoner/trest> (Hentet: 21.04.2019).

Turner, M. (u.å.) *The GNCS factsheets: Mitigation Iron and Steel Emissions*. Columbia Climate Center. Tilgjengelig fra: <http://climate.columbia.edu/resources/gnCS-factsheets/> (Hentet: 14.12.2018).

United Nations (2015) *Paris Agreement*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/content/download/20428/933197> (Hentet: 23.04.2019).





# Vedlegg

**Vedlegg 1:** "Comparative LCA of a concrete and steel apartment building and a cross laminated timber apartment building". Artikkel til konferansen SBE19 Graz.

**Vedlegg 2:** Energiberegninger for Maskinparken 2 og TRE

**Vedlegg 3:** Klimagassberegninger for Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1

**Vedlegg 4:** Mengdeberegninger for Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1. Mer fullstendige mengdeberegninger kan finnes i filene som er lagt ved oppgaven.

En zip-fil med excel-filene for klimagassregnskapet og mengdeberegningen er også vedlagt oppgaven.



## Vedlegg 1

“Comparative LCA of a concrete and steel apartment building and a cross laminated timber apartment building”. Artikkel til konferansen SBE19 Graz.



# Comparative LCA of a concrete and steel apartment building and a cross laminated timber apartment building

Alexander Roy Eliassen<sup>a,\*</sup>, Sigbjørn Faanes<sup>b</sup>, Rolf André Bohne<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, NTNU, Høgskoleringen 7A, 7491 Trondheim, Norway

<sup>b</sup>Veidekke Entreprenør AS, Postbox 506 Skøyen, 0214 Oslo, Norway

\*Corresponding author. E-mail address: alexander.roy.eliassen@gmail.com

**Abstract.** In this paper an LCA is carried out on a concrete and steel apartment building and a cross laminated timber apartment building to compare the greenhouse gas (GHG) emissions from the two buildings. The buildings are built by Veidekke Entreprenør AS and they are almost identical except for the structural system and the number of floors. They are connected by an underground car park of reinforced concrete. The product stage (A1-A3), transport to the building site (A4) and operational energy use (B6) is examined. Results show that the cross laminated timber building has 25% lower GHG emission compared to the concrete and steel building when looking at the production stage, and 13% lower emissions when looking at all stages. The results also show that the material that contributes to the most GHG emissions is reinforced concrete, and that the underground car park has a high GHG emission because it consists of a lot of concrete. What is new in this paper is that there are two real buildings close together that can be compared to find out which has the lowest environmental impact. The paper is valuable for people designing environmentally friendly buildings with a low carbon footprint.  
Keywords: LCA, Concrete, Cross laminated timber

## 1. Introduction

Climate change is an enormous problem for the world today, and if global warming is not limited it will have huge negative consequences. Therefore, it is urgent to reduce the greenhouse gas emissions to reach the 1,5° C goal stated in the Paris agreement [1]. The building sector is responsible for a large share of the world's total greenhouse gas emissions. In 2010, buildings stood for 32% of the total global energy use, and 19% of energy related greenhouse gas emissions [2]. Therefore, reducing the greenhouse gas emissions from the building sector can be an important measure to reach the goals of reducing global warming as much as possible.

Concrete is one of the most widely used construction materials in the world today, but one problem with using concrete as a building material is that it contributes to a huge amount of greenhouse gas emissions globally. It is especially cement, which is an important ingredient in concrete, that contributes to a large amount of greenhouse gas emissions. In 2017 cement clinker production stood for around 4% of the global CO<sub>2</sub>-emissions [3].

One way to reduce the greenhouse gas emissions from buildings can be to use cross laminated timber-elements (CLT) as a construction material instead of concrete. More and more large buildings are constructed with CLT-elements today instead of more traditional materials like concrete and steel.

Mjøstårnet in Brumunddal is an 85,4 m tall apartment- and hotel building which was completed in March 2019, and is an example of a new building that uses CLT and glulam for the structure [4].

In this paper it will be investigated whether or not it is possible to save greenhouse gas emissions by using CLT elements to construct apartment buildings instead of concrete. The case which will be examined is Maskinparken 2 and TRE, which are two new apartment buildings constructed by Veidekke AS in Trondheim, Norway. Maskinparken 2 is a five-story apartment building which is constructed in concrete and steel, while Maskinparken TRE is an eight-story apartment building constructed using CLT-elements. What makes the two buildings comparable is that they are constructed side by side and they are almost identical except for the number of floors and the structural system. An LCA of the two buildings looking at the impact category climate change will be carried out to compare the greenhouse gas emissions from the buildings.

### *1.1. Previous research on greenhouse gas emissions of concrete and wood buildings*

Skullestad et al. [5] investigated the climate change impact of reinforced concrete structures and timber structures in buildings with heights between 3 and 21 storeys. The study only examined materials in the load bearing structures and foundations. When attributional LCA was applied, the timber structures caused a climate change impact that was 34-84% lower than the reinforced concrete structures. The results of the study showed that the timber structures had a lower climate change impact than the reinforced concrete structures for all scenarios. Kaspersen et al. [6] looked at greenhouse gas emissions from technical systems for buildings of different heights. The scope of the study was cradle-to-gate. The results showed that the change in GHG emissions from the technical systems for increased building height was small.

Dodoo et al. [7] looked at carbon emissions from the entire life cycle of three different building systems in wood. The building systems that were investigated were CLT elements, beam and column system and prefabricated modules. They looked at both conventional and low-energy versions of the building. The results from the study showed that the low-energy version of the CLT building had the lowest carbon emissions, while the conventional version of the beam-and-column building gave the highest emission. The reason for this was because the beam-and-column system used more concrete and steel in the foundations and elevator shaft compared to the CLT building.

Dodoo et al. [8] also examined the effects of management of materials after use on the life cycle carbon balance of buildings. They found that carbonation of crushed concrete gave a significant uptake of CO<sub>2</sub>, but that the emissions of CO<sub>2</sub> from fossil fuels that are used to crush the concrete reduced the CO<sub>2</sub> benefit of the carbonation. They also found that recycling of rebar and energy recovery of wood was more important and gave larger CO<sub>2</sub> benefit compared to the carbonation of concrete.

In a Swedish report from 2018 [9] an LCA of five different construction systems (cast-in-place concrete frame, cast-in-place concrete frame with light wooden and steel walls, prefabricated concrete frame, volume elements of wood and CLT frame) was carried out. The reference building is a 6-story apartment building in Stockholm which was completed in 2010. In this study the CLT frame building had a 40% lower greenhouse gas emission compared to the concrete frame building in the product stage. The CLT frame building had a higher emission in transport than the concrete frame building.

### *1.2. LCA of buildings*

Life Cycle Assessment (LCA) is a method to assess the environmental effects of a product through the whole life cycle of the product, from extraction of resources to disposal. LCA is used to evaluate all types of products and product systems. NS-EN-ISO 14040 is a standard that describes principles and framework of an LCA, while NS-EN-ISO 14044 gives detailed requirements for the implementation of an LCA [10, 11].

NS-EN 15978 gives calculation principles to assess the environmental performance of new and existing buildings [12]. In this standard, system boundaries are defined for LCA of buildings. The system boundaries defined in NS-EN 15978 are A1-A3 (product stage), A4-A5 (construction process stage), B1-B7 (use stage), C1-C4 (end of life stage) and D (benefits and loads beyond the system boundary).

Environmental product declarations (EPDs) are built on an LCA of a product, and gives verifiable, accurate, non-misleading environmental information for products. NS-EN 15804 gives core product category rules for all construction products and services [13].

## 2. Method

### 2.1. System boundaries and functional unit

The goal of this study is to compare greenhouse gas emissions from a concrete and steel apartment building and a CLT apartment building. Therefore, the impact category which is investigated is climate change.

In this study the product stage (A1-A3), transportation to the building site (A4) and the operational energy use (B6) is examined. It is chosen to look at these stages because it is assumed that these are the stages with the highest greenhouse gas emissions [9], and because there is a lack of data on the other stages. The end of life phase (C1-C4) is not included in this study because there is a lack of data in many EPDs when it comes to end of life. There is also a large amount of uncertainty with respect to how the materials will be treated when the building is demolished in 60-100 years.

The functional unit that is used is kg CO<sub>2</sub>-eq per m<sup>2</sup> gross internal area. The lifetime of the building is set to 60 years in this study. All the materials that are in the actual buildings, and that are assumed to contribute to the greenhouse gas emissions, are included in the calculations. The materials that are not included are assumed to be less than 1% of the total mass as stated in NS-EN 15804 [13]. Any materials used outside the buildings or foundation are not included in the calculation.

A detailed calculation of the technical systems has not been done in this study, because the main goal of the study is not to look at the technical systems, but rather to compare the two building structures. The technical systems are assumed to be very similar in the two buildings, and therefore it will not have any effect on the results that the technical systems are omitted from this study. [6] showed that there was not a large increase in GHG emissions from technical systems for increased building height.

Biogenic carbon is not included in the greenhouse gas emission calculations because the end of life phase is not included. The approach within the ZEB Research Centre is to exclude biogenic carbon if the end of life phase is not included [14]. This is because the biogenic carbon that is absorbed in the trees in the product phase will be released in the end of life phase when the wood is burned, or it decomposes.

### 2.2. Calculation of quantities

The quantities of the building materials are extracted from the BIM-models of Maskinparken 2 and TRE. The program Solibri model checker v9.8 is used to extract the quantities, and the quantities are afterwards exported to Excel where they are organized. Drawings of the buildings have also been used to get information about quantities and to understand the structure of the building.

### 2.3. Calculation of emissions

Environmental product declarations (EPDs) for the different building materials have been used in this paper to calculate the emissions of greenhouse gases. For most products EPDs for the actual product used in the buildings are used, but for the products without EPD available, EPDs for similar products that could have been used in the building were used. The EPDs are obtained from the Norwegian EPD Foundation [15], the German Ökobaudat [16], the International EPD system [17], IBU [18] and manufacturers' websites.

Energy calculations performed by Ramboll [19, 20] are used in this study. The dynamic calculation program Simien 6.007 is used to calculate the energy use of the buildings.

The emission factor for district heating is 51,1 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh taken from Statkraft [21] which is based on data for Trondheim. For electricity an emission factor of 132 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh is used. This is the CO<sub>2</sub>-factor used in the ZEB Research Centre, and it is the simulated average carbon intensity of the European electricity grid for the next 60 years [22].

The bathrooms used in the project are prefabricated bathroom cabins which are fabricated in Finland and transported to the building site. No EPD was available for the bathroom cabins, and to calculate the GHG emissions, the bathroom cabins are assumed to be made of concrete, reinforcement, steel and ceramic tiles. This is based on drawings of the bathroom cabins and the SINTEF certification [23]. EPDs of the different products have been used to calculate the GHG emissions of the bathroom cabins.

The GHG emissions from the concrete underground car park are allocated between the buildings by using the gross internal area of the buildings as a factor.

#### 2.4. Calculation of emissions from transport

The emissions from the transportation to the building site (A4) is taken from the information in the EPDs for the different products. This means that the greenhouse gas emissions from transport is not accurate for this construction site, but it gives an indication of how large the greenhouse gas emissions from the transportation of materials could be for a typical building site.

For the materials that did not have any transport information (A4) in the EPD, a transport calculator developed by Østfoldforskning has been used [24]. This transport calculator is based on data from Ecoinvent version 3.1. In the calculator information about the weight of the material, distance and the means of transport is entered. Both direct and indirect environmental impacts are included in the total environmental impacts from the calculator.

### 3. Case buildings

Maskinparken 2 and TRE are two apartment buildings in an area called Lilleby in Trondheim, Norway. Maskinparken 2 was completed in August 2018 and Maskinparken TRE was completed in December 2018. The buildings are connected by an underground carpark made of reinforced concrete.

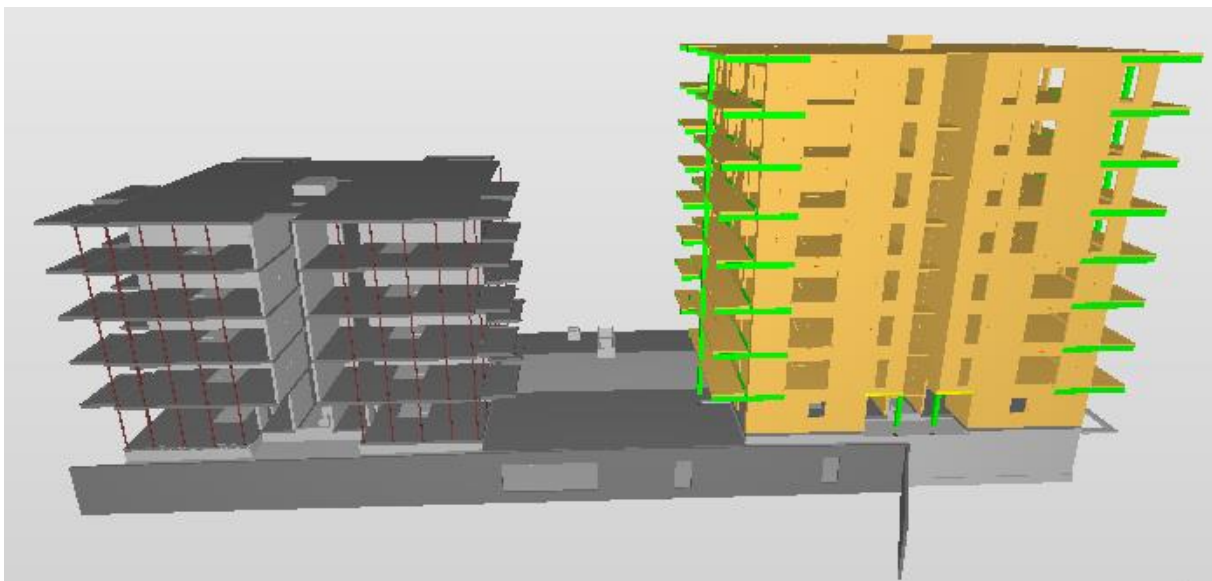


Figure 1. Maskinparken TRE to the right and Maskinparken 2 to the left with the concrete underground car park underneath. The picture is taken from the Solibri model of the buildings.

#### 3.1. Maskinparken 2

Maskinparken 2 is a 5-story concrete and steel building with 31 apartments. It is built according to the Norwegian TEK10 standard energy demands. Slabs and walls in the building are made of reinforced concrete, with steel columns around the edges of the slabs. The slabs are reinforced with prestressing steel. The main staircase in the building is made of prefabricated concrete elements, and the elevator shaft is cast-in-place concrete. There is a technical room on the roof of the building. The outer walls are



built as isolated timber frames with outer wind barrier and inner vapour barrier with gypsum board, and the façade of Maskinparken 2 is an aired plaster system. The concrete quality used in the slabs and walls of Maskinparken 2 and the underground car park is C35.

### 3.2. Maskinparken TRE

Maskinparken TRE is an 8-story wooden apartment building with a total of 47 apartments. The building is built to meet the passive house standard NS 3700 [25]. The walls, slabs, main staircase and the elevator shaft are made of CLT-elements. Outer and inner load bearing walls and the ceilings are lined and covered with gypsum board. The façade cladding is wooden panels. Maskinparken TRE has a technical room underneath the building in the underground car park.

Table 1: Differences between the two buildings

	Maskinparken 2	Maskinparken TRE
Gross internal area	2376,1 m <sup>2</sup>	3784,8 m <sup>2</sup>
Number of stories	5	8
Number of apartments	31	47
Construction system	Reinforced concrete and steel	CLT
Foundation	Concrete underground car park	Concrete underground car park
Façade	Aired plaster	Wood panelling
Balconies	Prefabricated concrete	CLT
Outer walls	Insulated stud work	Lined CLT walls

Table 2: Delivered energy

	Maskinparken 2 [kWh/m <sup>2</sup> ]	Maskinparken TRE [kWh/m <sup>2</sup> ]
Direct electricity	34,0	36,4
District heating	63,9	49,9

Table 3: Material quantities of the two buildings

	Maskinparken 2 [ton]	[%]	Maskinparken TRE [ton]	[%]
Cast-in-place concrete	3874	82,8	3185	65,6
Prefabricated concrete	227	4,9	66	1,4
Steel	20	0,4	23	0,5
Screed	196	4,2	417	8,6
Reinforcement	151	3,2	125	2,6
Cross laminated timber	4	0,1	540	11,1
Wood	34	0,7	51	1,1
EPS	2	0,1	0	0,0
Bathroom cabins	62	1,3	102	2,1
Façade panel and plaster	13	0,3	0	0,0
Gypsum board	51	1,1	207	4,3
Stone wool insulation	8	0,2	71	1,5
Windows and balcony doors	16	0,3	25	0,5
Doors	11	0,2	16	0,3
Glass railing	0	0,0	17	0,3
Other materials	10	0,2	10	0,2

#### 4. Results

The results from the LCA are shown in figure 2 below. The total GHG emissions for the production stage (A1-A3), transport (A4) and operational energy use (B6) is 801,5 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> for Maskinparken 2 and 696,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> for Maskinparken TRE for a building lifetime of 60 years. When looking at the production stage alone, Maskinparken 2 has a greenhouse gas emission of 312,9 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>, while Maskinparken TRE has an emission of 233,9 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>.

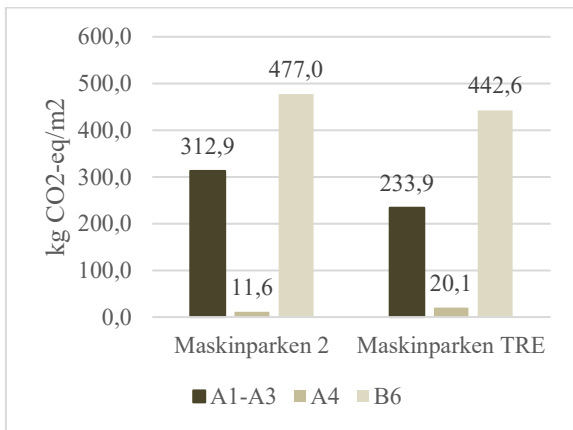


Figure 2: GHG emissions from Maskinparken 2 and TRE for the production stage (A1-A3), transport (A4) and operational energy use (B6).

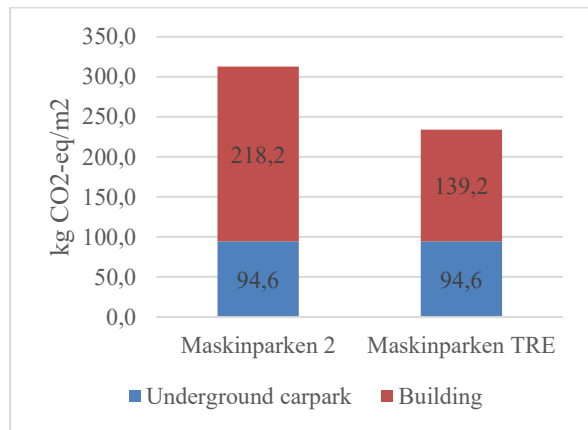


Figure 3: GHG emissions from the underground car park and the building (A1-A3).

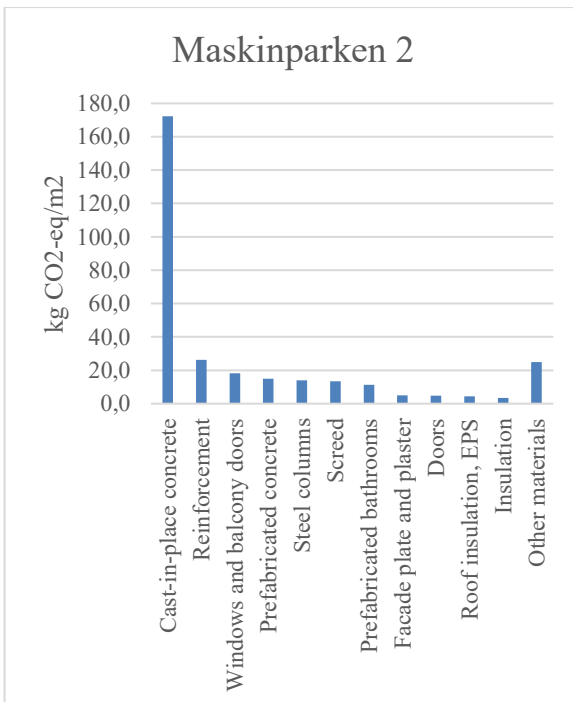


Figure 4: GHG emissions from the materials that emit the most greenhouse gases in Maskinparken 2 for the production stage (A1-A3).

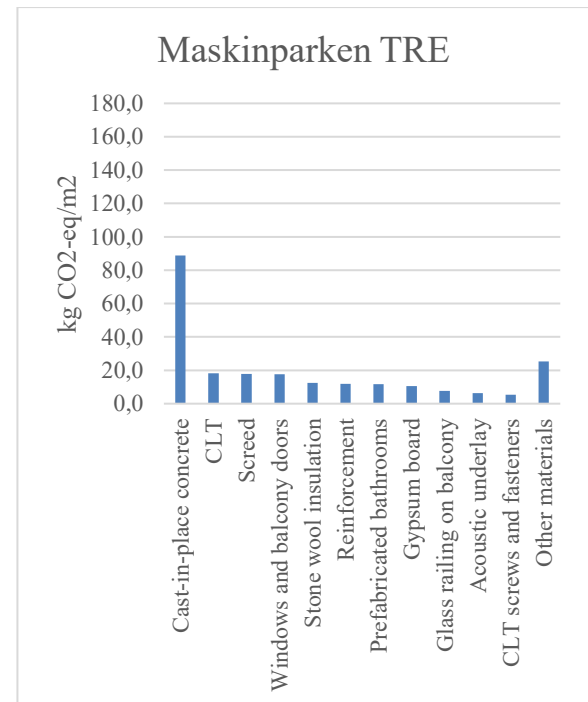


Figure 5: GHG emissions from the materials that emit the most greenhouse gases in Maskinparken TRE for the production stage (A1-A3).

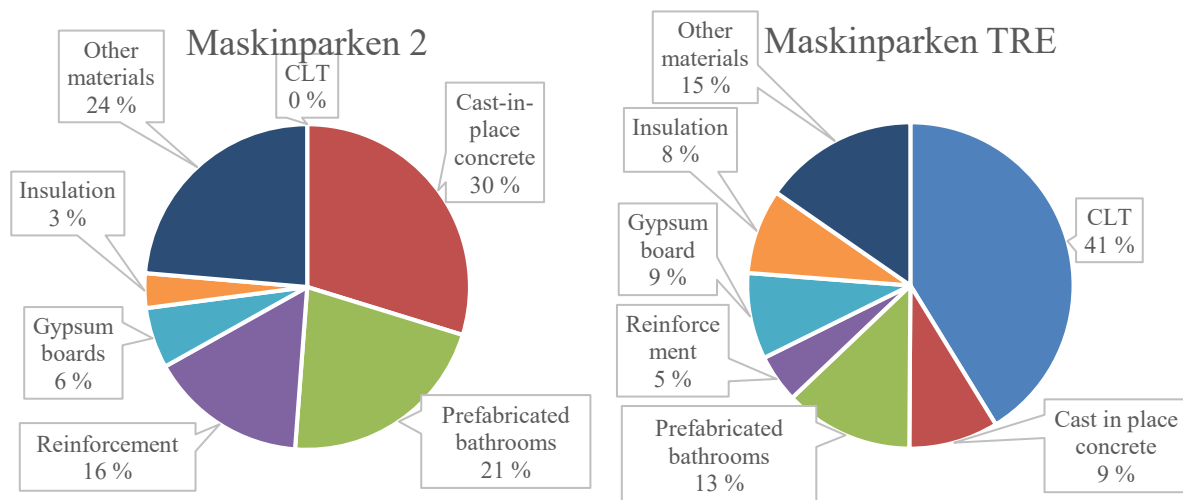


Figure 6: Greenhouse gas emissions from transport in percentage of the total emissions from transport for the products used in Maskinparken 2 and TRE.

## 5. Discussion and conclusion

The results in figure 2 show that in both the production phase and operational energy use, Maskinparken TRE has a lower emission of greenhouse gases than Maskinparken 2. The emissions per gross internal area (GIA) for the product phase are 25% lower for Maskinparken TRE compared to Maskinparken 2. The greenhouse gas emissions from operational energy use are 7% lower for Maskinparken TRE compared to Maskinparken 2. This was as expected, since Maskinparken TRE is built to the passive house standard NS 3700 and Maskinparken 2 is built to the Norwegian TEK10 standard, which is less strict when it comes to energy use than NS 3700. The results also show that for a 60-year lifetime of the buildings, the operational energy use is the phase that emits the most greenhouse gases. This would change if another lifetime than 60 years was chosen.

Figure 4 shows that for Maskinparken 2, cast-in-place concrete is the material that contributes with the most greenhouse gases, followed by the reinforcement used in the concrete. Cast-in-place concrete is also the material that emits the most greenhouse gases for Maskinparken TRE, see figure 5. This is because of the large amount of concrete in the underground car park. The third most emitting material for Maskinparken TRE is screed, which is used over the acoustic underlay. This means that choosing a material with low greenhouse gas emissions for screed can be important to lower the greenhouse gas emissions from CLT buildings.

As can be seen in Figure 3, the underground car park contributes significantly to greenhouse gas emissions. The underground car park contains a large amount of concrete and steel reinforcement, and this means that if the buildings were built without the underground car park, this would reduce the GHG of the two buildings greatly. Where it is possible to have parking above ground, a concrete underground car park should therefore be avoided to reduce the GHG emissions.

It can be seen in Figure 2 that greenhouse gas emissions from the transport phase are small compared to the product stage and the operational energy use. Maskinparken TRE has a higher GHG emission from transport compared to Maskinparken 2. The products that contribute the most to emissions from transport are shown in Figure 6. The main reason Maskinparken TRE has a higher emission from transport is because of the CLT-elements which are transported from Ybbs in Austria to Trondheim. This means that the greenhouse gas emissions from transport could have been lowered if the CLT was produced in a factory nearer Trondheim. It is important to note that a detailed calculation of the GHG emissions from transport has not been carried out, and values from EPDs have been used for most products. This means that there is a large amount of uncertainty in the results with respect to transport.

Operational energy use (B6) is the phase that contributes the most to the greenhouse gas emissions for both buildings for a lifetime of 60 years. The results for the emissions from operational energy use are uncertain, because they are highly dependent on the emission factors for electricity and district heating. In this paper constant energy use and emission factors are assumed. There is a high level of uncertainty in the building's future energy use and the future emission factors, and therefore this phase should be examined further to gain more knowledge of the emissions in the operational phase.

There are some differences in the two buildings other than the structural system that makes comparison of the buildings more difficult. The most important differences are that the buildings are of different heights, have different cladding, and that they are built to different energy standards. A version of Maskinparken 2 with 8 stories has been made to compare the difference in GHG emissions in buildings of 5 and 8 stories. The results show that the version with 8 stories has 3-4% lower GHG emissions per square meter in the production phase compared to the version with 5 stories when the parking cellar is not included. The cladding on Maskinparken 2, aired plaster, has a higher GHG emission than the wood paneling used on Maskinparken TRE. Because the façade and other materials are different, maintenance during the lifetime could be different on the two buildings.

Maskinparken 2 is built to the TEK10 standard, and Maskinparken TRE built to the passive house standard, and this means energy use in Maskinparken 2 is expected to be higher than in Maskinparken TRE. Material use is expected to be higher in Maskinparken TRE compared to Maskinparken 2 because of the different energy standards. For example, more insulation will be used in Maskinparken TRE to get lower u-value on the outer walls. Even though material use should be higher in Maskinparken TRE than in Maskinparken 2, embodied emissions was found to be lower for Maskinparken TRE compared to Maskinparken 2. This confirms that CLT buildings have lower embodied emissions than comparable buildings in concrete and steel. However, maintenance emissions over the lifetime of the building needs to be confirmed.

### Acknowledgements

The authors would like to thank Vidar Amundal for information about the buildings, and Liv Høijord Svare for help with the energy calculations.

### References

- [1] IPCC. *Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization; 2018.
- [2] Lucon O, Ürge-Vorsatz D, Ahmed AZ, Akbari H, Bertoldi P, Cabeza LF, et al. *Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press; 2014.
- [3] Olivier JGJ, Peters JAHW. *Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions: 2018 report.* The Hague: Netherlands Environmental Assessment Agency; 2018.
- [4] Abrahamsen R. *Mjøstårnet - 18 storey timber building completed.* 24. Internationales Holzbau-Forum IHF 2018: Moelven Limtre AS; 2018.
- [5] Skullestad JL, Bohne RA, Lohne J. *High-rise timber buildings as a climate change mitigation measure—A comparative LCA of structural system alternatives.* Energy Procedia. 2016;96:112-23.
- [6] Kaspersen B, Lohne J, Bohne RA. *Exploring the CO2-Impact for Building Height; A Study on Technical Building Installations.* Energy Procedia. 2016;96:5-16.
- [7] Dodoo A, Gustavsson L, Sathre R. Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems. *Energy and Buildings.* 2014;**82**:194-210.
- [8] Dodoo A, Gustavsson L, Sathre R. Carbon implications of end-of-life management of building

- materials. *Resources, Conservation and Recycling*. 2009;**53**(5):276-86.
- [9] Erlandsson M, Malmqvist T, Francart N, Kellner J. *Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport* Stockholm: Sveriges Byggindustrier; 2018 [cited 2019 07.03]. Available from: <https://www.ivl.se/sidor/publikationer/publikation.html?id=5658>.
- [10] Standard Norge. *NS-EN ISO 14040:2006 Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework (ISO 14040:2006)* [Standard]. Brussels: 2006 [Available from: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236802>].
- [11] Standard Norge. *NS-EN ISO 14044:2006 Environmental management, Life cycle assessment, Requirements and guidelines (ISO 14044:2006)* [Standard]. Brussels: 2006 [Available from: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236803>].
- [12] Standard Norge. *NS-EN 15978:2011 Sustainability of construction works, Assessment of environmental performance of buildings, Calculation method* [Standard]. Brussels: 2011 [Available from: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=516244>].
- [13] Standard Norge. *NS-EN 15804:2002+A1:2013 Sustainability of construction works, Environmental product declarations, Core rules for the product category of construction products* [Standard]. Brussels: 2013 [Available from: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=679924>].
- [14] Fufa SM, Schlanbusch RD, Sørnes K, Inman MR, Andresen I. *A Norwegian ZEB definition guideline. ZEB project report 29* Trondheim: SINTEF Academic Press; 2016 [cited 2019 23.01]. Available from: <https://www.zeb.no/index.php/en/news-and-events/256-a-norwegian-zeb-definition-guideline>.
- [15] The Norwegian EPD Foundation. *Byggevarer 2019* [cited 2019 07.03]. Available from: <https://www.epd-norge.no/byggevarer/category315.html>.
- [16] Federal Ministry of the Interior BaC. *Database - Ökobaudat 2019* [updated 27.02.2019; cited 2019 12.03]. Available from: <https://www.oekobaudat.de/en/database/database-oekobaudat.html>.
- [17] The International EPD System. *Search the EPD database* Stockholm: 2019 [cited 2019 12.03]. Available from: <https://www.environdec.com/EPD-Search/>.
- [18] Institut Bauen und Umwelt e.V. *EPD Programme 2017* [cited 2019 11.03]. Available from: <https://ibu-epd.com/en/epd-programme/>.
- [19] Svare LH. *Maskinparken 2: Energikonsept*. Pers. com.: Rambøll; 2018.
- [20] Svare LH. *Maskinparken TRE: Energikonsept*. Pers. com.: Rambøll; 2018.
- [21] Statkraft Varme AS. *Data til bruk i Breeam-sertifisering for kunder av Statkraft Varme i Trondheim - 2018*. Trondheim; 2018.
- [22] Graabak I, Bakken BH, Feilberg N. Zero emission building and conversion factors between electricity consumption and emissions of greenhouse gases in a long term perspective. *Environmental and Climate Technologies*. 2014;**13**(1):12-9.
- [23] SINTEF Byggforsk. *Teknisk godkjenning Parmarine prefabrikkerte baderomsmoduler nr. 2453*. SINTEF; 2017.
- [24] Saxegård SA, Vold M, Edvardsen T, Brekke A, Iversen OMK. *Transportkalkulator: EPD-verktøy*. Kråkerøy: Østfoldforskning; 2016. Report No.: OR.08.16.
- [25] Standard Norge. *NS 3700:2013 Criteria for passive houses and low energy buildings - Residential buildings* [Standard]. Oslo: 2013 [Available from: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=636902>].



## Vedlegg 2

Energiberegninger for Maskinparken 2 og Maskinparken TRE





## Maskinparken 2:

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	57803 kWh	23,7 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	10687 kWh	4,4 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	72499 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	12439 kWh	5,1 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	68 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	27719 kWh	11,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	42665 kWh	17,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>223881 kWh</b>	<b>92,0 kWh/m<sup>2</sup></b>

Lvert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Lvert energi	Spesifikk lvert energi
1a Direkte el.	82891 kWh	34,0 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	155537 kWh	63,9 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Totalt lvert energi, sum 1-7</b>	<b>238428 kWh</b>	<b>97,9 kWh/m<sup>2</sup></b>
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Netto lvert energi</b>	<b>238428 kWh</b>	<b>97,9 kWh/m<sup>2</sup></b>

## Maskinparken TRE:

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	45650 kWh	12,0 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	17284 kWh	4,6 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	113037 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	28259 kWh	7,4 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	136 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	43234 kWh	11,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	66525 kWh	17,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>314124 kWh</b>	<b>82,7 kWh/m<sup>2</sup></b>

Lvert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Lvert energi	Spesifikk lvert energi
1a Direkte el.	138153 kWh	36,4 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	189550 kWh	49,9 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Totalt lvert energi, sum 1-7</b>	<b>327703 kWh</b>	<b>86,3 kWh/m<sup>2</sup></b>
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Netto lvert energi</b>	<b>327703 kWh</b>	<b>86,3 kWh/m<sup>2</sup></b>



## Vedlegg 3

Klimagassberegninger for Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1



# Maskinparken 2

Levetid: 60 år Areal: 2376,1 m2

Byggningsdelsnr.	Del	Mengde	Enhet	Faktor	Levetid	A1	A2	A3	A1-A3	A4	B4	B6	EPD nummer	EPD navn	Tr.dist. [km]	Kilde
21	Grunn og fundamenter	Prefab betongvegg	41,1	tonn	60	5,88E+03	2,43E+02	3,21E+02	6,44E+03	4,36E+02	0,00E+00		NEPD-1232-382-NO	Kompaktvegg, Opplandske betongindustri AS	50	EPD
21	Grunn og fundamenter	Plasstøpt betong	761,3	m3	60	1,87E+05	1,45E+03	4,30E+03	1,93E+05	3,87E+03	0,00E+00		NEPD-1251-402-NO	Ferdigbetong B35 M45 16mm 200mm synkmål	25	EPD
21	Grunn og fundamenter	Armering	62809,7	kg	60	2,07E+04	1,51E+03	3,71E+02	2,26E+04	1,82E+03	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products for concrete, Celsa	500	EPD
21	Grunn og fundamenter	Fuktmembran	225,6	m2	40		2,41E+02		2,41E+02	1,35E+01	2,55E+02		NEPD-207-260-NO	Icopal Primo fuktmembran	2294	EPD
21	Grunn og fundamenter	XPS	225,6	m2	3	40		2,50E+03	2,50E+03	7,44E+00	2,51E+03		NEPD-396-274-NO	Sundolitt XPS	100	EPD
22	Bæresystem	Stålsøyler	12065,5	kg	60		3,31E+04		3,31E+04	2,88E+02	0,00E+00		00078E rev1	Hot finished structural hollow sections (HFSHS)	400	EPD
22	Bæresystem	Plasstøpt betong	852,9	m3	60	2,10E+05	1,62E+03	4,82E+03	2,16E+05	4,33E+03	0,00E+00		NEPD-1251-402-NO	Ferdigbetong B35 M45 16mm 200mm synkmål	25	EPD
22	Bæresystem	Armering	85031,0	kg	60	2,81E+04	2,04E+03	5,02E+02	3,06E+04	2,47E+03	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products for concrete, Celsa	500	EPD
22	Bæresystem	Spenntau	3478,4	kg	60		9,32E+03		9,32E+03	3,36E+01	0,00E+00		NEPD-326-206-EN	Prestressed steel for reinforcement of concrete	600	EPD
23	Yttervegger	Trestendere	39,0	m3	60		2,07E+03		2,07E+03	4,45E+02	0,00E+00		NEPD-308-179-NO	Konstruksjonsvirke av gran og furu	200	EPD
23	Yttervegger	Båndtekkning, lakkert stål	89,2	m2	40		1,39E+03		1,39E+03	2,50E+01	1,42E+03		Okobaudat 4.1.04	pladur®	487	Egen antagelse
23	Yttervegger	Fasadeplate (StoVentec)	982,9	m2	40		9,67E+03		9,67E+03	5,35E+02	1,02E+04		EPD-STO-2013431-D	StoVentec Tragerplatte	1190	Egen antagelse
23	Yttervegger	Puss StoLotusan K	982,9	m2	40		1,19E+03		1,19E+03	1,24E+02	1,31E+03		EPD-STO-2011331-E	Exterior plaster: Stolit, StoSilco, StoSil, StoLotusan	467	Egen antagelse
23	Yttervegger	Puss Sto Primer	982,9	m2	40		1,15E+02		1,15E+02	1,17E+01	1,27E+02		EPD-STO-2011321-E	Primers and facade paints	467	Egen antagelse
23	Yttervegger	Puss StoArmat Classic plus	982,9	m2	40		1,03E+03		1,03E+03	1,36E+02	1,17E+03		EPD-STO-2010311-E	Adhesive compounds and fillers	467	Egen antagelse
23	Yttervegger	Dampspørre	1961,1	m2	60		6,16E+02		6,16E+02	1,77E+01	0,00E+00		NEPD-341-230-NO	Gram Dampspørre, Tommen gram folie AS	366	EPD
23	Yttervegger	Gips utvendig	982,9	m2	50		1,67E+03		1,67E+03	2,46E+02	1,92E+03		NEPD-1263-406-EN	Gyproc Bris™ - Sheeting Board	1200	EPD
23	Yttervegger	Glassvegg	3,2	stk	40		3,41E+03		3,41E+03	1,21E+02	3,54E+03		Okobaudat 7.1.05	FWS 50 SI	1190	Egen antagelse
23	Yttervegger	Isolasjon	1353,3	m2	1,1	60		4,13E+03	4,13E+03	4,61E+02	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool Isolering	225	EPD
23	Yttervegger	Festemidler, gips og stendere	166,1	kg	60		4,83E+02		4,83E+02	7,93E+00	0,00E+00		Okobaudat 4.1.06	Gewindefurchende Schrauben aus Stahl	487	Egen antagelse
23	Yttervegger	Vindu	216,6	stk	40		3,82E+04		3,82E+04	3,70E+02	3,86E+04		NEPD-329-212-NO	2-veis innadslående åpningsvindu, Lian trevarefabrikk	300	EPD
23	Yttervegger	Balkongdør	25,0	stk	30		5,20E+03		5,20E+03	4,40E+01	5,24E+03		NEPD-393-278-NO	Balkongdør, Norgesvindu kompetanse AS	300	EPD
24	Innervegger	Isolasjon	1353,3	m2	1,1	60		4,13E+03	4,13E+03	4,61E+02	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool Isolering	225	EPD
24	Innervegger	Gips Standard	4537,1	m2	60		7,71E+03		7,71E+03	1,32E+03	0,00E+00		NEPD-1260-406-EN	Gyproc Normal - Standard Plasterboard	1110	EPD
24	Innervegger	Stålprofil til innervegg	6389,9	m	60	8,82E+03	1,06E+02	4,83E+01	8,97E+03	3,64E+02	0,00E+00		NEPD-1702-693-NO	Stålprofil til innervegg	550	EPD
24	Innervegger	Festemidler, gips og stendere	166,1	kg	60		4,83E+02		4,83E+02	7,93E+00	0,00E+00		Okobaudat 4.1.06	Gewindefurchende Schrauben aus Stahl	487	Egen antagelse
24	Innervegger	Maling	781,1	kg	12	1,40E+03	5,65E+01	2,22E+02	1,68E+03	2,22E+01	6,79E+03		NEPD-1648-660-NO	JOTAPROFF Prosjekt Vegg & Tak	321	EPD
24	Innervegger	Innerdør + skyvedør	129,0	stk	40		7,22E+03		7,22E+03	5,44E+02	7,77E+03		NEPD-1535-525-NO	Klimadør/innerdør Nordic Dørfabrikk AS	400	EPD
24	Innervegger	Entredør leilighet	45,0	stk	40		4,33E+03		4,33E+03	2,01E+02	4,53E+03		NEPD-1535-525-NO	Klimadør/innerdør Nordic Dørfabrikk AS	400	EPD
25	Dekker	Malt heltrelistverk	1606,4	m	60		2,88E+02		2,88E+02	1,45E+01	0,00E+00		NEPD-1581-604-NO	Malt heltrelistverk av furu til innvendig bruk	270	EPD
25	Dekker	Heltregulv	1760,0	m2	60		3,52E+03		3,52E+03	3,33E+02	0,00E+00		NEPD-1578-604-NO	Heltregulv av furu med hardvoksolje	200	EPD
25	Dekker	Gulv fellesareal	203,1	m2	20		1,56E+03		1,56E+03	7,09E+01	3,27E+03		4788294459.104.1	Acoustic vinyl Forbo flooring systems	948	EPD
25	Dekker	Påstøp	196010,0	kg	60	2,55E+04	6,02E+03	1,49E+02	3,16E+04	8,29E+02	0,00E+00		Refererer til NEPD00173N	Avrettingsmasse, Proplan Multi	50	EPD
25	Dekker	Trinnlydplate	55,1	m3	60		4,16E+03		4,16E+03	4,89E+01	0,00E+00		EPD-IVH-20140139-IBB2-DE	EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden	197	EPD
25	Dekker	Gipshimling	358,1	m2	60		6,09E+02		6,09E+02	1,04E+02	0,00E+00		NEPD-1260-406-EN	Gyproc Normal - Standard Plasterboard	1110	EPD
25	Dekker	Systemhimling	212,5	m2	60		7,44E+02		7,44E+02	9,99E+01	0,00E+00		NEPD-340-229-EN	Rockwool Rockfon Average ceiling tile	1406	EPD
25	Dekker	Maling i tak	594,2	kg	12	1,06E+03	4,30E+01	1,69E+02	1,28E+03	1,69E+01	5,17E+03		NEPD-1648-660-NO	JOTAPROFF Prosjekt Vegg & Tak	321	EPD
26	Yttertak	Takisolasjon, EPS	489,1	m2	9,6	60		1,03E+04	1,03E+04	2,49E+01	0,00E+00		NEPD-1236-244-NO	Lavlambda EPS 80 isolasjon (trykkklasse 80)	100	EPD
26	Yttertak	Takmembran	489,1	m2	25		1,74E+03		1,74E+03	1,40E+02	3,75E+03		NEPD00268E	Single layer mechanically fastened modified bitumen roof wat	500	EPD
28	Trapper, balkonger m.m.	Prefab balkong	164,8	tonn	60	2,27E+04	7,88E+02	2,06E+03	2,56E+04	6,97E+02	0,00E+00		NEPD-1345-444-NO	Prefabrikkert balkong, Buskerud betongvarefabrikk AS	50	EPD
28	Trapper, balkonger m.m.	Prefab trapp	21,7	tonn	60	3,15E+03	5,01E+01	7,01E+01	3,27E+03	9,18E+01	0,00E+00		NEPD-1192-360-NO	Contiga, NorElement-trappen	50	EPD
28	Trapper, balkonger m.m.	Massivtre	8,8	m3	60		5,28E+02		5,28E+02	2,40E+02	0,00E+00		-	Stora Enso Cross Laminated Timber - CLT	2551	EPD
28	Trapper, balkonger m.m.	Rekkverk i stål	3417,0	kg	60		9,26E+03		9,26E+03	8,17E+01	0,00E+00		00240E	Cold formed structural hollow sections, Skanska	400	EPD
28	Trapper, balkonger m.m.	Kuldebrobryter	75,0	m	1,81	60		4,09E+03	4,09E+03	1,27E+02	0,00E+00		EPD-HAL-20160244-IBC1-EN	HALFEN Iso-Element HIT-HP MVX-0805-20-100	1190	Egen antagelse
61	Prefabrikkerte rom	Betong	18,6	m3	60	3,74E+03	3,11E+02	6,71E+01	4,12E+03		0,00E+00		NEPD-1487-500-NO	Fabrikkbetong B30 M60 Unicon AS		
61	Prefabrikkerte rom	Armering	518,9	kg	60	1,71E+02	1,25E+01	3,06E+00	1,87E+02	5,90E+03	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products for concrete		
61	Prefabrikkerte rom	Stål	5038,7	kg	60		1,24E+04		1,24E+04		0,00E+00		oekobau.dat: 4.1.04	Steel sheet (0.3-3.0mm) - 1kg (en)	1053	Egen antagelse
61	Prefabrikkerte rom	Fliser	799,8	m2	20		1,03E+04		1,03E+04		2,07E+04		OEkOBAU.DAT: 1.3.07	Ceramic tiles (en)		
		Elektrisitet										6,56E+05				
		Fjernvarme										4,77E+05				
						<b>Sum:</b>	<b>7,43E+05</b>	<b>2,76E+04</b>	<b>1,18E+05</b>	<b>1,13E+06</b>						

## Maskinparken TRE

Levetid: 60 år Areal: 3784,8 m2

Byggningsdelsnr.	Del	Mengde	Enhet	Faktor	Levetid	A1	A2	A3	A1-A3	A4	B4	B6	EPD nummer	Navn	Tr.dist. [km]	Fra
21	Grunn og fundament	Prefab betongvegg	65,6	tonn	60	9,38E+03	3,88E+02	5,12E+02	1,03E+04	6,95E+02	0,00E+00		NEPD-1232-382-NO	Kompaktvegg, Opplandske betongindustri AS	50	EPD
21	Grunn og fundament	Plasstøpt betong	1214,1	m3	60	2,99E+05	2,31E+03	6,86E+03	3,08E+05	6,17E+03	0,00E+00		NEPD-1251-402-NO	Ferdigbetong B35 M45 16mm 200mm synkmål	25	EPD
21	Grunn og fundament	Armering	100169,2	kg	60	3,31E+04	2,40E+03	5,91E+02	3,61E+04	2,90E+03	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products from concrete, Celsa	500	EPD
21	Grunn og fundament	Fuktmembran	359,7	m2	40		3,85E+02		3,85E+02	2,16E+01	4,06E+02		NEPD-207-260-NO	Icopal Primo fuktmembran	2294	EPD
21	Grunn og fundament	XPS	359,7	m2	3	40	3,99E+03		3,99E+03	1,19E+01	4,00E+03		NEPD-396-274-NO	Sundolitt XPS	100	EPD
22	Bæresystem	Stålplater MP3	989,1	kg	60		2,71E+03		2,71E+03	2,36E+01	0,00E+00		00078E rev1	Hot finished structural hollow sections (HFSHS)	400	EPD
22	Bæresystem	Massivtre	1041,2	m3	60		6,25E+04		6,25E+04	2,83E+04	0,00E+00		-	Stora Enso Cross Laminated Timber - CLT	2551	Egen antagelse
22	Bæresystem	Skruer/festemidler	6894,0	kg	60		2,01E+04		2,01E+04	2,84E+02	0,00E+00		Ökobaudat 4.1.06	Gewindefurchende Schrauben aus Stahl	487	Egen antagelse
22	Bæresystem	Stålbjelker	1092,0	kg	60		1,44E+03		1,44E+03	2,61E+01	0,00E+00		00081E rev1	I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections	400	EPD
22	Bæresystem	Plasstøpt betong	112,9	m3	60	2,78E+04	2,15E+02	6,38E+02	2,86E+04	5,74E+02	0,00E+00		NEPD-1251-402-NO	Ferdigbetong B35 M45 16mm 200mm synkmål	25	EPD
22	Bæresystem	Armering	25034,0	kg	60	8,26E+03	6,01E+02	1,48E+02	9,01E+03	7,26E+02	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products from concrete, Celsa	500	EPD
23	Yttervegger	Kledning	47,5	m3	50		3,56E+03		3,56E+03	6,03E+02	4,17E+03		NEPD-1691-682-NO	Malm100, Moelven Wood AS	200	EPD
23	Yttervegger	Maling	569,7	kg	8	1,33E+03	4,38E+01	5,47E+01	1,43E+03	1,62E+01	1,01E+04		NEPD-1767-740-NO	JOTUN Industri Drygolin Ultimat	321	EPD
23	Yttervegger	GU	219,2	m2	50		3,73E+02		3,73E+02	5,48E+01	4,27E+02		NEPD-1263-406-EN	Gyproc Bris™ - Sheating Board	1200	EPD
23	Yttervegger	RedAir FLEX	1594,2	m2	50		2,09E+04		2,09E+04	3,45E+03	2,44E+04		-	Rockwool® REDAir™ FLEX ventilated facade system	800	EPD
23	Yttervegger	Glassvegg	5,2		40		5,50E+03		5,50E+03	1,96E+02	5,69E+03		Ökobaudat 7.1.05	FWS 50 SI	1190	Egen antagelse
23	Yttervegger	Vindu	323,6	stk	40		5,71E+04		5,71E+04	5,53E+02	5,76E+04		NEPD-329-212-NO	2-veis innadslående åpningsvindu, Lian treverefabrikk	300	EPD
23	Yttervegger	Heve-/skyve terassedør	8,6	stk	30		2,98E+03		2,98E+03	2,08E+01	3,00E+03		NEPD-330-212-NO	Heve-/skyve terassedør, Lian Treverefabrikk	300	EPD
23	Yttervegger	Balkongdør	32,2	stk	30		6,70E+03		6,70E+03	5,67E+01	6,75E+03		NEPD-393-278-NO	Balkongdør, Norgesvindu kompetanse AS	300	EPD
24	Innervegger	Gips F Brann	6091,0	m2	60		1,58E+04		1,58E+04	2,07E+03	0,00E+00		NEPD-1264-406-EN	Gyproc Protect F - Fireboard	1211	EPD
24	Innervegger	Gips Standard	8286,1	m2	60		1,41E+04		1,41E+04	2,40E+03	0,00E+00		NEPD-1260-406-EN	Gyproc Normal - Standard Plasterboard	1110	EPD
24	Innervegger	Fermacell	327,0	m2	60		3,73E+02		3,73E+02	4,38E+02	0,00E+00		EPD-FER-20160218-CAD1-EN	Gypsum fibreboard Fermacell	1190	Egen antagelse
24	Innervegger	Maling	1274,8	kg	12	2,28E+03	9,22E+01	3,62E+02	2,74E+03	3,62E+01	1,11E+04		NEPD-1648-660-NO	JOTAPROFF Prosjekt Vegg & Tak	321	EPD
24	Innervegger	Stålprofil til innervegg	13116,8	m	60	1,81E+04	2,18E+02	9,92E+01	1,84E+04	7,48E+02	0,00E+00		NEPD-1702-693-NO	Stålprofil til innervegg	550	EPD
24	Innervegger	Isolasjon	2527,3	m2	1,1	60		7,71E+03	7,71E+03	8,62E+02	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool isolering	225	EPD
24	Innervegger	Festemidler, gips og stendere	773,3	kg	60		2,25E+03		2,25E+03	3,45E+01	0,00E+00		Ökobaudat 4.1.06	Gewindefurchende Schrauben aus Stahl	487	Egen antagelse
24	Innervegger	Innerdør + skyvedør	192,0	stk	40		1,08E+04		1,08E+04	8,10E+02	1,16E+04		NEPD-1535-525-NO	Klimadør/innerdør Nordic Dørfabrikk AS	400	EPD
24	Innervegger	Entredør leilighet	66,0	stk	40		6,35E+03		6,35E+03	2,94E+02	6,64E+03		NEPD-1535-525-NO	Klimadør/innerdør Nordic Dørfabrikk AS	400	EPD
25	Dekker	Malt heltrelistverk	3405,0	m	60		6,09E+02		6,09E+02	3,07E+01	0,00E+00		NEPD-1581-604-NO	Malt heltrelistverk av furu til innvendig bruk	270	EPD
25	Dekker	Heltregulv	2694,2	m2	60		5,39E+03		5,39E+03	5,09E+02	0,00E+00		NEPD-1578-604-NO	Heltregulv av furu med hardvoksolje	200	EPD
25	Dekker	Gulv fellesareal	324,0	m2	20		2,49E+03		2,49E+03	1,13E+02	5,22E+03		4788294459.104.1	Acoustic vinyl Forbo flooring systems	948	EPD
25	Dekker	Påstøp, (ny)	416622,4	kg	60	5,42E+04	1,28E+04	3,17E+02	6,73E+04	1,76E+03	0,00E+00		Refererer til NEPD00173N	Avrettingsmasse, Proplan Multi	50	EPD
25	Dekker	Trinnlydplate	3048,7	m2	5,7	60		2,41E+04	2,41E+04	2,69E+03	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool isolering	225	EPD
25	Dekker	Mineralull i himling	2715,2	m2	1,1	60		3,32E+03	3,32E+03	3,70E+02	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool isolering	225	EPD
25	Dekker	Maling i tak	814,6	kg	12	1,46E+03	5,89E+01	2,31E+02	1,75E+03	2,31E+01	7,09E+03		NEPD-1648-660-NO	JOTAPROFF Prosjekt Vegg & Tak	321	EPD
25	Dekker	Gipshimling	5430,4	m2	60		9,23E+03		9,23E+03	1,57E+03	0,00E+00		NEPD-1260-406-EN	Gyproc Normal - Standard Plasterboard	1110	EPD
25	Dekker	Systemhimling	324,0	m2	60		1,13E+03		1,13E+03	1,52E+02	0,00E+00		NEPD-340-229-EN	Rockwool Rockfon Average ceiling tile	1406	EPD
25	Dekker	Opphengssystem	5,4	tonn	60		1,57E+04		1,57E+04	2,34E+02	0,00E+00		S-P-00782	Gyproc steel profiles and accessories	626,7	EPD
26	Yttertakk	Takmembran	497,2	m2	25		1,77E+03		1,77E+03	1,42E+02	3,81E+03		NEPD00268E	Single layer mechanically fastened modified bitumen roof wa	500	EPD
26	Yttertakk	Takisolasjon	497,2	m2	3,7	60		1,53E+04	1,53E+04	1,71E+03	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool isolering	225	EPD
28	Trapper, balkonger m.m.	Glassrekkverk på balkong	412,9	m2	60		2,89E+04		2,89E+04	1,51E+03	0,00E+00		S-P 00927	SGG SECURIT	1190	Egen antagelse
28	Trapper, balkonger m.m.	Massivtre	108,7	m3	60		6,52E+03		6,52E+03	2,96E+03	0,00E+00		-	Stora Enso Cross Laminated Timber - CLT	2551	Egen antagelse
61	Prefabrikkerte rom	Betong	30,6	m3	60	6,15E+03	5,11E+02	1,10E+02	6,77E+03		0,00E+00		NEPD-1487-500-NO	Fabrikkbetong B30 M60 Unicon AS		
61	Prefabrikkerte rom	Armering	853,7	kg	60	2,82E+02	2,05E+01	5,04E+00	3,07E+02		0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products for concrete		
61	Prefabrikkerte rom	Stål	8289,5	kg	60		2,04E+04		2,04E+04		0,00E+00		Ökobaudat 4.1.04	Steel sheet (0.3-3.0mm) - 1kg (en)	1053	Egen antagelse
61	Prefabrikkerte rom	Fliser	1315,8	m2	20		1,70E+04		1,70E+04		3,41E+04		Ökobaudat 1.3.07	Ceramic tiles (en)		
		Elektrisitet											1,09E+06			
		Fjernvarme											5,81E+05			

Sum: 8,88E+05 7,59E+04 1,96E+05 1,68E+06

# Verkstedgården 1

Levetid: 60 år BRA: 3893,6 m2

Bygningsdelsnr.	Del	Mengde	Enhet	Faktor	Levetid	A1	A2	A3	A1-A3	A4	B4	B6	EPD nummer	Navn	Tr.dist. [km]	Kilde
21 Grunn og fundamenter	Plasstøpt betong	2254,1	m3		60	5,54E+05	4,28E+03	1,27E+04	5,72E+05	1,15E+04	0,00E+00		NEPD-1251-402-NO	Ferdigbetong B35 M45 16mm 200mm synkmål	25	EPD
21 Grunn og fundamenter	Armering	228315,0	kg		60	7,53E+04	5,48E+03	1,35E+03	8,22E+04	6,62E+03	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products from concrete, Celsa	500	EPD
21 Grunn og fundamenter	Fuktmembran	542,0	m2		40		5,80E+02		5,80E+02	3,25E+01	6,12E+02		NEPD-207-260-NO	Icopal Primo fuktmembran	2294	EPD
21 Grunn og fundamenter	XPS	542,0	m2	3	40		6,02E+03		6,02E+03	1,79E+01	6,03E+03		NEPD-396-274-NO	Sundolit XPS	100	EPD
22 Bæresystemer	Plasstøpt betong, dekke	112,9	m3		60	2,78E+04	2,15E+02	6,38E+02	2,86E+04	5,74E+02	0,00E+00		NEPD-1251-402-NO	Ferdigbetong B35 M45 16mm 200mm synkmål	25	EPD
22 Bæresystemer	Armering, dekke	25034,0	kg		60	8,26E+03	6,01E+02	1,48E+02	9,01E+03	7,26E+02	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products from concrete, Celsa	500	EPD
22 Bæresystemer	Huldekker, lavkarbon B	909,0	tonn		60	1,22E+05	5,06E+03	7,34E+03	1,34E+05	3,85E+03	0,00E+00		NEPD-1239-391-NO	Contiga, huldekker lavkarbon B	50	EPD
22 Bæresystemer	Betongvegg	1405,0	m2		60	1,10E+05	7,07E+03	1,32E+04	1,30E+05	1,38E+03	0,00E+00		NEPD-128-271-NO	Contiga, massivt uisolert veggelement	50	EPD
22 Bæresystemer	Stål HSQ	5149,6	kg		60		1,48E+04		1,48E+04	1,23E+02	0,00E+00		00076E rev1	Welded plated beams: HSQ, ISQ and HSK sections	400	EPD
22 Bæresystemer	Stål IPE	14365,5	kg		60		1,90E+04		1,90E+04	3,43E+02	0,00E+00		00081E rev1	I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections	400	EPD
22 Bæresystemer	Stål KKR	15134,8	kg		60		4,15E+04		4,15E+04	3,62E+02	0,00E+00		00078E rev1	Hot finished structural hollow sections (HFSHS)	400	EPD
22 Bæresystemer	Stål D	761,5	kg		60		2,09E+03		1,82E+01	0,00E+00	0,00E+00		00078E rev1	Hot finished structural hollow sections (HFSHS)	400	EPD
23 Yttervegger	Trestendere	62,4	m3		60		3,31E+03		3,31E+03	7,11E+02	0,00E+00		NEPD-308-179-NO	Konstruksjonsvirke av gran og furu	200	EPD
23 Yttervegger	Fasadeplate (StoVentec)	1572,6	m2		40		1,55E+04		1,55E+04	8,57E+02	1,63E+04		EPD-STO-2013431-D	StoVentec Tragerplatte	1190	Egen antagelse
23 Yttervegger	Puss StoLotusan K	1572,6	m2		40		1,90E+03		1,90E+03	1,99E+02	2,10E+03		EPD-STO-2011331-E	Exterior plaster: Stolit, StoSilco, StoSil, StoLotusan	467	Egen antagelse
23 Yttervegger	Puss Sto Primer	1572,6	m2		40		1,84E+02		1,84E+02	1,86E+01	2,03E+02		EPD-STO-2011321-E	Primers and facade paints	467	Egen antagelse
23 Yttervegger	Puss StoArmat Classic plus	1572,6	m2		40		1,65E+03		1,65E+03	2,18E+02	1,87E+03		EPD-STO-2010311-E	Adhesive compounds and fillers	467	Egen antagelse
23 Yttervegger	Dampsperre	2550,8	m2		60		8,01E+02		8,01E+02	2,31E+01	0,00E+00		NEPD-341-230-NO	Gram Dampsperre, Tommen gram folie AS	366	EPD
23 Yttervegger	Gips utvendig	1572,6	m2		50		2,67E+03		2,67E+03	3,93E+02	3,07E+03		NEPD-1263-406-EN	Gyproc Bris™ - Sheating Board	1200	EPD
23 Yttervegger	Glassfasade	5,1	stk		40		5,46E+03		5,46E+03	1,94E+02	5,66E+03		Oekobaudat 7.1.05	FWS 50	1190	Egen antagelse
23 Yttervegger	Isolasjon	2165,2	m2	1,1	60		6,61E+03		6,61E+03	7,38E+02	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool Isolering	225	EPD
23 Yttervegger	Vindu	346,6	stk		40		6,11E+04		6,11E+04	5,93E+02	6,17E+04		NEPD-329-212-NO	2-veis innadslående åpningsvindu, Lian trevarefabrikk	300	EPD
23 Yttervegger	Balkongdør	40,0	stk		30		8,31E+03		8,31E+03	7,03E+01	8,38E+03		NEPD-393-278-NO	Balkongdør, Norgesvindu kompetanse AS	300	EPD
23 Yttervegger	Festemidler, gips og stendere	265,8	kg		60		7,73E+02		7,73E+02	1,27E+01	0,00E+00		Ökobaudat 4.1.06	Gewindefurchende Schrauben aus Stahl	487	Egen antagelse
24 Innenvegger	Isolasjon	2165,2	m2	1,1	60		6,61E+03		6,61E+03	7,38E+02	0,00E+00		NEPD-1762-735-EN	Rockwool Isolering	225	EPD
24 Innenvegger	Gips Standard	7259,4	m2		60		1,23E+04		1,23E+04	2,11E+03	0,00E+00		NEPD-1260-406-EN	Gyproc Normal - Standard Plasterboard	1110	EPD
24 Innenvegger	Stålprofil til innenvegg	10223,8	m		60	1,41E+04	1,70E+02	7,73E+01	1,44E+04	5,83E+02	0,00E+00		NEPD-1702-693-NO	Stålprofil til innenvegg	550	EPD
24 Innenvegger	Maling	1249,8	kg		12	2,24E+03	9,04E+01	3,55E+02	2,68E+03	3,55E+01	1,09E+04		NEPD-1648-660-NO	JOTAPROFF Prosjekt Vegg & Tak	321	EPD
24 Innenvegger	Festemidler, gips og stendere	265,8	kg		60		7,73E+02		7,73E+02	1,27E+01	0,00E+00		Ökobaudat 4.1.06	Gewindefurchende Schrauben aus Stahl	487	Egen antagelse
24 Innenvegger	Innerdør + skyvedør	206,4	stk		40		1,16E+04		1,16E+04	8,71E+01	1,24E+04		NEPD-1535-525-NO	Klimadør/innerdør Nordic Dørfabrikk AS	400	EPD
24 Innenvegger	Entredør leilighet	72,0	stk		40		6,93E+03		6,93E+03	3,21E+02	7,25E+03		NEPD-1535-525-NO	Klimadør/innerdør Nordic Dørfabrikk AS	400	EPD
25 Dekker	Malt heltrelistverk	2570,2	m		60		4,60E+02		4,60E+02	2,32E+01	0,00E+00		NEPD-1581-604-NO	Malt heltrelistverk av furu til innvendig bruk	270	EPD
25 Dekker	Heltregulv	2816,0	m2		60		5,63E+03		5,63E+03	5,32E+02	0,00E+00		NEPD-1578-604-NO	Heltregulv av furu med hardvoksolje	200	EPD
25 Dekker	Gulv fellesareal	325,0	m2		20		2,50E+03		2,50E+03	1,13E+02	5,23E+03		4788294459.104.1	Acoustic vinyl Forbo flooring systems	948	EPD
25 Dekker	Påstøp	313616,0	kg		60	4,08E+04	9,63E+03	2,38E+02	5,06E+04	1,33E+03	0,00E+00		Refererer til NEPD00173N	Avrettingsmasse, Proplan Multi	50	EPD
25 Dekker	Trinnlydplate	235,3	m3		60		1,77E+04		1,77E+04	2,08E+02	0,00E+00		EPD-IVH-20140139-IBB2-DE	EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden	197	EPD
25 Dekker	Maling i tak	950,7	kg		12	1,70E+03	6,87E+01	2,70E+02	2,04E+03	2,70E+01	8,27E+03		NEPD-1648-660-NO	JOTAPROFF Prosjekt Vegg & Tak	321	EPD
25 Dekker	Gipshimling	573,0	m2		60		9,74E+02		9,74E+02	1,66E+02	0,00E+00		NEPD-1260-406-EN	Gyproc Normal - Standard Plasterboard	1110	EPD
25 Dekker	Systemhimling	340,0	m2		60		1,19E+03		1,19E+03	1,60E+02	0,00E+00		NEPD-340-229-EN	Rockwool Rockfon Average ceiling tile	1406	EPD
26 Yttertak	Takisolasjon, EPS	489,1	m2	9,6	60		1,03E+04		1,03E+04	2,49E+01	0,00E+00		NEPD-1236-244-NO	Lavlambda EPS 80 isolasjon (trykkklasse 80)	100	EPD
26 Yttertak	Takmembran	489,1	m2		25		1,74E+03		1,74E+03	1,40E+02	3,75E+03		NEPD00268E	Single layer mechanically fastened modified bitumen roof wa	500	EPD
28 Trapper, balkonger, m.m.	Balkonger	265,3	tonn		60	3,66E+04	1,27E+03	3,32E+03	4,12E+04	1,12E+00	0,00E+00		NEPD-1345-444-NO	Prefabrikkert balkong, Buskerud betongvarefabrikk AS	50	EPD
28 Trapper, balkonger, m.m.	Trapp og repos	43,2	tonn		60	6,26E+03	9,98E+01	1,40E+02	6,50E+03	1,83E+02	0,00E+00		NEPD-1192-360-NO	Contiga, NorElement-trappen	50	EPD
28 Trapper, balkonger, m.m.	Rekkverk i stål	5467,2	kg		60		1,48E+04		1,48E+04	1,31E+02	0,00E+00		00240E	Cold formed structural hollow sections, Skanska	400	EPD
28 Trapper, balkonger, m.m.	Kuldebroyter	120,0	m	1,81	60		6,54E+03		6,54E+03	2,03E+02	0,00E+00		EPD-HAL-20160244-IBC1-EN	HALFEN Iso-Element HIT-HP MVX-0805-20-100	1190	Egen antagelse
61 Prefabrikkerte rom	Betong	29,8	m3		60	5,98E+03	4,97E+02	1,07E+02	6,59E+03		0,00E+00		NEPD-1487-500-NO	Fabrikkbetong B30 M60 Unicon AS		
61 Prefabrikkerte rom	Armering	830,3	kg		60	2,74E+02	1,99E+01	4,90E+00	2,99E+02	9,45E+03	0,00E+00		NEPD-434-305-EN	Steel reinforcement products for concrete		
61 Prefabrikkerte rom	Stål	8062,0	kg		60		1,98E+04		1,98E+04		0,00E+00		oekobau.dat: 4.1.04	Steel sheet (0.3-3.0mm) - 1kg (en)	1053	Egen antagelse
61 Prefabrikkerte rom	Fliser	1279,7	m2		20		1,66E+04		1,66E+04		3,31E+04		OEOBAU.DAT: 1.3.07	Ceramic tiles (en)		
	Elektrisitet											1,08E+06				
	Fjernvarme											7,81E+05				
						<b>Sum:</b>	<b>1,41E+06</b>	<b>4,69E+04</b>	<b>1,87E+05</b>	<b>1,86E+06</b>						





## Vedlegg 4

Mengdeberegninger for Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1. Mer fullstendige mengdeberegninger kan finnes i filene som er vedlagt oppgaven.



## Maskinparken 2

<b>EPS-isolasjon:</b>		
Areal av tak:	489,1	m2
Gjennomsnittlig tykkelse:	0,3	m
Volum av EPS:	146,73	m3

<b>Takmembran:</b>		
Areal på tak:	489,1	m2

<b>Gulv:</b>		
Areal 2 etg utenom bad og fellesareal:	352	m2
ganger 5 etasjer:	1760	m2
Areal fellesareal:	203,1	m2

<b>Vinduer</b>		
Areal av vinduer:	394,2	m2
Areal av vindu i EPD:	1,82	m2
Antall vinduer:	216,6	stk

<b>Lister:</b>		
Antar to ganger lengden av innerveggene som lengden av lister.		
Lengde innervegger:	803,2	m
Lengde av lister:	1606,4	m

<b>Gips utvendig:</b>		
Areal yttervegg:	982,9	m2

<b>Dører:</b>		
Innerdører:	79	stk
Skyvedører:	50	stk
Ståldør teknisk rom tak:	1	stk
Entredør leilighet + boddør:	45	stk

<b>Glassfasade:</b>		
Areal glassvegg	29,7	m2
Areal Schuco FWS 50 i EPD	9,3	m2
Antall glassvegger	3,2	stk
Vekt per kvadratmeter:	45	kg/m2
Total vekt:	1336,5	kg

<b>Trestendere:</b>		
Lengde yttervegger:	597,5	m
Antall stendere cc600	995,8	stk
Lengde av stendere med høyde 3 m:	2987,5	m
Lengde topp og bunnsvill	1195	m
Total lengde:	4182,5	m
Volum: antar 48x198mm	39,8	m3

<b>Rekkverk:</b>		
Lengde rekkverk:	227,8	m
Vekt per meter	15	kg/m
Total vekt:	3417	kg

<b>Dampsperre:</b>		
Yttervegg areal	982,9	m2
Areal tak:	489,1	m2
Areal under bygg	489,1	m2
Totalt areal dampsperre:	1961,1	m2

<b>Stålstendere:</b>		
Lengde innervegger	803,2	m
Antall stendere cc 450:	1784,9	stk
Lengde av stendere (2,68 m høyde):	4783,5	m
Lengde toppsvill og bunnsvill:	1606,4	m
Total lengde:	6389,9	m

<b>Balkongdører</b>		
Antall balkongdører i modell:	31	stk
Areal av balkongdører i modell:	2,16	m2
Totalt areal balkongdører i modell:	66,96	m2
Areal balkongdør i EPD:	2,68	m2
Antall balkondører:	25,0	stk

<b>Båndteking</b>		
Areal båndteking:	89,2	m2
Volum 0,6 mm tykkelse:	0,05	m3
Densitet:	7800	kg/m3
Vekt:	417,5	kg

<b>Antall skruer/festemidler:</b>		
Innervegg:		
Antall stendere:	1784,9	stk
4 spiker per stender:	7139,6	stk
Vekt:	25,9	kg
Lengde topp og bunnsvill:	1606,4	m
Vekt (antar 2 betongskruer pr meter)	66,8	kg

Yttervegg:		
Antall stendere:	995,8	stk
4 stk per stender:	3983,3	stk
Vekt:	14,4	kg
Lengde topp og bunnsvill:	1195	m
Vekt (antar 2 betongskruer pr m)	49,712	kg

Gips:		
Areal gips	4537,1	m2
Antall skruer (17 stk skruer pr m2)	77130,7	stk
Vekt per gipsskruer	0,0023	kg
Total vekt:	175,4	kg
Total vekt:	332,2	kg

<b>Påstøp:</b>		
Areal 40 mm påstøp	1838	m2

<b>Trinnlydplate:</b>		
Areal	1838	m2
Volum 30 mm trinnlydplate	55,14	m3

<b>Spennkabler:</b>		
Dekke over kjeller:	300,6	m
Plan 5:	470	m
Plan 4:	470	m
Plan 3:	470	m
Plan 2:	470	m
Plan 1:	358,4	m
Totalt:	2539	m
Vekt per meter:	1,37	kg/m
Total vekt:	3478,43	kg
Areal tau:	0,00015	m2
Volum:	0,38085	m3

<b>Maling:</b>		
<i>Innervegger:</i>		
Areal innervegger:	2603,72	m2
Spredeevne:	10	m2/l
Antall liter maling:	260,4	l
Litervekt maling:	1,5	kg/l
Vekt maling:	390,6	kg
2 strøk:	781,1	kg
<i>Tak:</i>		
Areal himling:	1980,6	m2
Spredeevne:	10	m2/l
Antall liter maling:	198,1	l
Litervekt maling:	1,5	kg/l
Vekt maling:	297,1	kg
2 strøk:	594,18	kg

Volum 40 mm påstøp	73,52	m3
Areal 30 mm påstøp	31,25	m2
Volum 30 mm påstøp	0,938	m3
Volum avrettingsmasse 90 mm	40,87	m3
Totalt volum:	115,3	m3

<b>Armering:</b>		
Vekt armering:	85 031	kg
Tetthet:	7850	kg/m3
Volum armering:	10,8	m3

<b>Betong:</b>		
Prefabrikkerte balkonger:	71,7	m3
Volum plasstøpt betong:	863,7	m3
Volum plasstøpt betong trukket fra armering:	852,9	m3

<b>Badekabiner:</b>		
Antall badekabiner:	31	stk

<b>Himling:</b>		
Areal himling Maskinparken 2	1980,6	m2

## Maskinparken TRE

<b>Takmembran:</b>			<b>Kledning:</b>		
Areal av tak:	497,2	m2	Areal yttervegg med kledning:	2260,9	m2
			Volum kledning: (tykkelse 21mm)	47,5	m3
<b>Stålstendere innervegg:</b>			<b>Areal gulv:</b>		
Lengde innervegger:	1702,5	m	Areal gulv i leiligheter utenom bad	2694,2	m2
Antall stendere (cc 450):	3783,3	stk	Areal fellesarealer:	324	m2
Lengde stendere (2,57 m høyde):	9711,8	m			
Lengde toppsvill og bunnsvill:	3405,0	m	<b>Heve/skyve terassedør:</b>		
Total lengde:	13116,8	m	Antall dører i modell:	4	stk
			Areal av terassedører i modell:	5,8	m2
<b>Vinduer:</b>			Areal av terassedører:	23,1	m2
Areal vinduer:	589	m2	Areal dør i EPD:	2,7	m2
Areal vindu i EPD:	1,82	m2	Antall dører:	8,6	stk
Antall vinduer klimagassregnskap:	323,6	stk			
<b>Balkongdører:</b>			<b>Trinnlydplate</b>		
Antall balkongdører i modell:	40	stk	Areal av leiligheter og fellesarealer minus bad:	3048,7	m2
Areal av balkongdører i modell:	2,16	m2			
Totalt areal balkongdører i modell:	86,4	m2	<b>Glassfasade:</b>		
Areal balkongdør i EPD:	2,68	m2	Areal glassvegg	47,9	m2
Antall balkongdører:	32,2	stk	Areal Schuco FWS 50 i EPD	9,3	m2
			Antall glassvegger	5,1	stk
<b>Lister:</b>			Vekt per kvadratmeter	45	kg/m2
Antar to ganger lengden av innerveggene som lengden av lister			Total vekt:	2155,5	kg
Lengde innervegger:	1702,5	m			
Lengde av lister:	3405	m	<b>Glassrekkverk:</b>		
			Areal glassrekkverk:	412,91	m2
<b>Himling:</b>					
Systemhimling:	324	m2	<b>Antall skruer og festemidler</b>		
Vanlig himling:	2715,2	m2	<i>Innervegg:</i>		
Vekt opphengssystem pr m2:	2	kg/m2	Antall stendere:	3783,3	stk
Vekt opphengssystem:	5430,4	kg	Antall spiker (4 spiker pr stender):	15133,3	stk
			Vekt:	54,8	kg
<b>Dører:</b>			Lengde topp og bunnsvill:	3405,0	m
Innerdør:	135	stk	Vekt betongskruer (antar 2 skruer pr m)	141,6	kg
Skyvedør:	57	stk			
Entredør leilighet + boddør:	66	stk	<i>Gips:</i>		
			Areal gips:	14923,3	m2
<b>Stålbjelker:</b>			Antall skruer (17 stk skruer pr m2 gips):	253695,3	skruer
Volum:	0,14	m3	Vekt gipsskruer:	576,9	kg
Densitet:	7800	kg/m3	Total vekt:	773,3	kg
Total vekt:	1092	kg			
<b>Flexsystem isolasjon:</b>			<b>Maling:</b>		
Areal yttervegg med flexsystem:	1594,2	m2	<i>Yttervegger:</i>		
			Areal kledning:	2260,9	m2
<b>Påstøp:</b>			Spreddeevne:	10	m2/l
Areal påstøp:	3063,4	m2	Antall liter maling:	226,09	l
Volum påstøp (tykkelse 80 mm):	245,1	m3	Litervekt maling:	1,26	kg/l
Volum påstøp i liter:	245072	l	Vekt maling:	284,9	kg
Vekt per liter:	1,7	kg/l	2 strøk:	569,7	kg
Total vekt:	416622,4	kg			

<b>Badekabiner:</b>		
Antall badekabiner:	51	stk

<b>Armering:</b>		
Dekket under Maskinparken TRE:	25034	kg
Tetthet:	7850	kg/m3
Volum armering:	3,2	m3

<b>Betong:</b>		
Plasstøpt betong i dekket under MP3:	116,1	m3
Volum betong trukket fra armering:	112,9	m3

<b>Grunning:</b>		
Areal:	2260,9	m2
Spredeevne:	12	m2/l
Antall liter:	188,4083	l
Litervekt:	1,11	kg/l
Vekt:	209,1333	kg
<b>Innervegger:</b>		
Areal innervegger:	4249,3	m2
Spredeevne:	10	m2/l
Antall liter maling:	424,9	l
Litervekt maling:	1,5	kg/l
Vekt maling:	637,4	kg
2 strøk:	1274,8	kg
<b>Tak:</b>		
Areal himling:	2715,2	m2
Spredeevne:	10	m2/l
Antall liter maling:	271,5	l
Litervekt maling:	1,5	kg/l
Vekt maling:	407,3	kg
2 strøk:	814,6	kg

## Parkeringskjeller Maskinparken 2 og TRE

<b>Fuktmembran:</b>		
Areal utvendig kjellervegg:	585,9	m2

<b>XPS:</b>		
Areal utvendig kjellervegg:	585,9	m2

<b>Armering:</b>		
Bunnplate:	107939	kg
Dekke over kjeller:	21158	kg
Kjellervegger:	34045	kg
Totalt:	163142	kg
Volum:	20,8	m3

<b>Prefab betong:</b>		
Volum prefab betong:	44,5	m3
Vekt per m3	2400	kg/m3
Vekt:	106800	kg

<b>Plasstøpt betong</b>		
Volum plasstøpt betong:	1998,2	m3
Volum trukket fra volum armering:	1977,4	m3

### Allokering av parkeringskjelleren

	Maskinparken 2		Maskinparken TRE	
Allokeringsfaktor	0,385		0,614	
Prefab betongvegg	41,1	tonn	65,6	tonn
Plasstøpt betong	761,3	m3	1214,1	m3
Armering	62809,7	kg	100169,2	kg
Fuktmembran	225,6	m2	359,7	m2
XPS	225,6	m2	359,7	m2

## Verkstedgården 1

Mengdene for Verkstedgården 1 er basert på Maskinparken 2, se derfor beregningen for Maskinparken 2 for de mengdene som mangler her.

<b>Hulldekker:</b>		
Volum hulldekker over kjeller:	78,9	m3
Tetthet:	2,4	t/m3
Vekt:	189,5	tonn
Volum hulldekker resten av etg.:	378,8	m3
Tetthet:	2,4	t/m3
Vekt:	909,0	tonn

<b>Betongvegger:</b>		
Areal:	1405,0	m2

<b>Stål:</b>		
Volum HSQ:	0,7	m3
Tetthet	7850,0	kg/m3
Vekt HSQ:	5149,6	kg
Volum IPE:	1,8	m3
Tetthet:	7850,0	kg/m3
Vekt IPE:	14365,5	kg
Volum KKR:	1,9	m3
Tetthet:	7850,0	kg/m3
Vekt KKR:	15134,8	kg
Volum D:	0,1	m3
Tetthet:	7850,0	kg/m3
Vekt D:	761,5	kg

<b>Trinnlydplate:</b>		
Tykkelse trinnlydplate:	80	mm
Areal	2940,8	m2
Volum:	235,3	m3

<b>Dampsperre:</b>		
Yttervegg areal	1572,64	m2
Areal tak:	489,1	m2
Areal under bygg	489,1	m2
Totalt areal dampsperre:	2550,84	m2

<b>Fuktmembran og XPS kjeller:</b>		
Areal av vegger:	542	m2

<b>Balkonger:</b>		
Volum:	110,5	m3
Tetthet:	2,4	t/m3
Vekt:	265,3	tonn

<b>Betongtrapp og repos:</b>		
Volum:	18,0	m3
Tetthet:	2,4	t/m3
Vekt:	43,2	tonn



## Baderomsmoduler

<b>Betong</b>		
Volum	0,6	m3

<b>Armering</b>		
Armering pr m2	3,6	kg/m2
Areal	4,65	m2
Vekt armering	16,74	kg/m2

<b>Stål</b>		
Areal	25,8	m2
Tykkelse	0,8	mm
Volum	0,02	m3
Vekt	162,54	kg

<b>Fliser</b>		
Areal	25,8	m2

		Vekt:	
Antall bad MP2:	31	62000	kg
Antall bad MP3	51	102000	kg

