

En sammenligning av bæresystem i massivtre og betong med fokus på klimagassutslipp

A comparison of CLT and concrete in a load carrying system with focus on greenhouse gas emissions

Trondheim Mai 2021

Mikael Skjæraasen Ahmed Khan

Kristin Grøtte Nødtvedt

Intern veileder:

Terje Kjetil Fossheim

Ekstern veileder:

Tom Farstad

Prosjektnr:

2021 - 35

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

PROBLEMDEFINERING

Som følge av et økt klimafokus i samfunnet, har flere tiltakshavere valgt å ta i bruk massivtre i sine storskala-bygg. Likevel er det mange byggeprosjekter der massivtre ikke blir vurdert fra starten av eller valgt bort. Bæresystem i massivtre er et relativt nytt konsept for større bygg i den norske byggebransjen, og det er fortsatt en vei å gå for at dette alternativet til byggemateriale skal bli like lukrativt å ta i bruk som mur, stål og betong har vært i så mange år.

PROSJEKTBEKRIVELSE

Ved å ta utgangspunkt i et referanseprosjekt og se på klimaavtrykket for to forskjellige løsninger, skal det være mulig å skape et perspektiv på hvilken forskjell det utgjør på klimagassutslipp og økonomi, å velge et mer bærekraftig alternativ til byggemateriale. Referansebygget skal settes opp med et bæresystem i massivtre og limtre. Denne løsningen skal bli sammenlignet med en mer tradisjonell løsning for et bygg av denne størrelsen; armert, prefabrikkert betong.

RESULTATMÅL

Målet er å finne ut hvor store differansene er innenfor fokusområdene, og se hvilke faktorer som er avgjørende for reduksjonen i klimagassutslipp.

Stikkord: Referansebygg, massivtre, klimagassutslipp

FORORD

TBYG3016 Bacheloroppgave Bygg er det avsluttende emnet i det 3-årige byggingeniørstudiet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Denne oppgaven er utarbeidet våren 2021 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk og tilsvarer 30 studiepoeng.

Vi har begge gjennom studieforløpet fattet interesse for massivtre i byggebransjen, og ønsket å ha dette som tema i oppgaven vår. Oppgaven er skrevet for AF Gruppen og omhandler valg av materiale til bæresystem i et referansebygg de skal bygge på Hasle i Oslo. Bygget er planlagt som et massivtre/limtre-prosjekt, og skal romme en restaurant og kontorer fordelt på de ulike etasjene.

Vi vil takke vår interne veileder Terje Kjetil Fossheim for gode innspill og oppfølging underveis. En stor takk rettes også til vår eksterne veileder, Tom Farstad fra AF Bygg Oslo sammen med Nils Ørnes og Anastasia Wraa, for godt samarbeid og engasjement.

Vi vil også takke alle som har stilt til intervju for både deltakelsen og deling av egen erfaring. Vi har lært mye dette halvåret, og er svært takknemlig for alle som har delt sin kunnskap for å bidra til resultatet. Helt til slutt vil vi takke hverandre for samarbeidet.

Trondheim, 20.mai 2021



Kristin Grøtte Nødtvedt



Mikael Skjæraasen Ahmed Khan

SAMMENDRAG

Byggebransjen har et stort ansvar i kampen mot global oppvarming, og det har de siste årene blitt satt søkelys på å bygge mer bærekraftig enn tidligere. Bransjen har startet arbeidet, og de fleste nybygg i Norge kan flage med miljøsertifiseringer eller miljøprofiler, som forteller hvor bærekraftig byggene deres er.

Denne oppgaven handler om hvordan klimagassutslipp og kostnader blir påvirket av et bærekraftig materialvalg, for et gitt prosjekt.

Opgaven tar for seg et referansebygg på Hasle i Oslo. Bygget faller under kategori næringsbygg, og bæresystemet skal bygges opp i en kombinasjon av massivtre og limtre. Dette bygget blir sammenlignet med en tilsvarende versjon av bygget, med bæresystem i betong. Målet er å finne kostnadsdifferansene og avgjørende faktorer for hvor mye en kan redusere klimagassutslippet som følger av materialvalg.

Det har blitt utarbeidet klimagassregnskap for begge bæresystemene ved hjelp av programmet One Click LCA. Dette programmet har også blitt benyttet til å lage et referansebygg, som representerer et estimat på de totale klimagassutslippene til et tilsvarende, komplett bygg i betong. De to klimagassregnskapene for bæresystemene har blitt sammenlignet opp mot hverandre, og opp mot det komplette referansebygget i betong. For massivtrebygget har det blitt sett på syv ulike produsenter av massivtre, som potensielle leverandører til bygget.

Det har også blitt laget estimater på merkostnadene som følger av bygging med massivtre kontra betong. To ulike estimater er lagt til grunn, hvor et er utarbeidet av oppdragsgiver og gjelder de totale entreprisekostnadene, og et er fremstilt av bachelorgruppen og omhandler materialkostnadene. Masseberegninger og Norsk Prisbok 2017 har vært utgangspunktet for sistnevnte.

Resultatene viser at en kan redusere klimagassutslippene med mellom 16,6 % og 31,0 % i forhold til totalen til referansebygget i betong, avhengig av hvilken produsent en benytter seg av. Oppdragsgiver estimerer at økningen i entreprisekostnader for massivtrebygget ligger på 18,2 %, og bachelorgruppen sitt estimat tilsier at det er en økning på 13,4 % i materialkostnadene til bæresystemet over grunnplan.

ABSTRACT

The building industry has a great responsibility in the fight against global warming, and in the last, few years there has been an increased focus on building more sustainably than before. The industry has started, and most new buildings in Norway can flag with environmental certifications or environmental profiles, which tells us how sustainable their buildings are.

This thesis is about how greenhouse gas emissions and costs are affected by a sustainable choice of materials, for a given project.

The thesis addresses a reference building at Hasle in Oslo. This building falls under the category of commercial buildings, and the load-bearing system will be built in a combination of CLT and glulam. This building is compared to a similar version of the building with a concrete support system. The goal is to find the cost differences and decisive factors that can tell how much one can reduce the greenhouse gas emissions as a result of choice of materials.

Greenhouse gas accounts have been calculated for both support systems using the One Click LCA program. This program has also been used to create a reference building, which represents an estimate of the total greenhouse gas emissions for a similar, complete building in concrete. The two greenhouse gas accounts for the load-bearing systems have been compared against each other, and against the complete reference building in concrete. For the CLT-building, seven different manufacturers of CLT have been examined as potential suppliers to the building.

Estimates have also been made for the additional costs that comes with construction in CLT versus concrete. Two different estimates have been used, one of which has been calculated by our external supervisor and applies to the total enterprise costs, and one has been made by the bachelor group for the costs of the materials. Mass calculations and the Norwegian Price Book 2017 have been the foundation for the latter.

The results show that greenhouse gas emissions can be reduced by between 16.6 % and 31.0% in relation to the total for the reference building in concrete, depending on which suppliers one uses. Our external supervisor estimates that the increase in the enterprise cost of the CLT building is 18.2 %, and the bachelor group's estimate indicates that there is an increase of 13.4 % in the material costs of the load-bearing system above ground level.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	II
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	IV
INNHOLDSFORTEGNELSE	V
FIGURLISTE	VIII
TABELLISTE	IX
VEDLEGGSLISTE.....	X
AKRONYMER.....	XI
BETYDNINGER	XI
1. INTRODUKSJON	1
1.1 Innledning.....	1
1.2 Prosjektbeskrivelse.....	2
1.3 Problemstilling.....	2
1.4 Prosjektavgrensninger.....	3
1.4.1 Referanseprosjekt HasleTre	3
1.4.2 Økonomi	4
1.4.3 Miljø.....	4
1.5 Prosjektgrunnlag.....	5
2. TEORI	6
2.1 Byggematerialer.....	6
2.1.1 Trevirke	6
2.1.2 Armert betong.....	11
2.2 Programvare.....	13
2.2.1 One Click LCA	13

2.3	Miljø	14
2.3.1	Biogent karbon.....	14
2.3.2	Livsløpsanalyse.....	15
2.3.3	EPD	15
2.3.4	BREEAM NOR	19
2.4	Intervju.....	21
2.4.1	Metoder.....	21
3.	METODE (BEREGNINGER)	23
3.1	One Click LCA	23
3.1.1	Klimagassregnskap.....	23
3.1.2	Referansebygg	23
3.2	Materialer	24
3.2.1	Bygningsdeler.....	24
3.2.2	Mengder	26
3.2.3	Produsenter.....	29
3.2.4	Produksjonsutslipp.....	31
3.3	Transport.....	33
3.3.1	Transportrute.....	33
3.3.2	Transportmiddel	34
3.3.3	Transportutslipp	35
3.4	Økonomi	36
3.5	Intervju.....	36
3.5.1	Hensikt.....	36
3.5.2	Metode.....	37
3.5.3	Valg av intervjuobjekt	37
3.5.4	Bakgrunn for spørsmål.....	38
3.5.5	Gjennomføring av intervju	40
3.6	Følsomhetsanalyse	41
3.6.1	Materialer	41

3.6.2	Transport	41
3.6.3	Økonomi	42
4.	RESULTATER.....	43
4.1	Miljø	43
4.1.1	Massivtreutslipp.....	43
4.1.2	Totalutslipp	45
4.1.3	Biogent karbon.....	48
4.2	Økonomi	49
4.2	Intervju.....	52
4.2.1	Idéfase – identifiseringsfase, mål, visjoner og rammer	52
4.2.2	Utviklingsfase - Defineringsfase, fysiske løsninger.....	53
4.2.3	Gjennomføringsfase – Detaljprosjektering, fysisk produksjon	54
4.2.4	Brukerfase – reklamasjon, evaluering	54
4.2.5	Veien videre - egne tanker.....	55
5.	DISKUSJON	56
5.1	Klimagassregnskap	56
5.1.1	Produksjonsutslipp.....	56
5.1.2	Transportutslipp	57
5.1.3	Totalutslipp	57
5.2	Økonomi	59
5.2.1	Estimater fra oppdragsgiver	59
5.2.2	Estimater fra Norsk Prisbok 2017	59
6.	KONKLUSJON.....	61
7.	INNOVASJON OG VEIEN VIDERE.....	62
8.	REFERANSER.....	64

FIGURLISTE

Figur 1: HasleTre. Illustrasjon: (Höegh eiendom, 2021)	3
Figur 2: Massivtreelement.....	7
Figur 3: Limtrebjelke i gran. Illustrasjon: Moelven.....	8
Figur 4: Illustrasjon over livsløpsyklus basert på (Standard Norge, 2018) s10	17
Figur 5: Faser i et byggeprosjekt. (Byggforsk, 1999)	39
Figur 6: Jerntriangelet. Illustrasjon: (Rolstadås, 2020).....	39
Figur 7: Produksjonsutslipp for massivtre i henhold til modul A1 – A3 for de utvalgte produsentene.....	43
Figur 8: Produksjonsutslipp for massivtre fordelt mellom modulene A1, A2 og A3... 43	
Figur 9: Transportutslipp for 646,42 m ³ med massivtre fra de utvalgte produsentene fordelt mellom tre ulike transportsenarioer.	44
Figur 10: Utslippet knyttet til produksjon og leveranse av massivtre i henhold til modul A1 – A4.	45
Figur 11: Utregnet utslipp for inkluderte bygningsdeler og differansen mellom massivtreprosjektene og betongbygget	46
Figur 12: Totalt utslipp for hvert av prosjektene fordelt på kategori.	47
Figur 13: Lagret karbon for hvert av prosjektene.	48
Figur 14: Prisdifferanse i prosent for ulike kategorier, estimert av oppdragsgiver	49
Figur 15: Prisdifferanse i prosent for entreprisekostnad, estimert av oppdragsgiver. .	49
Figur 16: Kostnader i kr for begge bæresystem over grunnplan med totale mengder.	50
Figur 17: Priser i kr/m ² for bærende systemer over grunnivå	51
Figur 18: Priser i kr/m ³ for bærende systemer over grunnivå	51
Figur 19: Totale kostnader for begge bæresystem over grunnplan.....	51
Figur 20: Prisdifferanse i prosent mellom begge bæresystem over grunnplan.	51
Figur 21: Faser i et byggeprosjekt. (Byggforsk, 1999).....	52
Figur 22: Klimagassutslipp og kostnader sett i forhold til et tilsvarende betongbygg.	61
Figur 23: Massivtreelementene har midlertidig integrerte sikkerhetsgjerder på byggeplass.....	62

TABELLISTE

Tabell 1: Sertifiseringsnivåer i BREEAM NOR (Grønn Byggallianse , 2019), s.10	19
Tabell 2: Vektingsgrader i BREEAM NOR (Grønn Byggallianse , 2019), s.12.....	19
Tabell 3: Estimert totalutslipp for et referansebygg satt opp med prefabrikkert betong.	24
Tabell 4: Oversikt over alle bygningsdeler som er med i differanseberegningene.	25
Tabell 5: Mengde betong og armering i kjelleren for både massivtre- og betongbygget.	26
Tabell 6: Mengde massivtre til dekker, vegger og trapp	27
Tabell 7: Mengde limtre til søyler og bjelker	27
Tabell 8: Mengde trefiberisolasjon	27
Tabell 9: Mengde hulldekker.....	28
Tabell 10: Mengde plasstøpt betong	28
Tabell 11: Mengde armert betong til søyler og bjelker.....	28
Tabell 12: Mengder for resterende veggkomponenter.....	28
Tabell 13: Massivtreprodusenter, deres produksjonsland og tilhørende utslipp i henhold til A1 – A3.....	29
Tabell 14: Produsentene for materialene som er inkludert i prosjektene.....	30
Tabell 15: Utslipp for materialene brukt i massivtreprosjektene utenom massivtre... 31	
Tabell 16: Utslipp for produksjon av massivtre og totalt utslipp for alle medregnede materialer i massivtreprosjektene.....	31
Tabell 17: Utslipp for alle materialer som er medregnet i betongprosjektet.....	32
Tabell 18: Distanse mellom produksjonssted for massivtreelementene og Hasle for tre transportscenarioer.	33
Tabell 19: Distanse mellom produksjonssted eller sentrallager og byggeplass for alle produsenter utenom massivtreprodusentene.	34
Tabell 20: Utslippsfaktorer for transportmidler.	34
Tabell 21: Transportutslipp for massivtreprosjektene.....	35
Tabell 22: Transportutslipp for massivtreet.....	35
Tabell 23: Transportutslipp for betongprosjektet	35

Tabell 24: Presentasjon av intervjuobjektene.	37
Tabell 25: Utslipp knyttet til transport av massivtre for de utvalgte produsentene til Hasle i Oslo.....	44
Tabell 26: Utslippet til de forskjellige prosjektene fordelt på kategori, oppgitt i tonn CO ₂ e.	45
Tabell 27: Estimert totalutslipp for hvert av prosjektene og tilhørende differanse mellom massivtreprosjektene og betongprosjektet.....	46
Tabell 28: Lagring av biogent karbon for hvert av prosjektene.	48
Tabell 29: Prisdifferanse estimert av oppdragsgiver.....	49
Tabell 30: Bærende systemer over grunnivå med totale mengder pr. Norsk Prisbok 2017	50

VEDLEGGSLISTE

1. Artikkel
2. Plakat
3. Miljø – Mengdeberegninger
4. Miljø – Produsenter
5. Miljø – Utslipp
6. Miljø – Prosjekter
7. Økonomi – Kalkyle, Oppdragsgiver
8. Økonomi – Estimat, Norsk Prisbok 2017
9. Intervju – Intervjuguide for intervjuer
10. Intervju – Intervjuguide for intervjuobjekt
11. Intervjureferat – Entreprenør 1
12. Intervjureferat – Entreprenør 2
13. Intervjureferat – Tiltakshaver

AKRONYMER

AFBO	AF Bygg Oslo
CLT	Cross-Laminated Timber (massivtre)
EPD	Environmental Product Declaration (Miljødeklarasjon)
GWP	Global Warming Potential
LCA	Life-Cycle Assessment (Livssyklusanalyse)

BETYDNINGER

KLIMANØYTRALITET

Når mengden klimagassutslipp ikke overstiger mengden som blir lagret/fjernet

LAVUTSLIPPSSAMFUNN

Samfunn hvor klimagassutslipp, basert på vitenskapelige grunnlag, global utslippsutvikling og nasjonale omstendigheter, er redusert for å motvirke skadelige virkninger av global oppvarming. (Klimaloven, 2017)

MILJØDEKLARASJON

En miljødeklarasjon er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøbelastningen til en komponent eller et ferdig produkt på en standardisert og objektiv måte. Deklarasjonene er basert på livsløpsstadiene utvinning av råvarer, prosessering, bruk, vedlikehold og livsløpets slutt. (SINTEF, u.d.)

CO₂-EKVIVALENTER (CO₂e)

Statistikk over klimagassutslipp er sammensatt av flere ulike gasser, som karbondioksid, metan, lystgass og fluorgasser. Gassene har ulik levetid og oppvarmingseffekt i atmosfæren, så for å sammenligne dem regnes de om til en felles enhet; CO₂-ekvivalenter. Omregningen er basert på oppvarmingspotensialet (GWP) til de ulike gassene for en gitt tidsperiode, normalt 100 år (Olerud & Lahn, 2020).

1. INTRODUKSJON

Dette kapitlet introduserer tematikken og problemstillingene i oppgaven. Her blir også avgrensninger og grunnlag tilhørende prosjektet defnert og utdypet.

1.1 Innledning

I 2016 underskrev Norge og 174 andre land Parisavtalen. Med den fulgte forpliktelser om å ta klimagassutslippene og global oppvarming på alvor, og innføre tiltak som er nødvendige for å gjøre landet klimanøytralt. Innen utgangen av 2030 skal klimagassutslippene være redusert med minimum 40 % sammenliknet med referanseåret 1990. Innen år 2050 skal Norge være et lavutslippssamfunn (Klimaloven, 2017).

Byggebransjen er som resten av verden inne et grønt skifte og er dermed nødt til å tenke nytt og innovativt for å redusere klimagassutslipp i alle de forskjellige seksjonene av næringen. I 2018 stod bygge- og anleggsbransjen for omtrent 39 % av CO₂-utslippene på verdensbasis (IEA , 2019). 11 % av dette går til produksjon av materialer til byggebransjen. I dag bygges det nesten ikke et bygg i Norge uten at det blir lagt vekt på å redusere klimagassutslippene og energibruk. Samtidig er det enda en faktor som det ligger mye fokus på; økonomi. Det blir ofte lagt mye vekt på kostnadsreduksjon i forbindelse med byggeprosjekter, og et viktig aspekt i den sammenheng er materialvalg. Disse to faktorene henger tettere sammen enn noen gang.

Ved å se på et referanseprosjekt med bæresystem i to ulike materialkategorier; betong og massivtre/limtre, er det ønskelig å skape et perspektiv på hvor store kostnadsdifferansene kan være, og mengden reduserte klimagassutslipp som følger av å velge massivtre/limtre.

Dersom næringen bygger mer med massivtre vil dette skape goder for flere enn bare utbygger, tiltakshaver og miljøet - det vil kunne føre til høyere etterspørsel etter massivtre og dermed bedre vilkår for økt produksjon i Norge.

1.2 Prosjektbeskrivelse

I denne oppgaven skal miljø- og økonomiaspektene ved valg av bæresystem i henholdsvis betong og massivtre sammenlignes. Det er tatt utgangspunkt i et kontorbygg som skal bygges i Oslo, med bæresystem i massivtre og limtre.

Klimagassregnskapet for det planlagte bæresystemet i trevirke og det tilsvarende bæresystemet i betong utarbeides ved hjelp av masseberegninger og leverandørvalg. Dette gjøres gjennom studentversjonen av programmet One Click LCA.

Masseberegningene, bedriften sine egne erfaringstall, og Norsk Prisbok 2017 danner også grunnlaget for et kostnadsestimat for begge bæresystemene. De følgende resultatene vil settes opp mot hverandre og de to bæresystemene blir sammenlignet.

En del av oppgaven er også å innhente meninger omkring bruk av massivtre, fra byggebransjen. Det vil i den forbindelse bli gjennomført intervjuer med personer som har relevante roller innen bransjen, og som har erfaringer med begge byggematerialer.

Målet med oppgaven er å skape et perspektiv på miljøgevinstene ved å velge et mer bærekraftig materiale i bæresystemet til et næringsbygg, og samtidig få et estimat på hvor stor kostnadsdifferansen kan være. Det er også et poeng å se hvor differansene ligger, både med tanke på kostnad og klima.

1.3 Problemstilling

Utgangspunktet for oppgaven var å sammenligne bæresystem i massivtre og betong for et storskala-bygg, og det ble senere bestemt hva fokuset i sammenligningen skulle være, samt hvilke problemstillinger det skulle nøstes opp i. Problemstillingene ble utformet i et samarbeid mellom studentene og oppdragsgiver, med bakgrunn i hvilken informasjon oppdragsgiver kunne ha nytte av, og studentene kunne ha interesse av å lære mer om. Noen av de viktigste faktorene i byggebransjen i dag er økonomi og miljø. Dette preger alle roller i en byggeprosess, og det er derfor ønskelig å finne et forhold mellom disse som viser hvor stor miljøgevinsten er som funksjon av de ekstra kostnadene. På dette grunnlaget er problemstillingene utformet som følger;

1. *Hvilke faktorer er avgjørende for prisforskjellen ved bygging med massivtre versus betong?*
2. *Hvor stort utslag vil materialvalget ha på miljøregnskapet?*

1.4 Prosjektavgrensninger

1.4.1 Referanseprosjekt HasleTre

Med hensikt å få et så konkret svar som mulig på problemstillingene er oppgaven fokusert rundt referanseprosjektet HasleTre, som figur 1 viser en modell av. Referanseprosjektet er på nåværende tidspunkt under planlegging, og skal ferdigstilles i 2022 på Haslevangen i Oslo (Höegh eiendom, 2021). Bygget har et BTA på 3025 m² fordelt på fire etasjer over bakkeplan og et kjellerplan.



Figur 1: HasleTre. Illustrasjon: (Höegh eiendom, 2021)

Det skal romme restaurantdrift i 1.etg, kontordrift i 2-, 3- og delvis 4.etg, hvor resten av 4.etg er avsatt som åpen

takterrasse. Byggherre ser for seg at bygget skal reises i materialer med lavt klimagassutslipp og ha innovative løsninger med mulighet for demontering og gjenbruk av byggematerialene etter endt livsløp (Höegh Eiendom, u.d.).

Ved å sette søkelys på et spesifikt byggeprosjekt vil sammenligningen mellom bæresystemene kunne bli mer troverdig og spesifikk, en såkalt 1:1-sammenligning.

Det skal også være nevnt at referanseprosjektet skal utformes som en speilvending av et eksisterende nabobygg. Dette er en privat idrettsungdomsskole som ble ferdigstilt i 2018, med bæresystem i betong. Med fravikende arealplaner og funksjoner i forhold til referanseprosjektet vil ikke masseberegningene til bæresystemet fra dette bygget bli benyttet i oppgavens metodikk, men forskjellene i preanalysene til de to byggene vil bli kartlagt. I denne sammenheng representerer en preanalyse et estimat på poeng-beregning i BREEAM NOR-systemet. Det framkommer her hvilke områder det er ønskelig å fokusere på for å oppnå ønsket sertifiseringsnivå gjennom et minstekrav til poengsum.

For HasleTre er målet å oppnå nivå *Excellent* i BREEAM-NOR. For Wang Ung var målet *Very good*, noe som ble innfridd ved ferdigstillingen av bygget.

I oppgaven blir det sett på materialbruk i bæresystemet til referansebygget. Det skal kartlegges hvilket klimagassutslipp bygget vil ha dersom det blir bygget med

bæresystemet i prefabrikkert betong, og dersom det blir bygget med bæresystem i en kombinasjon av massivtre og limtre. Disse resultatene skal så sammenlignes, for å kunne framlegge differansen materialvalget kan utgjøre på klimagassregnskapet.

1.4.2 Økonomi

Målsetningen når det gjelder økonomiaspektet, er å finne ut hvor store de økonomiske forskjellene er som følger av å velge massivtre som bærende materiale, sammenlignet med betong.

En generell oppfatning er at massivtre er et materiale som er raskere å bygge med, noe som kan føre til kostnadsreduksjoner i utførelsesstadiet. Hvor stort arbeids- og tidsomfanget er i de ulike fasene til et prosjekt avhenger i stor grad av den enkelte konstruksjonen. Beliggenhet, areal, materialvalg og funksjon er faktorer som spiller store roller her.

I denne studien har ikke alle konkrete kostnadsverdier vært tilgjengelige. En av grunnene til dette er at prosjektet er i skissefasen, og det derfor ikke foreligger konkrete data på alle elementer – kun estimater basert på oppdragsgiver sine erfaringer og tilbud som er gitt. Essensen i problemstillingen som angår det økonomiske, er likevel å finne et svar på hvilke faktorer som er avgjørende for prisforskjellen som følger av materialvalg til bæresystemet. Dette gjøres gjennom en økonomisk kalkyle som er inndelt i ulike poster. Siden bygget ikke er reist enda, er det vanskelig å si noe om kostnader tilknyttet byggetid. Det vil også bli utarbeidet et estimat for materialkostnadene basert på mengder og verdier fra Norsk Prisbok 2017.

1.4.3 Miljø

Hvor stor forskjell vil valg av bæremateriale ha på klimaavtrykket til bygningen? For å kunne svare på dette spørsmålet blir det satt opp klimagassregnskap for et bæresystem i trevirke og et tilsvarende i betong. Klimagassregnskapet blir utarbeidet i programvaren One Click LCA, som tar utgangspunkt i aktuelle produsenter, transportmetoder og -distanser. Ved denne metoden får en avdekket klimagassutslippet basert på materialene og produsentene en velger, og levetiden til bygget. Her kommer det også fram at et og samme materiale kan etterlate seg en variabel mengde CO₂ basert på hvem som produserer og leverer det. Ulike produksjonsprosesser, bruk av fornybar

eller ikke-fornybar energi og drivstoff til transport er eksempler på variabler som kan skille mellom størrelsen på fotavtrykkene til materialene som blir levert på byggeplass.

1.5 Prosjektgrunnlag

For å kunne gjennomføre sammenligningen har gruppen hovedsakelig basert seg på tildelt litteratur og dokumentasjon fra oppdragsgiver. Dette innebærer blant annet miljøfokusede preanalyser av referanseprosjektet samt det speilvendte nabobygget i betong. En slik preanalyse er laget for å kartlegge hvilket grunnlag bygget har til nivåsertifisering innen BREEAM NOR-systemet. En slik analysing gjennomføres gjerne flere ganger i løpet av byggeprosessen for å følge opp eventuelle endringer.

I tillegg til preanalyser, har oppdragsgiver også stått for mengdeverdier og estimat på de økonomiske ulikhetene mellom bæresystemene i massivtre og betong for referanseprosjektet. Norsk Prisbok 2017 har også blitt benyttet for å estimere kostnadsforskjellene for bygningsdelene i bæresystemet. Som grunnlag for klimagassberegninger er programvaren One Click LCA blitt benyttet.

2. TEORI

Dette kapittelet presenterer det relevante bakgrunnsmateriale som er nødvendig for å kunne finne svar på problemstillingene som ble definert i foregående kapittel. Det blir samtidig gjort rede for de metodene og verktøyene som er tatt i bruk i neste kapittel.

2.1 Byggematerialer

2.1.1 Trevirke

Trevirke er et byggemateriale med lange tradisjoner i Norge. Det er en organisk og fornybar ressurs med gode mekaniske egenskaper. Trevirke har lav egenvekt sammenlignet med andre byggematerialer som betong og stål, men fortsatt gode nok statiske egenskaper til at materialet har et bredspektret bruksområde. Tradisjonelt sett har materialet likevel vært konsentrert mest rundt bygging av boliger og mindre konstruksjoner. Årsaker til dette kan være større begrensninger i spennvidder og at materialet er mer brennbart sammenlignet med for eksempel betong som ofte brukes i store bygninger og konstruksjoner for øvrig.

I nyere tid har dog treindustrien tatt noen store sprang i utviklingen, som øker potensialet til utvidelse av bruksområder.

Kompositter er materialer som er sammensatt av minimum to ulike materialer for å oppnå ønskede egenskaper. Massivtre og limtre er begge eksempler på dette.

Framstilling

Den industrielle produksjonen av trevirke består av bearbeiding av råmateriale, produktframstilling og behandlingsprosess. I mange tilfeller blir biprodukter fra bearbeidingen, som spon og flis, benyttet til energiproduksjonen som er nødvendig for driften.

Massivtre

Massivtre er en samlebetegnelse på trelameller som sammenføres og danner elementer som kan brukes som bærende bygningsmateriale. Elementene består vanligvis av 2 - 9 lameller, som blir sammenføyd ved hjelp av lim, tredybler, skruer eller lignende (Byggforsk, 2020). Massivtreelementer kan deles inn i tre ulike kategorier; kantstilte-, krysslagte- og hulromselementer. Forskjellene mellom kategoriene er definert av hvordan elementene er sammensatt.

I denne oppgaven er det hovedsakelig krysslagte elementer som er aktuelt, og videre i oppgaven er det dette som menes med massivtreelementer. Massivtre, som også kalles «krysslaminert trevirke» eller «KLT», er sammensatt av lameller i tre som blir sammenføyd på *tvers* av fiberretningen til forrige lag, slik som vist i figur 2.



Figur 2: Massivtreelement.
Illustrasjon: (Technology In
Architecture, 2018)

Dimensjonene på elementene varierer med prosjekt og bruksområde, men tykkelsen ligger som oftest mellom 60 og 300 mm, og lengde per element er omtrent 16 m. Dimensjoner som tykkelse, bredde og høyde på elementene blir ofte tilpasset det enkelte prosjekt. Det er også vanlig at elementene leveres med ferdige hull til åpninger for dører og vinduer. Massivtre er vanligvis framstilt av treslag som gran, furu, osp, bjørk og eik (TreFokus AS, u.d.).

Massivtre ble innført som et byggemateriale for storskala-bygg i Norge i 2005 da ungdomsboligene på Svartlamoen i Trondheim stod klare (Forskning.no, 2018). Det første store massivtrebygget i Norge av *norsk tømmer* ble bygget i 2019 (Granås, 2019).

Limtre

NS-EN 14080:2013 beskriver limtre som et «strukturelt treelement sammensatt av minst to tilnærmet parallelle laminerings som kan bestå av ett eller to bord side om side med ferdige tykkelser fra 6 mm opp til 45 mm».

Bordene lamineres med andre ord sammen parallelt med fiberretningen til treet, slik som vist i figur 3. Et tverrsnitt

av limtre er som oftest sammensatt av trematerialer av to forskjellige fasthetsklasser, der de ytterste bordene er av den høyeste fasthetsklassen. (Trefokus, u.d.). Bordene

kan fingerskjøtes for å oppnå ønsket lengde (SNL, 2019). Forskjellige typer lim kan også gi limtreet ulike egenskaper og bruksområder. Limtre benyttes ofte som bærende komponenter i form av søyler eller bjelker.



Figur 3: Limtrebjelke i gran.

Illustrasjon: Moelven

Egenskaper

Statikk

Trevirke har svært gode bærende egenskaper i forhold til egenvekt. Massivtreelementer kan produseres som både bærende eller ikke-bærende bygningsdeler, og kan tilpasses ulike lasttilfeller. Siden lamellene skal sammenføres på tvers av fiberretningene til hverandre, er det ingen gjennomgående «svak» akse i elementene. Dette resulterer i et svært sterkt og solid materiale med lav egenvekt. Elementene kan også bli benyttet til avstivende formål (Time & Geving, 2021). Limtre benyttes som oftest i produksjon av bærende bjelker og buer. Laminering og fingerskjøting gjør bygningsdelene sterke og fleksible når det kommer til lengder, tykkelser og geometrisk form (SNL, 2019). Limtre er derfor ofte benyttet der det er ønskelig med bærekonstruksjoner i tre kombinert med store spenn.

Brann

Tre er som kjent et brennbart materiale, som blir forkullet gjennom et brannforløp. Hvor stor brannmotstand et massivtrebygg har, avhenger av totalløsningen i bygget (SINTEF, 2020). Dette innebærer faktorer som hvilket lim som er benyttet i lamineringen,

tykkelsen på elementene og om treet er direkte eksponert til inn- eller utsiden av konstruksjonen. Krav til brannmotstand skal i alle tilfeller tilfredsstille byggteknisk forskrift. Dette kan føre til at treet må tildekkes av materialer med bedre brannhemmende egenskaper, som for eksempel gips eller brannimpregnering.

En stor fordel med trevirke i forbindelse med brann er forutsigbarheten. Det er kjent av tre antenner når alle de nødvendige faktorene er til stede for det, og det sprer seg og brenner med jevn hastighet ved et naturlig brannforløp. Etter hvert som treet brenner, vil det forkulle seg fra yttersiden og innover. Det forkullede laget har en beskyttende effekt på trevirket som ligger bak. Tre har heller ikke spesielt gode varmeledningsevner (Pedersen, 2020), som er forbundet med en viktig brannteknisk egenskap: integritet.

Akustikk

Massivtre har større isolasjonseffekt mot både luftlyd og trinnlyd enn tradisjonelle bjelkelag og stenderverk i tre, som følger av tyngden sin (Norsk treteknisk institutt | Trefokus, 2011) men materialet er også fire til fem ganger lettere enn betong (Sweco, 2020), som igjen gir det dårligere akustiske egenskaper sammenlignet. For å sikre at lydkravene fra teknisk forskrift blir innfridd, er det essensielt med god planlegging i et så tidlig stadium av byggeprosessen som mulig. Dette gjelder spesielt i konstruksjoner hvor det er ønskelig med synlige overflater av massivtre innvendig.

Miljø og gjenvinning

Framstillingen av treprodukter trenger i utgangspunktet ikke å være en veldig energikrevende prosess (Norsk treteknisk institutt | Trefokus, 2011), men ettersom produsenter kan benytte ulike løsninger og energikilder internasjonalt, varierer også klimagassutslipp per mengde ferdig materiale fra produsent til produsent.

Det meste av massivtre og limtre gjenbrukes ikke per dags dato, det går til energigjenvinning hvor materialet blir brent som avfall. En av grunnene til hvorfor trevirket ikke blir gjenbrukt kan være at elementene ofte er spesialtilpasset til hvert enkelt prosjekt, og dermed ikke er «universale» nok til å enkelt kunne bli tilpasset et nytt prosjekt. En annen grunn er at materialene i mange tilfeller kan være behandlet med stoffer som ansees som farlige, som maling eller impregneringsvæske, og trevirket blir dermed sortert som farlig avfall.

«Rent» trevirke har stort potensiale for gjenbruk. Det kan blant annet bli brukt til å lage nye materialer eller møbler, eller det kan gjenbrukes som det er. Tre i seg selv er også en fornybar ressurs med naturlig opphav. Materialet lagrer også karbon gjennom sitt livsløp, men når trevirket blir brent blir det lagrede karbonet frigitt. Dette blir videre utdypet i 2.2.1.

Diskusjon

Fra et miljøperspektiv ville det vært svært attraktivt å få innført mer trematerialer i byggingen av storskala bygg. Materialene holder på lagret karbon (biogent karbon) gjennom hele sin levetid og krever lite energi i framstillingsprosessen sammenlignet med andre materialer. Materialene krever i de fleste tilfeller lite bearbeiding dersom de ikke skal ha spesielle egenskaper. Bruken av materialet for andre hensikter enn estetikk og beskyttelse i forbindelse med store bygg er ikke spesielt utbredt i Norge per dags dato, og erfaringene i den sammenheng er dermed også begrenset. Prefabrikkerte løsninger for å innfri krav til brann og akustikk er det også begrenset med, spesielt dersom massivtreet skal være synlig innvendig i konstruksjonen.

Materialet er trolig mest utbredt i forbindelse med bygging av studentboliger i Norge, og til dels offentlige bygg som eldreboliger og skoler (Aasheim & Lier, 2017). Fellesnevneren mellom disse typer bygg er at de gjerne har tilnærmet lik arealinndeling i overliggende etasjer, noe som er ansett som fordelaktig da massivtrebygg ofte fører lastene ned gjennom bærende vegger.

Det er ulike meninger om bruk av trematerialer som eksponeres innvendig, er bedre enn andre tradisjonelle materialer for ulike aspekter av inneklima. Det er ikke funnet mange studier på dette som ansees å være av sikre kilder, men det er et område det blir forsket mye på. Thormod Aurlien, professor i byggteknikk, mener at inneklimaet vil preges av hvilken tresort materialet er framstilt fra. Han hevder at gran for eksempel er bedre for inneluft enn furu, da furu avgir terpenener til innelufta, som ikke er bra for mennesker (Cathrine Glosli, 2018).

Dersom treet eksponeres ubehandlet, er det dog i stand til å «puste». Det kan trekke til seg, og avgi fuktighet til omgivelsene, som er veldig positivt da en ikke får de samme ekstremverdiene på høy- og lav luftfuktighet i rommet. Grønn materialguide, som er

utformet gjennom et samarbeid mellom Grønn Byggallianse og Context AS, hevder at limet kan avgi emisjoner dersom materialene blir fuktig. Dette gjelder for øvrig kryssfinerplater, som er bygget opp på tilsvarende måte og med de samme tresorter som massivtre, (Grønn Byggallianse;Context, 2020).

2.1.2 Armert betong

Definisjon og framstilling

Naturmaterialet betong framstilles ved å blande vann, sement og tilslag til en flytende masse som kan formes etter ønske og som vil herde over tid. (SNL, 2019).

I framstilling av sement blir først kalkstein brent på omtrent 1450 grader celsius, sammen med råmaterialer som for eksempel sandstein og skifer. Dette blir så til klinker, som igjen males opp, blandes med gips og blir til sement (Årtun & Nesse, 2021).

Det faktum at materialet er flytende til å begynne med gjør at det har svært stort anvendelsesområde, og under herdeprosessen oppnår materialet høy styrke og bestandighet. Betong er et av de mest anvendte byggematerialene i verden per dags dato (SINTEF Community, u.d.).

I denne oppgaven er det i hovedsak prefabrikkert betong som skal benyttes i sammenligningen. Dette er som ordlyden sier, elementer som er ferdig støpt og herdet på fabrikk før de kommer monteringsklare til byggeplass. Dette gjør byggeprosessen på byggeplass effektiv og kontrollert. Søyler og bjelker leveres i prefabrikkert betong, sammen med hulldekkeelementer til etasjeskillerene over grunnplan. Hulldekkeelementene er rektangulære plater som støpes på fabrikk og har sirkulære luftkanaler som går langs lengderetningen på elementene. Denne type bæresystem er svært vanlig i kontor- og industribygg. På grunn av de åpne kanalene i elementene oppnår de lavere egenvekt enn massive betongelementer av tilsvarende størrelse. Prefabrikkerte betongelementer kan leveres i ulike kvaliteter som tilpasses bruksområdet, med variabler i trykkfasthet og bestandighet.

Statikk

Armert betong har svært gode statiske egenskaper. Det er enestående når det kommer til større spenn i forskjellige konstruksjoner og brukes derfor i stor grad i industri- og næringsbygninger. Betong er et materiale med høy massetetthet og dermed egenvekt. Materialet tillater høy fleksibilitet, da det kan tilpasses til bæring over store spennvidder. Betong blir brukt i både innvendige og utvendige konstruksjoner.

Brann

Betong brenner ikke, og har dermed brannhemmende egenskaper både som primær- og sekundærmateriale i en bygningsdel. Men materialet har en gjennomsnittlig høy varmeledningsevne, og god termisk kapasitet (SINTEF Byggforsk, 2018), noe som kan være utfordrende i forbindelse med brannsikring.

Akustikk

Betong har varierte akustiske egenskaper, fordelt på de ulike støykildene. Det har gode egenskaper når det gjelder luftlydisolasjonen, som følger av tyngden. Luftlydisolasjonen øker med tykkelsen på bygningsdelen (Thue, 2019).

Materialet har derimot dårlige egenskaper for å håndtere strukturlyd, da det nesten ikke demper svingninger i det hele tatt (Thue, 2019).

Miljø og gjenvinning

I produksjonsprosessen til betong, står sementen for om lag 90 % av klimagassutslippene (Kvellheim, 2020).

Betong som ikke er forurenset, kan gjenbrukes etter byggets endte levetid. Betongen rives eller demonteres for deretter å knuses opp. Eventuell armering skilles ut og leveres til stålgjenvinning. Den knuste betongen kan få nye bruksområder som masser i forsterkningslag eller bærelag i veikonstruksjoner, i fyllinger rundt infrastrukturinstallasjoner eller i dreneringsarbeider (Norsk betongforening, 2018). Dersom betongen er forurenset i noen grad, skal den disponeres videre som forurenset avfall.

Diskusjon

Betong er et materiale med svært gode statiske og formbare egenskaper. Det har lang fartstid i byggebransjen og er utbredt verden over. Materialet krever lite vedlikehold i løpet av levetiden, og er svært bestandig mot utvendige faktorer som vær og vind. Betong er heller ikke brennbart, men kan ved brannforløp få svekket bæreevne og sprekker. Som følger av tyngden og massetettheten til betong, kan en oppnå god luftlyddemping gjennom bygningsdeler av betong, men strukturlyd må bli tatt hånd om av andre materialer eller løsninger som kan stanse svingninger i konstruksjonen. Betong er et materiale med stort klimaavtrykk, hovedsakelig som følger av sementproduksjonen som krever store mengder energi til brenning av kalkstein på svært høy temperatur.

Betong som når slutten på livet-stadium kan resirkuleres dersom den ikke er tilsatt forurensninger i sin levetid. Den kan knuses og benyttes til veiproduksjon, eller som fyllmasser i andre aktuelle prosjekter. Betong har gode varmeledningsevner og termisk kapasitet, som kan være gunstig for lagring av varme, men utfordrende i forbindelse med brannsikring.

2.2 Programvare

2.2.1 One Click LCA

One Click LCA er et program som kan benyttes til å beregne klimagassutslippet til forskjellige produkter og prosesser i byggenæringen. Ved hjelp av miljødeklarasjoner (EPD), levetid, areal og beregnet energiforbruk får en identifisert hvordan klimagassutslippet er fordelt i de ulike kategoriene. Programvaren kan benyttes til å beregne miljøkonsekvenser innen infrastruktur, produktframstilling og bygninger. I denne oppgaven er kun sistnevnte funksjon av programmet benyttet. Programmet kan benyttes til å sammenligne ulike utgaver av samme bygg.

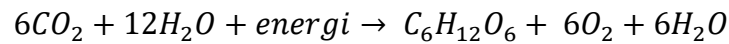
Dette verktøyet kan gi klare tall på hvilke konsekvenser valg av produsent, transport, materialer og byggteknikk kan ha for miljøregnskapet til bygningen. Med utgangspunkt i «*NS 3720:2018 – Metode for klimagassberegninger for bygninger*» beregnes utslipp for alle stadier i bygningens livsløp. Standarden deler bygningens livsløp inn i produkt-,

gjennomførings-, bruks- og sluttstadiet. Av disse anses den første å være mest aktuell å ta for seg i denne oppgaven.

2.3 Miljø

2.3.1 Biogent karbon

Gjennom fotosyntesen tar voksende trær opp CO₂, H₂O og solenergi. En fjerdedel av oksygenmengden, halvparten av karbonet i CO₂ og halvparten av hydrogenet i H₂O danner glukose (C₆H₁₂O₆) og bindes i treet. Det resterende oksygenet og vannet frigis (UIO, 2011). Solenergi blir på denne måten omgjort til kjemisk energi. En forenkling av den kjemiske reaksjonen kan se slik ut:



På denne måten lagrer trær karbon fram til de blir brent eller nedbrutt og karbonet dermed blir frigitt. Det lagrede karbonet kalles «biogent karbon» i forbindelse med klimagassregnskap. Dersom en skal ta mengden lagret karbon med i klimagassregnskapet til materialutvinningen, vil dette i så fall telle i «minus» med hensyn til klimagassutslippene som følger av bearbeidingen av materialene. De fleste miljødeklarasjoner som materialprodusentene selv lager, har tatt med biogent karbon i sitt klimagassregnskap. Dette resulterer som oftest i et klimapositivt miljøregnskap. Når det kommer til biogent klimagassregnskap, er det viktig å huske på at det lagrede karbonet blir frigitt ved nedbrytning eller brenning av de organiske materialene. Bidraget er altså klimapositivt så lenge materialene er i bruk, men dersom de ikke blir gjenbrukt etter byggets endte levetid, vil altså dette bidraget bli nullet ut på dette tidspunktet.

I programmet One Click LCA, som i stor grad baserer beregningene sine på EPD-er, er ikke biogent karbon tatt med i totalen. De opererer altså kun med CO₂e-mengder som følger av produksjon og transport av materialene samt det som er knyttet til «slutten av livet», som i de fleste tilfeller representerer riving og energigjenvinning i form av forbrenning.

2.3.2 Livsløpsanalyse

Livsløpsanalyse, også omtalt som livsløpsvurdering, er i NS-EN ISO 14044 definert som en «Sammenstilling og evaluering av inngangsfaktorer, utgangsfaktorer og de potensielle miljøpåvirkningene til et produktsystem gjennom dets livsløp.»

En livsløpsanalyse er en mengde samlet data som er tilknyttet et produkt. I denne sammenheng er det miljøkonsekvenser tilknyttet en bygning. Materialer, transport og bygg- og anleggsvirksomhet analyseres med hensyn på klimagassutslipp, og utgjør en total for ferdigstilling og riving av bygningen. Energibruken til bygget gjennom brukstiden skal også telles med i klimagassregnskapet. Dermed er også levetiden til bygningen relevant for livsløpsanalysen.

NS 3720 – Metode for klimagassberegninger for bygninger

NS 3720:2018 er en norsk standard som er utviklet for å kunne systematisk beregne og dokumentere klimagassutslipp for individuelle byggeprosjekter. Dette er en metode som skal sørge for at miljøregnskaper skal være objektivt sammenlignbare, og uavhengig av bransje, produsent og beregningsverktøy (Standard Norge, 2018).

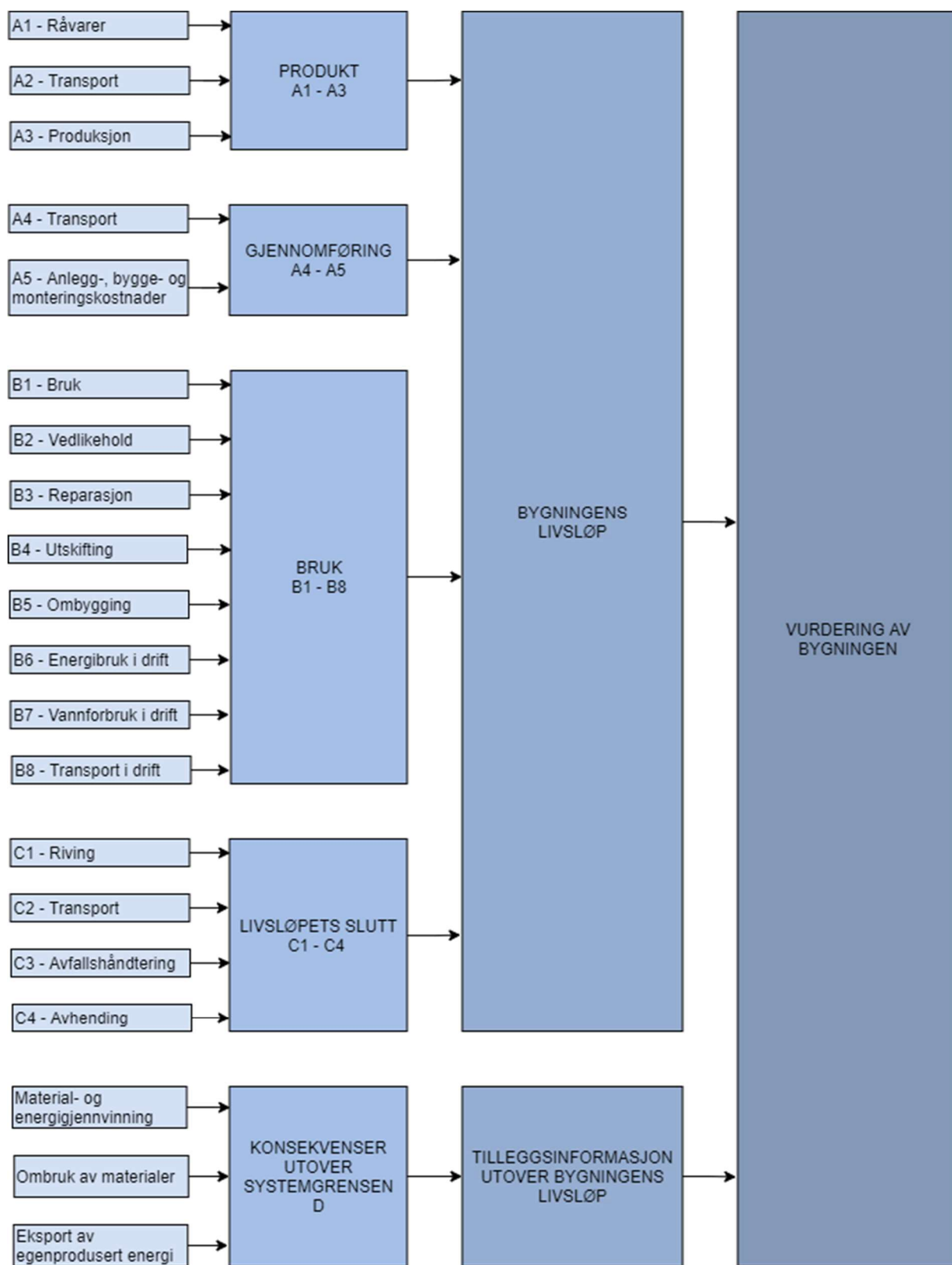
Standarden kan brukes for nybygg, ombygging og rehabilitering av eksisterende bygninger. De funksjoner som er tatt i bruk i One Click LCA i denne oppgaven, baserer seg hovedsakelig på denne standarden.

2.3.3 EPD

For å beregne klimagassutslippene som følger av bygningsmaterialer baserer programvaren seg på EPD-er. Dette er miljødeklarasjoner som produsenter utarbeider for produktene de selger, altså i produktstadiet (Se figur 4). EPD-ene skal framlegge produktenes LCA etter ISO 14040-14044 (EPD Norge, u.d.). Ved at alle produsentene må følge en gitt standard ved utforming av en EPD, skapes et troverdig grunnlag for å kunne sammenligne det gitte produktet opp mot andre tilsvarende produkter med EPD-er, med hensyn på miljø.

Et produkt sin EPD skal avdekke klimagassutslippene i de forskjellige stadiene i levetiden til produktet. Figur 4 på neste side viser et flytdiagram basert på NS 3720 og

illustrerer en oversikt over de forskjellige modulene livsløpet til et bygg er delt inn i. Modulene representerer de ulike fasene innen planlegging, bygging og drift av et bygg. De fleste EPD-er for bygningsmaterialer dekker i hovedsak A- og C-modulene, men også modulene B2 - B4 (vedlikehold, reparasjon og utskifting) kan være aktuelle faktorer å dekke i enkelte tilfeller hvor dette er relevant. I denne oppgaven er det modulene A1 – A4 som er aktuelle.



Figur 4: Illustrasjon over livsløpsyklus basert på (Standard Norge, 2018) s10

A1 – Råvarer

Modul A1 er en bred kategori som varierer i omfang fra produkt til produkt. Innunder «råvarer» inkluderes alt av utslipp som ingrediensene til det endelige produktet står for, før det transporteres til siste produksjonslinje.

For sammensatte treprodukter som massivtre- og limtreelementer inneholder A1 utslippet fra anskaffelsen av tømmer i naturen, transport til sagbruk og produksjonen av ferdige bord. A1 vil i gitt tilfelle inkludere utslipp knyttet til produksjon av lim og emballasje i tillegg. Det er innunder denne modulen biogent karbon i visse tilfeller subtraheres.

A2 – Transport

I hele livsløpet finnes det flere transportmoduler. A2 inkluderer utslippet i forbindelse med siste transportetappe for råvarene, mot den endelige produksjonslinjen for sluttproduktet. For massivtreprodusentene varierer utslippet fra denne modulen i større grad, da det avhenger av fabrikkens avstand fra sagbruk og transportmetode.

A3 – Produksjon

Alt av utslipp i forbindelse med ferdigstilling av produktet; fra råvarene er ankommet produsent, til den endelige leveransen er klar for videre transport, inngår i A3-modulen; produksjon.

A4 – Transport

Denne transportmodulen inneholder utslippet fra fremkomstmiddelet som frakter produktet fra produsent til kunde. I et byggeprosjekt vil denne modulen omfatte utslippet til materialtransporten fra fabrikk eller sentrallager til byggeplass.

2.3.4 BREEAM NOR

BREEAM NOR er den norske versjonen av miljøsertifiseringssystemet BREEAM for bygninger. Sertifiseringsordningen, som forvaltes av Building Research Establishment (BRE) i Storbritannia, har blitt verdensledende innen bærekraftsvurdering av bygg (BREEAM, u.d.). De fem forskjellige sertifiseringsnivåene skiller seg fra hverandre med ulike minstekrav til prosentverdi som vises i tabell 1. Prosentverdiene baserer seg på antall inntjente poeng i ulike kategorier. Innen hver kategori kan en ved å tilfredsstillere kriterier innen ulike emner, oppnå et gitt antall poeng. Alle kategorier har en tilhørende vektingsgrad (se tabell 2), slik at likt antall poeng fra to ulike kategorier kan veie ulikt i regnskapet for totalsummen. Samlet prosentandel medregnet vektning for alle kategoriene, avgjør sertifiseringsnivået til bygget (Grønn Byggallianse, u.d.).

Tabell 1: Sertifiseringsnivåer i BREEAM NOR (Grønn Byggallianse, 2019), s.10

Sertifiseringsnivå	Poenggrenser i %
Outstanding	≥ 85
Excellent	≥ 70
Very good	≥ 55
Good	≥ 45
Pass	≥ 30

Tabell 2: Vektingsgrader i BREEAM NOR (Grønn Byggallianse, 2019), s.12

Rangering	Kategori	Vektingsgrad i %
1	Energi	19
2	Helse og innemiljø	15
3	Materialer	13.5
4	Ledelse	12
5	Arealbruk og økologi	10
6	Transport	10
7	Innovasjon	10
8	Forurensning	8
9	Avfall	7.5
10	Vann	5

En av de ti kategoriene BREEAM tar for seg er materialer. Herunder inngår faktorer som EPD, LCA og ansvarlig materialinnkjøp. Denne kategorien er ikke nødvendigvis kun basert på at en er forpliktet til å velge de mest miljøvennlige materialene for å oppnå poeng, men også på bevisstgjøring og dokumentasjon av materialenes livsløp, miljøsertifisering, robusthet og gjenvinningsgrad. Kategorien er delt opp i tre underkategorier;

Mat 01: Bærekraftige materialvalg

Mat 03: Ansvarlig innkjøp av materialer

Mat 05: Robust konstruksjon

Mat 01 ((Grønn Byggallianse , 2019)s.193) er den mest omfattende underkategorien av disse og vil bli videre utdypet i dette delkapitlet. Kategorien er delt opp i kriterier til miljødeklarasjoner (EPD), ytelseskrav (miljømerking), livsløpsvurdering (LCA) av bygget og reduksjon i klimagassutslipp.

For å oppnå kreditering innen miljødeklarasjoner, må en kunne framlegge minimum 15 EPD-er for ulike materialer til gitte bygningsdeler. For at en EPD skal være «lovlig» å bruke, må produktet den tilhører utgjøre minimum 25 % av vekten, mengden eller arealet til bygningsdelen den tilhører. En EPD som tilhører et materiale som blir benyttet i ulike bygningsdeler, telles kun én gang i forbindelse med sertifiseringen, uavhengig om det opereres med ulik tykkelse eller tetthet av materialet i flere bygningsdeler.

Kriteriene for ytelseskrav er av samme oppbygning som sistnevnte. Her må det vises til minimum 10 produkter som er miljømerket i henhold til EU-regelverk i egen produktkategori. Produktene må være en del av overordnede bygningsdeler slik som inner- eller yttervegger, dekker, trapper etc.

Det neste punktet i mat 01 er å gjennomføre en livsløpsvurdering (LCA) av bygget. Denne må utarbeides etter forhåndsbestemte kriterier. Et eksempel på et verktøy som kan bli benyttet til dette formålet er One Click LCA, slik som det er gjort i denne oppgaven.

Det siste punktet handler om reduksjon i klimagassutslipp. For at dette skal kunne bli dokumentert på riktig grunnlag skal det lages en LCA av et *referansebygg*. Dette bygget

skal tilsvare «gjennomsnittet» av klimagassutslipp på et bygg av samme størrelse og type som det som skal bli bygget. Dersom en klarer å bygge det med en minimumsreduksjon på 20 % i klimagassutslipp i forhold til referansebygget, vil dette bli kreditert i BREEAM NOR-systemet. Denne funksjonen i One Click LCA er også relevant for oppgaven, og vil bli utdypet i neste kapittel som omhandler metoder.

2.4 Intervju

2.4.1 Metoder

Induktiv og deduktiv metode

Innen vitenskapelig metode er det vanlig å skille mellom induktiv- og deduktiv metode. Induktiv metode søker «allmenne» sannheter, som reflekterer empirisk data (Bøhn, 2019). Resultatene trenger dermed ikke å bunne ut i vitenskapelige fakta, noe som medfører en gitt usikkerhet til sannheten. Deduktiv metode på den andre siden søker faktabaserte sannheter, som ofte er begrunnet på vitenskapelig grunnlag; slik som i sammenheng med for eksempel matematikk.

Kvalitativ og kvantitativ metode

Når en skal samle inn data til forskningsarbeid, kan det gjøres med to ulike modeller; kvantitativ eller kvalitativ metode. Hvilken modell som blir valgt bør reflektere hvilket resultat det er ønskelig å sitte igjen med til slutt.

Kvantitativ metode baserer seg på at data samles inn i form av forhåndsbestemte skalaverdier; som for eksempel med tall (Grønmo, 2020). Deltakerne får da en påstand eller et spørsmål og svarer ved å velge mellom de forhåndsbestemte skalaverdiene.

Dette passer bra til store målgrupper, og svarene er direkte sammenlignbare med hverandre da alle som blir spurt har like svaralternativer. På denne måten blir resultatet ofte en statistikk, hvor resultatene gjerne kan sorteres og analyseres basert på de ulike gruppene en kan dele spørreobjektene inn i.

Kvalitativ metode, på den andre siden, definerer undersøkelser hvor målet er å samle inn dybdekunnskap angående en spesifikk case eller kontekst (Grønmo, 2020). Dataen samles som oftest inn i form av tekst, og svarene er gjerne mer utdypet enn de normalt er ved

bruk av kvantitativ metode. De individuelle erfaringer og meninger innen et relativt bredt, men definert område, samles inn og kan dermed bli sammenstilt og sammenlignet opp mot hverandre. Tilliten til om resultatene er representativ for en større gruppe, avhenger av hvor konkrete spørsmålene er og antall personer som har deltatt i forskningsopplegget.

Kvalitativ metode, på den andre siden, definerer undersøkelser hvor målet er å samle inn dybdekunnskap angående en spesifikk case eller kontekst (Grønmo, 2020). Dataen samles som oftest inn i form av tekst, og svarene er gjerne mer utdypet enn de normalt er ved bruk av kvantitativ metode. De individuelle erfaringer og meninger innen et relativt bredt, men definert område, samles inn og kan dermed bli sammenstilt og sammenlignet opp mot hverandre. Tilliten til om resultatene er representativ for en større gruppe, avhenger av hvor konkrete spørsmålene er og antall personer som har deltatt i forskningsopplegget.

3. METODE (BEREGNINGER)

I dette kapitlet blir beregningsdata framlagt. Dette innebærer både data inn og ut, og danner grunnlaget til resultatene som blir presentert i det neste kapitlet. Fremgangsmetoder og bruk av forskjellige verktøy defineres samt usikkerhetene som følger av de.

3.1 One Click LCA

3.1.1 Klimagassregnskap

I One Click LCA er det utarbeidet klimagassregnskap for åtte forskjellige prosjekter som sammenlignes opp mot hverandre. Ett av prosjektene omhandler betongbygget, mens resten av prosjektene er for massivtrebygget der kun produsent av massivtreelementer skiller dem. Intensjonen med regnskapet er å finne differansen i klimagassutslipp mellom de forskjellige prosjektene. Nødvendig data for å kunne utarbeide klimagassregnskap i One Click LCA innebærer hvilke bygningsdeler som skal inkluderes, mengden materialer som skal benyttes, produsenten av disse materialene samt transportmiddel og distanse for disse til byggeplass.

Resultatene som til slutt er hentet ut fra programvaren er klimagassutslipp for produksjon av materialene (modul A1 - A3 i figur 4) og transport til byggeplass (modul A4 i figur 4), altså fra vugge til tomt. One Click LCA er også brukt til å sammenligne klimagassutslippet for forskjellige transportsenarioer for massivtreelementene fra Tyskland, Østerrike og Sveits.

3.1.2 Referansebygg

One Click LCA har et verktøy for å lage referansebygg til prosjektene man har opprettet. Verktøyet, som kalles «Carbon Designer», er laget for at en enkelt skal kunne simulere hvilke innvirkninger ulike valg vil ha på klimagassregnskapet til bygningen. Ved å legge inn grunnleggende data om prosjektet, som vist i tabell 3, lager programmet et gjennomsnittlig referanseprosjekt basert på tilsvarende bygg. Her kan en variere med for eksempel materialvalg. (One Click LCA, 2020)

I oppgaven er denne funksjonen benyttet til å estimere totalutslippet til et tilsvarende kontorbygg med prefabrikkert betong som konstruksjonsmateriale. Verktøyet tar utgangspunkt i at bygningen har kompakt bygningsform og at betongen er av type lavkarbon klasse B, noe som samsvarer godt med det gitte bygget oppgaven tar for seg.

Tabell 3: Estimert totalutslipp for et referansebygg satt opp med prefabrikkert betong.

Kontorbygg av prefabrikkert betong	
Bygningstype	Kontorbygning
Bruttoareal (BTA)	3025 m ²
Antall etasjer over bakken	4
Antall oppvarmede underjordiske etasjer	1
Beregningsperiode	50 år
Totalt utslipp	866 tonn CO₂e

3.2 Materialer

3.2.1 Bygningsdeler

Med tanke på at HasleTre p.t. er i skissefasen er det ikke utarbeidet klimagassregnskap for hele bygget, da det er en del byggt tekniske løsninger, materialvalg og leverandørvalg som ikke er fastsatt.

I denne oppgaven er det tatt hensyn til bygningsdelene som er med i bæresystemet, bygningsdeler som påvirkes av byggt tekniske løsninger som følge av valget av bærematerialer og de innvendige trappene. Dette vil ikke gi et fullstendig bilde av det totale utslippet til byggene, men gi en grundig innsikt i forskjellen på klimagassutslippet til de forskjellige prosjektene.

Tabell 4 viser en oversikt over hvilke bygningsdeler som er med i regnskapet og hvilke materialer de består av for hvert av prosjektene, basert på NS 3451 - Bygningsdelstabellen.

Tabell 4: Oversikt over alle bygningsdeler som er med i differanseberegningene.

Nr.	Bygningsdelsnavn	Massivtreprosjektene	Betongprosjektet
21	Grunn og fundamenter		
216	Direkte fundamentering	Plasstøpt betong, B35 M40	Plasstøpt betong, B25 M40
22	Bæresystemer		
222	Søyler	Limtre	Armert prefabrikkert betong
223	Bjelker	Limtre	DLB-bjelker i betong, prefabrikkert
224	Avstivende konstruksjoner	Massivtre	Betong
23	Yttervegger		
231	Bærende yttervegger	Massivtre 200 mm. 30 mm påføring av trefiberisolasjon og trelekter	Bindingsverk i tre med mineralull
24	Innervegger		
241	Bærende innervegger	Massivtre	Plasstøpt betong
25	Dekker		
251	Frittstående dekker	Massivtre	Prefabrikkerte hulldekker i betong
252	Gulv på grunn	Plasstøpt betongdekke 300mm	Plasstøpt betongdekke 400mm
26	Yttertak		
261	Primærkonstruksjon	Massivtreelementer	Prefabrikkerte hulldekkeelementer, 400mm
28	Trapper, balkonger m.m.		
281	Innvendige trapper	Massivtre	Betong

3.2.2 Mengder

Mengden bygningsmaterialer for massivtreprosjektene er hentet ut fra en BIM-fil for skisseprosjektet til massivtrebygget og et tilhørende dokument utarbeidet av AFBO sitt kalkulasjonsteam. Armeringsmengden for den plasstøpte betongen er estimert for de forskjellige bygningsdelene det er aktuelt for. Metoden tar utgangspunkt i en anbefalt minimums- og maksimumsverdi, der det er gjennomsnittet av disse verdiene som er brukt i denne oppgaven. Se vedlegg 3.

Betongkjeller

Betongkjelleren er lik for både massivtrebygget og betongbygget, sett bort i fra platen på grunn i kjelleren som er 300 mm tykk for massivtrebygget og 400 mm tykk for betongbygget. Kjelleren består av plasstøpt plate på mark, yttervegger mot grunn, plasstøpte søyler og bjelker samt innvendige bærende vegger. Etasjeskilleren mellom kjelleren og grunnplan er en plasstøpt betongplate i både massivtre- og betongbygget. Tabell 5 viser mengden betong og armering i betongkjelleren for både massivtre- og betongbygget.

Tabell 5: Mengde betong og armering i kjelleren for både massivtre- og betongbygget.

Bygningsdel	Areal [m ²]	Tykkelse [m]	Volum [m ³]
Gulv på grunn – Betongbygg	669	0.4	267.60
Gulv på grunn – Massivtrebygg	669	0.3	200.70
Etasjeskiller kjeller/1.etasje	649	0.25	162.25
Repos	13	0.26	3.38
Innervegger	203		54.34
Yttervegger	392	0.25	98
Søylar			5.68
Bjelker			0.21
Armeringsstål – Betongbygg			8.32
Armeringsstål – Massivtrebygg			7.38

Massivtrebygget

Bæresystemet i massivtre er bygget opp av en kombinasjon mellom massivtreelementer med ulike tykkelser samt søyler og bjelker i limtre. Etasjeskillerene over grunnplan består av massivtreelementer med tykkelse på 180 mm, med unntak av takdekket over 4. etasje som har en tykkelse på 200 mm. Vertikale systemer er sammensatt av en kombinasjon mellom bindingsverk, massivtre og limtre. De bærende ytterveggene er laget av massivtreelementer med en tykkelse på 200 mm. Enkelte innervegger – som for eksempel i trappehusene – er også bærende. Disse er laget av massivtreelementer med en tykkelse på 140 mm. Resten av den vertikale innvendige bæringen blir tatt opp i søyler av limtre. Ikke-bærende innervegger er av isolert bindingsverk, men er ikke tatt med i beregningen, da disse er like i både massivtre- og betongprosjektene.

Tabell 6: Mengde massivtre til dekker, vegger og trapp

Massivtre	Areal [m ²]	Tykkelse [m]	Volum [m ³]
Dekke - Innvendig etasjedrift	1892	0.18	340.56
Dekke - Tak	311	0.20	62.20
Innervegger	792	0.14	110.88
Yttervegger	579.3	0.20	115.86
Trapp			16.92
		Totalt	646.42

Tabell 6 viser mengden massivtre som brukes i massivtrebygget fordelt på bygningsdelene. Tabell 7 viser mengden limtre til søyler og bjelker for massivtrebygget og tabell 8 viser mengden isolasjon i ytterveggen til samme bygg.

Tabell 7: Mengde limtre til søyler og bjelker

Limtre	Volum [m ³]
Søyler	23.54
Bjelker	55.08
Totalt	78.62

Tabell 8: Mengde trefiberisolasjon

Yttervegg	Areal [m ²]	Volum [m ³]
Trefiberisolasjon	579.30	17.38

Betongbygget

Bæresystemet i betong er bygget opp av en kombinasjon mellom prefabrikkerte betongelementer som leveres til byggeplass og ferdigbetongelementer som blir plasstøpt på stedet. De prefabrikkerte betongelementene i bygget er hulldekkeelementene, DLB-bjelkene og søylene over grunnivå..

Alle mengder av ferdigbetong i de påfølgende mengdeanslagene er av typen lavkarbon B35 M40 klasse B. Denne typen er valgt etter samtale med AFBO.

Ytterveggene over grunnplan er ikke å anse som bærende, og det er tatt utgangspunkt i at disse blir bygget med bindingsverk av tre, etter konferering med oppdragsgiver.

Tabell 9 viser volumet til alle hulldekkene i betongbygget, mens tabell 10 viser mengden plasstøpt betong og armering over grunnivå. Tabell 11 viser mengden prefabrikkerte betongsøyler og -bjelker over grunnivå i betongbygget og tabell 12 viser mengder av utvalgte elementer i ytterveggen til samme bygg som bidrar til en differanse i klimagassregnskapet.

Tabell 9: Mengde hulldekker

Hulldekker	Volum [m ³]
Dekke	1070

Tabell 10: Mengde plasstøpt betong

Plasstøpt betong	Volum [m ³]
Bærende innervegger	150.00
Trapp	16.92
Armeringsstål	1.95

Tabell 11: Mengde armert betong til søyler og bjelker

Søyler og bjelker	Lengde [m]	Volum [m ³]
Søyler Ø300mm	186	13.15
DLB-bjelker	286	55.77

Tabell 12: Mengder for resterende veggkomponenter

Yttervegg	Areal [m ²]	Volum [m ³]
Høvellast	150.6	37.65
Mineralull	428.7	107.17
Vindsperre	579.3	5.50
Dampspærre	579.3	0.12

3.2.3 Produsenter

Med tanke på at denne oppgaven blant annet tar for seg hvor mye valget av materialprodusent har å si for klimagassregnskapet, er det valgt å fokusere på variasjonene mellom ulike massivtreprodusenter. De resterende materialene som benyttes i denne oppgaven er godt etablerte i det norske markedet, og valget av disse er blant annet basert på AFBO sine egne erfaringer.

Massivtre

I sammenligningen av massivtreprodusentene er det valgt ut totalt syv bedrifter fra Norge, Sverige, Tyskland, Østerrike og Sveits. Utvalget er basert på produsentenes konkurransedyktighet med hensyn til klimagassutslipp (modul A1 - A3 i figur 4), transportdistanse fra fabrikk til byggeplass i Oslo (modul A4 i figur 4), samt bedriftens erfaring med det nordiske markedet.

Med dette grunnlaget er produsentene fra Sør-Europa eliminert, samt flere produsenter fra Tyskland og Østerrike som ikke kunne konkurrere basert på klimagassutslipp.

Utvalget vil gi et godt bilde på forskjellene valget av massivtreprodusent vil ha å si på det totale utslippet. Södra lever ikke til det norske markedet p.t, men er i en prosess der de øker kapasiteten sin for det nordiske markedet mot 2022 (Lier & Aasheim, 2020), og er derfor inkludert i sammenligningen, men vil med gitt grunnlag ekskluderes fra konklusjonen. Tabell 13 viser massivtreprodusentene som er inkludert i prosjektene, hvilket land fabrikkene holder til i og den tilhørende utslippsfaktoren for produksjonen i henhold til A1 – A3 per kubikkmeter massivtre.

Tabell 13: Massivtreprodusenter, deres produksjonsland og tilhørende utslipp i henhold til A1 – A3

Materiale/Bygningsdel	Produsent	Land	A1–A3 [kg CO ₂ e/m ³]
Massivtre	Södra	Sverige	34.00
	Stora Enso	Sverige	55.30
	Splitkon	Norge	90.30
	Binderholz	Østerrike	103.96
	W.u.J. Derix	Tyskland	128.23
	Schilliger Holz	Sveits	154.33
	KLH Massivholz	Østerrike	192.90

Andre produsenter

Tabell 14 viser produsentene til de resterende materialene som er inkludert i prosjektene og den tilhørende utslippsfaktoren i henhold til modul A1 – A3 per kubikkmeter materiale.

Tabell 14: Produsentene for materialene som er inkludert i prosjektene.

Materiale/Bygningsdel	Produsent	A1–A3 [kg CO ₂ e/m ³]
Limtre	Moelven	72.00
Ferdigbetong	Unicon AS	208.64
Armeringsstål	Celsa Steel AS	2826.00
Hulldekker	Contiga AS	191.59
Prefab. betongsøyler	Contiga AS	436.18
Prefab. betongbjelker	Contiga AS	422.30
Trefiberisolasjon	Hunton AS	14.89
Mineralull	Glava AS	21.06
Høvellast	Bergene Holm As	57.70
Dampsperre	Baca Plastindustri	2525.00
Vindsperre	Norgips	189.47

3.2.4 Produksjonsutslipp

Massivtreprosjektene

Tabell 15 viser utslippet til de medregnede materialene til massivtreprosjektene utenom massivtreet.

Tabell 15: Utslipp for materialene brukt i massivtreprosjektene utenom massivtre.

Massivtreprosjektene Andre materialer	Volum [m ³]	A1 – A3 [kg CO ₂ e/m ³]	Utslipp [tonn CO ₂ e}
Plasstøpt betong	524.64	208.64	109.46
Armeringsstål	7.38	2826.00	20.87
Limtre	78.62	72.00	5.66
Trefiberisolasjon	17.38	14.89	0.26
		Totalt	136.22

Tabell 16 viser utslippet fra produksjonen av massivtre for hver av produsentene. Den siste kolonnen; totalt utslipp, viser summen av utslippet til massivtreet og de resterende materialene fra tabell 15.

Tabell 16: Utslipp for produksjon av massivtre og totalt utslipp for alle medregnede materialer i massivtreprosjektene.

Massivtre	Volum [m ³]	A1 – A3 [kg CO ₂ e/m ³]	Utslipp [tonn CO ₂ e}	Totalt utslipp [tonn CO ₂ e}
Södra	646.42	34.00	21.98	158.20
Stora Enso	646.42	55.30	35.75	171.97
Splitkon	646.42	90.30	58.37	194.59
Binderholz	646.42	103.96	67.20	203.44
W.u.j. Derix	646.42	128.23	82.89	219.11
Schilliger Holz	646.42	154.33	99.76	235.98
KLH Massivholz	646.42	192.90	124.69	260.91

Betongprosjektet

Tabell 17 viser utslippet knyttet til alle materialene som er medregnet i betongprosjektet samt summen av disse.

Tabell 17: Utslipp for alle materialer som er medregnet i betongprosjektet.

Betongprosjektet	Volum	A1 – A3 [kg CO ₂ e/m ₃]	Utslipp [tonn CO ₂ e}
Plasstøpt betong	758.46	208.64	158.25
Armeringsstål	10.27	2826.00	29.02
Hulldekker	1070.00	191.59	205.00
Prefab. betongsøyler	13.15	436.18	5.73
Prefab. betongbjelker	55.77	422.30	23.55
Høvellast	37.65	57.70	2.17
Mineralull	107.17	21.06	2.26
Dampsperre	0.12	2525.00	0.29
Vindsperre	5.50	189.47	1.04
		Totalt	427.3

3.3 Transport

3.3.1 Transportrute

For alle materialer og produsenter er avstanden fra enten produksjonssted eller sentrallager til byggeplassen på Hasle i Oslo kartlagt. Verktøyet som hovedsakelig er benyttet til dette er Google Maps, der mest realistiske rute med hensyn til tid og distanse er valgt. Transportruten per materiale har vært lik for alle prosjektene, sett bort i fra for massivtreelementene, der det er testet ut forskjellige transportsenarioer for produsentene som er lokalisert utenfor Skandinavia. For produsentene fra Tyskland, Østerrike og Sveits er det beregnet klimagassutslipp for tre ulike transportsenarioer:

T1: Tog hele veien.

T2: Lastebil hele veien via veinettet.

T3: Lastebil med mest beileilige fergepassasje.

I scenario T1 og T2 går ruten fra Sentral-Europa til Norge via Danmark og Storebæltsbrua til Sverige. Fergeruten som er med i beregningene går mellom Sassnitz i Tyskland og Ystad i Sverige. Tabell 18 viser den totale avstanden fra produksjonssted til byggeplass på Hasle. For videre utregninger mot resultatet til prosjektene, benyttes T2 som er standard transportsenario for massivtreprodusentene. De totale utslippene til T1 og T3 samt differansene mellom dem vil bli presentert som et separat resultat.

Tabell 18: Distanse mellom produksjonssted for massivtreelementene og Hasle for tre transportsenarioer.

Produsent	Lokasjon	T1 og T2 [km]	T3 (bil+ferge) [km]
Södra	Värö, Sverige	353	
Stora Enso	Gruvön, Sverige	196	
Splitkon	Åmot, Norge	85	
Binderholz	Unternberg, Østerrike	2105	1695 + 163
W.u.J. Derix	Niederkrüchten, Tyskland	1501	1088 + 163
Schilliger Holz	Küssnacht, Sveits	1983	1573 + 163
KLH Massivholz	Teufenbach, Østerrike	2131	1659 + 163

Tabell 19 viser avstanden fra enten sentrallager eller produksjonssted til byggeplass i Oslo for de resterende materialprodusentene.

Tabell 19: Distanse mellom produksjonssted eller sentrallager og byggeplass for alle produsenter utenom massivtreprodusentene.

Produsent	Lokasjon	Distanse [km]
Moelven Limtre AS	Moelv	149
Unicon AS	Sjursøya	9
Celsa Steel AS	Storo	3
Contiga AS	Moss	60
Hunton AS	Gjøvik	119
Bergene Holm AS	Hof	84
Glava AS	Askim	54
Baca Plastindustri	Nesttun	458
Norgips	Svelvik	60

3.3.2 Transportmiddel

Utslippsfaktorene for transportmidlene i tabell 20 er hentet ut fra One Click LCA og er basert på Ecoinvent 3.3 og drivstofforbruket er basert på VTTs LIPASTO-data (One Click LCA, 2021). Standard transportmiddel for materialene via vei har vært trailer med kapasitet på 40 tonn med 100% fyllingsrate. Ferdigbetongen transporteres med betongbil med kapasitet på 8 tonn og 100% fyllingsrate. One Click LCA har tre forskjellige utslippsfaktorer for tog i Europa. Én for elektriske, én for dieseldrevne og én utslippsfaktor som er basert på bestanddelene til de førstnevnte, i Europa.

Sistnevnte faktor er valgt, da den er mest realistisk for togflåten i Nord-Europa. Utslippsfaktoren for ferge gjelder et roll-on-roll-off-skip (også kalt roroskip); et skip som enkelt kan laste på og av rullende last, som lastebiler og togvogner.

Tabell 20: Utslippsfaktorer for transportmidler.

Transportmiddel	Utslippsfaktor [kg CO ₂ e/tonn*km]
Trailer (40 tonn)	0.0383
Betongbil (8 tonn)	0.13
Tog (El/diesel-mix)	0.0282
Ferge (Roroskip)	0.1453

3.3.3 Transportutslipp

Massivtreprosjektene

Tabell 21 viser transportutslippet til alle de medregnede materialene i massivtreprosjektene utenom massivtreelementene.

Tabell 22 viser transportutslippet for leveransen av massivtreelementene med transportsenario 2. Utslippet for leveransen med transportsenario 1 og 3 finnes i tabell 25 i kapittel 4.1.1.

Betongprosjektet

Tabell 23 viser transportutslippet for de utvalgte materialene i betongprosjektet.

En mer detaljert utregning finnes i vedlegg

5

Tabell 21: Transportutslipp for massivtreprosjektene.

Materiale/ Bygningsdel	Transportutslipp [tonn CO ₂ e]
Ferdigbetong	1.473
Armeringsstål	0.007
Limtre	0.191
Trefiberisolasjon	0.004

Tabell 22: Transportutslipp for massivtreet.

Produsent	T2: Trailer [tonn CO ₂ e]
Södra	3.76
Stora Enso	2.28
Splitkon	0.88
Binderholz	24.55
W.u.j. Derix	17.47
Schilliger Holz	20.82
KLH Massivholz	25.32

Tabell 23: Transportutslipp for betongprosjektet

Materiale/ Bygningsdel	Transportutslipp [tonn CO ₂ e]
Ferdig betong	0.96
Armeringsstål	0.03
Prefabrikkert betong	3.57
Høvellast	0.05
Mineralull	0.004
Dampsperre	0.002
Vindsperre	0.01

3.4 Økonomi

Det er ønskelig å skape et enkelt, økonomisk perspektiv på kostnadsforskjellene som følger av å bygge med de to ulike materialene. Fremgangsmetodene som er benyttet for dette formålet er innhentet data fra oppdragsgiver, Norsk Prisbok 2017 og intervjumateriale. Med disse tre, ulike grunnlagene er det ønskelig å estimere noen økonomiske ulikheter og hvilke faktorer som betyr noe i den sammenheng, sett fra ulike perspektiv.

Kalkylen som oppdragsgiver har utarbeidet, er basert på deres egen erfaringsdata og er gjennomført av deres kalkulasjonsteam. Dette er en grov kalkulasjon, som representerer et *estimat* på kostnadsdifferansen på de ulike kostnadspostene.

For å skape en viss tyngde til det økonomiske, har det også blitt gjort noen beregninger basert på data fra Norsk Prisbok 2017. Denne utgaven av Norsk Prisbok er ikke den siste, men det er den nyeste som er tilgjengelig uten abonnement. Denne er benyttet for å estimere kostnadsforskjeller mellom bygningsdelene i bæresystemet, for de ulike materialene.

Intervjuobjektene har alle et perspektiv på de økonomiske forskjellene, selv om de har ulikt erfaringsgrunnlag når det gjelder bygging med begge materialene.

3.5 Intervju

3.5.1 Hensikt

Intervjuene som er gjennomført i denne oppgaven har som hensikt å kartlegge noen synspunkter fra næringslivet angående materialvalg. Intervjuobjektene har opparbeidet seg erfaringer gjennom arbeid i bransjen, som danner grunnlaget for egne synspunkter og meninger. Det betyr at svarene som intervjuobjektene gir på spørsmålene, er deres individuelle, subjektive meninger. Dette er derfor ikke å regne som faktaopplysninger, og vil av den grunn heller ikke bli sjekket opp med kilder deretter. Denne type intervju faller innenfor kategori *kvalitativ metode*.

3.5.2 Metode

Intervjuene i oppgaven baserer seg på *induktiv metode*, da målet er å få et resultat som reflekterer intervjuobjektene egne oppfatninger og sannheter, framfor vitenskapelige.

I tillegg følger oppsettet som nevnt den vitenskapelige metoden; *kvalitativ metode*. Bakgrunnen for dette er at denne metodikken fokuserer i større grad på å samle inn dybdeinformasjon, og ikke årsakssammenhenger og statistikk som gjerne er målet med bruk av *kvantitativ metode*. Det er ønskelig å få innblikk i bakgrunn og begrunnelser for svarene som innhentes.

3.5.3 Valg av intervjuobjekt

Utgangspunktet som ligger til grunn for valg av intervjuobjekt er rolle og erfaring i byggebransjen. Alle intervjuobjektene har stillinger innenfor privat sektor i byggebransjen. De har også erfaring, i varierende grad, med bygging i henholdsvis massivtre og betong; noen fra prosjekteringsfase, noen fra byggefase og noen med begge deler. Alle har erfaring med storskala-bygg, og noen har også tilknytning til det gitte referanseprosjektet som er presentert i denne oppgaven.

Tabell 24 presenterer intervjuobjektene. De har alle stillinger i veletablerte selskap som driver med henholdsvis entreprenørskap og eiendomsutvikling.

Tabell 24: Presentasjon av intervjuobjektene.

Rolle	Stilling	Erfaringstid	Erfaringsprosjekter
Tiltakshaver	Prosjektdirektør	20 år	Har tidligere hatt prosjekter i betong, er nå tiltakshaver for referanseprosjektet som skal bygges i massivtre.
Entreprenør 1	Prosjektleder	6 år	Har tidligere jobbet med betongprosjekter, holder nå på med et massivtreprosjekt.
Entreprenør 2	Prosjektleder	20 år	Har erfaring med bygging av både betong- og massivtrebygg i ulike kategorier.

3.5.4 Bakgrunn for spørsmål

Den røde tråden

Samtlige spørsmål som er stilt i intervjuene handler om forskjellene som følger ved å velge massivtre kontra betong til større bygninger. Det er tatt utgangspunkt i problemstillingene som er definert for oppgaven, og tematikken er brutt ned i mindre fokusområder med hensikt å kunne få mer konkrete svar på de spørsmålene som er stilt.

Formulering

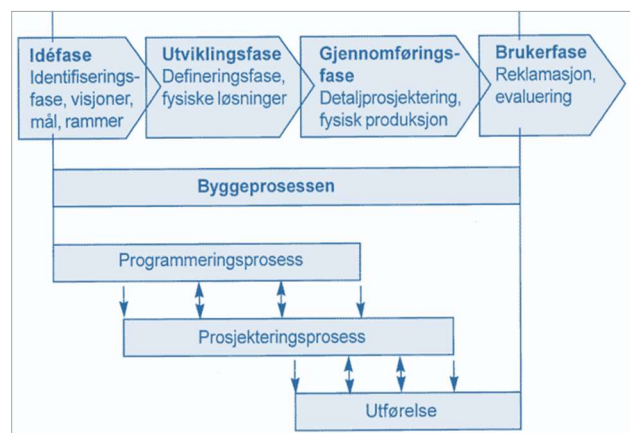
Spørsmålene som er formulert i intervjuguidene, kan beskrives som åpne. Dette er gjort med hensikt i at intervjuobjektene skal ha rom til å definere selv til en viss grad og relatere temaet i spørsmålet til egne erfaringer. Intervjuerne sin rolle er forsøkt holdt passiv og skal kun lede an tema, slik at intervjuobjekt skal kunne svare fritt på de spørsmål som blir stilt.

Flere av spørsmålene er utarbeidet generelle slik at de kan stilles til intervjuobjekter med ulik bakgrunn og stilling. Dette kan være fordelaktig da det åpner opp for å få belyst samme sak fra ulike ståsted, som kan være definert av for eksempel stilling og erfaring. Enkelte spørsmål er utformet med bakgrunn i det enkelte intervjuobjektet sin stilling og erfaring. Bakgrunnen for dette er en vurdering av relevansen av det gitte spørsmålet sett i forhold til stilling og rolle. Et eksempel på dette er at tiltakshaver ikke nødvendigvis trenger å ha så mye innsikt i arbeidsomfanget i utførelsesfasen da dette er entreprenørens ansvar i de fleste tilfeller.

Prosjektplanlegging

I Byggforskbladet *220.010 Programmering av byggeprosjekter* blir byggeprosessen delt inn i faser og prosesser, slik som vist i figur 5. De første to fasene, altså idé- og utviklingsfasen, er i mange tilfeller definert av et samarbeid mellom tiltakshaver og utførende entreprenør. Felles for intervjuene med tiltakshaver og entreprenør har dermed vært deres erfaringer og inntrykk fra disse fasene. Entreprenør har i tillegg ansvar for gjennomføringsfasen, og har dermed også blitt stilt spørsmål om den, dersom intervjuobjektet har erfaring fra bygging med begge materialer i den fasen.

I planleggingen av et prosjekt er materialvalg noe som avgjøres tidlig i programmeringsprosessen. Spesielt om det skal benyttes bærende massivtre i konstruksjonen, er det viktig at dette blir avgjort så tidlig som mulig. En av

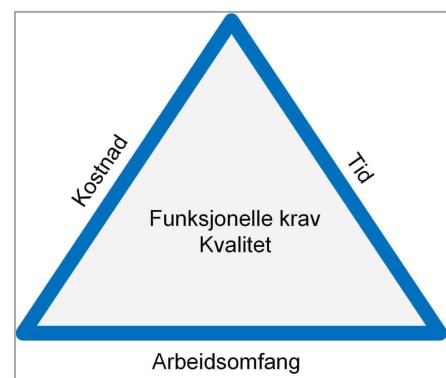


grunnene til dette er at dersom en har valgt betong som materiale til et bæresystem så er det i de fleste tilfeller ikke mulig å endre materiale til massivtre, uten å også måtte endre hele konstruksjonen.

De to materialene har svært ulike egenskaper, som står sentralt i forbindelse med dimensjonering og utforming. I tillegg så vil bygningselementoppbygning være avhengig av bæremateriale.

Tematikk

Tematikken i spørsmålene som stilles i intervjuene er laget med utgangspunkt i «jærntriangelet» som er kjent fra prosjektplanlegging, se figur 6. I denne modellen står kostnad, arbeidsomfang og tid sentralt. Disse styringsparameterne er i hvert byggeprosjekt mer eller mindre avhengig av hverandre, og dersom en parameter endres, vil det kunne påvirke de andre to.



Figur 6: Jærntriangelet.
Illustrasjon: (Rolstadås, 2020)

Dette kan også bli sett i forbindelse med valg av massivtre som byggemateriale; som i mange tilfeller vil medføre en kortere byggetid, da bygningsdelene leveres i elementer som går raskt å sette sammen og som er spesialtilpasset for det gitte prosjektet. Dette sparer entreprenøren for tid, og dermed også ressurser som koster penger i form av arbeid og drift av byggeplass. Dette eksemplet er selvsagt bare et aspekt av det. Som triangelet viser er dette parametere som til sammen utgjør prosjektets funksjonelle krav og grad av kvalitet.

Et prosjekt som finansieres av en tiltakshaver, og bygges av en entreprenør skal ha en definert ramme i forkant av oppstart. Denne innebærer en kostnad på prosjektet, samt en definert tidsfrist for når prosjektet skal være ferdigstilt. Tiden det er estimert at prosjektet tar er avgjort av faktorer som arbeidsomfang, effektivitet og materialleveranser, noe entreprenør har ansvar for i de fleste tilfeller. Sistnevnte faktorer er dermed mer relevant å ta opp i intervju med entreprenør, enn tiltakshaver.

3.5.5 Gjennomføring av intervju

I forkant av alle intervjuene har intervjuobjektene på forhånd blitt tilsendt en intervjuguide (se vedlegg 10). Denne har vært å anse som veiledende, og har hatt som hensikt å forberede intervjuobjektene på tematikken og de interesseområder som framkommer i intervjuet. Intervjuguidene beskriver også bakgrunnen for- og hensikten med intervjuet. Alle intervjuobjektene har blitt spurt om de ønsker at intervjuet skal anonymiseres i oppgaven, hvor én av de tre hadde et ønske om det. Det har ikke vært å anse som relevant til oppgaven å knytte intervjuresultatene til navngitte enkeltpersoner. De som har blitt intervjuet vil derfor blir referert til etter rolle i bransjen; «Tiltakshaver», «Entreprenør 1» og «Entreprenør 2»

Gjennomføringen av intervjuene skjer på forhåndsavtalt tidspunkt og har hatt varigheter på mellom 40 og 60 minutter. Alle som har deltatt har samtykket i at intervjuet har blitt tatt opp med video og lyd, med hensikt å kunne kopiere resultatene over til et skriftlig format i etterkant av gjennomføringen.

3.6 Følsomhetsanalyse

3.6.1 Materialer

Armeringsmengde

Data for armering har ikke vært tilgjengelig i denne oppgaven. Bakgrunnen for dette er at referansebygget er planlagt oppreist i massivtre, og det er derfor ikke gjennomført noen statiske beregninger som estimerer armeringsmengden i betongversjonen av bygget. Det er derfor estimert en armeringsmengde for hver enkelt bygningsdel av plasstøpt betong, basert på britiske *Standard Method of Measurement*.

3.6.2 Transport

Som nevnt i 3.3.2; Transportmiddel tilbyr One Click LCA kun tre utslippsfaktorer for tog i Europa. Det reelle utslippet til togtransporten vil være noe lavere enn det som er utregnet i denne oppgaven. Den brukte utslippsfaktoren er basert på en el-mix for hele Europa, og vil derfor ha en høyere verdi enn det som er reelt for Norden og resten av Nord-Europa. Distansen for togtransporten er basert på bil-distansen mellom produksjonsstedene i Sentral-Europa og byggeplass i Oslo. Dette ble sett på som en mer pålitelig og troverdig metode enn andre alternative verktøy som ble forsøkt benyttet. Dette vil dog skape enda en unøyaktighet i utslippet knyttet til levering med transportsenario 1; tog hele veien.

For alle materialer bortsett fra ferdigbetong er det benyttet trailer med kapasitet på 40 tonn og en fyllingsrate på 100%. For materialer med en mindre mengde som f.eks. dampspærre kan det være andre aktuelle transportmetoder i virkeligheten. Bidraget til transportutslippet for disse produktene er dog så lite at det ikke påvirker totalutslippet eller differansen mellom prosjektene i betydelig grad.

For biltransporten i T2 og T3 er ikke den tomme returtransporten til Sentral-Europa medregnet i utslippet, da det er forskjellige og varierende rutiner for denne type transport.

3.6.3 Økonomi

De metodene som er brukt til å estimere de økonomiske ulikhetene er ikke basert på «virkelige» tall fra ferdige bygg. Dette er hovedsakelig estimerer fra oppdragsgiver og Norsk Prisbok 2017 samt intervjuobjektene sine synspunkter.

4. RESULTATER

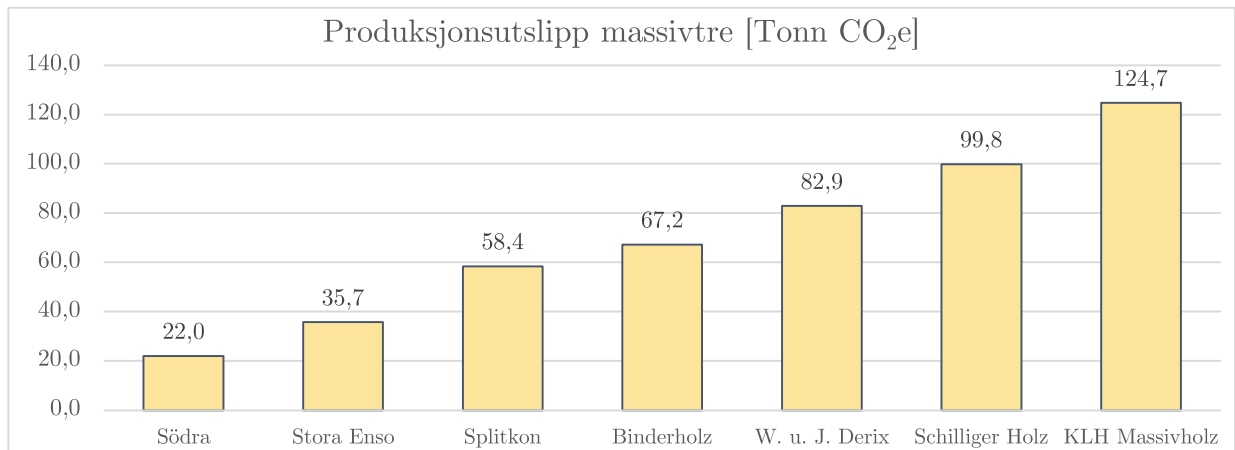
Dette kapittelet fremlegger alle resultatene i oppgaven. Resultatene er kategorisert etter fokusområdene; miljø, økonomi og intervju. All drøfting av resultater er å finne i neste kapittel.

4.1 Miljø

4.1.1 Massivtreutslipp

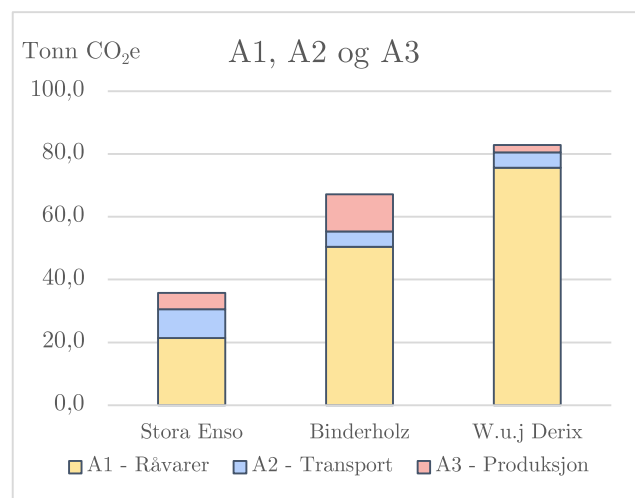
Produksjonsutslipp

Figur 7 viser produksjonsutslippet for 646,42 m³ massivtre etter modul A1 – A3.



Figur 7: Produksjonsutslipp for massivtre i henhold til modul A1 – A3 for de utvalgte produsentene.

Figur 8 viser det totale utslippet knyttet til produksjon av 646,42 m³ massivtre fordelt mellom de tre modulene A1, A2 og A3, for de tre produsentene som spesifiserer dette i sine respektive EPD-er.



Figur 8: Produksjonsutslipp for massivtre fordelt mellom modulene A1, A2 og A3.

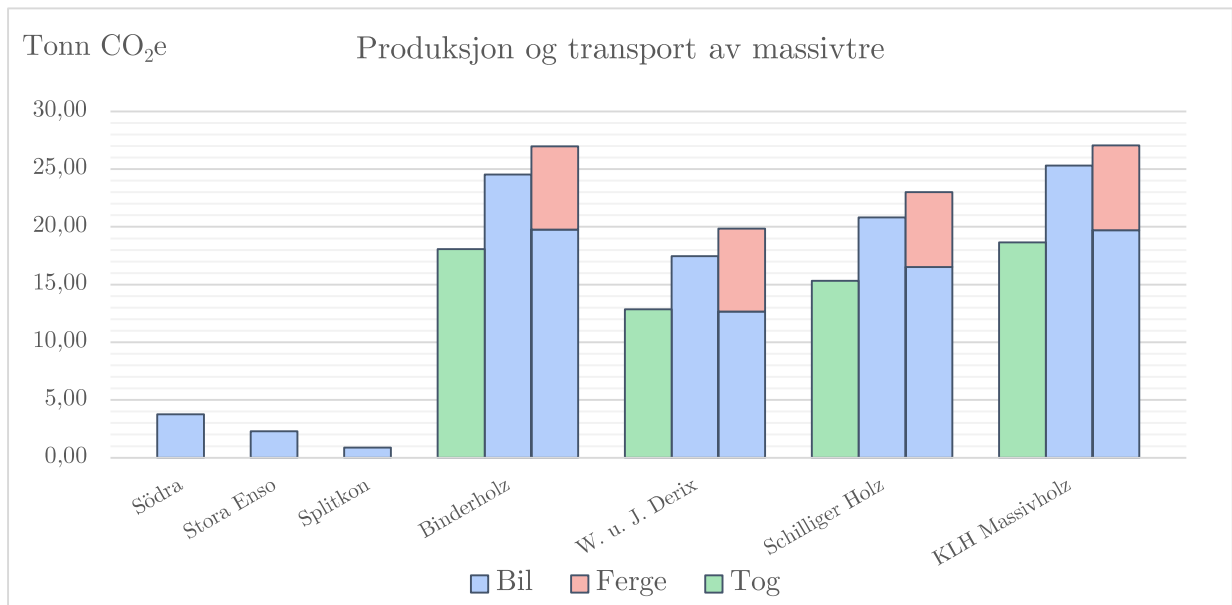
Transportutslipp

Tabell 25 viser det totale utslippet for transporten av 646,42 m³ massivtre gitt ved de tre transportsenarioene.

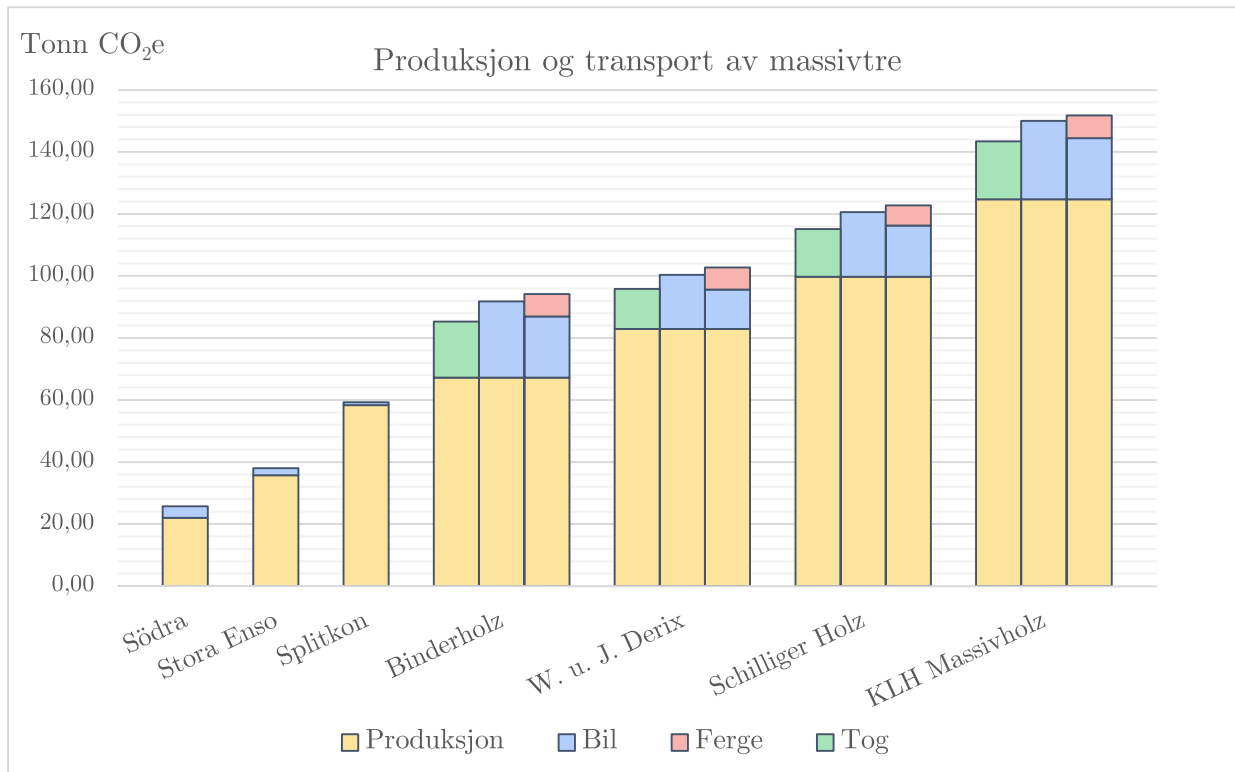
Tabell 25: Utslipp knyttet til transport av massivtre for de utvalgte produsentene til Hasle i Oslo.

Produsent	T1: Tog [tonn CO ₂ e]	T2: Bil [tonn CO ₂ e]	T3: Bil + Ferge [tonn CO ₂ e]
Södra		3.76	
Stora Enso		2.28	
Splitkon		0.88	
Binderholz	18.07	24.55	26.98
W.u.J. Derix	12.86	17.47	19.86
Schilliger Holz	15.33	20.82	23.00
KLH Massivholz	18.65	25.32	27.06

Figur 9 viser utslippet knyttet til transport av massivtreelementene for de syv utvalgte produsentene. For de fire produsentene som er lokalisert utenfor Skandinavia viser figuren utslipp for tre ulike transportsenarioer. Figur 10 viser summen av produksjons- og transportutslippet for massivtreet.



Figur 9: Transportutslipp for 646,42 m³ med massivtre fra de utvalgte produsentene fordelt mellom tre ulike transportsenarioer.



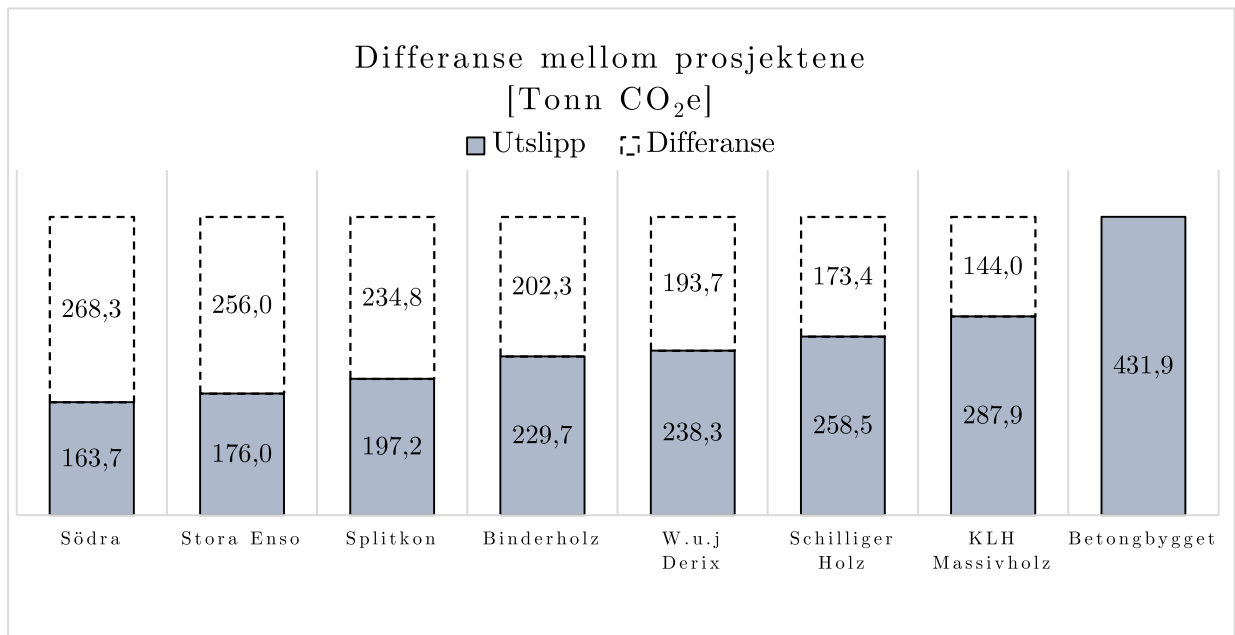
Figur 10: Utslippet knyttet til produksjon og leveranse av massivtre i henhold til modul A1 – A4.

4.1.2 Totalutslipp

Tabell 26 viser summen av utslippet til de medregnede bygningsdelene og tilhørende transport for hvert av prosjektene. Denne summen viser dermed kun utslippet for en utvalgt del av totalbygget og brukes ikke videre som et resultat. Det som derimot er relevant for videre resultat er differansen mellom betongprosjektet og hvert av massivtreprosjektene vist i figur 11.

Tabell 26: Utslippet til de forskjellige prosjektene fordelt på kategori, oppgitt i tonn CO₂e.

Prosjekt	Betong	Limtre	Massivtre	Andre mat.	Transport	Totalt
Betong	421.6			5.8	4.6	431.9
Södra	130.3	5.7	22.0	0.3	5.4	163.7
Stora Enso	130.3	5.7	35.7	0.3	4.0	176.0
Splitkon	130.3	5.7	58.4	0.3	2.6	197.2
Binderholz	130.3	5.7	67.2	0.3	26.2	229.7
W.u.J. Derix	130.3	5.7	82.9	0.3	19.1	238.3
Schilliger Holz	130.3	5.7	99.8	0.3	22.5	258.5
KLH Massivholz	130.3	5.7	124.7	0.3	27.0	287.9

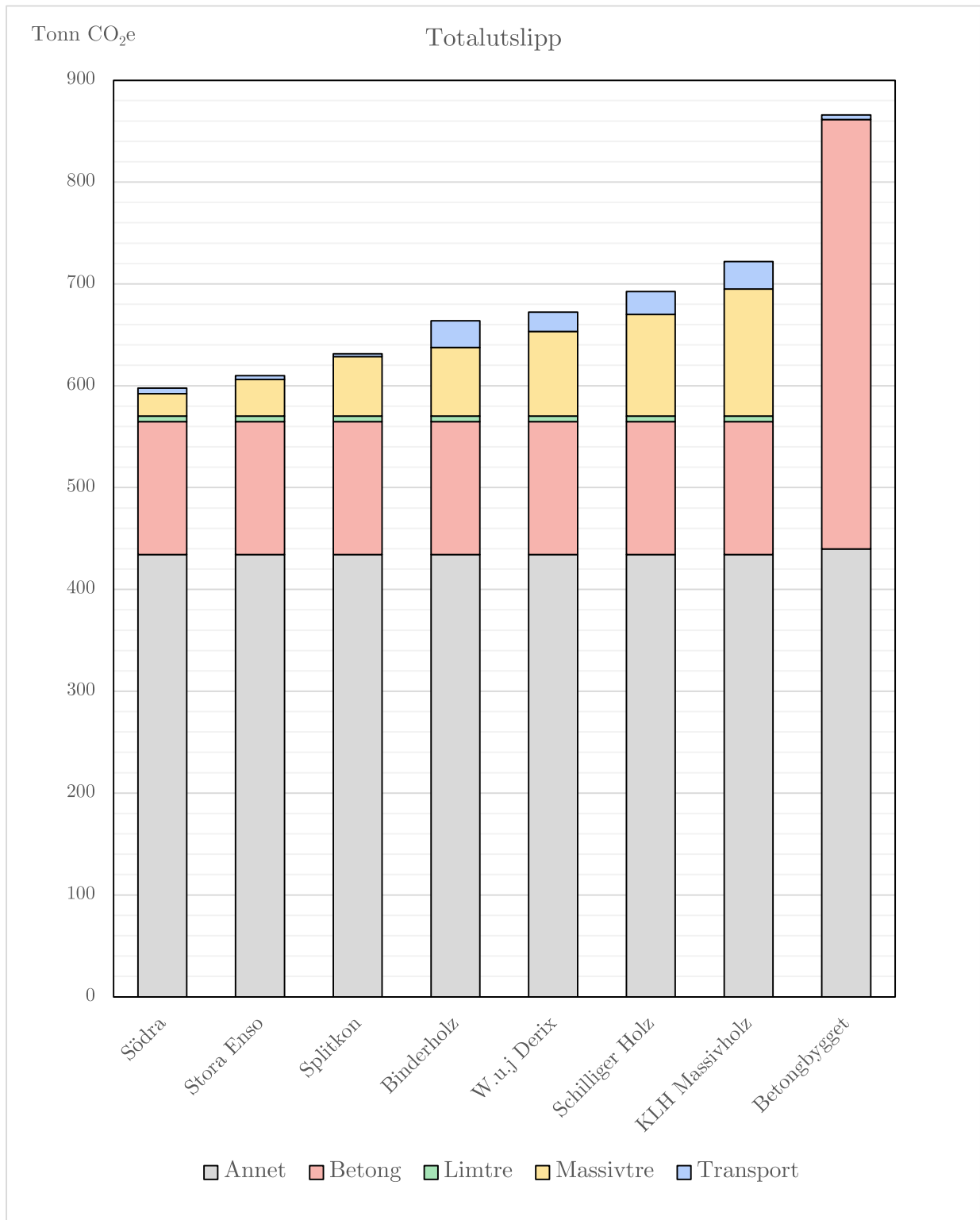


Figur 11: Utregnet utslipp for inkluderte bygningsdeler og differansen mellom massivtreprosjektene og betongbygget

Totalutslippet for et kontorbygg av prefabrikkert betong, estimert av One Click LCA, brukes til å estimere totalutslippet til hvert av massivtreprosjektene, ved å trekke fra den utregnede differansen mellom de gitte prosjektene. Tabell 27 viser det estimerte totalutslippet til hvert av prosjektene og tilhørende differanse mellom betongprosjektet og massivtreprosjektene.

Tabell 27: Estimert totalutslipp for hvert av prosjektene og tilhørende differanse mellom massivtreprosjektene og betongprosjektet

Prosjekt	Totalutslipp [tonn CO ₂ e]	Δ Utslipp [tonn CO ₂ e]	Estimert reduksjon
Betong	866.0		
Södra	597.7	268.3	31.0 %
Stora Enso	610.0	256.0	29.6 %
Splitkon	631.2	234.8	27.1 %
Binderholz	663.7	202.3	23.4 %
W.u.J. Derix	672.3	193.7	22.4 %
Schilliger Holz	692.6	173.4	20.0 %
KLH Massivholz	720.3	144.0	16.6 %



Figur 12: Totalt utslipp for hvert av prosjektene fordelt på kategori.

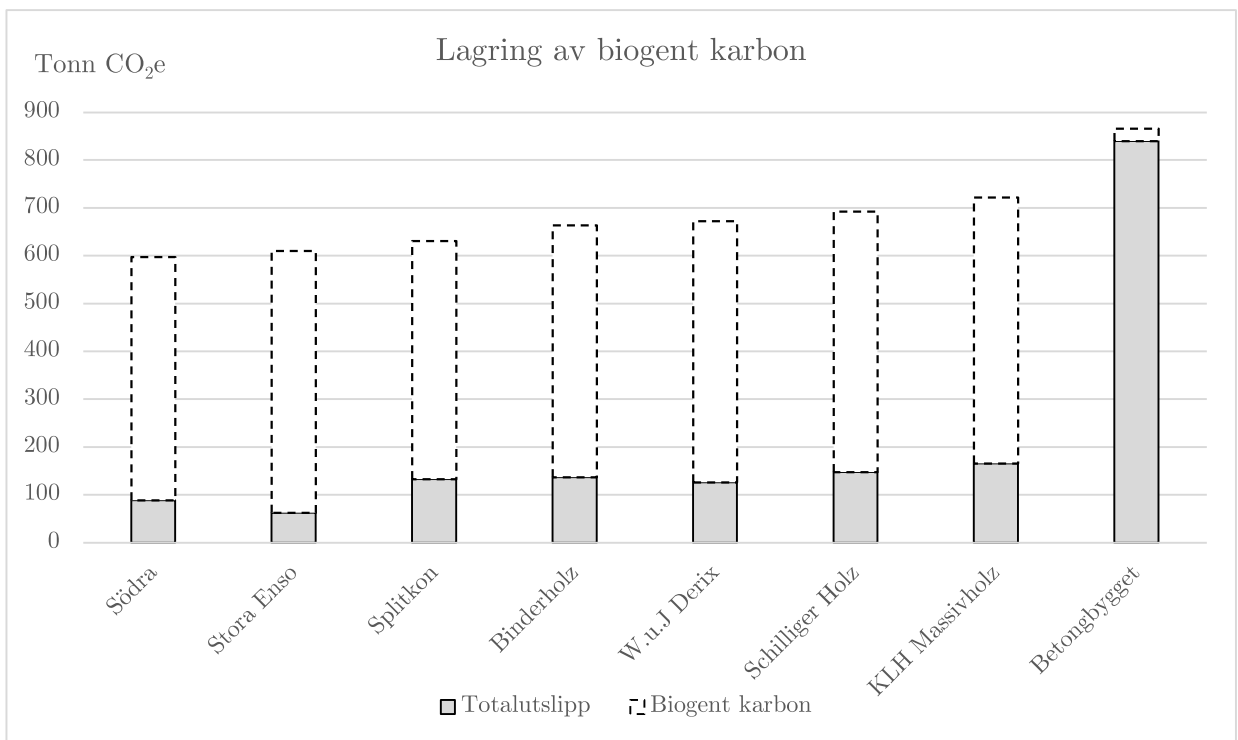
Figur 12 viser de totale klimagassutslippene for de ulike massivtreprosjektene og betongprosjektet. Differansen i utslippet mellom massivtreprosjektene med lavest og høyest utslippsverdi er 124,3 tonn CO₂e. Dette tilsvarer 14,4 % av totalutslippet til betongprosjektet. Södra vil som nevnt i 3.2.3 bli ekskludert fra kapittel 6; konklusjon.

4.1.3 Biogent karbon

Tabell 28 viser hvor mye biogent karbon som lagres i limtreet og massivtreet i massivtreprosjektene og hvor mye biogent karbon som lagres i høvellasten i ytterveggen til betongprosjektet. Reduksjonen i utslipp viser differansen mellom massivtreprosjektene og betongprosjektet og tilhørende prosentvise reduksjon. Figur 13 viser det biogene karbonet for hvert av prosjektene.

Tabell 28: Lagring av biogent karbon for hvert av prosjektene.

Prosjekt	Totalutslipp [tonn CO ₂ e]	Biogent karbon [tonn CO ₂ e]	Δ Utslipp [tonn CO ₂ e]	Estimert reduksjon
Betong	840.1	25.9		
Södra	88.6	509.1	751.5	89.5 %
Stora Enso	62.9	547.2	777.3	92.5 %
Splitkon	132.9	498.3	707.2	84.2 %
Binderholz	137.1	526.6	703.0	83.7 %
W.u.J Derix	126.4	546.0	713.8	85.0 %
Schilliger Holz	147.7	544.8	692.4	82.4 %
KLH Massivholz	165.5	556.5	674.6	80.3 %



Figur 13: Lagret karbon for hvert av prosjektene.

4.2 Økonomi

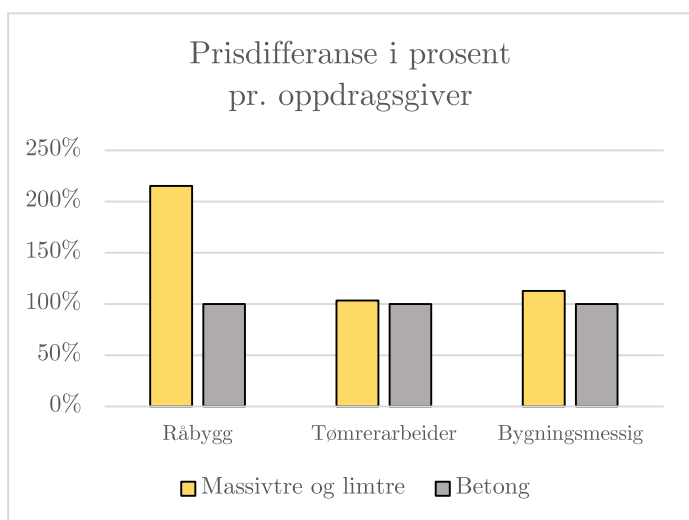
Oppdragsgiver har utarbeidet en kalkyle som presenterer prisdifferansen mellom de ulike bæresystemene til referansebygget, på grunnlag av egen erfaringsdata. Prisdifferansene presenteres i prosent i tabell 29.

Av figur 14 framgår kostnadsforskjellene for henholdsvis råbygget, tømrerarbeidene og bygningsmessige hjelpearbeider. Figur 15 viser differanse i entreprisestruktur, eksklusive merverdiavgift.

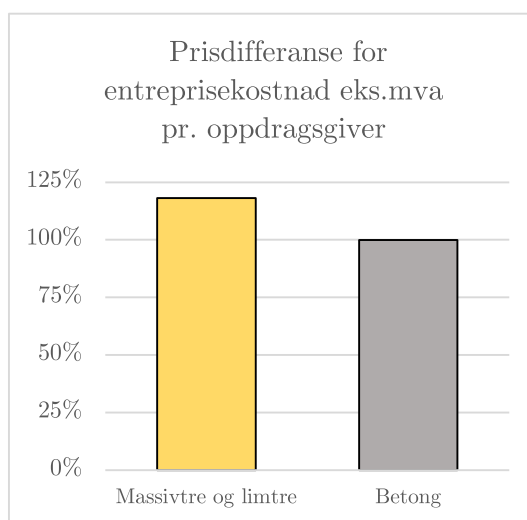
I tabellen og figurene framkommer det at ved alle postene er massivtre mer kostbart enn betong som alternativ til bæremateriale. Diagrammet viser at den største kostnadsdifferansen ligger i råbygget. Kategorien bygningsmessige hjelpearbeider innebærer arbeid som branntetting og fuging.

Tabell 29: Prisdifferanse estimert av oppdragsgiver.

Kategori	Prisdifferanse i %
Råbygg	115,08 %
Tømrerarbeider	3,44 %
Bygningsmessig	12,84 %
Entreprisestruktur eks.mva	18,20 %



Figur 14: Prisdifferanse i prosent for ulike kategorier, estimert av oppdragsgiver



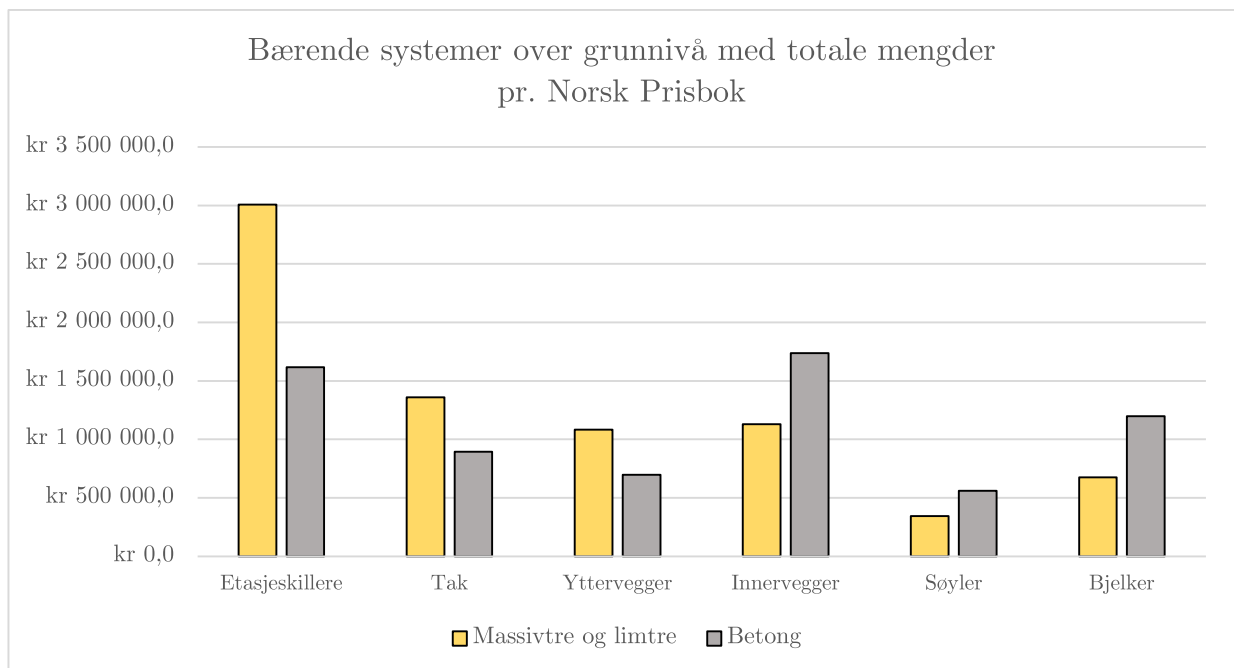
Figur 15: Prisdifferanse i prosent for entreprisestruktur, estimert av oppdragsgiver.

I tillegg har bachelorgruppen utarbeidet et estimat basert på masseberegningene og verdier hentet fra Norsk Prisbok 2017. Tabell 30 viser kostnadsdifferansene mellom bygningsdelene i bæresystemet over grunnplan samt differansen mellom dem. Oppbygningen av bæresystem over grunnplan er hovedsakelig lik, men ytterveggene i betong-bygget er av bindingsverk i tre, og er ikke bærende.

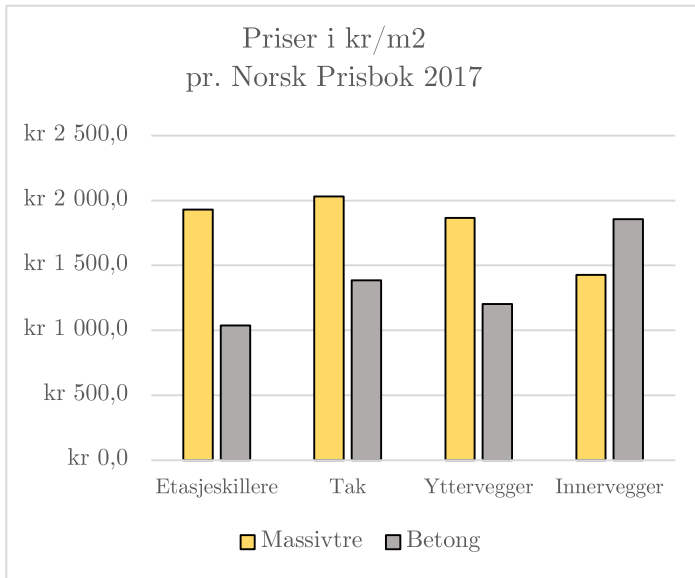
Figur 16 viser kostnadsdifferansene gitt i kroner per bygningsdel med totale mengder. Figur 17 viser differanse gitt i kr/m² for dekker og vegger, og figur 18 viser differanse gitt i kr/m³ for søyler og bjelker.

Tabell 30: Bærende systemer over grunnnivå med totale mengder pr. Norsk Prisbok 2017

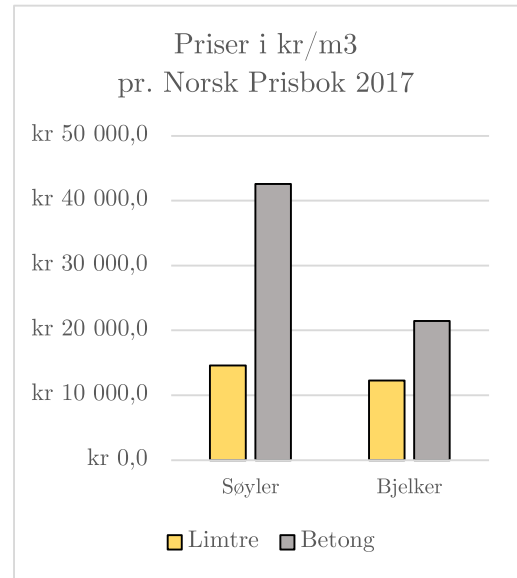
Bygningsdel	MT og LT	Betong	Differanse i kr MT og LT - Betong	Differanse i prosent Betong=100%
Etasjeskillere	kr 3 007 339,9	kr 1 615 240,9	kr 1 392 099,0	186,2 %
Tak	kr 1 359 484,3	kr 893 505,6	kr 465 978,7	152,2 %
Yttervegger	kr 1 081 350,3	kr 695 750,9	kr 385 599,5	155,4 %
Innervegger	kr 1 129 645,4	kr 1 736 445,1	-kr 606 799,7	65,1 %
Søyler	kr 343 337,3	kr 559 674,0	-kr 216 336,7	61,4 %
Bjelker	kr 676 157,9	kr 1 196 622,0	-kr 520 464,1	56,5 %
Sum	kr 7 597 315,2	kr 6 697 238,6	kr 900 076,7	113,4 %



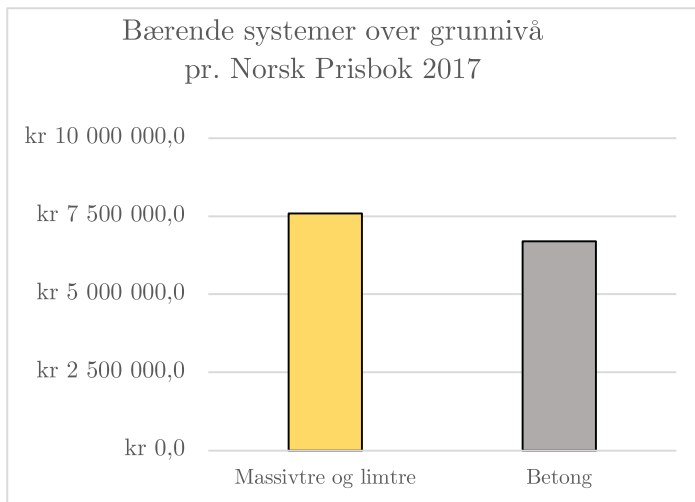
Figur 16: Kostnader i kr for begge bæresystem over grunnplan med totale mengder.



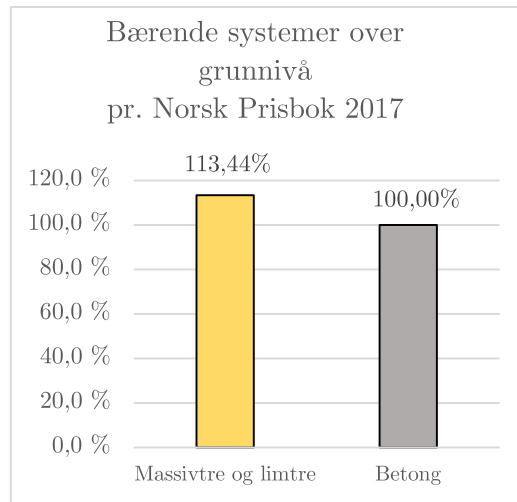
Figur 17: Priser i kr/m² for bærende systemer over grunnivå



Figur 18: Priser i kr/m³ for bærende systemer over grunnivå



Figur 19: Totale kostnader for begge bæresystem over grunnplan.



Figur 20: Prisdifferanse i prosent mellom begge bæresystem over grunnplan.

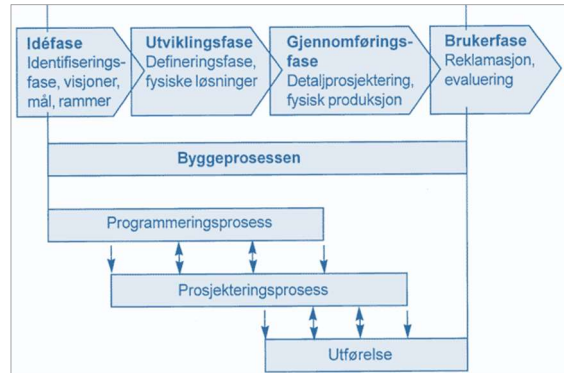
Figur 19 viser de samlede materialkostnadene i kroner for de bærende systemene over grunnplan for de ulike materialene. Figur 20 viser prisdifferansen mellom de samlede materialkostnadene for bærende systemer over grunnplan for de ulike materialene.

Estimert kostnadsdifferanse i kr/m² BTA pr. Norsk Prisbok 2017 er å finne i vedlegg 8.

4.2 Intervju

Resultatene av intervjuene vil bli presentert etter Byggforsk sitt prinsipp om byggefaser som vist i figur 21.

Innad i hovedkategoriene vist øverst i figuren, vil aspekter som kostnad, tid og arbeidsomfang bli tatt opp, og til slutt vil noen av intervjuobjektene sine meninger om framtiden til massivtre presenteres.



Figur 21: Faser i et byggeprosjekt. (Byggforsk, 1999)

4.2.1 Idéfase – identifiseringsfase, mål, visjoner og rammer

Entreprenør 1 uttaler at dersom et bygg skal bygges i massivtre, så er dette noe som må avgjøres i en veldig tidlig fase, da det setter en del premisser for veien videre. Materialet er ganske nytt på markedet i Norge, og alle løsninger for alle fag er ikke opplagte. Entreprenør 2 sier at de som bestiller et bygg i massivtre for første gang, ofte har forventninger til at det skal være synlige massivtrefflater i store deler av konstruksjon, noe som ofte ikke harmonerer med innfridde forskriftskrav til brann og akustikk. Krav til brann og akustikk er bestemt av funksjonen(e) i bygget, og brannkravene er i tillegg bestemt av antall etasjer i bygget. Han trekker også fram at det er helt andre prinsipper for lastfordeling i et rent massivtrebygg; her føres lastene ned hovedsakelig i vegger, og det er derfor fordelaktig å ha like planløsninger i etasjene. I betongbygg føres ofte lastene ned gjennom bjelker og søyler, og bæresystemet kan dermed tilpasses ulike formål og funksjoner i samme bygg. Han forteller videre at det derfor er enkelte bygg som «egner» seg mer som massivtrebygg enn andre; boligprosjekter som leilighetsbygg, studenthybler og eldrehjem kan for eksempel være bedre egnet for bygging i massivtre enn flerfunksjonsbygg eller kontorlokaler med ønske om fleksibilitet i arealene.

Det blir også nevnt at de har tatt i bruk hybridløsninger der det har vist seg nødvendig i tidligere prosjekter; med stålbjelker og limtresøyler som tilrettelegger for ulike funksjonsbehov på tvers av etasjene.

4.2.2 Utviklingsfase - Defineringsfase, fysiske løsninger

Alle intervjuobjekter er enige om at prosjekteringsprosessen for massivtrebygg skiller seg fra betongbygg.

I utviklingsfasen til et storskala massivtrebygg er det spesielt mye som skjer, sammenlignet med tilsvarende bygg i prefabrikkert betong. Samtlige intervjuobjekter påpeker at det er spesielt viktig å få inn alle de ulike prosjekterende fagene så tidlig som mulig av hensyn til bestilling av materialer, og for å sikre gode løsninger. Entreprenør 2 uttaler at de teknisk prosjekterende også må jobbe detaljorientert allerede fra før materialene er bestilte, da hulltaking for føringsveiene til ventilasjonsrør og lignende blir ordnet på fabrikk. Massivtrebygg krever med andre ord en mer omfattende utviklingsfase, hvor mange avgjørelser og tegninger må være komplette mye tidligere enn i normale tilfeller.

Det er noen utfordringer med disse prosjektene som blir påpekt av samtlige intervjuobjekter; akustikk og brann er eksempler på dette. De uttaler at materialet ikke er spesielt utbredt i Norge enda, og at det dermed ikke er utviklet så mange preaksepterte løsninger på disse områdene, De sier også at det virker til å være begrenset med kompetanse innen rådgivende tjenester når det gjelder bygging med massivtre. Begge entreprenørene sier det kan være vanskelig å finne folk med riktig kompetanse, og tiltakshaver synes det kan virke som de rådgivende konsulentene er mer usikre når det gjelder massivtre.

Entreprenør 2 sier at det ikke er noen tvil om at det er dyrere å bygge i massivtre, også på grunn av alle gjennomføringer som må til for å tilfredsstille kravene i byggeteknisk forskrift. Lydisolasjon mellom dekker for eksempel, kan kreve dyre isolasjons- og sparkelløsninger i enkelte tilfeller. Men han forteller også at de har blitt mer bevisste på hvor det er mulig å redusere kostnader, som en følge av erfaringen de har opparbeidet seg. Det er for eksempel av betydning om en velger massivtreelementer som er sammensatt av tre eller fem lameller, da man betaler for antall kubikk man bestiller fra leverandør.

Tiltakshaver antar at deres massivtreprosjekt er om lag 20 % dyrere enn et tilsvarende bygg i betong, men presiserer at dette er et anslag, og at det han tror prisen vil samsvare

mer med bygging med andre materialer, etter hvert som det blir mer vanlig å bygge med massivtre.

4.2.3 Gjennomføringsfase – Detaljprosjektering, fysisk produksjon

Entreprenør 2, som har erfaring som prosjektleder for tre forskjellige, storskala massivtre-prosjekter, forteller at de får reist bygg i massivtre veldig fort. Dette er også noe de er avhengige av, ikke bare for framdriften, men også for å ha kontroll på fuktigheten i materialene. Og jo raskere råbygget er tett, jo tidligere kan man sette i gang aktiviteter innvendig. Han forteller at det er et veldig godt miljø på byggeplasser med massivtre; med mindre støy og støv og færre materialer som blir tilført innvendig i konstruksjonen. Han presiserer dog at de ofte er avhengige av folk som kan jobbe skiftordninger på byggeplass, for å få bygget tett så raskt som mulig.

Entreprenør 1 uttaler også at denne prosessen er mer effektiv. Han påpeker i tillegg fordelen med å kunne ha alle ressurser på et sted om gangen, og på den måten få frigjort angrepspunkter for neste fag tidlig.

Tiltakshaver har også inntrykk av at det er kortere produksjonstid på byggeplass, som også er en viktig faktor å få med i det økonomiske regnskapet.

4.2.4 Brukerfase – reklamasjon, evaluering

Tiltakshaver har ikke sett noen tendenser til økt etterspørsel av massivtre konkret, men påpeker at eventuelle kjøpere ofte er svært opptatte av om byggene har en miljøprofil, og om de er bygget av klimavennlige materialer. Dette har påvirkningskraft på både interesse og pris. For leietakere så kan miljøprofilen til lokalene også være positivt for profilering, spesielt om dette er relevant til tjenester de tilbyr; som rådgivende tjenester innen byggebransjen er et eksempel på.

4.2.5 Veien videre - egne tanker

Entreprenør 1 tror folk er litt usikre når det gjelder bygging med massivtre, og at mange «sitter på gjerdet» og venter litt for å se hvordan ting fungerer, også i bruksfase. Han tror at dersom etterspørselen fra det norske markedet tar seg opp tilstrekkelig og fører til økt produksjon i Norge, kan det bli mer aktuelt for folk flest å handle materialene nasjonalt.

Tiltakshaver er enig i at det kan foreligge en del usikkerhet i bransjen når nye ting blir introdusert, og legger til at en alltid må påberegne en viss økonomisk risiko til det man er usikker på. Han tror at framtid utviklingen i det grønne skiftet vil innebære krav om klimagassregnskap for prosjekter og strengere forskrifter som sikrer bærekraftige bygg; og at massivtre kan bli en lukrativ løsning i den sammenheng. Han tror også at det vil komme flere alternative byggtekniske løsninger etter hvert som flere trebygg settes opp, og at det kan bli lagt til rette for kombinasjonsløsninger som kan tilpasses fleksibilitet- og funksjonsbehov.

Tiltakshaver sammenligner massivtre med BREEAM-sertifiseringen; til å begynne med var det en stor satsning å BREEAM-sertifisere et bygg, og det måtte medregnes store merkostnader i den sammenheng. Men han uttaler at det i dag ikke koster noe ekstra. Det er blitt innarbeidet i rutinene til samtlige entreprenører siden de første byggene ble sertifisert i 2013 (Grønn Byggallianse, u.d.). Dette viser at bransjen har evnen til å tilpasse seg raskt.

5. DISKUSJON

5.1 Klimagassregnskap

5.1.1 Produksjonsutslipp

Klimagassutslippet fra produksjonen av massivtre er svært varierende for de forskjellige produsentene. Dette har en stor innvirkning i effekten av klimagassreduksjon ved å velge massivtre fremfor betong som konstruksjonsmateriale. Produksjonen i Sverige ved Södra og Stora Enso gjør det betydelige bedre enn den resterende produksjonen med hensyn til klimagassutslipp. Inkluderer man norske Splitkon på tredje plass, gjør de tre skandinaviske produsentene med kortest avstand det best, selv før transporten er medregnet.

De fleste produsentene oppgir kun et samlet klimagassutslipp for modulene A1 – A3 i sine EPD-er, men tre av massivtreprodusentene som er med i denne oppgaven oppgir separate utslipp for modul A1, A2 og A3. Figur 8 viser at det for disse produsentene er modul A1; råvarer som er den største bidragsyteren til klimagassutslipp i den totale produksjonen av massivtre. Varierende avstander mellom skog og sagbruk, alder på maskinpark og energikilder til behandling av tømmer for massivtreprodusentene sine underleverandører, vil ha en stor innvirkning i de respektive produsentenes klimagassutslipp. Selv om en produsent har en moderne og effektiv massivrefabrikk, vil dette kun påvirke klimagassutslippet i A3; produksjonen av elementene i seg selv.

Södra som har et unormalt lavt utslipp sammenlignet med resten av produsentene, forklarer denne anomalien i sin EPD. Produsenten har kontroll over hele produksjonslinjen fra A1 – A3, der de benytter store deler biodrivstoff i maskineriet både i skogdriften og på sagbruket, og transporten for råvarene foregår hovedsakelig ved elektriske tog. Disse metodene vil være med på å holde utslippene knyttet til A1-modulen nede. Deres internttransport mellom sagbruket og den nærliggende massivrefabrikken utføres med elektriske trucker, som tilnærmet eliminerer A2-modulen.

5.1.2 Transportutslipp

Utslippene knyttet til transport av massivtreelementene øker betydelig ved å frakte disse fra Sentral-Europa kontra fra Skandinavia.

For å skape et felles sammenligningsgrunnlag, vektes transportutslippet mot massivtreprosjektene gjennomsnittlige totalutslipp på 656 tonn CO_{2e}. Ved å først betrakte standard transportmetode med bil, ser man at transporten fra Skandinavia bidrar til 0,1 – 0,6 %, mens transporten fra Sentral-Europa bidrar til 2,7 – 3,9 % av totalutslippet. En differanse mellom best og dårligst på 24,4 tonn CO_{2e}.

Dersom en først benytter seg av en av produsentene fra Sentral-Europa, kan man spare 0,7 – 1,0 % (4,6 – 6,7 tonn CO_{2e}) av det gjennomsnittlige totalutslippet ved å benytte seg av tog som transportmetode. Dette vil dog kreve god planlegging og koordinering, da scenarioet ikke er like fleksibelt som leveranse per bil hele veien til byggeplass.

Siste transportsenario; hybrid mellom bil og ferge gjør det dårligst i klimagassregnskapet; en svak økning fra alternativet med bil hele veien.

Som nevnt i 5.1.1 Produksjonsutslipp gjør produsentene fra Skandinavia det best før transporten er medregnet. En ser fra figur 10 at selv når man inkluderer transporten (A1 - A4) for kun disse produsentene, så gjør de det fortsatt bedre enn produksjonsutslippet (A1 – A3) til alle de gitte produsentene fra Sentral-Europa.

Produsentene i Sentral-Europa må ned på Södra sitt nivå for produksjonsutslipp for å konkurrere med produsentene i Skandinavia sitt gjennomsnittlige totalutslipp, med hensyn til klima, når deres transport til Norge er inkludert.

5.1.3 Totalutslipp

Det er mange faktorer som påvirker miljøgevinsten ved å velge trevirke fremfor betong som primært bæresystem, som f.eks. dimensjonering i prosjekteringsfasen eller og andelen metall i knutepunkt for bjelker og søyler.

Sammenlignet med referansebygget i betong som har et totalutslipp på 866 tonn CO_{2e}, har massivtreprosjektet med lavest verdi et estimert totalutslipp på 598 tonn CO_{2e}. Massivtreprosjektet med høyest verdi har et utslipp på 720 tonn CO_{2e}. Differansen mellom massivtreprosjektene på 122 tonn CO_{2e} utgjør 14% av totalutslippet til

betongbygget, en forskjell som kan påvirke en eventuell BREEAM-score eller andre miljøsertifiseringer. Denne oppgaven avdekker at valget av massivtreprodusent har en stor betydning for reduksjonen av klimagassutslipp og er dermed en viktig faktor i klimagassregnskapet.

Trevirke i massivtreprosjektene holder på en god del biogent karbon. Som tabell 29 viser er det forskjellig mengde biogent karbon som lagres i massivtreprosjektene, selv om det er like mange kubikkmeter med trevirke i prosjektene. Hvor mye biogent karbon som lagres, er avhengig av densiteten til trevirket, en verdi som varierer mellom de forskjellige produsentene. Utregningen i oppgaven viser ikke alt det biogene karbonet som lagres i byggene, da det blant annet er treverk i fasader og innvendige lettvegger som ikke er medregnet.

Når trevirket etter endt levetid energigjenvinnes, slippes karbonet ut i atmosfæren igjen, og det biogene karbonet kan derfor ikke medregnes som et offisielt resultat for det totale utslippet p.t. Tiltakshaver ønsker i dette byggeprosjektet å benytte seg av massivtreelementer som kan gjenbrukes. Med tanke på at global oppvarming er et problem her og nå, vil en større andel trevirke i bransjens totale bygningsmasse bidra til mindre CO₂ i atmosfæren. Tross uoffisielt, anses derfor den biogene lagringen som et viktig resultat.

5.2 Økonomi

5.2.1 Estimater fra oppdragsgiver

Kostnaden tilknyttet råbygget er beregnet til å øke med 115,08 % ved bygging med massivtre kontra betong. Dette er en stor differanse, både sett i forhold til de andre faktorene, men også med tanke på størrelsen på kategorien. Råbygget står for en betydningsfull utgift i et byggeprosjekt.

Når det gjelder tømrerarbeider er det anslått et ekstra kostnadspåslag på 3,44 % ved bygging med massiv- og limtre, kostnadene i den sammenheng er med andre ord relativt like. Her skal det dog nevnes at den oppvarmede kjelleren i de to byggene er nesten helt identiske, sett bort i fra 100mm avvik i tykkelse på betongplaten, slik at arbeidet i den forbindelse ikke står for forskjellene i prosent.

Bygningsmessige hjelpearbeider er beregnet til å ha en økning på 12,84 % ved bygging i massivtre kontra betong. Dette er, som tidligere nevnt, en kategori som blant annet dekker branntetting- og fuging. Dette kan sees i sammenheng med at massivtre er et mer brannfarlig materiale enn betong, og det dermed kan kreve mer arbeid for å innfri brannkravene som stilles til bygget.

Entreprisekostnadene til massivtrebygget antas å være 18,20 % høyere enn for betongbygget. Sammenlignes denne verdien med den store prosentøkningen knyttet til råbygget, tyder det på at råbygget står for en stor del av økningen. Med råbygg menes det lukkede bygget; uten inventar, ferdige overflater og tekniske installasjoner. Det er dermed mer enn bare bærematerialene som utgjør totalen for råbygget.

5.2.2 Estimater fra Norsk Prisbok 2017

I estimatet som er utviklet av bachelorgruppen framkommer det en merkostnad tilsvarende 13,44 % i materialkostnader for bæresystemet. Dette er en liten differanse sett i forhold til de 115,08 % i merkostnad for råbygget, estimert av oppdragsgiver.

Kostnadsestimatene som er basert på Norsk Prisbok 2017 viser at de store bygningsdelene; etasjeskillere, tak og yttervegger, er jevnt over dyrere enn betongen, både i totale mengder (se figur 16) og pr m² (se figur 17). Det skal for ordens skyld

nevnes igjen at ytterveggene i betongversjonen er av bindingsverk i tre, og har ikke bærende effekt i konstruksjonen. Innerveggene i betong koster mer enn innervegger i massivtre, men betongkonstruksjonen har høyere volum av innervegger enn massivtrekonstruksjonen, og kostnadsforskjellene er dermed større sett for de totale mengdene i figur 16.

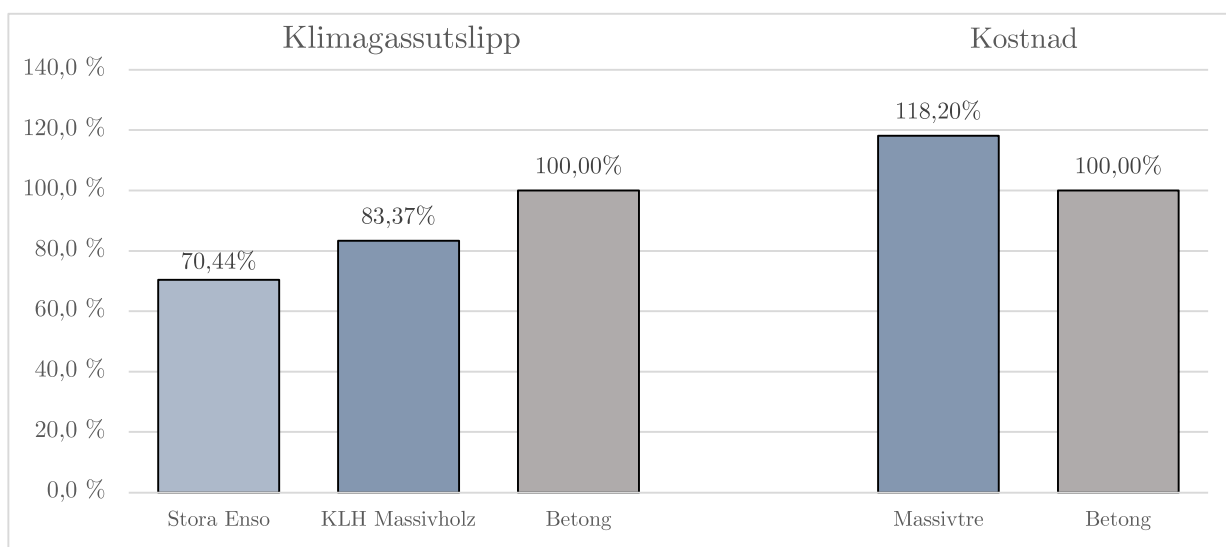
Differansene er relativt stabile når det kommer til bjelker pr m^3 og pr. total mengde. Dette svarer til at volumet av bjelker er tilnærmet likt i de to bæresystemene.

Når det gjelder søyler er differansen større dersom en ser det i kr/m^3 kontra totalt volum, og en kan se at limtre kommer bedre ut prismessig enn betong. Volummessig, over grunnplan, er det omtrent 55 % mer limtresøyler i trebygget, enn betongsøyler i betongbygget. Prisdifferansen blir dermed ikke like stor for totalen. Bæresystemene er noe ulike i oppbygging, hvor massivtrebygget har bæring i inner- og yttervegger, søyler og bjelker. Betongbygget har bærende innervegger, søyler og bjelker. De ulike bygningsdelene har derfor ulikt areal og volum basert på bygningsmateriale, og det er derfor differanser mellom kr/m^2 og kr/m^3 i forhold til kr /totalt volum.

6. KONKLUSJON

Resultatet i klimagassregnskapet avdekker at det er mye å spare på å velge trevirke som primært bæremateriale fremfor betong. Utrekningene viser også at det er tydelige forskjeller i klimagassreduksjonen avhengig av hvilken massivtreprodusent man velger å benytte seg av. For referansebygget på Hasle kan man redusere klimagassutslippet med 144 – 256 tonn CO₂e som estimert tilsvarer 17 – 30 % av et kontorbygg i betong av samme dimensjoner med et totalutslipp på 866 tonn CO₂e. Utslippet i forbindelse med transporten av massivtreelementene øker betraktelig ved å velge en produsent fra Sentral-Europa kontra Skandinavia, differansen mellom dårligst og best ligger på 24 tonn CO₂e. Hovedforskjellen mellom produsentene når det gjelder klimagassregnskapet, ligger derimot i utslippet knyttet til produksjonen av massivtreelementene, her er det en differanse på 89 tonn CO₂e som skiller produsentene med lavest og høyest klimagassutslipp. Gitt at leveransen kommer fra Sentral-Europa, kan man spare opptil ca. 7 tonn CO₂e ved å velge tog som transportmiddel.

Dersom en ser på de økonomiske aspektene ved de to ulike byggematerialene, er dette bygget dyrere å bygge i massivtre enn i betong. Materialkostnadene til bæresystemet i massivtre og limtre - isolert sett - er estimert til å øke med 13,4 %, og kostnadene tilknyttet råbygget er anslått å være 115,1 % høyere, Økningen i entreprisekostnader er estimert til å være 18,2 %, sammenlignet med et tilsvarende bygg i betong.



Figur 22: Klimagassutslipp og kostnader sett i forhold til et tilsvarende betongbygg.

7. INNOVASJON OG VEIEN VIDERE

I en markedsanalysegjennomført av Trebruk i 2017 (Aasheim & Lier, 2017), er det redegjort for framtidsutsiktene for massivtre i Norge. Her blir det estimert at i 2016 ble 5% av alle nye næringsbygg i Norge, bygget i massivtre. Dette tilsvarer at det ble bygget i massivtre for omtrent 2.400 m³ eller 21 millioner kroner. Videre estimerer de, basert på markedsstatistikk og bruksområdene til materialet, at det i 2024 vil bli bygget næringsbygg for 69 millioner kroner. Dette tilsvarer en mengde på 7.800 m³. Til sammenligning krever referanseprosjektet i denne oppgaven 646 m³ for sine 3025 m² BTA.

Næringsbygg i massivtre er, ifølge denne analysen, særdeles sjelden i forhold til andre type bygg pr. 2016. Den viser til at de fleste byggene som ble bygget i massivtre i 2016 var skoler, eldreboliger og studenthybler, hvor hele 70 % av sistnevnte kategori, ble bygget i massivtre.

Flere av intervjuobjektene refererte til at bygging med massivtre krevde nytenkning og gjennomtenkte løsninger. Etter hvert som flere får erfaring på dette området, vil det framkomme nye løsninger som effektiviserer og reduserer kostnadene i prosjektene. Det engelske arkitektfirmaet Waugh Thistleton har bygget flere bygg i massivtre blant annet i London, og har funnet løsninger underveis



Figur 23: Massivtreelementene har midlertidig integrerte sikkerhetsgjerder på byggeplass.
Foto: Waugh Thistleton Architects

som effektiviserer byggingen. De har blant annet bestilt massivtreveggene med oppdelte åpninger der det ellers ville vært behov for sikkerhetsgjerder, slik som en kan se på bildet i figur 23. De har også laget egne beslag i stål, som kan benyttes både for løfting av massivtreelementene og avlastning av dekker i forbindelse med høy punktlast fra søyler (Bjørheim, 2018).

I Rakkestad kommune i Viken fylke har kommunestyret vedtatt at «alle kommunale nybygg skal vurderes bygget i massivtre» (Rakkestad kommune, u.d.). Dette vedtaket har skjedd i forbindelse med kampanjen «ordførere for tre», som har som hensikt å oppfordre andre kommuner til å innarbeide vedtak om bruk av tre, og igangsetting av byggeprosjekter i massivtre (Skogtiltaktsfondet, 2018). Et initiativ som dette utfordrer og oppfordrer flere i bransjen til å levere inn tilbud på også disse prosjektene.

Dersom massivtre blir mer utbredt på det norske markedet, vil sannsynligvis også kunnskapsnivået til bransjen øke i takt med bruken. Formidlingscenteret Trebruk foreslår å støtte «ordførere for tre» samt byggherrer i anbudsfasen for å heve kompetansen innen bruk av tre. De oppfordrer også til å arrangere befaringer på byggeplasser og ferdige bygg, slik at flere kan få sett praksisen på disse prosjektene (Trebruk, u.d.). I det tilfellet vil det bli større økonomisk trygghet til kalkyler, da de kan knyttes til erfaringsdata – også for utførende arbeidere. Økt utbredelse vil også kunne føre til flere preaksepterte løsninger som sikrer trygghet i de fagområdene mange i dag er usikre på – som brann og akustikk. Økt etterspørsel på norsk jord vil også legge til rette for økt produksjon i Norge, som igjen kan føre til lavere klimagassutslipp for massivtreprosjektene våre, og utjevne prisforskjellen vi ser i dag.

Den svenske massivtreprodusenten Södra planlegger en kapasitetsøkning slik at de får levert til det nordiske markedet (Lier & Aasheim, 2020). Dersom dette blir en realitet, og de begynner å levere også til det norske markedet, vil dette være et grunnlag for økt konkurranse blant produsentene, noe som kan være til fordel for både miljø og pris.

8. REFERANSER

Anon., u.d. [Internett].

Bjørheim, K., 2018. <https://www.tu.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.tu.no/artikler/bygger-hoyere-raskere-og-billigere-med-massivtre-br/451131>

[Funnet 17 Mai 2021].

BREEAM NOR, 2012. <https://byggalliansen.no/>. [Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/07/BREEAM-NOR-Norw-ver-1.1.pdf>

[Funnet 22 Mars 2021].

BREEAM, u.d. <https://www.breeam.com/>. [Internett]

Available at: <https://www.breeam.com/>

[Funnet 17 Mars 2021].

Byggforsk, 1999. <https://www.byggforsk.no/>. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/2766/programmering_av_byggeprosjekter

[Funnet 3 Mai 2021].

Byggforsk, 2020. <https://www.byggforsk.no/>. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/1538/brannmotstand_for_etasjeskillere_av_tre_og_betong#i54

[Funnet 9 Mars 2021].

Bøhn, E. D., 2019. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/metode>

[Funnet 24 April 2020].

Cathrine Glosli, 2018. Så miljøvennlige er trebygg. *NMBU*, 28 Mai, pp.

<https://forskning.no/nmbu-norges-miljo-og-biovitenskapelige-universitet-miljo-jord-og-skog/sa-miljovennlige-er-trebygg/266554>.

DIBK, 2019. <https://dibk.no>. [Internett]

Available at: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/utfordringer-med-krysslaminert-massivtre-i-hoye-bygninger/>

[Funnet 5 Mars 2021].

EPD Norge, u.d. <https://www.epd-norge.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>

[Funnet 18 Mars 2021].

Forskning.no, 2018. <https://forskning.no/>. [Internett]

Available at: <https://forskning.no/arkitektur-bygningsmaterialer-forskeren-forteller/forskeren-forteller-neste-generasjons-trebygg-kommer-na/272123>

[Funnet 22 April 2021].

Granås, S., 2019. *Første massivtrehus med norsk tømmer*, s.l.: Tekniske nyheter.

Grønmo, S., 2020. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: https://snl.no/kvantitativ_metode

[Funnet 24 April 2021].

Grønmo, S., 2020. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: https://snl.no/kvalitativ_metode

[Funnet 24 April 2021].

Grønn Byggallianse , 2019. <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>. [Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>

[Funnet 23 Mars 2021].

Grønn Byggallianse;Context, 2020. *Grønn Materialguide*, s.l.: Grønn byggallianse.

Grønn byggallianse, u.d. <https://byggalliansen.no>. [Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/>

[Funnet 17 Mars 2021].

Grønn Byggallianse, u.d. <https://byggalliansen.no/>. [Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/kunnskapssenter-prosjekter/breeam-sertifiserte-prosjekter/>

[Funnet 7 Mai 2021].

Høegh eiendom, 2021. <https://hoegheiendom.no/>. [Internett]

Available at: <https://hoegheiendom.no/stedsutvikling/satser-pa-demonterbare-bygg-i-tre>

[Funnet 11 Mai 2021].

Høegh Eiendom, u.d. <https://hoegheiendom.no/>. [Internett]

Available at: <https://hoegheiendom.no/ledige-kontorlokaler/k10a?office=hasle-tre-office-1&plan=k10a-office-1-plan-1>

[Funnet 15 Mars 2021].

IEA , 2019. <https://www.iea.org/>. [Internett]

Available at: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>

[Funnet 5 Februar 2021].

Klimaloven, 2017. <https://lovdata.no/>. [Internett]

Available at: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60>

[Funnet 6 April 2021].

Kvellheim, A. K., 2020. <https://www.sintef.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>

[Funnet 11 Mai 2021].

LCA, O. C., 2020. <https://oneclicklca.zendesk.com/>. [Internett]

Available at: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014985940-Carbon-Designer-Early-Design-Optimization>

[Funnet 14 Mai 2021].

Lier, B. & Aasheim, P. A., 2020. *Viken Skog*. [Internett]

Available at: <https://www.viken.skog.no/files/documents/brosjyrer/markedsanalyse-230120.pdf>

[Funnet april 2021].

Norsk betongforening, 2018. <https://betong.net>. [Internett]

Available at: <https://betong.net/wp-content/uploads/7-web-Resirkulering-og-gjenbruk-av-betong.pdf>

[Funnet 24 Mars 2021].

Norsk treteknisk institutt | Trefokus, 2011. <http://www.trefokus.no>. [Internett]

Available at: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>

[Funnet 29 Mars 2021].

Olerud, K. & Lahn, B., 2020. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter>

[Funnet 18 Mai 2021].

One Click LCA, 2020. <https://www.oneclicklca.com/>. [Internett]

Available at: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014964920-NS-3720-Klimagassverkt%C3%B8yet-One-Click-LCA-Norge>

[Funnet 5 Mars 2021].

One Click LCA, 2021. *Oneclicklca.com*. [Internett]

Available at: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014964920-NS-3720-Klimagassverkt%C3%B8yet-One-Click-LCA-Norge>

[Funnet Mai 2021].

Pedersen, B., 2020. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/varmeledning>

[Funnet 11 Mai 2021].

Rakkestad kommune, u.d. *SAKSFRAMLEGG*. s.l.,

<https://www.rakkestad.kommune.no/cpclass/run/cpesa62/file.php/def/150000012739d150000012739o314b69/massivtre-prosjekt-rakkestad.pdf>.

Rolstadås, A., 2020. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/prosjektplanlegging>

[Funnet 6 April 2021].

SINTEF Byggforsk, 2018. <https://brekkestrand.no/>. [Internett]

Available at: <https://brekkestrand.no/betong-og-miljo/>

[Funnet 11 Mai 2021].

SINTEF Community, u.d. <https://www.sintef.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/ekspertise/community/betong/>

[Funnet 22 Mars 2021].

SINTEF, 2020. <https://www.sintef.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/trygt-a-bruke-massivtre-i-barekonstruksjoner/>

[Funnet 9 Mars 2021].

SINTEF, u.d. <https://www.sintef.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/projectweb/miljodeklarasjoner/>

[Funnet 15 Mai 2021].

Skogtiltakfondet, 2018. *Sluttrapport OFT*, s.l.:

http://www.skogtiltakfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2018/2018-07_Ord%C3%B8rere%20for%20tre.pdf.

SNL, 2019. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/limtre>

[Funnet 8 Mars 2021].

SNL, 2019. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/betong>

[Funnet 22 Mars 2021].

Standard Norge, 2015. *NS-EN ISO 9000:2015 Ledelsessystemer for kvalitet - Grunntrekk og terminologi*, s.l.: Standard Norge.

Standard Norge, 2018. *NS 3720:2018*, Metode for klimagassberegninger for bygninger: Standard Norge.

Sweco, 2020. <https://www.sweco.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.sweco.no/nyheter/nyhetsartikler/2020/massivtre-og-stoy/>

[Funnet 6 April 2021].

Technology In Architecture, 2018. <https://technologyinarchitecture.com/>. 11 November.

Thue, J. V., 2019. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/lydisolering>

[Funnet 11 Mai 2021].

Time, B. & Geving, S., 2021. <https://www.sintef.no/>. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/a-bygge-med-massivtre-i-regnvar/>
[Funnet 11 Mai 2021].

Trebruk, u.d. <https://trebruk.no/>. [Internett]

Available at: <https://trebruk.no/prosjekter/>
[Funnet 17 Mai 2021].

TreFokus AS, u.d. <http://www.trefokus.no>. [Internett]

Available at: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>
[Funnet 5 Mars 2021].

TreFokus AS, u.d. *Trefokus*. [Internett]

[Funnet 2021].

Trefokus, u.d. <http://www.trefokus.no>. [Internett]

Available at: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre>
[Funnet 22 Februar 2021].

Trefokus, u.d. <http://www.trefokus.no>. [Internett]

Available at: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre>
[Funnet 8 Mars 2021].

UIO, 2011. <https://www.mn.uio.no>. [Internett]

Available at:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/plfys/fotosyntese/>
[Funnet 9 Mars 2021].

Årtun, T. & Nesse, N., 2021. <https://snl.no/>. [Internett]

Available at: <https://snl.no/sement>

[Funnet 11 Mai 2021].

Aasheim, P. A. & Lier, B., 2017. *Markedsanalyse massivtre markedet i Norge 2017-2024*, Vestby: Trebruk AS.