



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Klimagassutslipp fra et mobilt hotellrom i krysslimt tre

Livsløpsanalyse for KL-tre

Greenhouse gas emissions from a transportable
hotel room in cross laminated timber

Life cycle assessment of CLT

Jo Håvard G. Gjerdrum

Master Skogfag

Forord

Tusen takk til alle som har hjulpet og veiledet meg gjennom studietiden, og spesielt det siste halvåret. Takk til Professor ved Fakultet for Miljøvitenskap og Naturforvaltning, Anders Q. Nyrud, som har veiledet meg gjennom en lang prosess i masteroppgaven og arbeidet i forkant av oppgaven.

Tusen takk all familie og samboer for utholdenhet og hjelp til både skrijving, kommentering av språk og motivasjon. Jeg setter stor pris på støtten jeg har fått.

Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet

Våler i Solør, 01.07.21

Jo Håvard G. Gjerdrum

Sammendrag

For å bekjempe klimaendringene i verden, kreves samarbeid og mer bruk av trevirke. I turistnæringen i Norge er klimavennlighet og bærekraft viktig. Firmaet Eventyrlige Opplevelser, i Sør-Fron i Gudbrandsdalen, prøver å lage en eventyrlig overnatting for sine gjester. Derfor bygger de ut flyttbare hotellrom i krysslimt tre, som har et forventet lavt klimaavtrykk.

I oppgaven ser en på klimagassutslippet fra konstruksjon av tre ulike hotellromsmoduler. For å beregne klimaavtrykket blir det benyttet analysemetoden livsløpsanalyse (LCA). Det er bare utslipp fra selve konstruksjonen av hotellrommet som er temaet for oppgaven. I tillegg ser en på hvilke påvirkningsfaktorer som er størst og hvilke faktorer som er mulig å gjøre noe med.

For de tre forskjellige modulene, ble det beregnet antall kg CO²-ekvivalenter.

Det totale utslippet fra produksjonen av hotellrommet ble på 208,3 kg CO²-eq for Metode 1, 239,4 kg CO²-eq for Metode 2 og 255,2 kg CO²-eq for den allerede bygde prototypen.

Forutsatt 100 gjestedøgn pr. år, bli utslippet pr. gjestedøgn for Metode 1 på 34,7 gram CO²-eq pr. gjest i hotellrommodulens levetid.

I studien fremkommer et utslipp av KL-treproduksjonen hos Ottadalen Massivtre på 77,15 kg CO₂-eq/ m³. Dette viser at KL-tre produksjonen hos Ottadalen Massivtre gir lave utslipp.

Abstract

Combating climate change in the world requires cooperation and more use of wood. In the tourism industry in Norway, climate friendliness and sustainability are important. The company Eventyrlige Opplevelser, in Sør-Fron in Gudbrandsdalen, is trying to create an adventurous accommodation for its guests. Therefore, they are constructing mobile hotel rooms in cross laminated timber, which has an expected low climate footprint.

The thesis looks at greenhouse gas emissions from the construction of three different hotel room modules. To calculate the climate footprint, the analysis method life cycle analysis (LCA) is used. Only emissions from the actual construction of the hotel room are the subject of the thesis. In addition, one looks at which influencing factors are greatest and which factors it is possible to do something about.

For the three different modules, the number of kg CO₂ equivalents was calculated.

The total emissions from the production of the hotel room were 208.3 kg CO₂-eq for Method 1, 239.4 kg CO₂-eq for Method 2 and 255.2 kg CO₂-eq for the already built prototype.

Assuming 100 guest-nights per year, the emission per guest-night for Method 1 is calculated to be 34.7 grams CO₂-eq during the lifetime of the hotel room module.

The study shows an emission from CLT production at Ottadalen Massivtre of 77.15 kg CO₂-eq/m³. This indicates that CLT production at Ottadalen Massivtre produces low emissions from their product.

Innhold

Forord.....	2
Sammendrag.....	3
Abstract	4
1. Introduksjon.....	7
1.1 Eventyrlige Opplevelers målsetting opp mot gjesters opplevelse.....	8
1.2 Hvorfor livsløpsanalyse?.....	10
1.3 Produksjonen av modulen	11
1.4 Litteraturstudie	12
1.5 Problemstillinger	15
2. Teori	16
2.1 Livsløpsanalyse (LCA).....	16
2.1.1 Mål og omfang	17
2.1.2 Funksjonell enhet	17
2.1.3 LCA standarder	17
2.2 Miljødeklarasjon.....	18
2.3 CO ₂ i skogen.....	18
2.4 Krysslimt massivtre	19
2.4.1 Produksjon av KL-tre hos Ottadalen Massivtre	21
2.5 Produksjon av lim.....	21
3. Materialer og Metode	23
3.1 Forklaring av metode.....	23
3.2 Dataprogram og databaser.....	25
3.3 Lim og herder	26
3.4 Trelast.....	26
3.5 Energi	26
3.6 Datainnsamling.....	26
3.7 Funksjonell enhet	27
3.8 Referansestrøm.....	27
3.9 Systemgrenser	27
3.10 Fordeling av utslipp i koder.....	28
3.11 Transport	28
4. Resultater.....	30
4.1 Metode 1.....	30
4.2 Prototypen	32
4.3 Metode 2.....	33

4.4 Sammenligning av de tre metodene	34
4.5 Påvirkningsfaktorer	35
4.5.1 Transport	35
4.5.2 Energi og Strøm.....	36
4.5.3 Maskiner og skruer	36
4.5.4 Lim og herder	36
4.5.5 Trelast.....	36
4.6 Andre resultater	37
5. Diskusjon.....	38
5.1 Prototype satt opp mot ny hotellromsmodul	38
5.2 Forbedring av modell	38
5.3 Følsomhet for forandringer.....	38
5.4 Sammenligning med andre studier	39
5.5 Andre bemerkninger.....	40
5.5.1 Opptak av CO ₂	40
5.5.2 Bruk av landskap og mindre infrastruktur.....	40
6. Konklusjon	41
6.1 Feilkilder	42
Etterord.....	43
Referanser.....	44

1. Introduksjon

Det kreves mer fokus og oppmerksomhet på klimavennlige løsninger i alle deler av våre liv. Dette gjelder også når man skal på ferie eller overnatte på hoteller eller lignende. Reiselivet i Norge jobber mot å finne stadig mer miljø- og klimavennlige måter å drive sine bedrifter på for å opprettholde Norge som en attraktiv feriedestinasjon. Norges unike natur er grunnlaget for mye av det turistbaserte reiselivet. Norsk Reiseliv skriver på sin hjemmeside at de har mål om å sikre bærekraftig vekst i reiselivsnæringen. (Norsk-Reiseliv, 2021). For å sikre dette vil bruk av lokale råvarer og bygging av klimavennlige overnattingssteder være et viktig bidrag. Tre er et klimavennlig byggemateriale som gjennom fotosyntesen binder store mengder karbon. Karbonet bindes i treet i hele dets levetid, og byggverk i tre vil derfor ha en positiv effekt for CO₂-regnskapet samtidig som det er lang tradisjon for bruk av tre i bygninger i Norge. Et bærekraftig reiseliv burde derfor ha fokus på bygg i treverk. Krysslimt tre (senere kalt KL-tre) er en type massivtre, som har blitt stadig mer brukt i bygninger de senere årene. KL-tre har mange positive egenskaper i tillegg til den klimamessige effekten. Elementer kan i fabrikk formen i ulike størrelser og tykkelser, alt etter hva kunden ønsker. Siden de ferdigproduserte elementene kan fraktes hele rett til byggeplassen, kan slike trehus bygges vesentlig mye raskere enn tradisjonelle reisverksbygg. Man hører også stadig om positive effekter på inn klima og økt trivsel i bygninger laget av massivtre.

Firmaet Eventyrlige Opplevelser AS, ble startet av Marita Aaneke og Eskil Hovland som en ide til overnatting på Per Gynt-forestillingen på Gålå i 2016. Herifra kom det flere ideer, og Marita og Eskil hadde lyst til å prøve å lage noe mer enn bare overnatting på Gålå. Deres bedrift er lokalisert på Aaneke gard i Sør-Fron midt i Gudbrandsdalen. Grunnideen bak konseptet deres er å få folk i nærmere kontakt med naturen og seg selv, med et fokus på miljø og klima. Deres målsetting er å ha overnattingsmuligheter «til vanns, til lands og i lufta med», akkurat som i eventyret om Askeladden. Eventyrlige Opplevelser har så langt fått laget en hotellroms-modul som en prototype på modulen som skal være i fokus i denne oppgaven. De har også satt opp sveve-telt som en alternativ overnatting, i skogen ovenfor gården.

I sammenheng med Covid 19, med restriksjoner på nordmenns mulighet til å feriere utenlands, har det blitt et økt trykk på norsk reiseliv. Nordmenn har fått øynene opp for feriemuligheter i eget land, og mange søker unike, naturbaserte ferieopplevelser. Dette har vært positivt for Eventyrlige Opplevelser, med sitt spesielle produkt.

Denne oppgaven skal være en klima-analyse av produksjonen av et planlagt, flyttbart hotellrom i massivtre av KL-tre elementer. Det skal benyttes Livsløpsanalyse (Life Cycle Assessment) (LCA) metoden, som har kommet mer og mer inn som en standard for å måle klimabelastningen av mange produkter.

I byggingen av en forbedret modul har det hele tiden vært fokus på nærhet, både til materialene og til produsenten av rommet. Det ble tidlig klart at prototypen skulle bygges i tre, og den er satt sammen av krysslåst tre fra fjellfuru som er hentet nær gården. Ottadalen Massivtre som holder til i Vågå, noen mil lengre nord i Gudbrandsdalen, har bygd prototypen og skal også produsere den forbedrede modulen. Kortreist tre og lokal produksjon av modulen er en viktig del av Eventyrlige Opplevelses konsept.

Prototypen har blitt brukt av en del gjester allerede. Som en forberedelse til oppgaven, har jeg intervjuet 11 tidligere gjester, som har overnattet i prototypen. Ut fra svarene kom det nyttige innspill om hva som burde forbedres på den nye modulen. Prototypen er bygget i KL-tre og den veier ca. 3 tonn. Det er en dør på hver side, og et stort panoramavindu i front. Det siste året har jeg som en del av oppgaven deltatt i et eget prosjekt med mål om å gjøre modulen lettere og enklere å transportere.

Prosjektet har ved et samarbeid mellom Eventyrlige Opplevelser, Nordplan AS, professor Anders Q. Nyrud ved NMBU, Ottadalen Massivtre og meg selv kommet frem til en rekke forbedringer av modulen. Det vil bl.a. bli utvidet front, senket tak med takvindu og den ene døra fjernes. Innvendig settes det inn en enkel peis i tillegg til at senga, som er hovedelementet i rommet, skal snus 90 grader. De nye forbedringene av modulen vil kunne senke totalvekten og skape en enda bedre overnattingsopplevelse for gjestene. Den nye modulen har blitt tegnet av arkitekt Anne Katrin Taagvold ved Nordplan AS i Vågå.

1.1 Eventyrlige Opplevelses målsetting opp mot gjesters opplevelse

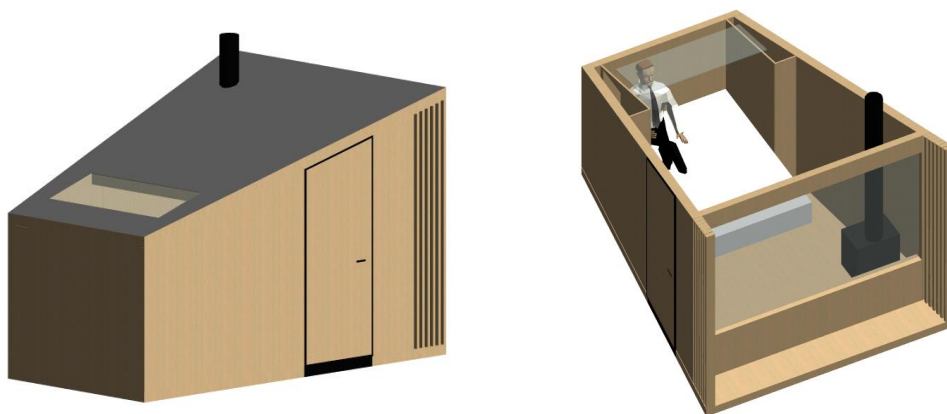
Eventyrlige Opplevelser har lyst til å selge et produkt til gjestene sine som skaper trygghet, opplevelser, miljøtankegang, generell tankevekking og nærhet til naturen. For å få alt dette til, vil de tilby noe luksuriøst samtidig som det skal være naturlig og tradisjonelt. Gjestene skal ha en ro og en god samvittighet da de har prøvd denne overnattingen. De skal også ha med seg ny lærdom og kunnskap om klima og natur.

Hotellrommet skal ha så lavt klimaavtrykk som mulig, og passe inn under FNs bærekraftsmål. Disse målene er en felles arbeidsplan for hele verden for å utrydde fattigdom og bekjempe ulikhet i tillegg til å stoppe klimaendringene innen 2030 (FN, 2021). Eventyrlige Opplevelser har helt fra sin oppstart hatt disse målene i fokus, og vil prøve å jobbe mot flest mulig av dem. De mest nærliggende målene vil nok være 11. *Bærekraftige lokalsamfunn*, 13. *Stoppe klimaendringene* og 17. *Samarbeid for å nå målene* (FN, 2021).

I tillegg skal denne modulen kunne flyttes ut i skogen eller opp på fjellet der gjesten har lyst til å bo. Dette er viktig fordi en stor del av opplevelsen til beboerne i hotellrommet blir utsikten, og dermed er også plasseringen av modulen en viktig del av det å gjøre denne opplevelsen og overnattingen så bra som mulig. Nedenfor er det bilder og tegninger av både prototypen, og den nyutviklede modulen.



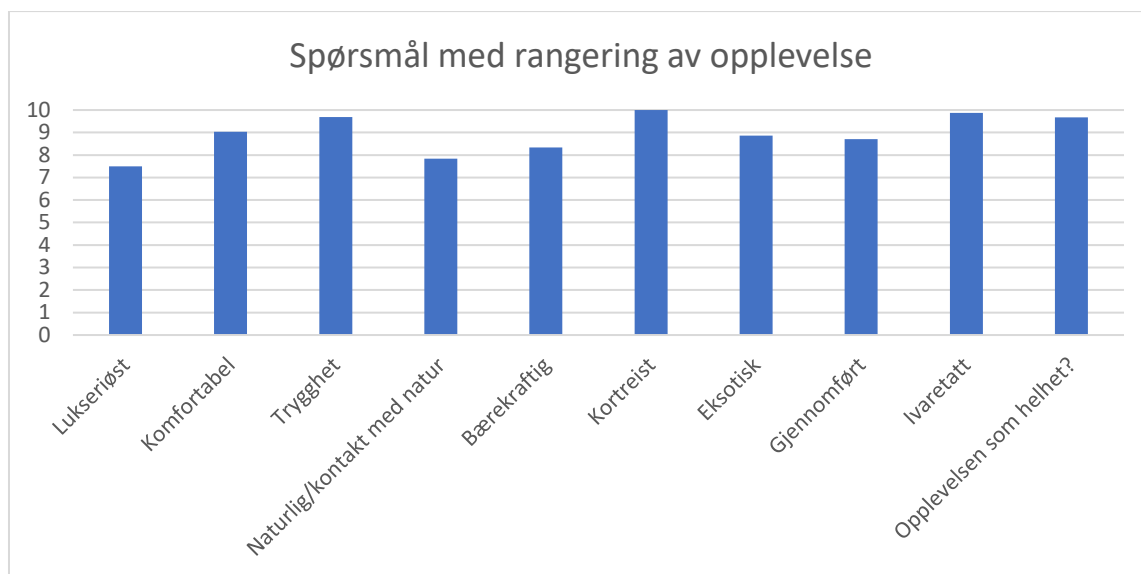
Figur 1 og Figur 2 Prototypen med mål. (Foto: Eventyrlige Opplevelser)



Figur 3 og Figur 4 Tegninger av ny modul. (Skisse: Anne Katrin Taagvold)

Gjennom intervjuene som ble gjennomført sommer og høst 2020, var ett av funnene at det var få som hadde noen tanker om miljø og klimaeffekten av sin overnatting. Noen nevnte også at en informasjonsplakat i rommet ville ha vært fint, for å ha en ide om klimaeffekter. Herifra

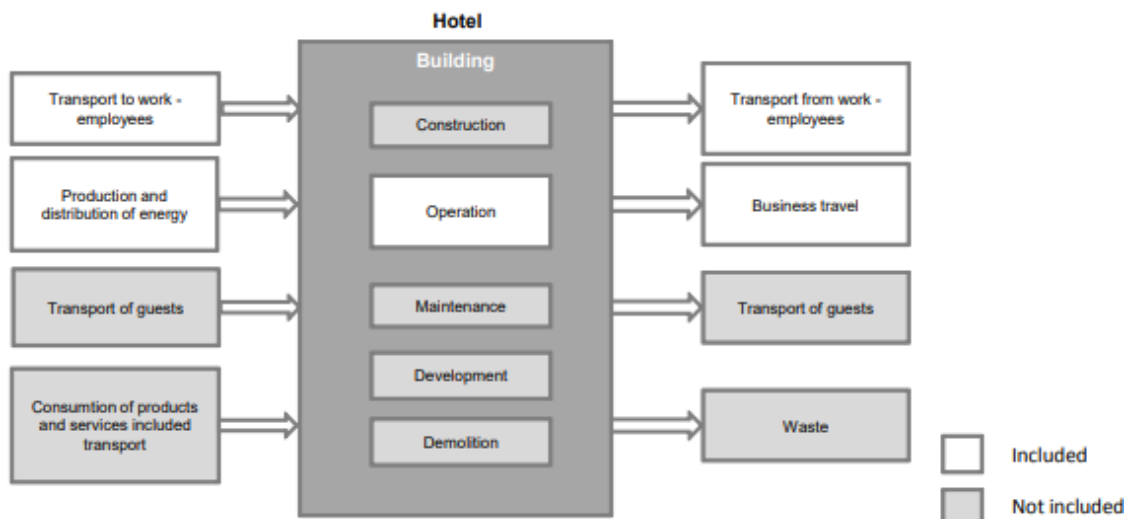
kom ideen om en livsløpsanalyse, for å gi gjestene et innblikk i hvor stor klimaeffekt deres overnatting innebærer. I intervjuene ble det også spurt om hvilke deler som var viktig for deres velvære, hvilke forandringer de ville ha gjort på modulen, hva de syntes om utsikten og hvordan inneklimate i modulen var. Gjестene ble også spurt om å rangere hvor luksuriøst det var, hvor komfortabelt det var, hvor trygge de følte seg, hvor mye nærhet til naturen de følte, hvor eksotisk, hvor klimavennlig og hvor god opplevelsen var som helhet. Nedenfor finner du diagrammet som viser svarene. Gjестene skulle rangere ulike tema fra 1-10, der 1 er lavest og 10 er maksimal score.



Figur 5: Resultater av intervjuer av gjester som har overnattet i prototypen. Det ble intervjuet 11 gjester.

1.2 Hvorfor livsløpsanalyse?

En livsløpsanalyse er en kartlegging av det totale klimagass-utslippet et produkt gir helt fra råstoffutvinning/start av planlegging til slutt med resirkulering. Dette har blitt den vanligste metoden for å beregne klimagassutslipp de siste årene. Gjennom denne analysen vil man kunne se hvilke deler av prosjektet som har mye utslipp, og hvor det vil være mulig å senke utslippet. Under kan man se hvordan Anne Rønning og Andreas Brekke i Norsk institutt for bærekraftsforskning (Rønning and Brekke, 2008), satte opp sin LCA for hotellrom i Skandinavia.



Figur 6 Viser hvilke deler av hotellet de har sett på og analysert i sin LCA (Rønning and Brekke, 2008).

1.3 Produksjonen av modulen

Ottadalen Massivtre ble startet i 2018, og har vinteren 2020-2021 kjøpt opp hele konkursboet til Nordisk Massivtre sin fabrikk på Kongsvinger. Utstyret har blitt flyttet opp til et nytt lokale i Vågå i Gudbrandsdalen, og er snart klart til å produsere nye KL-treelementer. I denne fabrikken produseres det opp til 120 cm brede elementer, og det brukes mest lokal furu i produksjonen. Her bruker de en høyfrekvent taktpresse etter påføring av lim. Bildet nedenfor viser denne pressen:



Figur 7 Limpressen hos Ottadalen Massivtre (Foto: Jo Håvard G. Gjerdrum)

Limtypen de bruker er melamin-urea-formaldehyd (MUF), som er et ganske vanlig lim i produksjonen av limtre, men mindre brukt i krysslimt tre. I de nye lokalene til Ottadalen Massivtre vil de kunne produsere hele modulen til Eventyrlige Opplevelser. De benytter

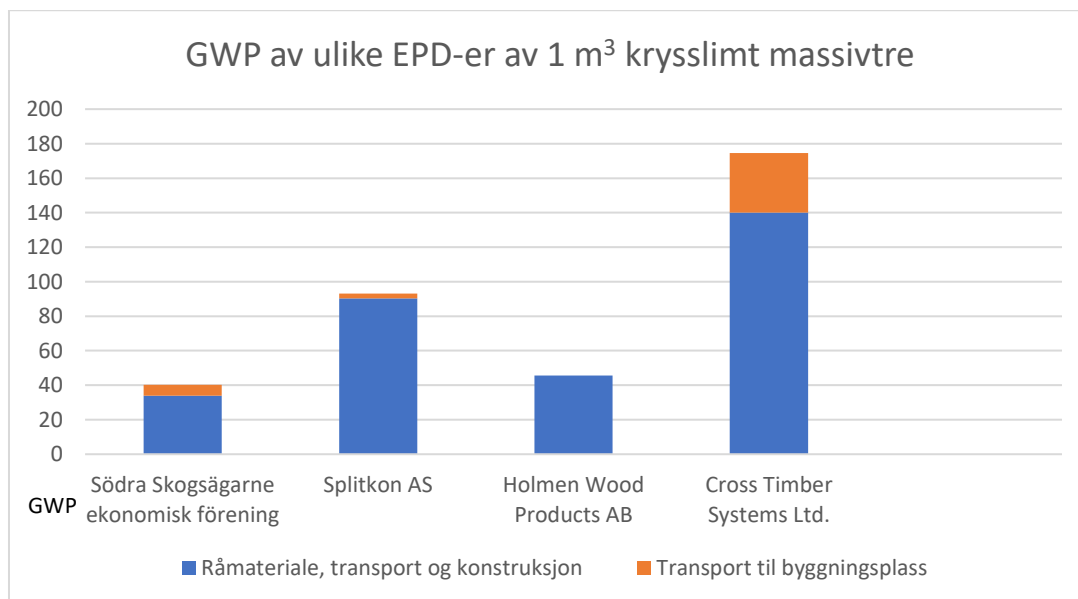
naturtørket trelast, og bruker alt av flis og kapp inn i en flisfyringsovn til oppvarming av fabrikken. Det vil komme en datastyrt fres på plass i løpet av et års tid, som vil kunne gjøre avanserte utskjæringer veldig nøyaktig. De planlegger å ha omtrent 5 ansatte for å drifte fabrikken.

Sagbruket Langmorkje er en av hovedleverandørene av trelast til Ottadalen Massivtre. Denne Allmenningen er eid av 426 bruk i Vågå og de står for driften av Langmorkje statsallmenning og driften av sagbruket i Randsverk. Her forvaltes det omtrent 80 000 dekar furuskog, og det avvirkes årlig omtrent 7000 kubikk. Sagbruket ligger 25 km fra Ottadalen Massivtre, som gir korte transport-etapper for trelasten.

Sjåk Allmenning er den andre leverandøren til Ottadalen Massivtre. Allmenningen dekker et areal i underkant av 2 millioner dekar, og 95% av arealet er eid av Skjåk kommune. Det er mye høyfjellsområder, men ca. 82 000 dekar er furuskog. Sagbruket ligger omtrent 50 km fra fabrikken til Ottadalen Massivtre.

1.4 Litteraturstudie

En EPD er en standardisert miljødeklarasjon av et produkt (Environmental Product Declaration)(EPD-Norge, 2021). EPD-er fra EPD Norge har vært til stor hjelp med å forstå mengden klimapåvirkning fra produksjonen av KL-tre. Diagrammet under viser EPD-ene av KL-tre konstruksjon opp mot hverandre:



Figur 8: GWP = global warming potential, altså hvor mange kg CO₂ ekvivalenter som slippes ut (Södra-Skogsägarna-ekonomisk-förening, 2020) (Splitkon-AS, 2020) (Holmen-Wood-Products, 2019) (Cross-Timber-Systems, 2017).

Som vi kan se er det stor forskjell i det globale oppvarmingspotensialet for de forskjellige massivtre-produsentene. Dette er interessant fordi det betyr at hvordan selve produksjonen av KL-tre skjer, har stor betydning for utslipp av klimagasser. Disse beregningene er alle for 1 m³ med krysslimt tre. Det tas forbehold om at det kan være små forskjeller i forutsetningene i de ulike EPD-ene.

Fra Standard Norge kan man hente ut de standardene som gjelder for livsløpsanalyser i Norge og Europa. NS-EN ISO 14044:2006 er standarden som gir retningslinjer og krav for livsløpsanalyser. Denne har i etterkant blir revidert og har gjennomgått små endringer, siste gang i 2020. I tillegg brukes NS-EN ISO 14040:2006, som gir rammeverket og prinsippene for livsløpsvurdering. (Standard-Norge, 2006a, Standard-Norge, 2006b).

For å lære mer om hvordan man skal gjøre en livsløpsanalyse korrekt, har jeg hatt mye hjelp fra faget FORN220 Livsløpsvurdering fra NMBU, og av boken fra Mary Ann Curran; Life Cycle Assessment Student Handbook. (Curran, 2015) som er en del av pensum i FORN220. Her er metodene for grundige livsløpsanalyser gjennomgått.

Fra artikkelen (Hoxha et al., 2020) har jeg fått et mer kritisk syn på LCA-metodene som benyttes for bygninger og for biologisk karbon. De skiller her mellom to hovedtyper av beregning av LCA. Den ene kalles 0/0 metoden, som ser bort fra opptak og utslipp fra det biologiske karbonet. -1/+1 metoden regner på alt biologisk karbon som går gjennom systemet. Både opptak og utslipp av karbon medregnes fra biologiske materialer her.

I artikkelen "Cross-laminated timber constructions in a sustainable future - transition to fossil free and carbon capture technologies" (Tellnes et al., 2020), viser man frem hvordan KL-tre kan gjøre en forskjell i overgangen til en grønnere fremtid. Det konkluderes her med at KL-tre i bygninger kan oppnå et opptak/binding av karbon gjennom levetiden, som vil bli viktig for å få ned CO₂-mengden i atmosfæren.

I artikkelen (Filimonau et al., 2011), bruker de energi som hovedfaktor, for å gjøre en forenklet analyse av utslippene. Dette kalles Life Cycle Energy Analysis (LCEA), og de mener dette er en bedre metode å bruke på hotell. De ser i sin studie på to overnattingssteder i Poole, Dorset i Storbritannia. Her finner de at hotellene de har sett på er mindre karbon-intensive enn tidligere studier. De har sett at mindre hoteller vil ha en lavere klimapåvirkning enn større hoteller, noe som også vil tydeliggjøres i denne analysen.

I artikkelen (Rønning and Brekke, 2008), ser man på klimapåvirkningen av Choice Hotels Scandinavia. I denne studien ser de kun på bruken av hotellet. De tar dermed ikke med konstruksjonen, resirkuleringen eller vedlikeholdet av hotellet. Her har man brukt Global Reporting Initiative og Publicly Available Specification (PAS) 2050 for å sammenligne metodene som benyttes i hotellbransjen.

I bachelor-oppgaven, Sustainability in hospitality (Clevehorn, 2019), ser Clevehorn på et nyoppstartet hotell som driver med fokus på bærekraft. Hun har her intervjuet personer og gjester om hva de mener om hotellbransjen sin satsing på en mer bærekraftig måte å drive på. Hun finner ut omtrent det samme som resultatene av mine intervjuer, at folk er villige til å betale mer for en mer bærekraftig overnatting. Hun fant også ut at folk og gjester ikke kan så mye om klima og bærekraft, og at hotellene burde fokusere mer på å få gjestene til å forstå hva dette betyr.

I FutureBuilt ZERO (Andresen et al., 2020) legger de frem hvilke regler og dokumentasjonskrav som ligger i deres plan for lavutslippsbygg og -områder. De viser til at Norge må redusere utslipp av klimagasser med 50-55% innen 2030 og 90-95% innen 2050 i henhold til Paris avtalen. Dette prosjektet skal være en pådriver for å nå klimamålene raskest mulig, og de setter dagens beste praksis og dagens gjennomsnittlige praksis opp mot hverandre. Det er tydelig her at fokuset ligger på å få biogent karbon i form av treprodukter mer inn i bygninger. I denne rapporten ligger det krav til maks utslipp fra de forskjellige delene av en byggeprosess og en bygning.

I artikkelen “Application of probability distributions to the modeling of biogenic CO₂ fluxes in life cycle assessment” (Cherubini et al., 2012), diskuterer man hvordan karbon og CO₂-strømmer burde analyseres med tidsaspektet som en egen faktor, hvordan karbon blir lagret over lengre tid i biologisk materiale, og dermed senker klimaeffekten. De legger frem resultater som viser hvor mye mer klimavennlig det er å benytte tre som bygningsmateriale enn å bruke det til oppvarming, og at dette må tas med i klimatankegangen.

I rapporten «Klimagassutslipp i skogbruket - fra frø til industriport» (Timmermann and Dibdiakova, 2013) ser man på hvor mye CO₂ som slippes ut og hvor mye CO₂ som tas opp i tømmerproduksjonen. Her ser man på utslipp fra frøet spirer, frem til tømmerstokken leveres på sagbruket. De finner her ut at det tas opp 733 kg CO₂/m³ og det slippes ut 17,85 kg CO₂/m³. Den største delen av utslippet ligger på transporten av tømmer fra stubbe til sagbruk.

Dette er en rapport med tall fra 2010, så det vil nok være noen forandringer i tallgrunnlaget i dag. Kanskje spesielt med nye lastebiler og mer klimavennlige transportløsninger.

I rapporten «Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT)» (Brandner, 2013), vises de forskjellige produktteknikkene som benyttes for KL-tre. Det redegjøres også for de forskjellige sorteringene av tømmerkvalitet og reglene i Europa for styrkesortering. De mener KL-tre vil være en direkte konkurrent til betong og mineralbaserte bygningsmaterialer fremover og at KL-tre har et stort potensial i fremtiden der vi har ikke har sett alle muligheter som finnes enda.

1.5 Problemstillinger

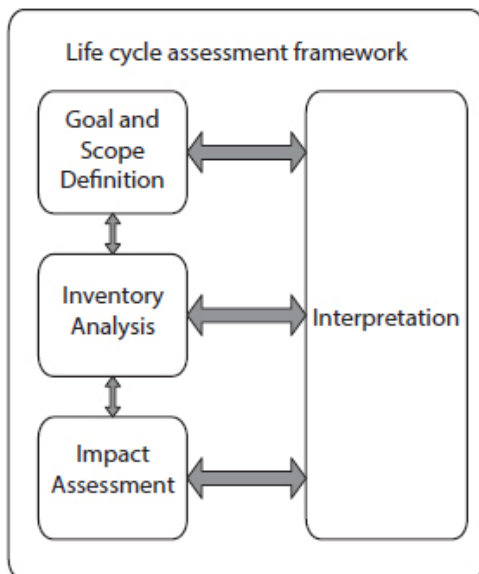
Målet med analysen er å finne klimaavtrykket fra konstruksjonen av Eventyrlige Opplevelses hotellromsmodul. I oppgaven vil jeg ha fokus på en hovedproblemstilling og noen underordnede problemstillinger. Jeg vil også sammenligne klimaeffekten av prototypen og den nyutviklede modulen. For å gjøre disse beregningene vil jeg benytte datamodellen, SimaPro FLOW med input fra prototypen og den planlagte modulen. Det vil i tillegg bli viktig å vise hva som gir størst klimaavtrykk. Studien vil kunne være et grunnlag for Ottadalen Massivtre sin eventuelle EPD for KL-tre produkter.

- Hva er klimapåvirkningen i konstruksjonen av hotellrommet?
- Hvordan skiller den nye modulen seg fra prototypen?
- Hvilken del av prosjektet med hotellroms-modulen slipper ut mest klimagasser?
- Hvordan kan Ottadalen Massivtre senke sine utslipp?
- Hvor følsom er analysen mot forandringer i systemet?

2. Teori

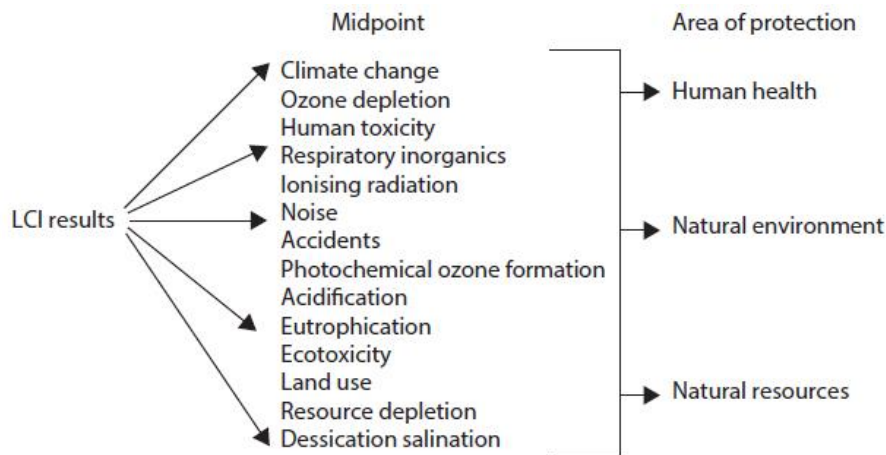
2.1 Livsløpsanalyse (LCA)

En livsløpsanalyse har som mål og skaffe et helhetlig bilde av hvordan et produkt eller system påvirker miljøet rundt seg. Med miljøet i en LCA menes de fire områdene man ønsker å beskytte; det naturlige miljøet, menneskehelsen, naturlige ressurser og det menneskeskapte miljøet (Curran, 2015). Man skal undersøke hele livsløpet til produktet, altså helt fra uttak av naturressursene som kreves, frem til resirkulering eller deponering av produktet. LCA er en gjentakende prosess som inneholder fire faser; Fastsettelse av hensikten og omfanget, livsløpsregnskap, konsekvensutredning og tolkning (Standard-Norge, 2006a). Disse fire skal gjentas igjen og igjen, vist i figuren under. Alle deler av denne prosessen skal inngå i analysen. Det er dette som gjør at LCA er et viktig og bra verktøy for å finne den totale påvirkningen et produkt eller system har på alle systemer rundt seg.



Figur 9 Hvordan en LCA skal gjennomføres (Curran, 2015).

En livsløpsanalyse starter med en definisjon av målet med analysen. Deretter går man dypere inn i hva produktet du analyserer inneholder, før du til slutt analyserer påvirkningen alle deler av produktet har. I en livsløpsanalyse skal det beskrives påvirkning på menneskelig helse, bruk av naturressurser og påvirkning av miljø og klima, som er forklart i figuren under. (Curran, 2015)



Figur 10 Forklaringen av de forskjellige delene en LCA skal se på og undersøke (Curran, 2015).

2.1.1 Mål og omfang

For å starte en LCA må man finne sitt mål og hvilken avgrensning man skal ha på analysen. Avgrensningen avhenger av hvilket mål man har med analysen, og hvem som skal bruke den. Målet må tolkes og revurderes under hele prosessen for å følge ISO14040 (Standard-Norge, 2006a). I denne studien, vil ikke hele livsløpet gjennomgås, bare de faktorene som har betydning for Eventyrlige Opplevelser, og som de kan påvirke.

For Eventyrlige Opplevelser vil målet med denne analysen være å sammenligne deres hotellrom med et konvensjonelt hotellrom. Det er også et mål for Eventyrlige Opplevelser å ha et så miljøvennlig produkt som mulig. Dette vil igjen kunne brukes i markedsføringen av deres produkt.

2.1.2 Funksjonell enhet

En funksjonell enhet er en enhet som står i samsvar med problemstillingen og målet med analysen. Den funksjonelle enheten skal kunne brukes for å gjøre analysen på nytt av andre senere. Denne enheten skal inneholde både hva som går inn i analysen og hva som kommer ut. Enheten skal ikke være et spørsmål, men heller en beskrivelse av hva som inngår (Curran, 2015). I denne analysen vil den funksjonelle enheten være: Klimagassutslipp fra produksjon og forflytting av mobilt hotellrom i KL-tre med en levetid på 60 år.

2.1.3 LCA standarder

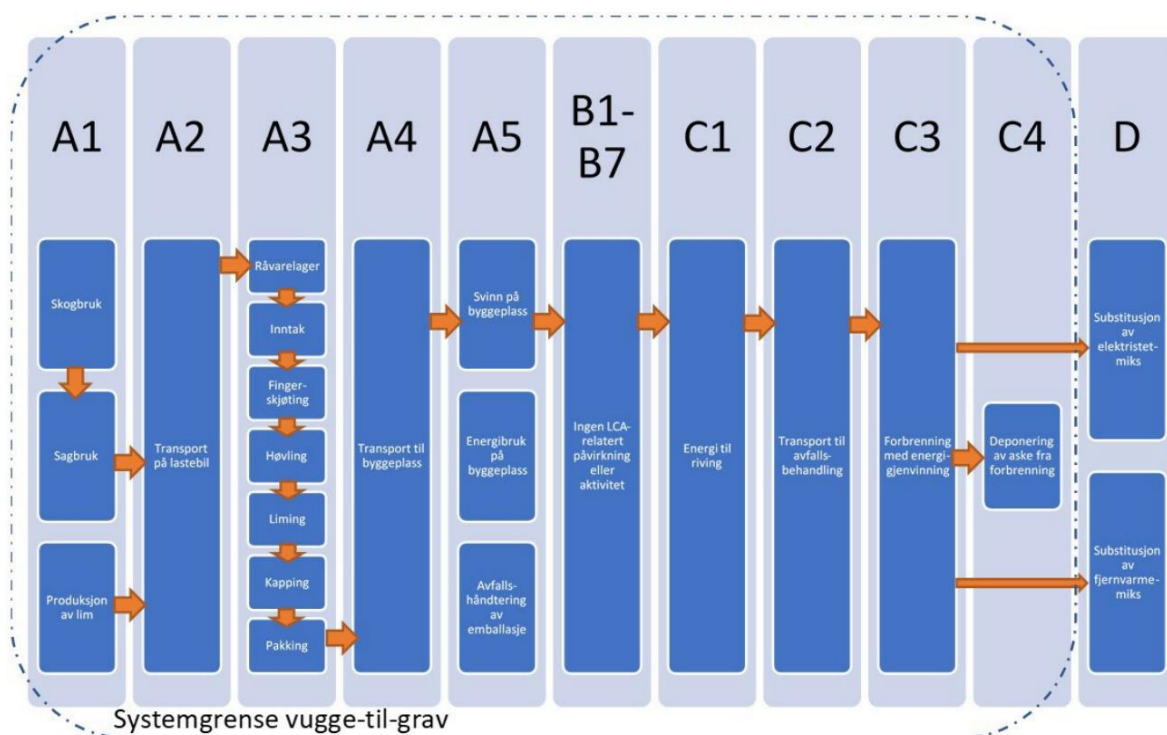
Der er flere standarder som gir retningslinjer for benyttelse av LCA-metoden. Den mest overordnede standarden heter ISO 14044 som har gjennomgått små endringer fra den ble utgitt i 2006 (Standard-Norge, 2006a, Standard-Norge, 2006b). Gjennom denne studien benyttes disse standardene:

- ISO 14040; standarden for livsløpsvurdering med prinsipper og rammeverk.
- ISO 14044; handler om krav og retningslinjer innenfor LCA.

2.2 Miljødeklarasjon

En EPD er en tredjepartsverifisert miljødeklarasjon til et produkt. Denne lages på grunnlag av en livsløpsanalyse etter ISO 14040-14044 (EPD-Norge). En EPD skal følge alle kravene spesifisert i standardene for det spesifikke materialet eller produktet. Hvis man ser EPD-ene fra EDP-Norge: (Holmen-Wood-Products, 2019, Södra-Skogsägarna-ekonomisk-förening, 2020, Splitkon-AS, 2020, Cross-Timber-Systems, 2017), Figur 8, så kan man se at KL-tre har et utslipp på mellom 180 og 40 kg CO₂ per kubikk KL-tre. For produkter til byggverk og byggesektoren er det EN 15804 som er den gjeldene standarden for EPDer. Fordi alle EPD-er benytter seg av samme krav og retningslinjer, kan EPDer brukes som en direkte kvantitativ sammenligning av produkter.

Nedenfor ser man en forklaring av hvordan en EPD for KL-tre er bygd opp med forskjellige prosesser.



Figur 11 Forklaring av oppbygningen av en EPD (Splitkon-AS, 2020).

2.3 CO₂ i skogen

I skogen er det et stort opptak av CO₂ i vekstfasen til trærne fra fotosyntesen. Som det skrives i Miljøstatus fra miljødirektoratet: «I Norge tar skog og arealbruk opp klimagasser som

tilsvarende nesten halvparten av de totale utslippene våre» (Miljødirektoratet, 2020). Videre forklarer denne artikkelen at opptaket av klimagasser skjer når levende vekster tar opp gasser og lagrer dem i levende plantedeler og i jorden. Utslippene av disse gassene skjer da biomasse brytes ned og ved menneskelig bearbeiding av jorden. I 2018 ble det tatt opp 27,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (CO₂-eq) av skogen (Miljødirektoratet, 2020).

Dette betyr at å produsere skog og benytte seg av skogprodukter i byggeprosjekter har en positiv effekt på klimaet. Gjennom oppføring av bygninger i massivtre, vil man binde karbon i trevirket over tid. Hvis man til enhver tid planter igjen arealet hvor den benyttede biomassen er tatt ut, vil man kunne akkumulere mer karbonholdig biomasse. Dette kan vi igjen benytte i bygningene våre, som substitutt for mindre klimavennlige byggematerialer. Ved å forlenge levetiden på bygninger vil karbonet holdes utenfor kretsløpet i lengre tid. Å sikre lang levetid på bygningsmaterialer i tre vil derfor gi en positiv klimaeffekt.

I en LCA kan man se på opptak av CO₂ i treet og biomasse som lik utslippet ved produktets resirkulering. Dette kalles en karbonnøytral fremgangsmåte. I artikkelen om biologisk karbon i bygninger, (Hoxha et al., 2020), beskriver de hvordan den tradisjonelle metoden for å vurdere biologisk karbon kanskje burde endres. Dette fordi i dagens livsløpsanalyser har ikke tidsaspektet for utslipp og opptak noe å si for resultatene.

I EPD-en til Splitkon, benyttes en metode som gir oss resultatet med både den karbonnøytrale fremgangsmåten og metoden for å se på all biologisk karbon-bevegelse gjennom bygningens livsløp. Dette kan man se fra Splitkon sin EPD for KL-tre: (Splitkon-AS, 2020). Her viser de til GWP-IOBC; klimapåvirkning beregnet etter umiddelbar oksidasjon av biogent karbon prinsippet (altså forbrenning av materialet ved slutten av livsløpet). Dette gir et utslipp av CO₂ fra produktet på 90,3 kg CO₂-eq per m³ KL-tre. Mens GWP-BC gir oss; klimapåvirkning fra netto opptak og utslipp av biogent karbon fra materialene i hver modul (forutsatt deponering uten klimagassutslipp). Mengden CO₂ som er tatt opp og sluppet ut naturlig i denne EPD-en ligger på -687 kg CO₂-eq per m³ KL-tre. Dette viser at den forenklingen som er gjort med å bare kalkulere biologisk karbon-opptak = utslipp, kan ha noen mangler.

2.4 Krysslimt massivtre

KL-tre er sammenføyde lag av treplanker (lameller), der hvert lag ligger vinkelrett på laget under. Dette kalles internasjonalt CLT (Cross Laminated Timber). KL-tre sammenkobles med lim, men det kan også benyttes spiker eller tredybler i tillegg. KL-tre har de siste årene blitt mer og mer brukt på grunn av sin gode styrke og sin gode holdbarhet. Det benyttes forskjellig

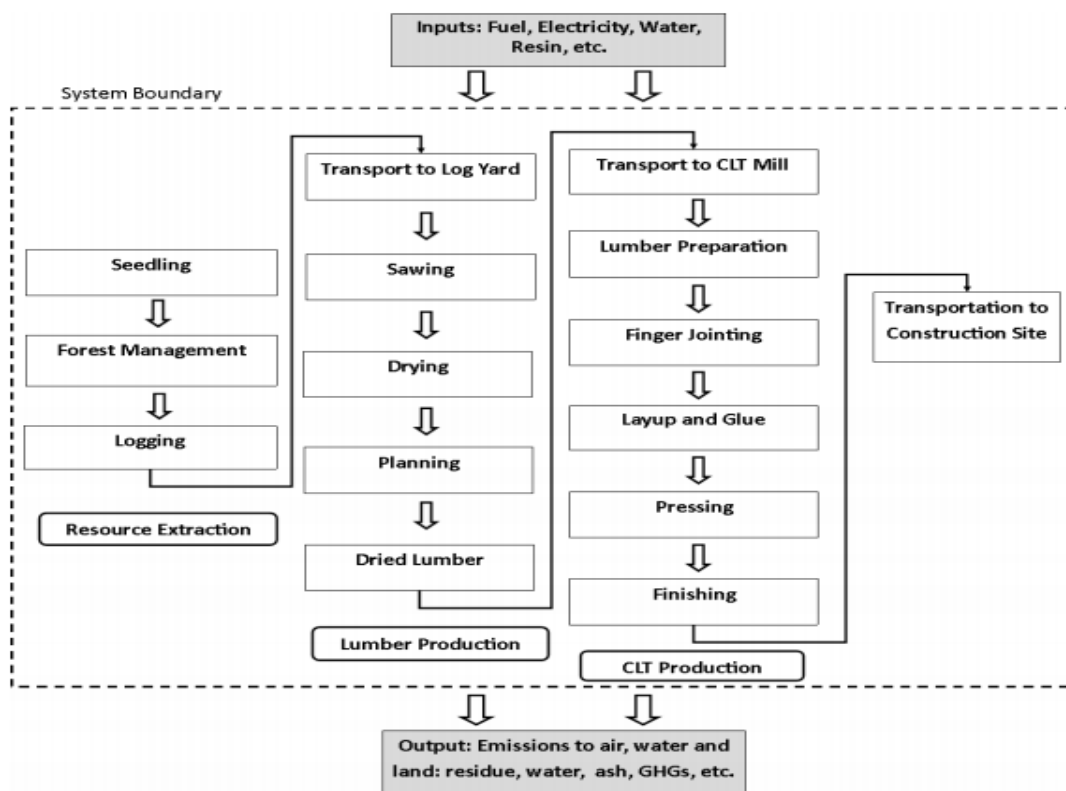
antall lameller med tanke på hvilke egenskaper elementet skal ha. Det er normalt å benytte oddetall mengde lameller for å få elementet stabilt, mellom tre og ni sjikt (Franzoni et al., 2016) (Alfredsen G et al., 2020).

Det finnes to hovedtyper av massivtre; kantstilte elementer og krysslagte elementer (Limtre og Krysslimt tre). Limtre er stabilt i en spesifikk retning og fungerer godt for søyler og lignende. De kantstilte elementene sammenføres ofte med spiker, skruer eller dybler (Alfredsen G et al., 2020).

De krysslagte elementene er stabile i flere retninger på grunn av kryssleggingen (Franzoni et al., 2016). Disse sammenføres med lim. Tykkelsen på disse kan variere fra 60 mm opp til 240 mm (Aarstad et al., 2011). KL-tre gir lite krymping og svelling fra trevirket, og materialet er vibrasjonsdempende.

Produksjonen av massivtre begynte tidlig på 1990-tallet i Mellom-Europa. I dag er det en anerkjent byggemetode som fungerer godt for de aller fleste bygg (Aarstad et al., 2011). Det er også et tilsynelatende mer klimavennlig byggelement enn betong og stål.

Nedenfor ser man en figur av rammeverket til en LCA av KL-tre (CLT) hentet fra (Chen et al., 2019).



Figur 12 Alle innsatsfaktorene som går inn i en LCA for KL-tre (Chen et al., 2019).

2.4.1 Produksjon av KL-tre hos Ottadalen Massivtre

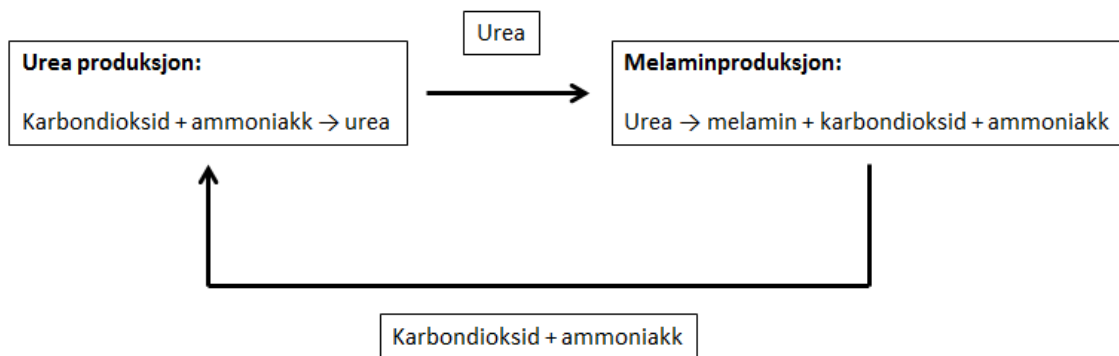
I produksjonen av KL-tre for modulen til Eventyrlige Opplevelser hos Ottadalen Massivtre, får man først inn trelast til et lager. Herifra tar man ut passende mengder til bestillingen man har fått. Lamellene høvles og legges i to forskjellige stabler, en stabel som er 90 grader på den andre. Det materialet som skal limes bør være høvlet kort tid før liming for å få en god limingsprosess. Deretter kjøres den langsgående platen med lameller gjennom en limpåføring, før det legges på et lag med tversgående lameller og den kjøres gjennom limpåføringen igjen. Så legger man på det siste langsgående sjiktet, og lar dette ligge en liten stund før man kjører det gjennom pressa. Hvor lenge det skal ligge før man presser det, avhenger av limtypen. Da de sammentrykte og sammenlimte platene kommer ut gjennomføres det kontroller for å sjekke at limet har fylt igjen alle luftlommer og at limingen har fungert. Elementet blir så lagt til utskjæring og pussing, før disse platene sammenføres til større elementer, og man skjærer ut for vinduer og lignende. Selve sammenføyingen kan gjøres på ulike måter. Da man har produsert alle veggene, taket og gulvet vil de montere delene sammen med skjulte skruer og modulen vil være ferdig (Jon Sneve, Ottadalen Massivtre, pers.medd.).

2.5 Produksjon av lim

Ottadalen Massivtre vil kjøpe lim fra Dynea, et stort internasjonalt trelim-firma, som har produksjon i Lillestrøm. Dynea produserer lim for kunder i hele verden, med kontorer både i Asia, Afrika og Amerika. Dette er et norsk firma, som startet i 1947 og planen fremover for selskapet er å være med i utviklingen av treprodukter til en mer bærekraftig fremtid (Dynea, 2021).

Limet som skal brukes i byggingen av hotellrommet er et MUF-lim. Dette leveres som to-komponent lim, med en del lim og en del herder. Dette limet gir lyse fuger, som mørkner noe over tid. Ingrediensene er rundt 70% melamin, urea og formaldehyd. Resten av ingrediensene er hemmelig, og Dynea vil ikke røpe alt av hva limet inneholder. Det samme gjelder for deler av herderen som benyttes. Den består av 70% vinylacetatmonomer og maursyre, der resten er hemmelig. Limet som skal brukes heter Prefere 4546. Herderen er et produkt som kalles Prefere 5093.

Melamin dannes fra urea, og ingrediensene produseres gjerne i samme prosess. For å lage urea kreves karbondioksid og ammoniakk. For å produsere melamin kreves urea for å produsere melamin, karbondioksid og ammoniakk. Dermed har du en mulighet for en sirkulær produksjon som vist under:



Figur 13 Produksjonen av urea og melamin (Plesser, 2012).

3. Materialer og Metode

3.1 Forklaring av metode

Denne analysen vil bruke kvantitativ metode for å beregne CO₂-utslipp fra produksjonen av et hotellrom. I hotellroms-modulen benyttes det elementer bestående av tre sjikt som vist i bildet under:



Figur 14 Bilde av en krysslåst plate (Group, 2021).

Hovedresultatet kommer fra beregningen på utslippet ved en modul med 60 mm tykkelse på alle KL-trelementer. Der er modulen bygget litt mindre enn prototypen. De første utkastene fra arkitekten er benyttet i denne metoden, heretter benevnt Metode 1.

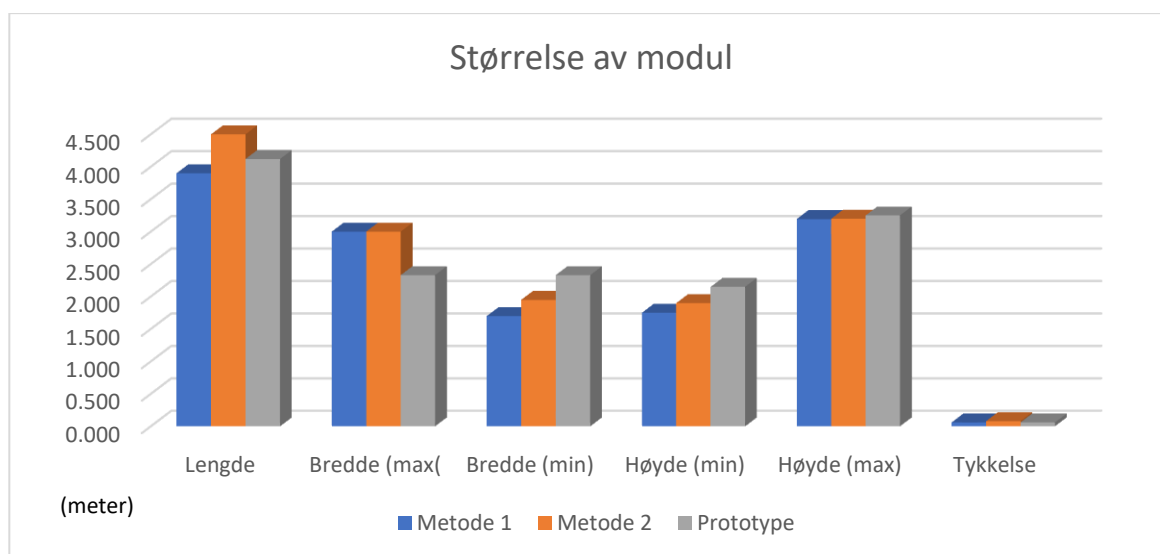
Som en referanse benyttes utslipp av en modul med vegger i 60 mm tykkelse, tak i 80 mm tykkelse og gulv i 100 mm tykkelse, heretter benevnt Metode 2. Her er også modulen laget litt større i lengde og høyde enn i Metode 1. Denne metoden benytter dataene som kom fra arkitekten først den 21.06.2021. Dermed er disse dataene ikke benyttet som hovedresultat av denne analysen, men som en utvidelse av resultatene.

Først undersøkes forbedringer og forskjeller fra prototypen av hotellroms-modulen til den nye. I figuren nedenfor ser man størrelsesforskjellene med Metode 1, Metode 2 og prototypen. Som man kan se fra figuren, er prototypen større på alle punkter bortsett fra bredden i front og lengden. Dette gir ganske store utslag på den totale mengden kubikk KL-tre som brukes for en modul.

Tabell 1 Forskjeller i tykkelse, total størrelse og vekt av hver modul.

	Prototype	Metode 1	Metode 2
Gulv-tykkelse	60 mm	60 mm	100 mm
Tak-tykkelse	60 mm	60 mm	80 mm
Vegg-tykkelse	60 mm	60 mm	60 mm
Mengde KL-tre (m ²)	55,4 m ²	45,7 m ²	49,8 m ²
Mengde KL-tre (m ³)	3,3 m ³	2,7 m ³	3,1 m ³
Total vekt KL-tre (kg)	1497 kg	1215 kg	1395 kg

Her vil prototypen ha 3,3 m³ KL-tre, mens den nye modulen med Metode 1 vil ha 2,7 m³ KL-tre. Med Metode 2, vil mengden KL-tre være 3,1 m³. Vekten av en kubikk KL-tre ligger på mellom 400 og 500 kg (Jon Sneve, Ottadalen Massivtre, pers.medd.). Det vil si at med Metode 1 vil modulen veie 282 kg mindre enn prototypen, bare i KL-tre. For Metode 2, vil modulen veie 102 kg mindre enn prototypen.



Figur 15: Forskjellen på størrelser i de forskjellige byggemetodene.

Dette vil igjen ha en påvirkning på mengden lim som må brukes for å produsere KL-treplatene, som igjen vil påvirke mengden transport av lim fra Lillestrøm. Ved lavere mengder KL-tre, vil dette påvirke klimagassutslippet i en positiv retning.

Tabell 2: Mengde lim og herder med de forskjellige byggemetodene.

	Prototype	Metode 1	Metode 2	
Lim	11,5	9,5	10,7	(kg/modul)
Herder	8,2	6,8	7,7	(kg/modul)

3.2 Dataprogram og databaser

I denne oppgaven har det blitt brukt dataprogrammet SimaPro FLOW til beregning av de forskjellige delene av bygget, med de respektive utslipp og andre påvirkninger. SimaPro har vært verdensledende på LCA-program i 30 år (SimaPro, 2021). Det er en del generiske data fra Ecoinvent, som allerede er innebygd i programmet, som gir mye bakgrunnstall for analysene.

De første dataene som er brukt i modellen er fra Ecoinvent 3.6, som inneholder globale data, men ikke særlig spesifisert for Norge eller Norden. Dermed blir dataene som kommer herfra en indikasjon på hva de faktiske tallene er. Det er noen tall fra Ecoinvent 3.6 som benyttes i den ferdige modellen, men dette er i hovedsak faste tall som gjelder over hele verden (Ecoinvent, 2021). De mer spesifikke modellene og utslippsmengdene som gjelder for Norge har kommet fra studien (Tellnes et al., 2020). Her kommer en av de største punktene for utslipp, nemlig trelasten. I Ecoinvent var denne rundt 240 kg CO₂-eq per kubikk. I tallene fra (Tellnes et al., 2020) ligger utslippet fra trelast på 115,8 kg CO₂-eq per kubikk. Nedenfor følger en tabell over hvilke data som er hentet fra Ecoinvent 3.6 og hvilke som er hentet fra (Tellnes et al., 2020).

Tabell 3: Oversikt over hvilke databaser de forskjellige prosessene er hentet fra.

Ecoinvent 3,6	(Tellnes et al., 2020)
Transport av lim fra Lillestrøm	Trelast
Lim og herder produksjon	Transport av trelast
Norsk elektrisitet	Transport av ferdig modul
Utslipp av stål-produksjon	Varmeproduksjon fra flisfyringsanlegg

3.3 Lim og herder

For lim og herder er det brukt den samme prosessen fra Ecoinvent 3,6. Den heter «melamine formaldehyde resin production», og gir utslippet fra produksjonen av lim- og herder komponentene. Dette er brukt fordi tallene fra (Tellnes et al., 2020) ikke fungerte i SimaPro. For å beregne mengden lim og herder som skal benyttes tar man utgangspunkt i størrelsen på hotellrommet, som er gitt fra arkitekten. Man bruker 280 gram lim og herder per lag per m² KL-tre produsert (Jon Sneve, Ottadalen Massivtre, pers.medd.). Dette gir oss mengden lim og herder som kreves. For å få riktige tall for utslippet må man fjerne mengden vann som inngår i limet og herderen. I dette tilfellet er forutsetningen at andelen vann i limet er 26% og i herderen 47% (Anders Q. Nyrud, NMBU, pers.medd.).

3.4 Trelast

For trelast benyttes prosessen «Sawn wood, spruce, dry and sorted, NEPD, Alloc Rec, v4, S» (Tellnes et al., 2020) i SimaPro, for å få en god indikasjon på mengden utslipp fra treet blir avvirket i skogen til det er på fabrikken til Ottadalen Massivtre. I denne prosessen er ikke trelasten naturlig tørket, slik som trelasten hos Ottadalen Massivtre vil være. Dette betyr at utslippene fra denne prosessen kan være litt for høye.

I produksjonen av krysslimt tre vil en del trevirke bli svinn ved høvling, kapping, pussing eller tilskjæring. Dette skal medregnes, og analyseres for hvordan det vil kunne gi en positiv effekt på fabrikken ved hjelp av flisfyringsanlegget. 10% svinn i produksjonen er et estimat fra samtaler med Jon Sneve (Jon Sneve, Ottadalen Massivtre, pers.medd.).

3.5 Energi

For produksjon av KL-tre er det beregnet omtrent 100 kWh per m³ produsert KL-tre (Lars G. Tellnes, Norsus, pers.medd.). Prosessen som er benyttet her er «Electricity production, hydro, reservoir, alpine region». Dette er en god indikasjon på utslippene fra vannkraftproduksjon i Norge, og de beste dataene som finnes i den generiske databasen Ecoinvent 3,6.

3.6 Datainnsamling

Eventyrlige Opplevelser fikk våren 2020 finansiert et utviklingsprosjekt med mål om en videreutvikling av hotellrommet. Jeg ble engasjert gjennom NMBU og professor Anders Q. Nyrud, for å bistå i arbeidet med datainnsamling. Gjennom dette prosjektet kom jeg også i kontakt med prosjektets arkitekt, Ottadalen Massivtre, og andre som deltok i prosjektet.

Jeg startet med å intervju tidligere gjester for å få informasjon fra dem om behov og forslag til forbedringer i modulen. Jeg hadde noen møter på Aaneekre gard, for å få sett modulen med

egne øyne. Det ble etter hvert satt i gang idemyldringer og en workshop, for å finne de beste løsningene for utviklingen av modulen. Her kom det innspill fra alle partene i prosjektet, og den nye modulen begynte å ta teoretisk form utover høsten 2020.

Gjennom våren 2021, har jeg vært hos Ottadalen Massivtre flere ganger for å skaffe informasjon om utviklingen. Herfra ble det innhentet mye av datamaterialet som benyttes i denne analysen, blant annet transportavstander, limtype, forklaring av KL-tre produksjonen og tidsaspekter. Salgssjef Geir Ove Mannsverk i Dynea har gitt informasjon om produksjon og innhold i lim og herder. Forsker Lars G. Tellnes ved NORSUS, har bistått i forklaring av prosessene i SimaPro og fra rapporten (Tellnes et al., 2020).

Gjennom litteraturstudien med flere ulike innfallsvinkler og studier innenfor KL-tre, LCA og EPD-er, har jeg innhentet grunnlaget for min analyse.

3.7 Funksjonell enhet

Den funksjonelle enheten skal være i henhold til systemets funksjon, som her er å produsere en KL-tre hotellromsmodul. Andre LCA-studier og EPDer benytter ofte enheter som: Miljøpåvirkning per kubikkmeter produsert enhet. Her vil jeg analysere med enheten: Miljøpåvirkning av produksjonen av hotellromsmodul.

3.8 Referansestrøm

Referansestrømmen er mengden av materialer og mengden energi som inngår i prosessen for å oppfylle den funksjonelle enheten. I dette tilfellet er referansestrømmen: CO₂-eq fra produksjon av hotellromsmodul.

3.9 Systemgrenser

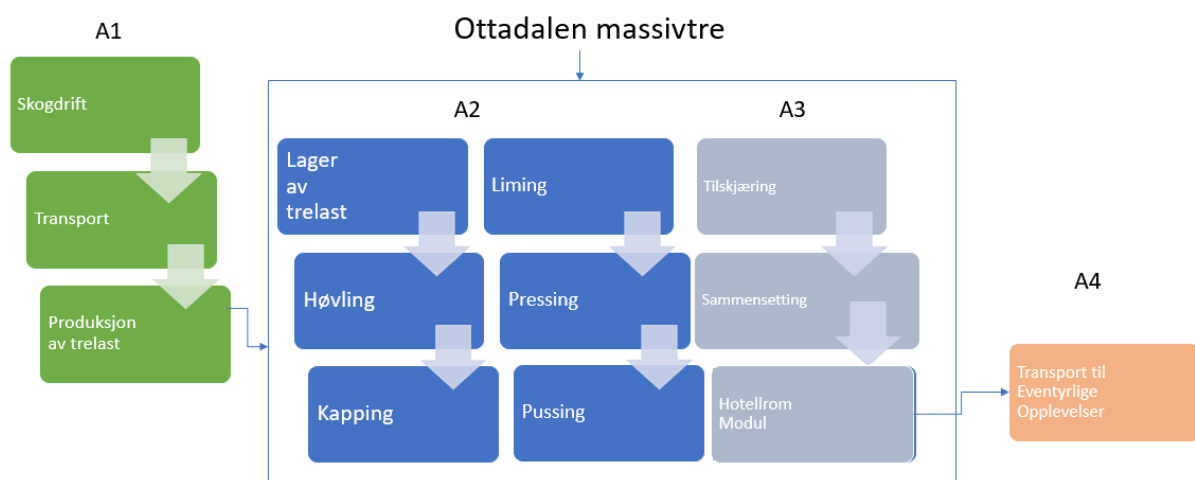
Systemgrensene i denne oppgaven er smalere enn en standard «vugge til grav» analyse. Alt som skjer fra trelasten står ferdig produsert hos sagbruket, og frem til det står en hotellromsmodul hos Eventyrlige Opplevelser er systemgrensene. Dette inkluderer all transport og andre materialer og metoder som er benyttet i produksjonen. Ved å sette systemgrensene slik blir det fokus på de faktorene som faktisk kan påvirkes og eventuelt forbedres hos Ottadalen Massivtre og Eventyrlige Opplevelser.

Studien vil ikke gå gjennom hele treets levetid, fra planting og frem til hogst, eller gjennom sagbruket. Derfor er disse dataene hentet fra databasen Ecoinvent 3,6 og (Tellnes et al., 2020). Dette vil gjøre oppgaven mer tydelig på at den handler om akkurat dette hotellromsmodulbygget.

Innenfor grensene ligger også de ulike maskinene som benyttes i fabrikk hos Ottadalen. Her er det mye eldre maskiner, og man har ikke tilstrekkelig informasjon til å få ut en eksakt mengde utslipp fra selve maskinene. Dette er løst ved å legge sammen vekten av alle maskinene, så regne med en levetid på 50 år med en produksjon av 5000 m³/år. Dermed kan man allokere utslippet av mengden stål i maskinene til antall produserte m³ KL-tre gjennom 50 år. Dette gir et teoretisk beregnet utslipp fra stålindustrien på 0,2 kg stål/m³ KL-tre.

3.10 Fordeling av utslipp i koder

Fordelingen av utslippene til forskjellige deler av produksjonen er gjort som figuren under viser.



Figur 16: Oppsettet av de forskjellige delene av analysen.

For å fordele utslippene til forskjellige faser, benyttes samme metode som i EPDer.

Utslippene er sortert i forskjellige koder:

A1: Råvaren

A2: Konstruksjon av krysslåst tre

A3: Bygging av modulen

A4: Transport av modulen til Eventyrlige Opplevelser

3.11 Transport

Det er forutsatt at all transport skjer med EURO6-motorer. I transporten fra sagbruk til fabrikk hos Ottadalen Massivtre er det benyttet «Transport, freight, lorry, adjustable [$>32t$, Diesel, EURO6]] Cut-off, U - CU 55% 2018 S», som er prosessen for en relativt ny lastebil. Her settes inn avstand mellom sagbrukene, som multipliseres med vekten av de kubikk som skal transporteres. Denne prosessen er hentet fra “Cross-laminated timber constructions in a sustainable future” (Tellnes et al., 2020). Ottadalen Massivtre oppgir at halvparten av trelasten

kommer fra Skjåk Almenning som ligger 48,5 km fra fabrikken (Jon Sneve, Ottadalen Massivtre, pers.medd.), og den andre halvparten fra Langmorkje Almenning som ligger 27,5 km fra fabrikken. Dette gir i gjennomsnitt 38 km transportvei fra sagbruk til massivtrefabrikk.

For transport av limet fra Lillestrøm bruker de en lastebil med kjøling. Hvis man medregner alt av vekt som må transporteres fra Lillestrøm, får man utslippet fra transport ved hjelp av prosessen: «transport, freight, lorry with refrigeration machine, 7.5-16 ton, EURO6, R134a refrigerant, cooling»(Ecoinvent, 2021). Mange av dataene er også hentet fra personlig kontakt med Dynea. (Geir Ove Mannsverk, Dynea, pers.medd.). Avstanden som er benyttet i limtransporten er 303 km.

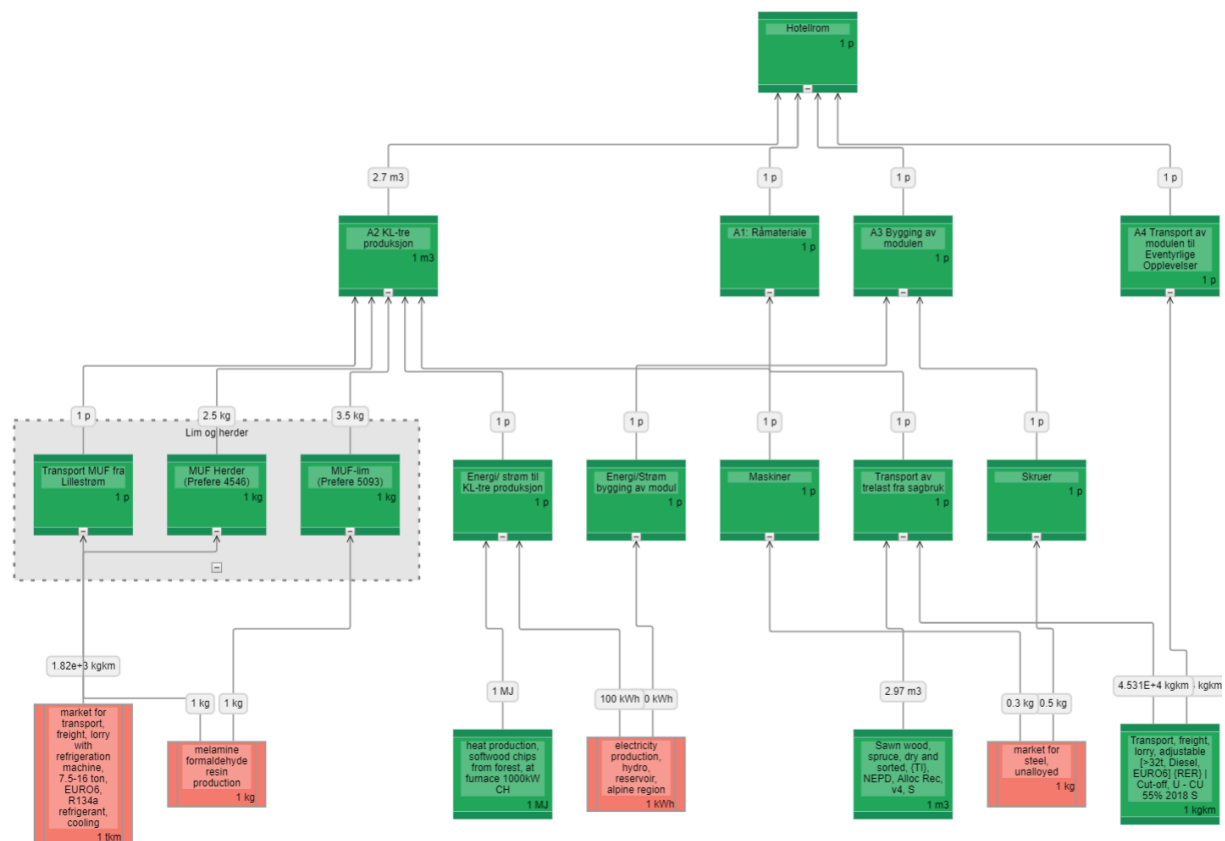
I transporten er det kun regnet med antall kilo som kreves for produktet. Fordi dette er relativt små mengder med lav vekt, vil transportutslippene være lave. Å frakte 20 kilo lim fra Lillestrøm til Vågå koster klimaet og miljøet langt fra like mye som å transportere en helt full lastebil. For å få dette til å fungere, brukes i SimaPro noe som kalles (kgkm). Dette er en enhet der man multipliserer avstanden med antall kilo som kreves av innholdet i lastebilen. Klimapåvirkningen er direkte utregnet i SimaPro, og returen av tomme lastebiler er medregnet gjennom dataprogrammet. Transporten fra Ottadalen Massivtre og frem til Eventyrlige Opplevelser er 76,1 km.

Inne på fabrikken vil det være minimale transportkostnader, det meste vil her transporteres mekanisk, eller med en elektrisk truck. Alle disse prosessene er medregnet i energifaktoren i SimaPro.

4. Resultater

4.1 Metode 1

Nedenfor kan man se hva som er lagt inn i beregningen av klimagassutslipp i den ferdige modellen.



Figur 17 Den ferdigstilte modellen med alle nødvendige tall og data.

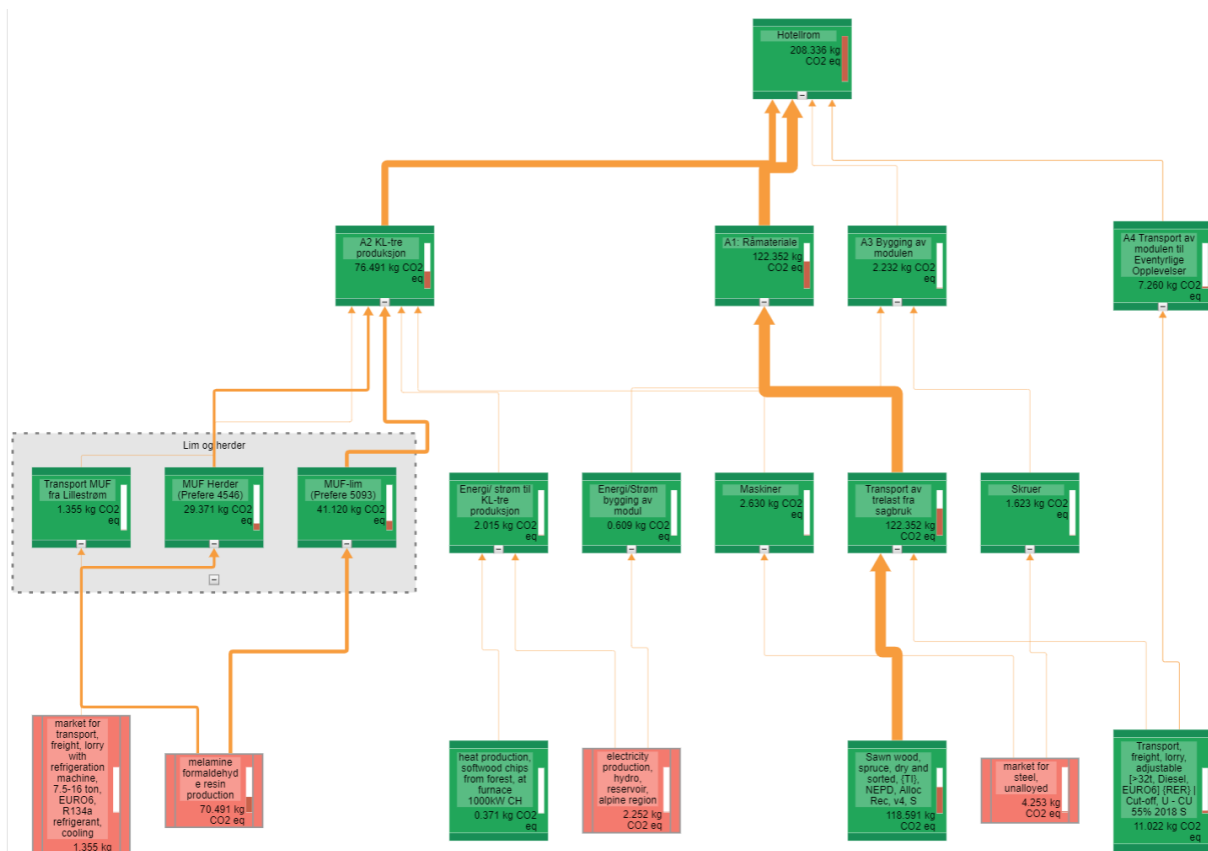
I figuren over ser man tallene bak beregningene. Her med mengder lim, transportavstander, mengde trelast osv. Dette viser også hvordan modellen er satt opp i SimaPro. Nedenfor følger en tabell med tallgrunnlaget som er satt inn i modellen.

Tabell 4 Tallgrunnlaget for Figur 17

	Metode 1	
Lim	3,5	Kg/m ³
Herder	2,5	Kg/m ³
Transport lim	1818	kgkm/m ³
KL-tre	2,7	m ³
Trelast	2,97	m ³
Transport trelast	45319.0	kgkm
Transport modul	87480.0	kgkm

Energi for KL-tre produksjon	100	kWh /m ³
Energi for bygging av modul	100	kWh
Stål til maskiner	0.3	kg /m ³
Stål til skruer og annet	0.5	kg

Her kommer en presentasjon av hvordan resultatene ser ut i SimaPro. Her gir en tykkere pil et større utslipp av CO₂-eq.

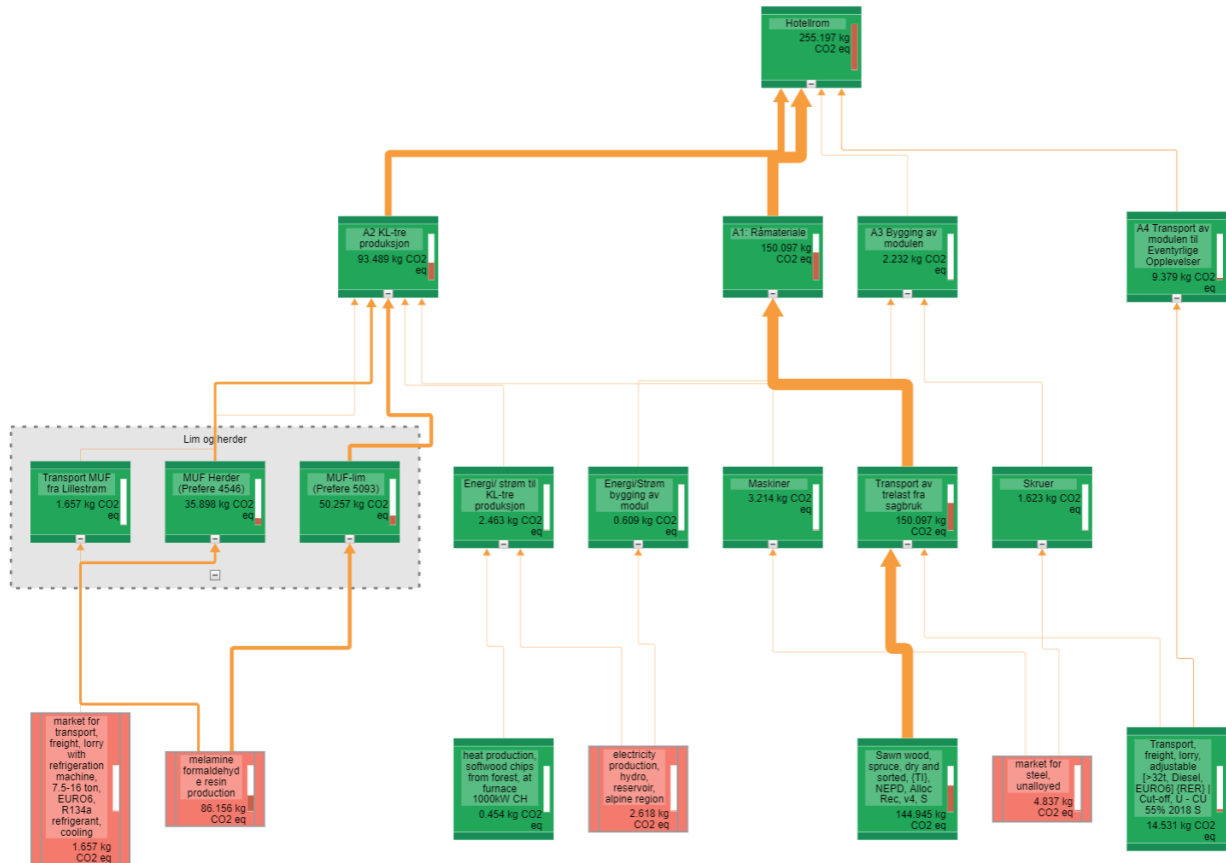


Figur 18 Den ferdigstilte modellen med beregninger av utslipp og hvor de største utslippene kommer fra.

Som man kan lese fra modellene over, er det i hovedsak trelast, lim og herder som har de største påvirkningene. Det totale utslippet er her 208.3 kg CO₂-eq. Trelasten og alle data som ligger i den prosessen, er den største utslippsfaktoren. Trelasten med 57% av totalutslippet, og lim og herder med henholdsvis 19,7% og 14,1%. Transporten som er innlagt står til sammen for 6% av det totale utslippet. Denne lave andelen kommer på grunn av de korte reiseveiene for trelast og fra produksjonssted til forbruker i tillegg til alle transportdataene som ligger inne i trelastprosessen fra før.

4.2 Prototypen

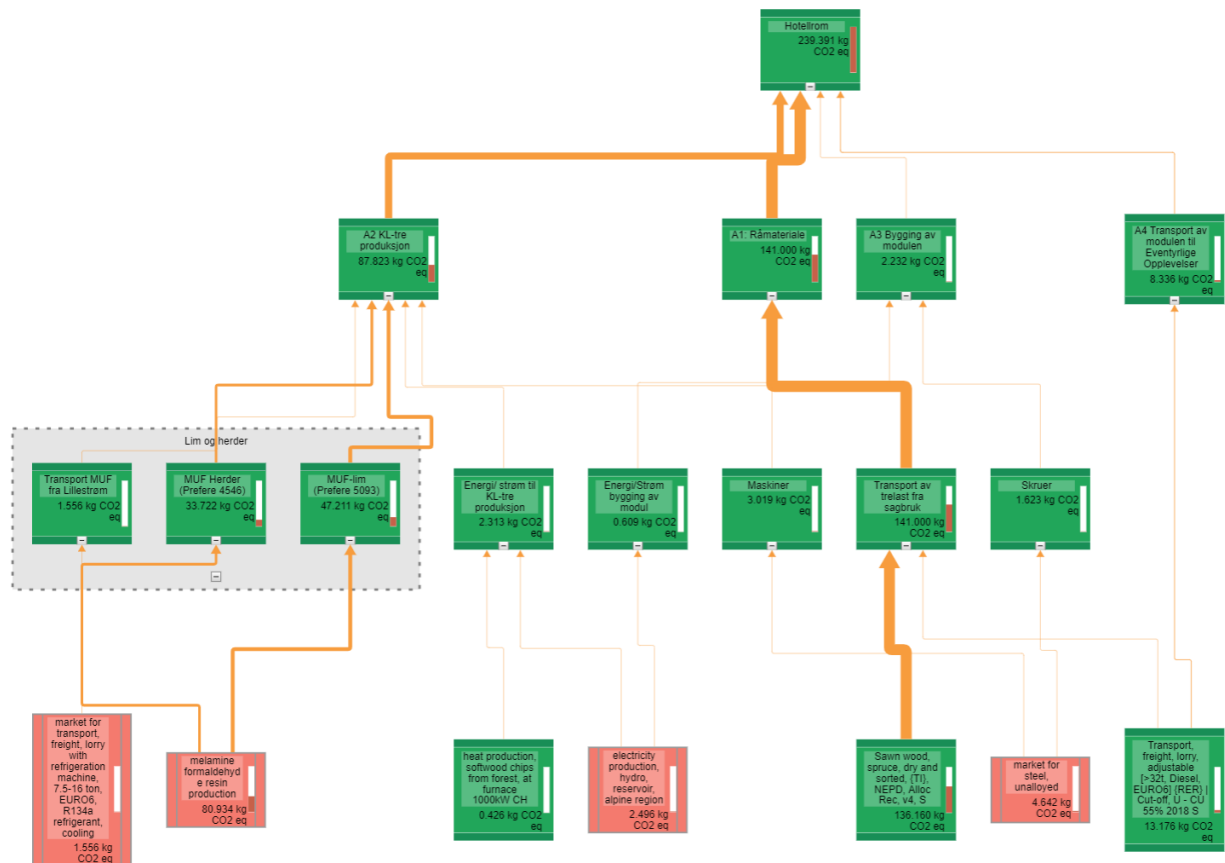
Nedenfor ser man utslippene fra konstruksjonen av prototypen av hotellrommet. Som man kan se er utslippet til sammen 255.2 kg CO₂-eq, noe som viser den store forbedringen som er gjort i den nytviklede modulen.



Figur 19 Utslipp av prototypen.

Det samlede utslippet for prototypen ligger altså ca. 47 kg CO₂-eq høyere enn den nytviklede modulen med Metode 1. Dette tilsvarer 18,4% mindre utslipp av den nye modulen sammenlignet med prototypen.

4.3 Metode 2



Figur 20: Utslipp fra modul med tykkere elementer

Her ser man utslippet fra Metode 2, som har tykkere KL-tre elementer i tak og gulv. Her er det totale utslippet beregnet til 239,4 kg CO₂-eq. Dette utslippet ligger mellom Metode 1 og prototypen.

4.4 Sammenligning av de tre metodene

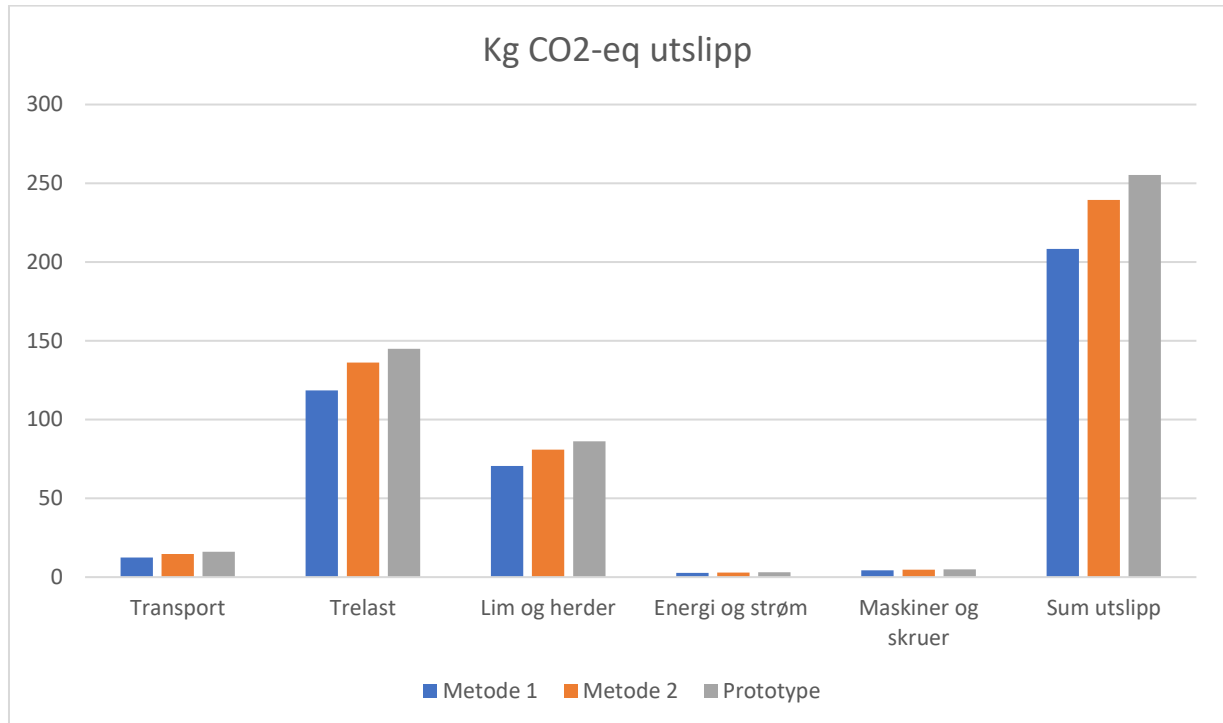
Tabell 5: Resultatene av alle beregninger i SimaPro for alle metodene.

	Metode 1	Metode 2	Prototype	
Lim	41.1	47.2	50.3	kg CO ₂ -eq
Herder	29.4	33.7	35.9	kg CO ₂ -eq
Transport Lim	1.36	1.56	1.66	kg CO ₂ -eq
Trelast	118.6	136.2	144.9	kg CO ₂ -eq
Transport Trelast	3.8	4.8	5.2	kg CO ₂ -eq
Energi til produksjon av KL-tre	2.0	2.3	2.5	kg CO ₂ -eq
Energi til bygging av modul	0.6	0.6	0.6	kg CO ₂ -eq
Maskiner	2.6	3.0	3.2	kg CO ₂ -eq
Skruer	1.6	1.6	1.6	kg CO ₂ -eq
Total A1 Råmateriale	122.4	141.0	150.1	kg CO ₂ -eq
Total A2 KL-tre produksjon	76.5	87.8	93.5	kg CO ₂ -eq
Total A3 Bygging av modul	2.2	2.2	2.2	kg CO ₂ -eq
Total A4 transport til Eventyrlige Opplevelser	7.3	8.3	9.4	kg CO ₂ -eq
Hotellrommet totalt	208.3	239.4	255.2	kg CO ₂ -eq

I tabell 5 får man innsikt i alle utslippene fra modellen i SimaPro. Det kommer tydelig frem, at Metode 1 er den byggemetoden med minst utslipp. Det er også tydelig at prototypen er den modellen med mest utslipp på nesten alle punkter. Fra byggingen av modulen, A3, ser man at alle utslippene er like for de tre metodene. Dette kommer av antagelsen om veldig små forandringer i energibruk og bruk av festemidler for de tre metodene. I neste kapittel blir alle disse dataene visualisert og analysert.

4.5 Påvirkningsfaktorer

Tabellen og diagrammet nedenfor viser hvilke faktorer i modellen som bidrar til det totale utslippet.



Figur 21 Påvirkning av forskjellige faktorer.

Tabell 6 Tallgrunnlaget for figuren over vist i prosent.

	Transport	Trelast	Lim og herder	Energi og strøm	Maskiner og skruer	Sum utslipp
Metode 1	5.94 %	56.92 %	33.84 %	1.26 %	2.04 %	100.00 %
Metode 2	6.15 %	56.88 %	33.81 %	1.22 %	1.94 %	100.00 %
Prototype	6.34 %	56.80 %	33.76 %	1.20 %	1.90 %	100.00 %

Her er det enkelt å se hvilke faktorer som har mest å si for mengden CO₂-eq som slippes ut ved produksjonen av en hotellromsmodul.

4.5.1 Transport

Transportpåvirkningen ligger på rundt 6% som virker lavt i forhold til andre studier. Men det er her ikke medberegnet all transporten som ligger i trelasten, før den er ferdig produsert som trelast. Heller ikke transport av maskiner til Ottadalen eller transporten av materialene som kreves for å produsere lim eller herder ligger her i transport-delen. Dette gir transportdelen et lavt utslipp, fordi slike transportkostnader ligger inne i de andre prosessene allerede.

4.5.2 Energi og Strøm

Energi og strøm-delen er heller ikke mer enn 1,2%, noe som virker rimelig p.g.a. de rene kildene for strøm som brukes i Norge, og at fabrikken varmes opp av restflis fra eget anlegg.

4.5.3 Maskiner og skruer

Maskiner og skruer ligger alle rundt 2%, som også virker rimelig da det er kun et fåtall skruer og festemidler som skal benyttes for å produsere en modul. Påvirkningen av maskinene er allokert på hele levetiden til fabrikken.

4.5.4 Lim og herder

Dataene for lim og herder er hentet fra Lars G. F. Telnes sin studie (Tellnes et al., 2020), men dessverre fungerte ikke beregningene i alle deler av produksjonen i SimaPro. Det nærmeste generiske data som finnes er «melamin formaldehyd resin production» fra Ecoinvent 3,6. Dette blir en omtrentlig beregning, men resultatet ser ut til å stemme godt overens med tidligere studier. Utslippet fra produksjonen av lim og herder blir rundt 34% av utslippet.

4.5.5 Trelast

For trelast er det kun benyttet prosessen fra rapporten til Lars G. Tellnes (Tellnes et al., 2020). Denne prosessen inneholder flere underprosesser, alt som skjer fra hogst og frem til utkjøring fra sagbruket, som jeg ikke har innsikt i eller kontroll over. For å avgrense oppgaven, er det valgt å godta tallene slik de fremkommer. Dette kan være en svakhet i analysen, da jeg ikke har innsikt i de bakenforliggende prosessene. Denne ene prosessen gir altså rundt 57% av utslippet alene, og er dermed en viktig prosess i analysen.

4.6 Andre resultater

Alle beregninger gjort her, følger systemgrensene som er satt (frem til hotellrommet er transportert til Aaneke gard). Dermed er alle beregninger kun for *konstruksjon* av hotellrommet og ikke bruk. Resultatene som følger, er derfor kun ment for å kunne skape et visst sammenligningsgrunnlag med andre lignende studier.

Forutsetninger (Marita Aaneke, Eventyrlige Opplevelser, pers.medd.) :

- Levetid på hotellrommet: 60 år
- Antall gjestedøgn pr. år: 100 personer
- Areal av gulv innvendig: 8,4 m²

Totalt utslipp fra KL-tre (kg CO ₂ -eq)	Gjestedøgn pr. år	Levetid (år)	Kg CO ₂ -eq pr. gjest pr. natt	Gram C ₂ -eq pr. gjest pr. natt
208.3	100	60	0.0347	34.72

Totalt utslipp (kg CO ₂ -eq)	Mengde KL-tre (m ³)	Kg CO ₂ -eq / m ³
208.3	2.7	77.15

Totalt utslipp (kg CO ₂ -eq)	Areal gulv	Kg CO ₂ -eq/m ²
208.3	8.4	24.8

5. Diskusjon

Her ser vi på hvordan de forskjellige problemstillingene har blitt undersøkt og besvart, og drøfter resultatene som fremkommer.

5.1 Prototype satt opp mot ny hotellromsmodul

I forskjellen mellom prototypen og den nye modulen ser vi en stor forbedring i vekt og klimagassutslipp. Det er tydelig at det er blitt tatt kloke valg i utarbeidningen av den nye modulen. Den veier nå mindre, som også forenkler forflyttingen av modulen. I henhold til hva intervjuet av tidligere gjester i prototypen har avdekket, er de fleste av gjestenes aspekter medtenkt og en del endringer har blitt gjort. Dette vil sannsynligvis føre til et bedre opphold for gjestene i den nye modulen. Utslippet fra konstruksjonen av prototypen er 255,2 kg CO₂-eq, mens utslippet av den nye modulen med Metode 1 (smale KL-tre elementer) er 208,3 kg CO₂-eq. Dette er mye på grunn av mindre kubikk KL-tre, som i seg selv senker utslippet, men også senker utslippene ved transport og bruk av lim. Dette gjelder også videre i prosessen da modulen skal forflyttes i naturen av Eventyrlige Opplevelser.

5.2 Forbedring av modell

I arbeidet med modellen i SimaPro har det vært utfordringer med å finne den beste metoden. Det har blitt benyttet prosesser fra globale datakilder som ikke er presise for denne spesifikke produksjonen, men noen av prosessene er basert på lokale data. Jeg mener analysen nå gir et riktig inntrykk av nivået på klimagassutslippet for produksjonen av hotellromsmodulen. Selv om det ikke benyttes helt korrekte data i alle deler av modellen, så fremkommer forbedringen av hotellromsmodulen tydelig. Dette fordi samme data ligger til grunn for begge beregningene. Modellen vil også kunne være nyttig for en utvikling av en EPD for Ottadalen Massivtre, forutsatt en kvalitetssikring av alle prosessene i analysen.

5.3 Følsomhet for forandringer

Det fremkommer av resultatet at det er stor forskjell i utslippet av CO₂-eq, som følge av mengde KL-tre. I Metode 2, er modulen forutsatt bygget med litt tykkere elementer i tak og gulv, og taket er noe hevet fra Metode 1. Denne forandringen, som har økt mengden KL-tre med 0,4 kubikk eller 14,8%, har medført et økt utslipp på 31,1kg CO₂-eq, omtrent 14,9%. Dette viser at mengden KL-tre er veldig sentral for klimagassutslippet fra konstruksjonen av hotellrommet.

5.4 Sammenligning med andre studier

I en sammenligning med andre studier, burde alle forutsetningene vært like. Det er de dessverre ikke. Siden denne studien har fokusert på byggematerialet, og utslippet ved *konstruksjonen* av et slikt bygg, blir en sammenligning med en LCA fra *bruken* av et hotell mindre relevant.

I studien (Rønning and Brekke, 2008), viser de resultatene fra 149 hoteller med kg CO₂/m². Denne studien ser kun på selve *bruken* av hotellet (se Figur 6), resultatene herifra kommer fra 0 og opp til 50 kg CO₂-eq/m². I min analyse er det beregnet et utslipp på 24,8 kg CO₂-eq/m² fra *konstruksjonen*. Fokuset i disse forskjellige studiene er ikke det samme, men en kombinasjon av de to ville ha gitt et mer fullstendig svar.

Fra EPD-ene i Figur 8, ser man utslippet ved produksjon av én kubikk KL-tre ved fire forskjellige fabrikker. Her ligger utslippene mellom 40- og 170 kg CO₂-eq pr. kubikk KL-tre. Min studie viser et utslipp på 77,15 kg CO₂-eq pr kubikk KL-tre. Det virker rimelig p.g.a. korte transportavstander. Fra EPDen til Splitkon (Splitkon-AS, 2020), sier de at de bruker 1,17% av totalvekten til MUF-lim. I min analyse er dette tallet 1,3% av totalvekten. De forutsetningene Ottadalen Massivtre har planlagt i sin produksjon, vil gi klimavennlig KL-tre produksjon om forutsetningene holder. Dette medfører også at hotellrommet til Eventyrlige Opplevelser vil bli en klimavennlig overnattingsmodul.

I studien (Filimonau et al., 2011), ser man på kg CO₂-eq/gjestenatt. Dette kunne kanskje brukes som en sammenligning med denne studien, men her ligger også fokuset på utslipp ved *bruk*, og ikke på *konstruksjonen* av byggene. Ved å sette denne studien opp mot min egen, vil man få en innsikt i hvordan utslipp fra bruk skiller seg fra utslipp ved konstruksjon. I studien «Reviewing the carbon footprint analysis of hotels» kommer man frem til et utslipp pr. gjestenatt på 8,25 kg CO₂-eq og 11,65 CO₂-eq på de to ulike hotellene.

I min studie kommer utslippene pr. gjestenatt til å være 0,035 kg CO₂-eq fra konstruksjonen. I tillegg vil det være utslipp fra energibruk, vann, mat, forflytting av modulen, transport av gjester, avfallhåndtering med mer. Dette ligger utenfor mine systemgrenser.

Det kan se ut til at *bruken* av et hotell har et mye høyere utslipp enn utslippet ved selve *konstruksjonen*. Hotellrommet som er analysert i denne studien er mye mindre enn andre hoteller, og en videre undersøkelse av utslipp ved *bruk* av hotellet ville vært nyttig og interessant.

5.5 Andre bemerkninger

5.5.1 Opptak av CO₂

Som nevnt i teoridelen er det ikke medberegnet opptaket av CO₂ i skogen. Hvis man hadde medberegnet dette i analysen av dette hotellrommet, ville muligens CO₂-utslippet vært negativt, og hotellrommet ville faktisk hatt en positiv effekt på klimaet. I Splitkon sin rapport (Splitkon-AS, 2020), er det beregnet en binding av karbon i én kubikk KL-tre på 687 kg CO₂-eq. Hvis dette stemmer for KL-treet som benyttes for Eventyrlige Opplevelers hotellromsmodul, vil bindingen være over 1000 kg CO₂, i hotellrommets levetid.

Det neste som må vurderes er hvordan modulen skal resirkuleres. Hvis man brenner hele modulen, vil bundet karbon i trevirket bli sluppet ut igjen til atmosfæren i form av CO₂. Hvis man i stedet lager biokull av trevirket, og dette pløyes ned i jorden, vil mye av karbonet fortsatt bli bundet. Karbon i form av biokull vil være stabilt og kan lagres i flere hundre år. Det er beregnet at biokull kan motvirke karbonutslipp med 0,7 gigatonn CO₂-eq per år globalt. (Joner et al., 2017).

5.5.2 Bruk av landskap og mindre infrastruktur

Et punkt i LCA metodikken som ikke har blitt medberegnet i denne analysen, er arealbruk. I forhold til konvensjonelle hotell vil et flyttbart hotellrom være mye bedre i forhold til infrastruktur, og naturødeleggelse. Ved å transportere modulen på en skånsom måte med en traktor i terrenget, vil det ikke bli skader på naturen, og man vil heller ikke trenge nybygging av veier. Dette vil gi en positiv påvirkning på hvor godt dette hotellrommet kommer ut i en mer utvidet livsløpsanalyse.

6. Konklusjon

Med et utslipp på 208,3 kg CO₂-eq er dette en klimavennlig overnattingsmulighet. Dersom alle forutsetninger innfrir, vil det isolert sett være et utslipp på 34,72 gram CO₂-eq fra produksjonen av modulen per gjest i levetiden til hotellrommet. Det betyr at utslippet fra hotellrommet vil tilsvare en biltur med en bensinmotor på ca. 150 meter per person som overnatter i modulen.

De største bidragsyterne til klimapåvirkning ligger i trelasten, og limprosessene. På grunn av korte transporter og gode nyutviklede lastebiler holdes klimapåvirkningen fra transport veldig lav. Men man må huske at en del av trelast- og lim-prosessen inneholder noe transport.

Modulen har blitt utviklet med nye egenskaper, som er forbedret fra prototypen. Den har blitt lettere og mer klimavennlig. I tillegg vil den være bedre for gjestene å bo i. Da modulen står ferdig vil den absolutt være en oppgradering fra prototypen. Både i et klimaperspektiv, og i form av en bedre opplevelse.

Hos Ottadalen Massivtre vil det ta litt tid før man har fått satt i gang fabrikk. I oppbygningsprosessen av fabrikk kan det komme frem faktorer som kan forbedres for å senke klimagassutslippet. Det er allerede gode tiltak med kortreist trevirke fra lokale sagbruk, og naturlig tørking av trelast som holder utslippet fra KL-tre produksjonen lav. For å fastslå hvilke forbedringer som kan gjøres ved Ottadalen Massivtre sin fabrikk, burde man studere den ferdige fabrikk nærmere.

Ut fra mine analyser, ser utslippet ut til å være relativt stabilt. Det er selvfølgelig en stor følsomhet hvis man endrer mengden KL-tre i bygget, men utslippet av KL-tre produksjonen pr kubikk er stabil uansett hvor mye man produserer. Ved å øke mengden KL-tre med 0,4 kubikk eller 14,8%, blir utslippet økt med 31,1kg CO₂-eq, omtrent 14,9%. Dette viser at mengden KL-tre er veldig sentral for mengden CO₂-eq utsluppet fra konstruksjonen av hotellrommet.

Denne studien viser et utslipp av KL-treproduksjonen på 77,15 kg CO₂-eq/ m³. Fra EPD-ene i Figur 8, ser man at utslippet ved produksjon av én kubikk KL-tre ved fire forskjellige fabrikker ligger mellom 40- og 170 kg CO₂-eq pr. kubikk KL-tre. Dette er et veldig positivt resultat, både for Ottadalen Massivtre, og for Eventyrlige Opplevelser.

6.1 Feilkilder

Ved å sette systemgrensene til kun selve konstruksjonen av modulen, har man måtte benytte seg av andre EPD-er og LCA-er i deler av beregningen. Forutsetninger eller feil som eventuelt ligger i disse studiene, har jeg ikke kontroll eller oversikt over. En mer utvidet form av LCA, med større systemgrenser ville ha gitt en større sikkerhet i tallene for utslippet. For å sammenligne med andre LCA studier på hoteller, ville en mer utvidet studie av selve bruken av hotellrommet vært nyttig.

Det er benyttet generiske data i deler av beregningene, som gjelder for hele verden, eller for kun Europa. Det har manglet data for Norge og spesifikt Gudbrandsdalen, og dermed blir disse beregningene kun estimerer på det faktiske utslippet. Etter som de tre hotellromsmodulene i denne oppgaven er beregnet på samme måte, gir svarene allikevel et godt sammenligningsgrunnlag for forskjellen i utslipp mellom de ulike metodene.

Modul 1 skulle vært produsert ved Ottadalen Massivtre våren 2021. På grunn av Covid-19 har oppstart av fabrikken blitt forsinket. I planen for oppgaven, lå det til grunn at jeg skulle være med i selve produksjonen av modulen og dermed kunne beskrive denne prosessen i detalj. pr. dags dato er modulen fortsatt på planleggingsstadiet.

Etterord

I slutfasen av denne oppgaven, oppdaget jeg en feil i SimaPro modellen. Utslippene fra limproduksjonen var ekstremt høye. Mens alle andre prosesser ble beregnet for én kubikk KL-tre ble limproduksjonen satt inn for hele modulen. Når så tallene ble beregnet av SimaPro, endte Limproduksjonen med et utslipp som var altfor høyt. Det måtte derfor foretas nye beregninger. Dette viser at det er veldig viktig å forstå alle prosessene i SimaPro for å være sikker på at resultatet er pålitelig.

Pandemien vi har vært gjennom, har gitt meg store utfordringer. NMBU har mye av tiden vært stengt for studenter, og bygging av fabrikken til Ottadalen Massivtre har blitt forsinket. Modulen som skulle vært ferdig konstruert, er fortsatt på planleggingsstadiet. Det har derfor blitt lagt til mange forutsetninger i denne analysen.

Jeg har lært mye av arbeidet med oppgaven, og har fått god innsikt i styrker og svakheter ved livsløpsanalyser.

Referanser:

- ALFREDSEN G, SANDLAND K M, TELLNES L G & E, S. 2020. Trebasert karbonlagring i bygningsmasse. *NIBIO rapport*, 6.
- ANDRESEN, I., RESCH, E., WIİK, M., SELVIG, E. & STOKNES, S. 2020. NOTAT FutureBuilt ZERO – Kriterier, regneregler og dokumentasjonskrav. *FutureBuilt*, 1.
- BRANDNER, R. 2013. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT). 34.
- CHEN, X. C., PIEROBON, F. & GANGULY, I. 2019. Life Cycle Assessment (LCA) of Cross-laminated Timber (CLT) Produced in Western Washington: The Role of Logistics and Wood Species Mix.
- CHERUBINI, F., GUEST, G. & STRØMMAN, A. H. 2012. Application of probability distributions to the modeling of biogenic CO₂ fluxes in life cycle assessment.
- CLEVEHORN, L. P. 2019. Sustainability in hospitality. *Uppsala universitet*, 78.
- CROSS-TIMBER-SYSTEMS 2017. ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION, cross laminated timber panels. EPD-Norge.
- CURRAN, M. A. 2015. Life Cycle Assessment Student Handbook. Wiley-Scrivener.
- DYNEA. 2021. *Company Overview* [Online]. dynea.com. Available: <https://dynea.com/about-dynea/company-overview/> [Accessed].
- ECOINVENT. 2021. *ecoinvent* [Online]. Available: <https://www.ecoinvent.org/> [Accessed].
- EPD-NORGE. 2021. *EPD-Norge* [Online]. Available: https://www.epd-norge.no/?lang=no_NO [Accessed].
- FILIMONAU, V., ROBBINS, D., DICKINSON, J. E. & HUIJBREGTS, M. A. J. 2011. Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: Life Cycle Energy Analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of tourist accommodation. *Journal of cleaner production*.
- FN 2021. FNs bærekraftsmål. *FN.no*.
- FRANZONI, L., LEBÉE, A., LYON, F. & FORÊT, G. 2016. Influence of orientation and number of layers on the elastic response and failure modes on CLT floors. *European Journal of Wood and Wood Products*.
- GROUP, W. 2021. *CLT - Cross Laminated Timber* [Online]. Available: <https://wigo.info/cross-laminated-timber> [Accessed].
- HOLMEN-WOOD-PRODUCTS 2019. ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION KL-tre. *EPD-Norge*.
- HOXHA, E., PASSER, A., SAADE, M. R. M., DAMIEN TRIGAUX, A. S., PITTAU, F., ALLACKER, K. & HABERT, G. 2020. Biogenic carbon in building: a critical overview of LCA methods.
- JONER, E. J., RASSE, D., BUDAI, A. & O'TOOLE, A. 2017. Biokull. *NIBIO*.
- MILJØDIREKTORATET 2020. Utslipp og opptak fra skog og arealbru. *Miljøstatus*.
- NORSK-REISELIV. 2021. *Norsk Reiseliv* [Online]. Norsk Reiseliv. Available: <https://norsk-reiseliv.no/om-norsk-reiseliv/> [Accessed 07.06.2021 2021].
- PLESSER, T. S. W. 2012. *Limsystemer for limtre og sponplater*, SINTEF Byggforsk, SINTEF Byggforsk.
- RØNNING, A. & BREKKE, A. 2008. Puttin on the Ritz - but what are the emissions. *Ostfold Research*, 8.
- SIMAPRO 2021. SimaPro.
- SPLITKON-AS 2020. ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION Krysslimt tre.
- STANDARD-NORGE 2006a. NS-EN ISO 14040:2006.
- STANDARD-NORGE 2006b. NS-EN ISO 14044:2006.
- SÖDRA-SKOGSÄGARNA-EKONOMISK-FÖRENING 2020. ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION CLT (Cross laminated Timber). *EPD-Norge*.
- TELLNES, L. G. F., SAXEGÅRD, S. A. & JOHNSEN, F. M. 2020. Cross-laminated timber constructions in a sustainable future. *IOP Conf*, .
- TIMMERMANN, V. & DIBDIAKOVA, J. 2013. Klimagassutslipp i skogbruket - fra frø til industriport. *Skog + Landskap*.
- AARSTAD, J., GLÅSØ, G. & BUNKHOLT, A. 2011. Massivtre. *Trefokus*, 20, 8.

Personlig kommunikasjon:

Anders Q. Nyrud, Professor ved NMBU

Marita Aaneke, Sjef hos Eventyrlige Opplevelser

Geir Ove Mannsverk, DYNEA

Lars G. F. Tellnes, NORSUS



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway