

# Miljøregnskap ved bruk av massivtre sammenlignet med stål

Environmental Impact Assessment: A comparison  
between Cross Laminated Timber and Steel

**Trondheim Mai 2019**

Ola Ørstad Forbregd  
Thomas Svenske  
Tormod Kleveland

Intern veileder:  
Omar Sabri, NTNU

Ekstern veileder:  
Gro Nordengen Lohn, Consto AS

Prosjektnr:  
35 - 2019

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk

## Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

Consto AS skal i løpet av våren og sommeren 2019 bygge en verkstedhall for studieretningen Teknikk og industriell produksjon ved Skjetlein videregående skole. Trøndelag fylkeskommune har bestemt at bygningen skal bestå av trevirke. Consto har valgt massivtre, inkludert bæresystem i limtre. Det skal gjennom denne bacheloroppgaven utarbeides et klimagassregnskap for bygget. Resultatene skal sammenlignes med et referansebygg i stål og betong. Skolebygningen skal stå ferdigstilt før skolestart i august 2019.

Formålet med oppgaven har vært å utarbeide et detaljert miljøregnskap, resultatene presenteres i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Et direkte mål med prosjektet er å se en potensiell dokumentert miljøgevinst ved bruk av massivtre.

Stikkord fra prosjektet:

Massivtre, limtre, klimagassregnskap, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, miljø, EPD, GWP, biogent regnskap, ikke-biogent regnskap, referansebygg, fossilfri byggeplass, brannsikkerhet, trevirke og global oppvarming



# Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet våren 2019, ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Oppgaven tilsvarer 20 studiepoeng og er avsluttende på det 3-årige bachelorprogrammet for bygglinjen på Kalvskinnet. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Consto AS.

Etter samtaler med Consto ble det forslått at vi kunne utarbeide et klimagassregnskap for en skolebygning som ble oppført i massivtre våren og sommeren 2019. Dette var et spennende prosjekt ettersom bruk av massivtre er en relativt ny byggemetode i Norge. Vi takket ja, ettersom vi synes oppgaven virket interessant.

Vi ønsker å takke vår veileder Omar Sabri ved NTNU for hjelp og innspill til arbeidet. Ved beregninger av stålkonstruksjoner for referansebygg ønsker vi å rette en spesiell takk til Per Otto Yttervoll ved NTNU. I tillegg vil vi takke Gro Nordengen Lohn og Hege Husby hos Consto.

Trondheim, 9. mai 2019

*Tormod Kleveland*

---

Tormod Kleveland

*Ola Ørstad Forbregd*

---

Ola Ørstad Forbregd

*Thomas Svenske*

---

Thomas Svenske

## Sammendrag

I dagens samfunn med store globale miljøutfordringer kreves det drastiske tiltak for å redusere klimafarlige utslipp. Bygg- og anleggsbransjen er en stor produsent av miljøfiendtlige gasser og har derfor mye å hente på endring og optimalisering av produksjon og drift. Samfunnet har stadig større fokus på klima og det er viktig for en entreprenør å kunne tilby grønne løsninger for å møte kundens krav. Å levere gode miljømessige produkter og tjenester er derfor ikke bare etisk korrekt, men kan også gi et konkurransefortrinn for bedriftene som klarer å redusere sitt klimaavtrykk.

Denne oppgaven tar for seg klimagassutslippene ved produksjon og transport av alle materialer til oppføring av en verkstedhall for studieretningen Teknikk og industriell produksjon ved Skjetlein Videregående skole. Klimagassregnskapet føres og sammenlignes deretter med et referansebygg med bæring i stål og vegg og tak av sandwichelementer. Consto AS har som hovedentreprenør på prosjektet besluttet å oppføre bygget i massivtre med søyler og takstoler i limtre. Denne oppgaven er gjennomført for å kunne se på eventuelle miljømessige fordeler og ulemper med denne løsningen.

Regnskapet som er gjennomført begrenses til produksjon og transport av de materialer og mengder som er prosjektert for bygget. Med denne begrensing vil ikke elementer som blant annet energibehov ved drift og levetid på bygg spille noen rolle for resultatet. Produkt som solcellepanelet vises i regnskapet som en stor utslippskilde, men dets positive bidrag under driftsfasen vil ikke gjenspeiles. Et slikt regnskap vil derfor ikke vise helhetsbilde, men gi et inntrykk av hvilke typer produkter som er de mest miljøvennlige å produsere og transportere for denne type bygg. I all hovedsak sammenlignes bygningsformen i massivtre/limtre med et referansebygg, prosjektert i stål.

Gjennom samarbeid med Consto og tilgang til deres dokumenter, tegninger og BIM-modeller er det hentet ut materialer og mengder for prosjektet. For å hente enkeltprodukters data benyttes

en Environmental Product Declaration (EPD). Disse miljødokumentene er hentet ifra EPD-Norge sine hjemmesider eller direkte fra produsent. Om produkter har manglende dokumentasjon er det blitt gjort løsninger og beregninger for å minimere feilmarginen.

Med dette som grunnlag ble det utviklet helhetlige regnestykker for byggets utslipp gitt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Det ble utført både et biogent og et ikke-biogent regnskap for verkstedhallen. Det totale regnskapet viser at med en biogen regnemetode blir totalt utslipp 100 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens det ikke-biogene regnskapet resulterte i 250 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Det ikke-biogene regnskapet utjevner trevirkets karbondioksidopptak og utslipp ved avfallshåndtering, dette resulterer i at klimagassutslippet for trevirke blir «tilnærmet null». Dette er en typisk regnemetode for klimagassutslipp og mest aktuelt å sammenligne med referansebygget. Bruken av massivtre for verkstedhallen på Skjetlein resulterer i en utslippsbesparelse på ca 28% kontra å bygge i stål og sandwichelementer. Valg av massivtre utgjør dermed en tydelig forbedring.

## Abstract

In today's society with major global environmental challenges, drastic measures are required to reduce climate-hazardous emissions. The construction industry is a large producer of global warming emissions and has a lot to benefit from change and optimization of production and operation. Society is increasingly focusing on climate changes and it is important for a contractor to be able to offer green solutions to meet the customers' requirements. Delivering good environmental products and services is therefore not only ethically correct but can also provide a competitive advantage for companies who manage to reduce their climate footprint.

This bachelor's thesis looks at greenhouse gas emissions during the production and transportation of all materials for the construction of a workshop for "Teknikk og Industriell Produksjon" at Skjetlein High School. The environmental emission calculations from the basic system of the building which consists of support system, walls and roof are then compared to a made-up reference building with a support system in steel and wall and ceiling consisting of sandwich elements. Consto AS has as the main contractor on the project decided to construct the building using cross-laminated timber with columns and roof trusses in glulam. In order to look at potential advantages and disadvantages of this solution, they want to compare greenhouse gas emissions between these two solutions.

The accounts that have been made are limited to the production (A1-A3) and transport (A4) of the materials and quantities that have been designed for the building. With this limitation, elements such as energy requirements for operation and lifespan of the building will not play a part in the results. A product such as the solar panel appears in the accounts as a major source of emission, but its positive contribution during the operating phase will not be reflected. An account like this will therefore not show a comprehensive picture, but it will give an impression of the types of products that are the most environmentally friendly to produce and transport for such type of building. For this thesis, it is mainly cross-laminated timber/glulam that is compared with a referenced building in steel.

Through the collaboration with Consto and access to their documents, drawings and BIM-models, we have extracted materials and quantities for the project. In order to retrieve single product data, one must look at the product's Environmental Product Declaration (EPD). Most of the products used have been obtained from EPD-Norway's website, but where there has been a lack of documentation, other solutions and calculations have been made to minimize the margin of error.

The results have been developed using comprehensive calculations on the building's emissions given in kg CO<sub>2</sub>-equivalents. Both a biogenic and non-biogenic account were performed on the workshop hall. The total statement shows that with a biogenic calculation method we have a total emission of 100 metric tonnes of CO<sub>2</sub>-equivalents, while the non-biogenic account shows a total of 250 tonnes of CO<sub>2</sub>-equivalents. The non-biogenic does not take wood's positive environmental contribution through the carbon binding into consideration in the accounts and is therefore most relevant to compare with the reference building. Compared to the reference building, the use of cross laminated timber (CLT) gives an emissionreduction of about 28% versus building in steel and sandwich elements and is thus a significant envrionmental improvement.



# Innholdsfortegnelse

<b>Kapittel 1 Introduksjon .....</b>	<b>1</b>
1.1 Innledning.....	1
1.2 Innovasjon i byggebransjen .....	1
<b>Kapittel 2 Teori .....</b>	<b>5</b>
2.1 Global oppvarming .....	5
2.2 Trevirke.....	5
Råvare/fremstilling .....	5
Massivtre .....	6
Fremstilling av limtre/massivtre .....	8
Gjenvinning og avfallshåndtering .....	9
Sertifisert limtre – CE-merking.....	10
Brannsikkerhet.....	10
2.3 Stål.....	11
Råvare/Fremstilling.....	11
Brannsikkerhet.....	12
2.4 Lavenergibbygg, Passivbygg og Plussbygg.....	13
2.5 BREEAM .....	14
2.6 Environmental Product Declaration .....	17
Bruk av EPD .....	17
2.7 Biogent klimagassregnskap .....	19
<b>Kapittel 3 Skjetlein.....</b>	<b>21</b>
3.1 Skjetlein TIP-verksted.....	21
Oppbygning.....	22
Fossilfri byggeplass .....	24
<b>Kapittel 4 Beregninger .....</b>	<b>25</b>
4.1 Prosessen.....	25
Metodiske vurderinger for produktfasen (A1-A3) .....	25
Metodiske vurderinger for A4, transportutslipp.....	26
4.2 EPD eksempelberegninger .....	27
Sinusplater tak .....	27
Solcellepaneler.....	28
4.3 Referansebygg.....	30
Bæresystem .....	31
Generelt, sandwichelementer .....	33
Yttervegg.....	34
Takelementer .....	35
Feilkilder.....	37

<b>Kapittel 5 Resultater .....</b>	<b>38</b>
5.1 Ikke-biogen regnskap .....	39
5.2 Biogen regnskap .....	41
5.3 Regnskap som utelukker solcellepaneler .....	42
<b>Kapittel 6 Konklusjon .....</b>	<b>43</b>
6.1 Konklusjon.....	43
6.2 Forslag til videre forskning.....	44
<b>Bibliografi .....</b>	<b>45</b>
<b>Vedlegg.....</b>	<b>49</b>

## Figurliste

Figur 1 - Krysslågt panel vs. limtresøyle, (FPIinnovations, 2013) .....	7
Figur 2 - Massivtreelement på Skjetlein vgs, 60mm, privat bilde.....	8
Figur 3 - Fremstilling av krysslågt (KI) trevirke, (Splitkon, 2019) .....	9
Figur 4 - Forkulling av limtrebjelke, (Tekna, 2017) .....	10
Figur 5 BREEAM i alle faser. (BREEAM NOR, 2017) .....	15
Figur 6: EPD Norge logo, (EPD-Norge, 2019) .....	17
Figur 7 - Systemgrenser i EPD, (Treindustrien, 2015) .....	18
Figur 8 - Nøkkeltall produksjonsfase for konstruksjonsvirke i gran og furu, (Treindustrien, 2015) .....	19
Figur 9 - Prinsipp for karbonlagring i tre, (Mie Fulgseth, 2014).....	19
Figur 10 - Miljøpåvirkning av konstruksjonsvirke av gran og furu. (Treindustrien, 2015) .....	19
Figur 11 - EPD fra Splitkon for KI massivtre, der biogen verdi er oppgitt, (Splitkon, 2019) .....	21
Figur 12 - Oversiktsbilde Skjetlein vgs, (skjerm bilde fra IFC-modell).....	23
Figur 13 - Oversikt massivtre, (skjerm bilde fra IFC-modell) .....	23
Figur 14 - Befaring på Skjetlein vgs, privat bilde.....	24
Figur 15 Livsløpsberegning av drivhusgasser per produserte kWh for takmonterte fotovoltaiske systemer. (Fthenakis, 2011) .....	29
Figur 16 - Egenlast, ramme. Egne beregninger.....	32
Figur 17 - Rammekonstruksjon for referansebygg, utklipp fra programvaren SAP2000.....	33
Figur 18 - Sentrale verdier TIP Verksted, Skjetlein Vgs.....	34
Figur 19 - KS1000 NC/NF ytterveggselement fra Kingspan .....	35
Figur 20 - Takpanel Quadcore KS1000 RW fra Kingspan .....	36
Figur 21: Resultater ikke-biogen regnskap. (Egne beregninger) .....	39
Figur 22 – Resultater, biogen regnskap. (Egne beregninger) .....	41

## Formelliste

Formel 1 - Beregning av CO <sub>2</sub> -ekvivalenter for treverk basert på biogent karboninnhold, NS EN 16449-2014 .....	20
Formel 2 - Utregning for CO <sub>2</sub> -ekvivalenter, modul A4.....	26
Formel 3 Utslippsberegning for Plannja Sinusplater .....	28
Formel 4 Beregning av utslipp per m <sup>2</sup> solcellepanel .....	29
Formel 5 - Dimensjonerende taklast, referansebygg .....	31
Formel 6 - Beregning av antall rammer .....	32

## Tabelliste

Tabell 1: Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, yrkesbygg. Norsk Standard NS 3701:2012 .....	14
Tabell 2: Nøkkeldata TIP-verksted Skjetlein, utklipp fra Interaxo, prosjekthotell .....	21
Tabell 3 - Utslippsfaktorer for CO <sub>2</sub> for godstransport på veg, (Transportøkonomisk institutt, 2009) .....	26
Tabell 4 - CO <sub>2</sub> -ekvivalenter omregningsfaktor .....	27
Tabell 5 - Sammendrag av resultater for ikke-biogene beregninger. (Egne beregninger) .....	39
Tabell 6 - Sammendrag av resultater, biogent regnskap. (Egne beregninger) .....	41

## Stikkordsliste

EPD	Environmental Produkt Declarations, som på norsk betyr miljødeklarasjoner. EPD'er gir objektiv, tredjepartssertifisert informasjon om et produkts miljøegenskaper og –påvirkninger.
Massivtre	Veggelementer bestående av krysslagte lameller av trevirke, produseres i ulike fasonger etter bestilling og leveres som byggesett. Ikke-bærende i dette prosjektet.
Limtresøyle	Bærende søyler bestående av lameller limt i samme retning.
GWP	Global warning potential – er et mål på ulike drivhusgasser sin effekt direkte mot global oppvarming.
Biogent regnskap	Inkluderer negative bidrag for trevirke ved beregning av GWP i modul A1-A3. På grunn av at trevirke tar opp karbondioksid gjennom fotosyntesen og binder karbon i trevirket. Dette er en av årsakene til at trevirke er et miljøvennlig materiale.
Homogent limtre	Limtre bestående av ensartet materiale, eks gran.
TIP-verksted	Skolebygning for studieretning Teknikk og industriell produksjon.
Sandwichelement	Ferdige byggelementer vanligvis bestående av to tynne plater i stål på hver sin side av en isolerende kjerne. Kan brukes både i vegger og tak
kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	En enhet som tilsvarer effekten en kg CO <sub>2</sub> har på global oppvarming. Andre klimagasser omregnes til denne enheten med en faktor basert på om de har større eller mindre påvirkning en CO <sub>2</sub> for å kunne samle alle verdiene i en enhet.



# Kapittel 1 Introduksjon

## 1.1 Innledning

Fokuset i dette prosjektet vil være på miljøaspektet ved valg av materiale til en verkstedhall. Oppgaven er begrenset til å se på miljøutslippene for materialer og mengder i fasene A1-A4. Dette innebærer uttak og framstilling av råvarer, transport til fabrikk, fabrikasjon og transport til byggeplass. Oppgaven vil dermed ikke inneholde klimautslipp vedrørende, forberedende anleggsarbeid, installasjon og montering, drift og vedlikehold eller rivning og resirkulering.

Prosjektet inneholder også et klimagassregnskap gjennomført for et referansebygg av sandwichelementer med bæresystem i stål. Dette er prosjektert for å kunne sammenligne miljøforskjellene i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter ved bruk av de to alternative byggemetodene. Fokuset er på de samme fasene A1-A4 for å kunne konkludere med et sammenlignbart resultat.

## 1.2 Innovasjon i byggebransjen

Verden er stadig i utvikling og nye teknologier blir utviklet med høy frekvens. Fokuset på blant annet klima, sikkerhet og økonomi er stort og legger press på aktørene i de forskjellige bransjene om forbedring. Innovasjon og nyskaping kommer gjerne som et resultat av dette økte fokuset. Byggebransjen er avhengig av teknologiske framskritt for å holde tritt med samfunnets utvikling og høyere krav til kvalitet, kostnad og effektivitet. Innovasjon er et begrep som må skilles fra videreutvikling av eksisterende løsninger eller oppskalering av disse. Med innovasjon menes en tilsiktet positiv endring ved for eksempel større endringer i produksjonslinjer, implementering av nye tekniske prinsipper eller at det benyttes nye materialer som hittil ikke er utprøvd. Innovasjon kan deles opp i undergrupper basert på den

bakenforliggende faktoren. Eksempler på disse er produktinnovasjon, prosessinnovasjon eller innovasjoner basert på nye økonomiske modeller eller skapte kommersielle behov.

For byggebransjen er innovasjon og nyskaping en sentral del i det og stadig kunne bygge større, smartere og raskere enn før. Historisk har byggebransjen sett flere slike omveltninger. Tidligere ble hus bygget med materialer fra nærområdet med de verktøy man hadde for hånden uten detaljerte tegninger. I dag tegnes avanserte konstruksjoner ved hjelp av CAD-programmer, som produserer materialister og beregninger som før var utenkelige. Veien fra gammeldags byggeskikk til dagens høyteknologiske løsninger har kostet både tid og penger, men har gitt mennesker muligheten til å bygge komplekse konstruksjoner eller bygninger som strekker seg opp mot 1000m over bakken.

Bare i løpet av de siste 10-årene har innovasjoner som BIM-modeller og CAD-verktøy revolusjonert måten man setter opp bygninger på. Gjennom BIM muliggjøres samhandling mellom arkitekter, entreprenører, underentreprenører og konsulentfirma på en mer sømløs måte ved hjelp av et felles datagrunnlag. CAD ga muligheten for å lage detaljerte tegninger i tre dimensjoner. Dermed kunne man se visuelt på datamaskiner hvor det ville oppstå problemer å rette opp disse før byggefasene i det hele tatt var oppstartet. I de tidligere todimensjonale planene vil det blant annet være vanskelig å oppdage når separate systemer som konkurrerer om plass, for eksempel ventilasjon og strømannlegg, hadde gått i veien for hverandre. Utretting av slike feil blir kostbare om de må løses i byggefasene i stedet for på tegnebrettet. Ved å se enda lengre tilbake i tid finner man nyskapingen som prefabrikkerte moduler og industrielle gjennombrudd som ga nye verktøy og store anleggsmaskiner som har økt effektiviteten på byggeplassen betraktelig.

Også i dag står ideer og teknologier i kø for å innovere måten hus bygges på.

Med IoT (Internet of Things) vil mer og mer av utstyr, verktøy og materialer kunne kobles opp mot nettet og kontinuerlig samle og administrere data fra byggeplassen. Sensorer og kameraer ville til enhver tid gi informasjon om fremdrift og status i sanntid på prosjektet. Disse



produktene vil kunne vise tilstand og belastninger i strukturen under bygging. Med en slik utvikling vil dette medføre en enorm mengde data for entreprenørene. For å kunne behandle store mengder data vil kunstig intelligens (AI) og maskinlæring være fordelaktig. Med dette som hjelpemiddel kan maskiner finne de mest kritiske problemene til enhver tid og enten varsle om disse eller løse feilen selv avhengig av nivået på den kunstige intelligensen. Bruksområdet for en godt utviklet AI er nær grenseløst. Selv om slike løsninger ikke kan løse alle problemer i dag hører det ikke bare framtiden til. Allerede finnes det velutviklede AI-systemer som er kapable til å blant annet proaktivt oppdage sikkerhetsbrudd eller ha fullstendig oversikt over hva som finnes, brukes og trengs av materialer til enhver tid. Innovasjoner som kunstig intelligens og økte datamengder fra byggeplass har stort potensiale til å revolusjonere byggebransjen de neste 10-årene.

(Venugopal, 2018)

Andre teknologier som gjør sitt inntog på mange områder er virtuell virkelighet og autonomt utstyr. Virtuell virkelighet er ikke lenger teknologi kun forbeholdt spillverdenen. Virtuell virkelighet baseres på å erstatte sanseinntrykk som syn og hørsel med kunstig fremstilte bilder og lyder. I tillegg finnes det som på engelsk heter augmented reality (AR), som på norsk gjerne kalles utvidet virkelighet, hvor man kan legge på ekstra lag med informasjon på skjermen man ser gjennom. Slik teknologi kan spille en rolle i byggebransjen blant annet ved sanntid sammenligning av 3D modeller og fysisk bebyggelse. Det gir arbeidere muligheten til å se hvordan installasjoner skal se ut mens de utfører arbeidet. Ved hjelp av teknologien kan også arbeider bli varslet om potensiale farer som for eksempel høye temperaturer eller gasslekkasjer, samt at det kan gi samhandling mellom arkitekter/ingeniører og arbeider en helt ny dimensjon. Der virtual reality (VR) kan øke produktiviteten til mennesker, kan automasjon og robotikk skape en tryggere og mer effektiv byggeplass. I samspill med tidligere nevnte AI og IoT vil autonome kjøretøy kunne spille en viktig rolle i morgendagens byggebransje. Ved å fjerne mennesket fra byggeplassen spares tid på sikkerhetstiltak samt arbeidskapasitet. Alt fra store masseforflytningsmaskiner til droner som kan skanne byggeplass og levere 3D modeller kan automatiseres og fjerne det menneskelige aspektet i produksjonen. Med autonome verktøy og

kjøretøy vil vi, som med de andre teknologiene, kunne få mye større datagrunnlag. Det er dette i hovedsak som vil gjøre byggeprosessen raskere, tryggere og billigere for entreprenør. (Higgins, 2019)

Alle disse teknologiene finnes i dag og vil sannsynligvis øke sitt omfang i fremtiden. For en bedrift å stadig kunne være levedyktig i et sterkt konkurransepreget marked er det viktig å ta til seg og adaptere ny teknologi i driften. Det er innovasjoner som de overnevnte som har potensiale til å revolusjonere dagens løsninger. For at menneskeheten skal kunne være i stand til å stadig bygge større, bedre og mer avansert er vi avhengig av at teknologien vi benytter oss av utvikler seg. Innovasjon drives generelt av økt teknologisk kunnskap, men er også avhengig av etterspørsel og lønnsomhet i markedet. Det er vanskelig å forutsi hvilken teknologi som blir dominant i byggebransjen i fremtiden, men det er liten tvil om at det finnes mye teknologi med potensiale til å innovere måten vi tenker og jobber på i dag.

## Kapittel 2 Teori

### 2.1 Global oppvarming

Fra den industrielle tidsalderen og frem til i dag har menneskeskapte utslipp av klimagasser vært jevnt økende. Studier av iskjerner viser at konsentrasjonen av klimagassene karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), lystgass ( $\text{N}_2\text{O}$ ) og metan ( $\text{CH}_4$ ) de siste 800 000 årene ikke har vært så høye som de er i dag. De menneskeskapte klimagassene akkumuleres i atmosfæren og forsterker drivhuseffekten. Dette resulterer i at atmosfæren og havet blir varmere, is smelter og havnivået stiger. (Miljødirektoratet, 2018)

Klimagassene har ulike innvirkninger på klimaet, dette er på grunn av ulike stråling og oppholdstid i atmosfæren. Påvirkningen av klimagassene sammenlignes ved å benytte en felles enhet basert på strålingspådrivet til karbondioksid. Strålingspådrivet er forskjellen mellom innstråling av sol som treffer jorda og nivået av varmestråling jorda returnerer. Dette resulterer i at gassenes evne til å varme opp atmosfæren samles under en enhet, nemlig  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter. Klimautslipp av en gitt gass målt i  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter forteller hvor mye karbondioksid som må til for å gi tilsvarende oppvarming av atmosfæren. Tidshorisont for utslippene er vanligvis 100 år. (Miljødirektoratet, 2017)

### 2.2 Trevirke

#### Råvare/fremstilling

Trevirke er et fornybart råstoff med liten negativ innvirkning på miljøet, gitt at materialet kommer fra en bærekraftig forvaltet skog. Trevirke er Norges mest miljøvennlige materiale pr i dag (Trefokus, 2013). Oppbyggingen av trevirke foregår gjennom fotosyntesen, trærne tar opp  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren og binder dette som karbon (C) i trevirket. Treprodukter lagrer karbonet frem til det frigis ved forbrenning eller nedbrytning. Et godt argument for å benytte trevirke er

at lagring av karbon i bygninger og materialer er bedre enn at skogen dør på rot.

Forutsetningen er at den samlede kubikkmassen på rot er bærekraftig og stabil. De siste hundre årene i Norge har tilveksten av tre vært større enn uttaket. Pr 2013 var tilveksten dobbelt så stor som uttaket i Norge. (Trefokus, 2013)

Sagtømmer er råstoffet til produksjonen av trelast og treprodukter slik som massivtre.

Tilvirkingen av råstoffet foregår gjennom saging, høvling og ytterligere behandling slik som

limtrebehandling i presse. Overskuddsprodukter slik som bark, spon, sagflis og andre

biprodukter benyttes vanligvis for produksjonen som bioenergi, eventuelt kan energien

benyttes i form av varme. Overskuddsmaterialene kan alternativt selges til andre energiformål,

eller papir- eller plateproduksjon. Råstoffet blir dermed gjerne benyttet fullt ut.

Massivtre

Massivtre er i grunn et enkelt produkt. Det består av to materialer; trevirke og lim. Begrepet

massivtre eller CLT (cross laminated timber) kan være misvisende, men brukes i mange

sammenhenger. Når det i denne oppgaven er snakk om massivtre menes prefabrikkerte

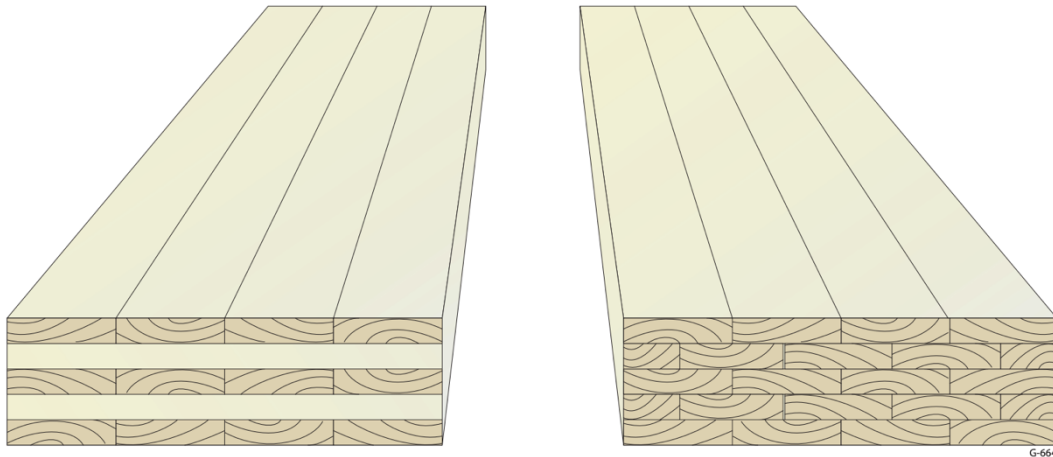
veggelementer. På Skjetlein vgs oppføres veggelementene med 60mm tykkelse, disse er «ikke-

bærende». Bæresystemet er oppført bestående av limtresøyler, som igjen er en form for

massivtre. Forskjellen på massivtreelementer og limtresøyler ligger i utformingen (Figur 1).

Limtresøyler består av lameller som er kantstilt og lagt i samme retning, mens

massivtreelementene er krysslågt bestående av typisk tre, fem eller syv lag.



Figur 1 - Krysslagt panel vs. limtresøyle, (FPInnovations, 2013)

Kantstilte lameller består av trevirke med lik fasthetsklasse, dette kalles homogent limtre. De krysslagte elementene kan derimot ha et yttersjikt med en høyere fasthetsklasse enn de indre lamellene. Massivtreelementene prefabrikeres i ulike fasonger etter bestilling og blir levert i byggesett. Dette er fordelaktig ettersom det fører til rask montering på byggeplass. De største massivtreelementene på Skjetlein vgs ble levert med dimensjoner opp til 13,5m x 2,4m. Bærende limtresøyene har dimensjon på 140mmx405mm.

Tidlig på 90-tallet ble CLT (cross laminated timber), altså krysslagt massivtre utviklet i et tømmerproduksjonsfirma i Østerrike. Det tok allikevel noen år før produktet ble aktuelt i byggindustrien, dette på grunn av manglende kunnskaper og erfaring. Tyskland, Østerrike og Sveits anvender massivtre i størst grad pr 2017. Norge begynte å anvende massivtre i 2012. Ifølge Veidekke har veksten i Europa for bruk av massivtre doblet seg fra 2008 til 2012, med en anslått verdi på 450 000 m<sup>3</sup>.

«De som velger å bygge i massivtre i dag, bidrar til å gjøre massivtre mer konkurransedyktig i fremtiden» (Nøstal, 2017)



Figur 2 - Massivtreelement på Skjetlein vgs, 60mm, privat bilde

<b>Fordeler ved bruk av massivtre</b>	<b>Ulemper ved bruk av massivtre</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kan erstatte bruk av stål og betong</li> <li>- Trevirke er et fornybart materiale</li> <li>- Kort konstruksjonstid før tett bygg</li> <li>- Lav egenvekt med høy relativ styrke</li> <li>- Lave klimagassutslipp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krever ytre kledning og isolasjon</li> <li>- Krever god prosjektering</li> <li>- Massivtre er en relativt «ny» byggemetode</li> <li>- Dårlig lyddemping</li> </ul>

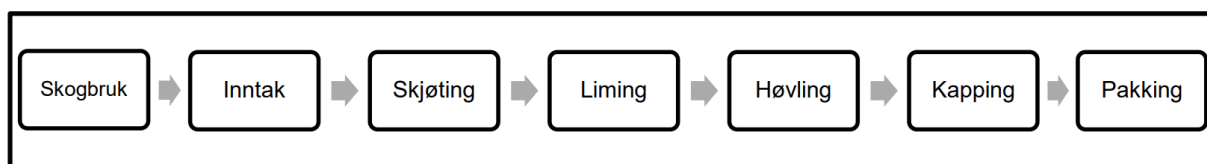
Fremstilling av limtre/massivtre

Splitkon AS er leverandør for massivtre ved byggeprosjektet på Skjetlein VGS. Krysslagt (KI) trevirke produseres etter illustrasjon vist på Figur 3. Produktet inneholder henholdsvis 99% trevirke (gran) og <1% lim. Splitkon AS benytter limtype MUF (malmim-urea-formaldehyd). Kl-tre produsert av Splitkon har lim (MUF) tilsvarende 12,9 kg/m<sup>3</sup>. (Splitkon AS, 2014)

Limtypen MUF gir lyse fuger som mørkner noe etter hvert. Før liming tørkes lamellene. Etter tørkingen bør fuktinnholdet være til trevirke være på rundt 12 vektprosent. Vanligvis høvles

lamellene rett før limet påføres, deretter legges elementet typisk i en hydraulisk presse, eventuelt en skrupresse med et trykk på mellom 6-10 bar. Lamellene holdes i pressen inntil limet er herdet. Det er normal at herdeprosessen foregår ved en forhøyet temperatur slik at herdetiden reduseres. (Sintef, 2012)

De mest kritiske parametrene i limtre- og massivtreproduksjon er fingerskjøtenes styrke og kvaliteten til limfugene. Intern fabrikkkontroll er derfor veldig viktig for å opprettholde god kvalitet på overnevnte punkter. De interne kontrollene overvåkes av et eksternt kontrollorgan fra myndighetene. Ved produksjon av limtre er det viktig at fiberretningen faller sammen med komponentenes lengderetning. (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015)



Figur 3 - Fremstilling av krysslågt (Kl) trevirke, (Splitkon, 2019)

#### Gjenvinning og avfallshåndtering

Om limtresøyler og massivtreelementer demonteres forsiktig og på riktig måte kan materialene gjenbrukes. Materialgjenvinning til et nytt trebasert produkt er teknisk sett også mulig. Materialet har gode egenskaper ved brensel og har lignende utslipp som rent trevirke ved forbrenning til tross for limet mellom lamellene.

Behandlingsmåte for avfall i henhold til NS 9431:

Avfallstype:	Blandet trevirke
Avfallshåndtering:	Forbrenning og energiutnyttelse
Opprinnelse:	Næring: Bygg og anlegg
Kode for avfallsbehandling:	1149, 0400 og 0600

Antatt levetid for massivtreprodukter er minimum 50 år gitt riktig vedlikehold. (Splitkon, 2019)

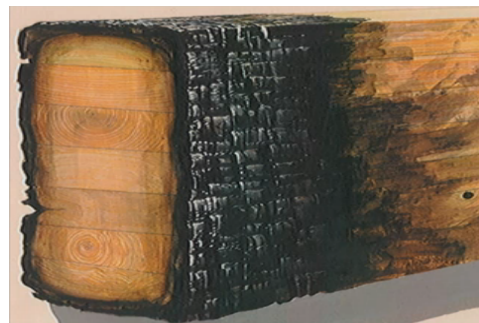
## Sertifisert limtre – CE-merking

Den europeiske standard EN 14080, og de standarder denne refererer til fastlegger krav til CE-merking av limtre. Formålet med CE-merking er å tilrettelegge for fri handel av gjeldende produkt innen det europeiske markedet og sikre at spesifiserte krav er oppfylt for andre produkter fremstilt av andre produsenter. Krav slik som elastisitetsmodul, bøyefasthet og brannkrav i tillegg til krav om å vedlikeholde et internt system for kontroll av produksjon.

Før produktet kan tilbys markedet må en første type testing (ITT) gjennomføres. Hensikten med ITT-testing er å evaluere og godkjenne produktet. Prosedyrer, inspeksjoner og tester inngår også i kvalitetssystemet før produktet skal bli CE-merket. Kvalitetssystemet skal kontrolleres to ganger årlig, fortrinnsvis uanmeldt. (Norsk Limtreprodusenters forening, 2015)

## Brannsikkerhet

Massivtre har gode brannegenskaper, ettersom massivtreelementet har lav varmeledningsevne. Under en fullt utviklet brann vil innbrenningshastigheten i materialet foregå relativt langsomt. Trevirket forkalles og bæringen i limtresøylene vil opprettholde sin fasthet og stivhet i stor grad. Dette resulterer i høy klassifisering (R) for bæreevne ved en brann, i tillegg til å fungere brannskillende (EI). (Norsk massivtre, 2018)



Figur 4 - Forkulling av limtrebjelke, (Tekna, 2017)

Det forkullede sjiktet beskytter det innenforliggende treverket og det skaper en jevn, kontrollert innbrenning med hastighet på typisk 0,6-0,7mm pr minutt. Innbrenningshastigheten påvirkes av tresort og densitet av benyttet treverk. Gran er et mye brukt materiale for massivtreelementer. Brannmotstanden i elementene kan økes ved å benytte tresorter med høyere densitet som ytterste sjikt, dette er mest aktuelt for veggelementer, og ikke søyler. Løvtrær har høyere densitet og lameller i dette materialet kan dermed benyttes i ytterste sjikt



av veggelementet for å redusere innbrenningshastigheten. Det ytterste sjiktet er åpenbart den eksponerte overflaten ved en brannsituasjon. (Tekna, 2017)

## 2.3 Stål

### Råvare/Fremstilling

Stål er legeringer av jern, i vektprosent inneholder det mer jern enn noe annet element. Det har vanligvis et karboninnhold mindre enn 1,7-2%, samt mindre mengder av andre grunnstoffer. Stål er ofte foretrukket konstruksjonsmateriale til både små og store konstruksjoner av flere grunner, blant annet fordi det har en høy styrke/vekt ratio, det er et varig og resirkulerbart materiale, og det er i tillegg er relativt billig.

«Stål har bidratt mer til den moderne sivilisasjonen enn noe annet metall, og på verdensbasis er det bare olje som utgjør mer i pengeverdi enn stål»

(Store Norske leksikon , 2019)

Stål fremstilles gjennom fire hovedtrinn:

1. *Fersking* – Råjernets innhold av oksiderbare stoffer blir fjernet, slik som karbon, mangan og svovel.
2. *Desoksidasjon og legering* – For å få kontroll over gassutviklingen under størkningen. Slaggen fra ferskingen trekkes ut og oksygeninnholdet reduseres og kontrolleres.
3. *Utstøping* – Foregår gjennom et tappehull med stopper i bunnen av øsen, ned i kokiller (støpeformer)
4. *Valsing* – Varmfomgivning ved valsing og smiing. Mange produkter blir deretter tilvirket ved kaldbearbeiding i form av trekking og valsing. (Store Norske leksikon , 2019)

Blant de vanligste byggematerialene som brukes i dag er stål det eneste som gjenvinnes 100% med minst like god kvalitet. Referansebygget som benyttes i dette prosjektet er oppført ved bruk av stålrammer, som erstatning for søyler og takstoler i limtre slik Consto har valgt å utforme bygget. Bygninger med størrelse slik som verkstedhallen ved Skjetlein VGS oppføres tradisjonelt sett med bæring i stål og er dermed en god kilde til sammenligning for oppgavens formål.

#### Miljø og Gjenvinning

Stål er ikke bare resirkulerbart, men også 100% multisirkulerbart. Det kan brukes igjen og igjen i det uendelige med minst like god kvalitet. Alt avfall og rester etter stålproduksjon går direkte til gjenvinning. Det må allikevel utvinnes jernmalm for å dekke klodens økende behov for stål. Forekomsten av naturlig jernmalm er den fjerde største forekomsten av grunnstoff i jordskorpa, men det er i teorien ikke en fornybar ressurs. (Pedersen, 2018)

Stålet vil komme noe dårligere i regnskap der A1-A4 brukes og ikke en hel livsløpsanalyse (LCA), der resirkuleringspotensialet til stålet ville ha kommet bedre frem. Selv om stål resirkuleres må det legges vekt på at man ved å bygge i stål bidrar til verdens økende stålbehov og dermed den økende utvinningen og produksjonen av jern.

#### Brannsikkerhet

Stål i seg selv er ikke spesielt brannsikkert, og allerede ved en temperatur på 500°C mister stålet 50% av fastheten. Det er vanlig å regne en brannmotstand på 10-15 minutter på en ubeskyttet stålkonstruksjon. Det er vanlig å brannisolere stål som brukes i bærende konstruksjoner og de fleste sertifiserte brannisoleringssystemene gir en brannmotstand på 60-90 minutter. (Stenstad & Krohn, 2004)

## 2.4 Lavenergibbygg, Passivbygg og Plussbygg

Begrepe lavenergibbygg, passivhus og plussbygg er begreper som forteller noe om energibehovet og eventuelt energiproduksjonen i et bygg. Det som avgjør hvilken klassifisering byggene havner innunder er energitapene bygningene har oppgitt i kW/m<sup>2</sup>. Det som er felles for alle tre er at de har lavere energibehov enn «normale» boliger og bygg som er bygd etter byggt teknisk forskrifts minstekrav, forskjellen er i hvor stor grad de skiller seg fra standarden.

Plussbygg er naturligvis det bygget med høyest krav. Som navnet tilsier er dette et bygg som er designet og konstruert på en slik måte at det over sitt livsløp produserer mer energi enn det som kreves for å oppføre, drifte og rive bygningen. Denne energien kan skapes gjennom solceller, grunnvarme eller andre løsninger. Overskuddsenergien kan for eksempel selges tilbake til kraftselskapene. Et passivbygg defineres ut ifra behovet for energi. For boliger har et passivhus normalt ca 25% av energibehovet til en normal bolig. Kravet er at energibehovet ikke skal overstige 15 kWh/m<sup>2</sup>. Videre settes det og som forutsetning at konstruksjonen skal gi god termisk komfort og luftkvalitet. (Lassen, 2010) (NorskStandard, TEK 10)

Lavenergibbygg er en mer romslig terminologi uten så strenge rammer. Lavenergibbygg kan defineres som en bygning med lavere energibehov enn det som kreves i byggeforskriften. I motsetning til passivhus, som egner seg best for enkle bygningstyper, er lavenergibbygg godt egnet for de fleste bygningstyper. For å oppnå karakteristikken lavenergibbygg skal det gjerne ikke så mange tiltak til. Eksempler på slike tiltak kan være å oppdage og utbedre luftlekasjer og kuldebroer, eller ha større dimensjoner på isolasjon. Disse kan medføre større kostnader enn et minimumsbygg under oppføring, men med det reduserte energibehov vil det dette føre til en økonomisk gevinst under driftsperioden for bygget. (Lassen, 2010)

Bygningskategori	Passivhus		Lavenergibygning	
	$H_{tr,inf,0}^*$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$\Psi$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$H_{tr,inf,0}^*$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$\Psi$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
Barnehage	0,40	0,014	0,50	0,022
Kontorbygning	0,40	0,009	0,50	0,014
Skolebygning	0,40	0,013	0,50	0,017
Universitets- og høyskolebygning	0,40	0,014	0,50	0,021
Sykehus	0,40	0,014	0,50	0,019
Sykehjem	0,40	0,014	0,50	0,018
Hotellbygning	0,40	0,014	0,50	0,016
Idrettsbygning	0,45	0,010	0,60	0,013
Forretningsbygning	0,40	0,014	0,50	0,018
Kulturbygning	0,40	0,012	0,50	0,016
Lett industribygning, verksted	0,40	0,017	0,55	0,022

Tabell 1: Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, yrkesbygg. Norsk Standard NS 3701:2012

## 2.5 BREEAM

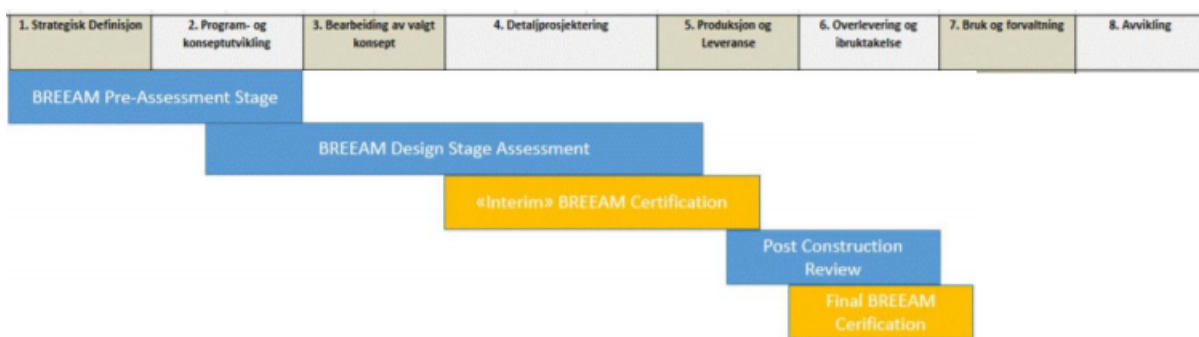
BREEAM, eller Building Research Establishment Environment Assessment Method, er en metode som brukes til å evaluere og sertifisere bærekraftighet i bygg. Det gis poeng for miljøvennlige tiltak og grep som reduserer byggets fotavtrykk, og ut i fra poeng regner man ut en karakter. De ulike karakterene er *Pass*, *Good*, *Very Good*, *Excellent* og *Outstanding*. Målet er å motivere til bærekraftig og miljøvennlig design og byggeprosess. Bygget som dette prosjektet omfatter har ikke som mål å få en slik sertifisering, men det er likevel fokus på klima og miljø, og flere tiltak som er gjort er de samme som ligger inne i BREEAM systemet. Ved å gjøre flere tiltak under planleggingen kunne en slik sertifisering vært aktuell. En britisk studie viser at det kreves liten eller ingen ekstrakostnad for å oppnå sertifiseringsgrad opptil *Very Good*. (Grønn Byggallianse, u.d.)

Fordelene med å ha en Breeam sertifisering er mange:

- Høyere markedsverdi
- Høyere leieinntekter
- Større belegg
- Lavere driftskostnader
- Økt brukertilfredshet
- Redusert finansiell risiko

(Grønn Byggallianse, u.d.)

Om bygget skal BREEAM sertifiseres er det viktig at man har dette som utgangspunkt allerede før prosjekteringsfasen starter. Alle involverte i prosjektet er viktige for å implementere BREEAM i alle faser av prosjektet. Både byggherre, prosjekteringsteam og hovedentreprenør er viktige for å få det til.



Figur 5 BREEAM i alle faser. (BREEAM NOR, 2017)

Det gis poeng i mange kategorier, som for eksempel energi, innovasjon, vannforbruk, helse og innemiljø. Klimaregnskapet som føres for dette bygget er en del av materialkategorien i sertifiseringsordningen.

Materialkategorien innbefatter både klimagassregnskap, innhenting av EPD'er og livsløpsanalyse. Disse punktene har vært sentrale for denne oppgaven. Ved å ha disse kravene med tidlig i prosessen oppfordres man aktivt til å reflektere mer over design og materialvalg ved et tidlig stadium. Om klimaregnskapet er klart allerede tidlig i prosessen er det ikke så kostbart å gjøre endringer om ønskede mål ikke blir oppnådd. Ved å velge produsenter med utarbeidede miljødeklarasjoner for produktene sine, forenkles arbeidet med å gjøre regnskapet, samt oppfordres flere leverandører til å utarbeide en slik deklarasjon og dermed konkurrere på miljøvennlighet. Siden det ikke lå i forutsetningene for dette prosjektet at det skulle sertifiseres har det til tider vært utfordrende å innhente miljødeklarasjoner fra forskjellige underleverandører og produsenter.

Energibruk er også et viktig tema og det oppfordres til å velge et energibesparende konsept. Grunnlaget er karakter C i energimerkeordningen, og det gis poeng etter hvor mange prosent bedre enn karakter C bygget klarer å yte. Energimerkeskalaen går fra A til G, og en bygning oppført etter minimumskravene i TEK10 som hverken benytter solenergi eller varmepumpe vil få energikarakter C. Det stilles krav til at energiberegningene utføres av sakkyndig energiingeniør, men uten å gå dypt i materialet kan man anta at på grunn av lavenergi-standard og installerte solcellepaneler ville TIP-bygget på Skjetlein scoret godt med BREEAM poeng.

(BREEAM NOR, 2017)

## 2.6 Environmental Product Declaration

I et globalt marked med stadig større fokus på produkters miljøprestasjoner, er det viktig for kunder å kunne vurdere de mange tilbudene basert på nettopp dette. En EPD (Environmental Product Declaration) er et dokument som er godkjent av en nøytral tredjepart som skal gi et transparent og sammenlignbart tallmateriale knyttet til klimautslipp på produktet. Det stilles i dag mange krav til byggematerialer for å kunne oppnå et bygg med de riktige egenskapene i henhold til plan- og bygningsloven samt andre krav og spesifikasjoner. Troverdige miljødokumentasjon blir stadig mer etterspurt i byggebransjen.



Figur 6: EPD Norge logo, (EPD-Norge, 2019)

En EPD skal utarbeides etter retningslinjer gitt fra den internasjonale standardiseringsorganisasjonen ISO gjennom deres standard “14025 Environmental Labels and Declarations Type III.” Analysen er basert på en livsløpsanalyse (LCA) av produktet. Her er det standardiserte metoder som sikrer at miljøspesifikasjoner på produkter innen samme kategori er sammenlignbare på tvers av produsenter og land. Tanken er at kunder skal kunne se på de ulike miljøprofilene i et segment og kunne ta dette inn i vurderingen i valg av produkt. (EPD-Norge, 2019)

### Bruk av EPD

Bruken av EPD er en sentral del i denne oppgaven for å kunne beregne klimautslippene. Miljøpåvirkningene måles i mange forskjellige parametere og over hele spekteret fra råmaterialet til gjenbruk/resirkulering. Parameterne bryter ned produktets innvirkning på miljøet mer detaljert. Eksempler på dette er:

- GWP – Global Warming Potential
- ODP – Ozone Depleting Potential
- POCP – Photochemical Ozone Creation Potential

I denne oppgaven har vi valgt å kun se på GWP parameteren. Denne måler potensialet for global oppvarming målt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og er en anerkjent måte å regne klimagassutslipp. EPD'ene tar utgangspunkt i en gitt mengde. Dette kalles for deklareret enhet og oppgis i areal, volum eller vekt.

Produktfase				Konstruksjon installasjon fase	Bruksfase							Sluttfase			
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjon installasjon fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftninger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4

Figur 7 - Systemgrenser i EPD, (Treindustrien, 2015)

Et produkt har mange faser gjennom sitt livsløp. På EPD'er er disse delt i 17 forskjellige kategorier. Disse strekker seg fra råmateriale og tilvirkning til demontering og gjenbruk. Det er i denne oppgaven valgt å ta for seg fasene som dekker produksjon samt transport til byggeplass. Disse er gitt kodene A1-A4 der A1 er råmaterialer, A2 er transport fra materialets opprinnelsessted til fabrikk, A3 er tilvirkningen/foredling av materialet og A4 er transport fra fabrikklokalet til byggeplass.

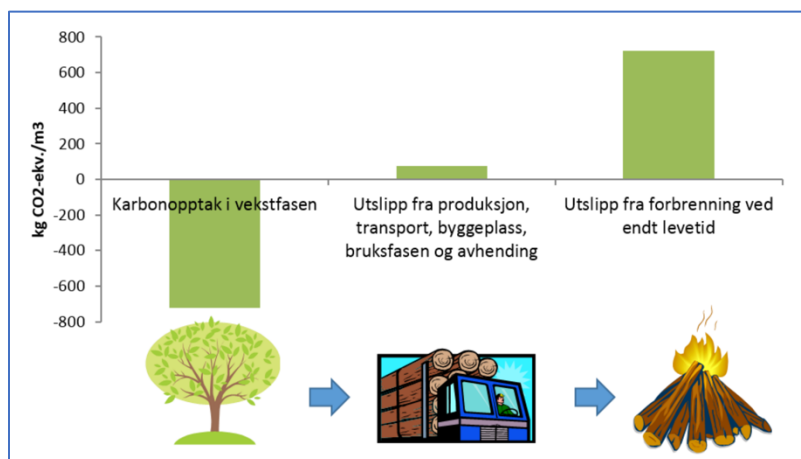
For transport til byggeplass (A4) regnes i hovedsak frakt på lastbil fra produsents hovedlager, enten direkte fra produsent eller via byggevareutsalg. Eventuell frakt utover transport på lastebil er ikke medregnet. Egne beregninger for transportutslipp er beregnet ved bruk av formel 2, og benyttes ved mangelfull informasjon i EPD'er for aktuelle produkter.



Nøkkelindikatorer	Enhet	Vugge til port A1 - A3
Global oppvarming	kg CO <sub>2</sub> -ekv	-607 <sup>†</sup>
Energibruk	MJ	3833
Farlige stoffer	*	-
Andel fornybar energibruk	%	76
Andel fornybare materialer	%	99,5

Figur 8 - Nøkkeltall produksjonsfase for konstruksjonsvirke i gran og furu, (Treindustrien, 2015)

## 2.7 Biogent klimagassregnskap



Figur 9 - Prinsipp for karbonlagring i tre, (Mie Fulgseth, 2014)

Trær vokser og tar opp karbondioksid gjennom fotosyntesen og binder dette som biogent karbon i trevirket. Karbonet utgjør omtrent halvparten av vekten til tørt trevirke. (Trefokus, 2015) Trevirket fungerer dermed som et karbonreservoar frem til materialet dekomponeres eller brennes. Alt av trevirke kan regnes biogent, ettersom karbon er bundet i materialet. Men hva om man ser bort ifra det biogene bidraget?

I en EPD tilsvarer modul C3 avfallshåndtering. Ved å se på figur 9 nuller verdien for GWP (global warning potential) for karbonopptak i vekstfasen og utslipp ved forbrenning hverandre ut. Når

Miljøpåvirkning		
Parameter	Unit	A1-A3
GWP	kg CO <sub>2</sub> -ekv	-6,07E+02
ODP	kg CFC11-ekv	6,60E-06
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv	2,65E-02
AP	kg SO <sub>2</sub> -ekv	4,10E-01
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ekv	8,99E-02
ADPM	kg Sb-ekv	1,13E-04
ADPE	MJ	7,82E+02

Figur 10 - Miljøpåvirkning av konstruksjonsvirke av gran og furu. (Treindustrien, 2015)

treets CO<sub>2</sub>-opptak og CO<sub>2</sub>-utslipp er like store, nuller disse hverandre ut, dette kalles umiddelbar oksidasjon. Dermed er det kun utslipp fra produksjon og transport som gjelder innen nivå A1-A4. I denne oppgaven gjelder akkurat dette for det ikke-biogene klimagassregnskapet der nivå C3 er fremskyndet. Det betyr at klimagassutslippet ved avfallsbehandling av trevirke er fremskyndet og «nuller ut» karbondioksidopptaket fra treet. EPD-Norge har utarbeidet en bruksanvisning for hvordan det biogene bidraget fra en ferdig utarbeidet EPD kan fjernes om det er ønskelig med et regnskap som utelukker dette. Figur 10 viser et negativt bidrag (GWP) tilsvarende -607 kg CO<sub>2</sub>-ekv pr m<sup>3</sup> konstruksjonsvirke i gran og furu for modul A1-A3 (EPD-Norge, u.d.).

*Formel 1 - Beregning av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for treverk basert på biogent karboninnhold, NS EN 16449-2014*

$$P_{Co2} = \frac{44}{12} \times cf \times \frac{P_w \times V_w}{1 + \frac{w}{100}}$$

$P_{Co2}$  – Biogent karbon oksidert som karbondioksidutslipp fra produkt til atmosfæren (kg)

$cf$  – Karbonandel i trevirke, 0,5 er standardverdi

$w$  – Fuktinnhold, 12 (%) er standardverdi

$p_w$  – Trevirkets massetetthet, tilsvarende fuktinnhold (kg/m<sup>3</sup>)

$V_w$  – Volum av treproduktet (m<sup>3</sup>)

(Norsk standard, 2014)

### **Konstruksjonsvirke av gran og furu, med følgende verdier:**

$C_f$ : 0,5 (standardverdi)

$w$ : 17 %, (benytter oppgitt fuktighetsverdi fra EPD for konstruksjonsvirke av gran og furu, Treindustrien)

$P_w$ : 420 kg/m<sup>3</sup> (oppgitt verdi fra EPD for konstruksjonsvirke av gran og furu, Treindustrien)

$V_w: 1 \text{ m}^3$

Ved bruk av formel 1 resulterer dette i 658 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

For konstruksjonsvirke av gran (A1-A3), se figur 10:  $-607 + 658 = \underline{51 \text{ kg CO}_2\text{-ekvivalent pr m}^3}$

Når biogent karbonopptak utelates kan man for konstruksjonsvirke i gran benytte verdien 51 kg CO<sub>2</sub>-ekv pr m<sup>3</sup> trevirke for modul A1-A3.

Splitkon AS oppgir verdier for det biogene

karboninnhold i krysslimt massivtre, se figur 11.

Bidrag til klimapåvirkning er dermed 60 kg CO<sub>2</sub>-ekv pr m<sup>3</sup> i et ikke-biogent regnskap.

Miljøpåvirkning		
Parameter	Unit	A1 - A3
GWP	kg CO <sub>2</sub> -ekv	-658
derav biogent karboninnhold		-718
derav bidrag till klimapåverkan		60

Figur 11 - EPD fra Splitkon for K1 massivtre, der biogen verdi er oppgitt, (Splitkon, 2019)

Om det gjennomføres et biogent regnskap, men mengden CO<sub>2</sub>-ekv ikke er inkludert i EPD'en kan denne verdien beregnes. Da regnes biogent karboninnhold som funksjon av mengde treverk. 1 kg tørt trevirke (gran) inneholder 1,8333 kg biogent karboninnhold. (EPD-Norge, u.d.)

## Kapittel 3 Skjetlein

### 3.1 Skjetlein TIP-verksted

Byggeprosjektet på Skjetlein er unikt ettersom dette er et pilotprosjekt for Consto Midt-Norge innen bruk av massivtre. Bedriften ønsker å opparbeide seg mer kunnskap og erfaring på en relativt ny byggemåte. På Skjetlein er

det bestemt at TIP verkstedet skal

oppnå kriteriene for lavenergibygg.

Massivtre i seg selv har en viss

isolasjon, men ikke nok for å oppnå

minimumskriteriene i byggt teknisk

forskrift. For å oppnå u-verdiene gitt i

tabell 2 er derfor yttervegger og tak godt

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	874	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	1116	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	1026	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	202	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	1175	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	8898	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,12	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,09	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	1,11	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	17,2	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	114	
Lekkasetall (n50) [1/h]:	0,29	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	85	

Tabell 2: Nøkkeldata TIP-verksted Skjetlein, utklipp fra Interaxo, prosjekthotell

dimensjonerte for varmegjennomgang. Med 400mm isolasjon i takkonstruksjonen og 290mm i yttervegg oppnår Consto gode U-verdier for bygget. Dette er relativt store dimensjoner, men er nødvendig for å nå den ønskede varmegjennomgangskoeffesienten. Det er valgt å benytte solcellepaneler på den ene takflaten for produksjon av strøm. Dette vil senke behovet for ekstern energi ytterligere og bidra til å tilfredsstille kravene for et lavenergibygg.

## Oppbygning

Figur 12 viser prosjektert utforming, mens figur 13 viser massivtre og limtre i konstruksjonen. På figur 13 representerer mørkeblå farge «ikke bærende-elementer», mens lyseblå farge representerer de bærende. Bæringen i bygget består av limtresøyler og takstole i limtre.

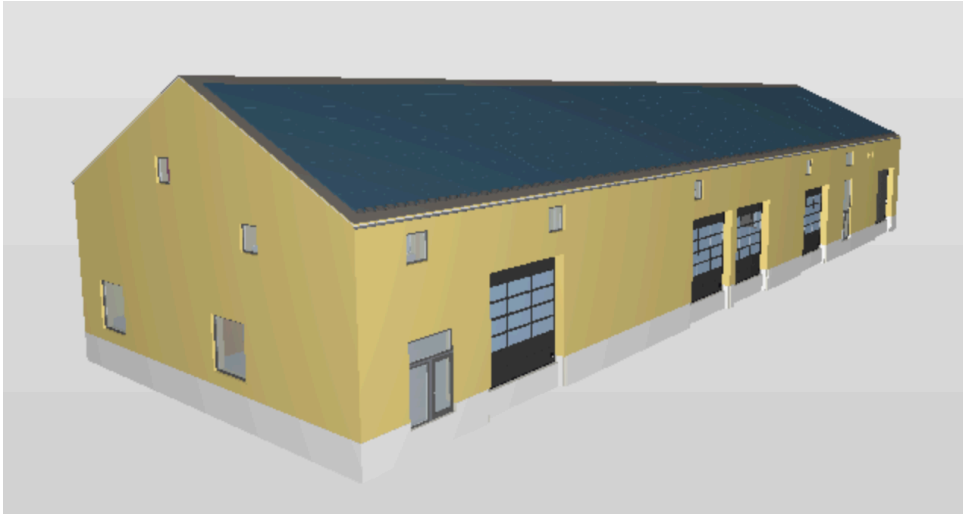
### **Yttervegg består av følgende materialer og dimensjoner, (innvendig til utvendig):**

- 60 mm massivtre
- Dampsperre
- 290 mm trykkfast isolasjon (Glava Plus extrem 32)
- Vindsperre
- 36x48 mm sløyfe/lufting
- 48x68 mm lekt/spikerslag
- 123mm ytre kledning, låvepanel dobbelfals

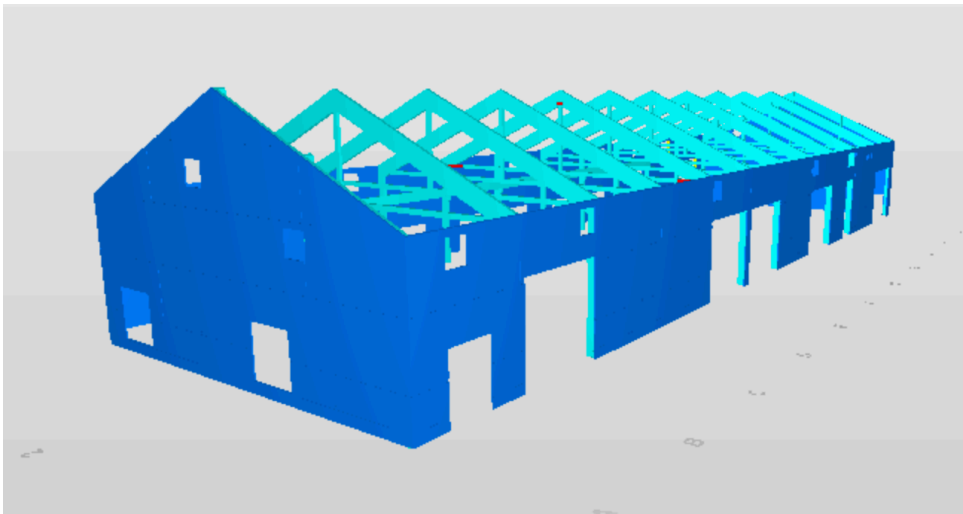
### **Takelement (fra innside til utside):**

- Perforert stålplate
- Akustisk duk
- 30 mm isolasjon
- Dampsperre
- 400 mm isolert bjelkelag
- 18 mm trefiberplate
- Vindsperre/undertak

- 48x48 mm sløyfe
- 48x68 mm
- 18 mm Planja sinusplate



Figur 12 - Oversiktsbilde Skjetlein vgs, (skjermbilde fra IFC-modell)



Figur 13 - Oversikt massivtre, (skjermbilde fra IFC-modell)

## Fossilfri byggeplass

I dag benytter de fleste byggeplasser seg av fossile energikilder, men det har de senere årene blitt mer fokus på å redusere klimagassutslipp og lokal forurensing.

Consto driver en fossilfri byggeplass på Skjetlein, og dette innebærer at man i byggeperioden bruker fossilfrie alternativer både til maskinpark og til oppvarming. Byggeperioden på Skjetlein er fra januar 2019 til august 2019 (skolestart). Her benyttes anleggsmaskiner som enten er elektriske eller går på biodiesel. Biodiesel er noe dyrere enn vanlig diesel, men forbruket er lavere ved bruk av biodiesel i tillegg til at anleggsmaskinene går stillere. Blant annet tårnkranen på Skjetlein er elektrisk. (Figur 14).



Figur 14 - Befaring på Skjetlein vgs, privat bilde

Biodrivstoff fremstilles av biologisk materiale og kan benyttes i stedet for bensin eller diesel. Ved at anleggsmaskiner benytter biodiesel bidrar dette til å redusere klimagassutslipp på byggeplassen. Biodiesel fremstilles av plantefett eller oljer, eksempelvis fra soya, raps eller palmeolje som blandes inn i vanlig diesel. Det er viktig å unngå biobrensel som inneholder palmeolje eller biprodukter fra palmeoljeindustrien for å oppfylle EUs bærekraftkriterier. Allikevel er FAME (fettsyre-metyl-ester) den mest brukte biodieselen i Europa og Norge i dag, og denne er basert på raps, soya og palmeolje. Av all biodrivstoffet som brukes i Norge er 90% biodiesel. (Miljødirektoratet, 2017)

Til oppvarming og byggtørk benyttes det også biodiesel, men pellets et godt alternativ. I lengden er det en billigere løsning enn for eksempel kokoverk på avgiftsfri diesel, men det er en noe begrenset ressurs som krever litt planlegging på grunn av leveringstid.

Utslippsfri byggeplass er mulig om det kun benyttes alternativer som elektrisitet og fjernvarme. Dette kan være krevende å få til på større og komplekse prosjekter som krever en del graving, siden tilgangen på elektriske anleggsmaskiner i Norge er begrenset. (Energi Norge m.fl, 2018)

## Kapittel 4 Beregninger

### 4.1 Prosessen

For å gjennomføre et detaljert klimagassregnskap ligger det mye arbeid i å ta ut riktige mengder av benyttede materialer. Gjennom tilgang til tegninger og bim-modeller for prosjektet er mengder hentet ut og samlet i et excel-ark. Arbeidet med uttak av mengder er gjennomført på detaljnivå. Detaljert sammendrag av materialberegningene er blant annet vist i vedlegg 1. Tilsvarende mengder for referansebygget er beregnet manuelt, slik som vegg- og takelementer i tillegg til mengde stål for bæresystemet.

Metodiske vurderinger for produktfasen (A1-A3)

Fasene A1-A3 viser utslippsdata for produktfasen til materialene. Denne prosessen kalles gjerne «fra vugge til port». Databasen på [epd-norge.no](http://epd-norge.no) har vært grunnlaget for innhenting av verdier for denne oppgaven og er en troverdig kilde. En EPD har en generell utforming som gjør det enkelt å lese av og sammenligne med tilsvarende produkter. Fasene A1-A3 er stort sett alltid inkludert, men kan også være det eneste som er inkludert. Resultatet for A1-A3 er dermed av høy kvalitet, gitt at masseberegninger er gjennomført riktig og at det finnes EPD for det spesifikke produktet.

## Metodiske vurderinger for A4, transportutslipp

Dette prosjektet har fokusert på klimautslipp fra nivå A1-A4. Utslipp forbundet med transport fra opprinnelsessted til fabrikkport er inkludert i nivå A2. Videre transport fra fabrikk til byggeplass dekkes av A4, det er derimot ikke alle EPD'er som oppgir denne verdien. For å komme frem til avstanden produktet har blitt transportert er det antatt en avstand fra fabrikk til Skjetlein videregående skole. Denne antagelsen er gjort ettersom det ikke har vært mulig å finne detaljerte transportplaner til alle produktene. Om produsenten ikke opplyser om transportmidler, har vi gjennomført vurderinger og beregninger for utslipp manuelt. Nivå A4 er dermed i større grad basert på antagelser og dermed også en mulig feilkilde.

Utrekningene for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for transport, A4:

*Formel 2 - Utrekning for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, modul A4*

*Transportutslipp = Antall km transport × antall tonn materiale  
× utslippsfaktor for benyttet transportmiddel*

Verdiene for CO<sub>2</sub>-utslipp er hentet fra Transportøkonomisk institutt. Faktorene for godstransport er basert på gjennomsnittlig utnyttelse av volum. Tallene i tabell 1 forespeiler CO<sub>2</sub>-koeffisienter for 2020, tallene er basert på erfaringstall fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). (Transportøkonomisk institutt, 2009)

*Tabell 3 - Utslippsfaktorer for CO<sub>2</sub> for godstransport på veg, (Transportøkonomisk institutt, 2009)*

Lastebil over 11 tonn	55 g/tkm
Lastebil 5-11 tonn	100 g/tkm
Lastebil 1-5 tonn	439 g/tkm



## 4.2 EPD eksempelberegninger

Sinusplater tak

Utslipp oppgitt av produsent:

### Energiråvarer

Gasol..(Propan).....400 kWh/ton

Elkraft.....43 kWh/ton

### Energiåtervinning

Hetvatten.....30 kWh/ton

### Utslipp till luft

Totalkolväten (THC).....0,18 kg/ton

Kväveoxider (Nox).....0,16 kg/ton

### Utslipp till vatten

Fasta partiklar.....2,5 g/ton

Metaller.....0,3 g/ton

### Restprodukter

Totalt.....20 kg/ton

Återvinning.....17 kg/ton

Deponering.....1,4 kg/ton

Destruksjon.....1,5 kg/ton

(Plannja, 2005)

Tabell 4 - CO<sub>2</sub>-ekvivalenter omregningsfaktor

Type	Faktor	Enhet	Kilde
Propan	0,22	kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh	(Anon., u.d.)
Elkraft	0,107	kg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh	(Germiso, 2008)
THC*	25	kg CO <sub>2</sub> /kg THC	(Hull, 2009)
Nox**	298	kg CO <sub>2</sub> /kg N <sub>2</sub> O	(Hull, 2009)

Utrekning:

$$\begin{aligned} & 400 \frac{\text{kWh}}{\text{ton}} \cdot 0,22 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} + \left( 43 \frac{\text{kWh elkraft}}{\text{ton}} - 30 \frac{\text{kWh gjennvinning}}{\text{ton}} \right) \cdot 0,107 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \\ & + 0,18 \frac{\text{kg THC}}{\text{ton}} \cdot 25 \frac{\text{CO}_2}{\text{THC}} + 0,16 \frac{\text{kg N}_2\text{O}}{\text{ton}} \cdot 298 \frac{\text{CO}_2}{\text{N}_2\text{O}} = \underline{\underline{141,6 \text{ kg CO}_2 / \text{ton}}} \end{aligned}$$

Formel 3 Utslippsberegning for Plannja Sinusplater

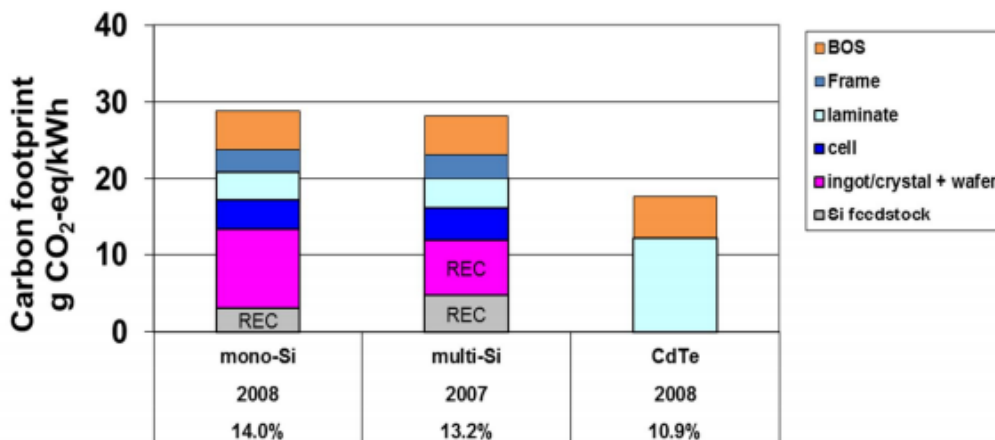
\*Total Hydro Carbon (THC) beregnet som metangass

\*\*Nox beregnet som N<sub>2</sub>O

Solcellepaneler

Bruk av solcellepaneler blir stadig mer populært, ofte fordi man produserer egen elektrisitet og det kan gi økonomisk gevinst i det lange løp. Solcellepaneler har store utslipp under produksjon, men er utslippsfri i resten av livsløpet der de produserer utslippsfri energi og bidrar positivt til regnskapet. Det er stor variasjon i klimautslipp under produksjon av panelene, mye avhenger av hvor de er produsert. Mye paneler produseres for eksempel i lavkostland som Kina der 95% av elkraft kommer fra forurensede kullkraftverk. Siden det i denne oppgaven kun beregnes utslipp fra produksjon og fram til byggeplass vil solcellepanelene komme dårlig ut i denne oppgaven.

Solcellene i brukt på Skjetlein er produsert av tyske Luxor, som har produksjon både i Europa og Asia. De har ingen EPD, og det er det ikke mange andre produsenter som har heller. For å gjøre et overslag på CO<sub>2</sub>-utslipp er det brukt tabeller fra IEA (International Energy Agency), som oppgir et utslipp for vår type monocrySTALLINE-paneler til å være 28 g CO<sub>2</sub>/kWh. (Fthenakis, 2011)



Figur 15 Livsløpsberegning av drivhusgasser per produserte kWh for takmonterte fotovoltaiske systemer. (Fthenakis, 2011)

Denne beregningen har tatt utgangspunkt i Sør-Europa der solen gir omtrent 1700 kWh/m<sup>2</sup>/år, med en estimert levetid på 30 år og «performance ratio» på 0,75. Ut fra dette er det gjennomført en beregning av utslipp fra produksjonen:

$$\text{Performance ratio} = \frac{\text{Actual output}}{\text{Nominal plant output}}$$

$$\text{Nominal plant output} = 1700 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Year}} \cdot 18,5\% = 314,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Year}}$$

$$\text{Actual output} = 0,75 \cdot 314,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Year}} = 235,9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Year}}$$

$$235,9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{Year}} \cdot 30 \text{ Year} \cdot 28 \frac{\text{g CO}_2\text{-ekv}}{\text{kWh}} = \underline{\underline{198,14 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^2}}}$$

Formel 4 Beregning av utslipp per m<sup>2</sup> solcellepanel

Selv om det er et relativt høyt utslipp per kvadrat på solcellepaneler vil det i lengden gi en positiv effekt i regnskapet. Om man sammenligner med generell nordisk elkraft som i snitt slipper ut 107 g CO<sub>2</sub> per kWh så «sparer» man 79 g CO<sub>2</sub> per kWh, gitt forutsetningene i dette

eksempelet. Denne positive effekten vil ikke fremkomme i totalregnskapet for denne oppgaven på grunn av de satte remmene på A1-A4 «Vugge til port».

### 4.3 Referansebygg

For å kunne si noe om tallene fra det regnskapet som blir gjort på bygget må man kunne se det i et perspektiv. Tallene i seg selv forteller ikke så mye, derfor ble det utarbeidet et referansebygg bestående av materialer som er realistiske alternativer for en slik type konstruksjon. Dette referansebygget skal ha samme form og arealer som det opprinnelige bygget men bestå av en bæring i stål, med vegger og tak av ferdige sandwichelementer. Ved å finne mengder og miljødeklarasjoner for denne typen materiale og se dem i sammenheng med det opprinnelige bygget har man et grunnlag for å si noe om massivtre sine miljøprestasjoner. Det er sånn sett viktig at referansebygget prosjekteres realistiske og bruker dimensjoner som dekker den gitte lastsituasjonen og gir riktig sikring mot brann.

Grov inndeling av materialer:

#### **Alternativ A (massivtre)**

Fundament:	Betong
Gulv på grunn:	Betong, behandlet
Vegger:	Massivtre
Bæresystem:	Limtre
Tak:	Takstoler i limtre



## Alternativ B (referansebygg)

Fundament:	Betong
Gulv på grunn:	Betong, behandlet
Vegger:	Sandwichelementer
Bæresystem:	Ramme i stål
Tak:	Ramme i stål



Bæresystem

Dimensjonerende laster for bygningen er beregnet etter lastkart (se vedlegg 5) med takelementer fra Kingspan. Takvinkelen er på 25 grader og den bærende rammen har en senteravstand på 6 meter. Det er valgt å beholde traverskrana med bæring i limtre, selv for referansebygget.

Påførte laster:

Solcellepanel:	0,7 kN/m <sup>2</sup>
Takpanel, Kingspan	0,2 kN/m <sup>2</sup>
<u>Snølast</u>	<u>3,2 kN/m<sup>2</sup></u>
Sum	4,1 kN/m <sup>2</sup>

Med en sikkerhetsfaktor på 1,3 blir dimensjonerende linjelast over rammen:

*Formel 5 - Dimensjonerende taklast, referansebygg*

$$4,1 \frac{kN}{m^2} * 6m * 1,3 = 31,98 kN/m$$

Linjelast over hver ramme:	31,98 kN/m
Linjelast, 25 graders takvinkel:	31,98 kN/m * cos 25 = <b>29 kN/m</b>
Linjelast pga vind nord-øst:	0,78 kN/m <sup>2</sup> * 6 meter = <b>4,7 kN/m</b>
Linjelast pga vind sør-vest:	0,42 kN/m <sup>2</sup> * 6 meter = <b>2,5 kN/m</b>

Spennet på bygningen er 18m og rammene er dimensjonert for å ta opp laster med en senteravstand på 6 meter. Dette medfører totalt 11 rammer, se formel 4. Den totale vekten av de 11 rammene tilsvarende 38,7 tonn stål, se figur 16.

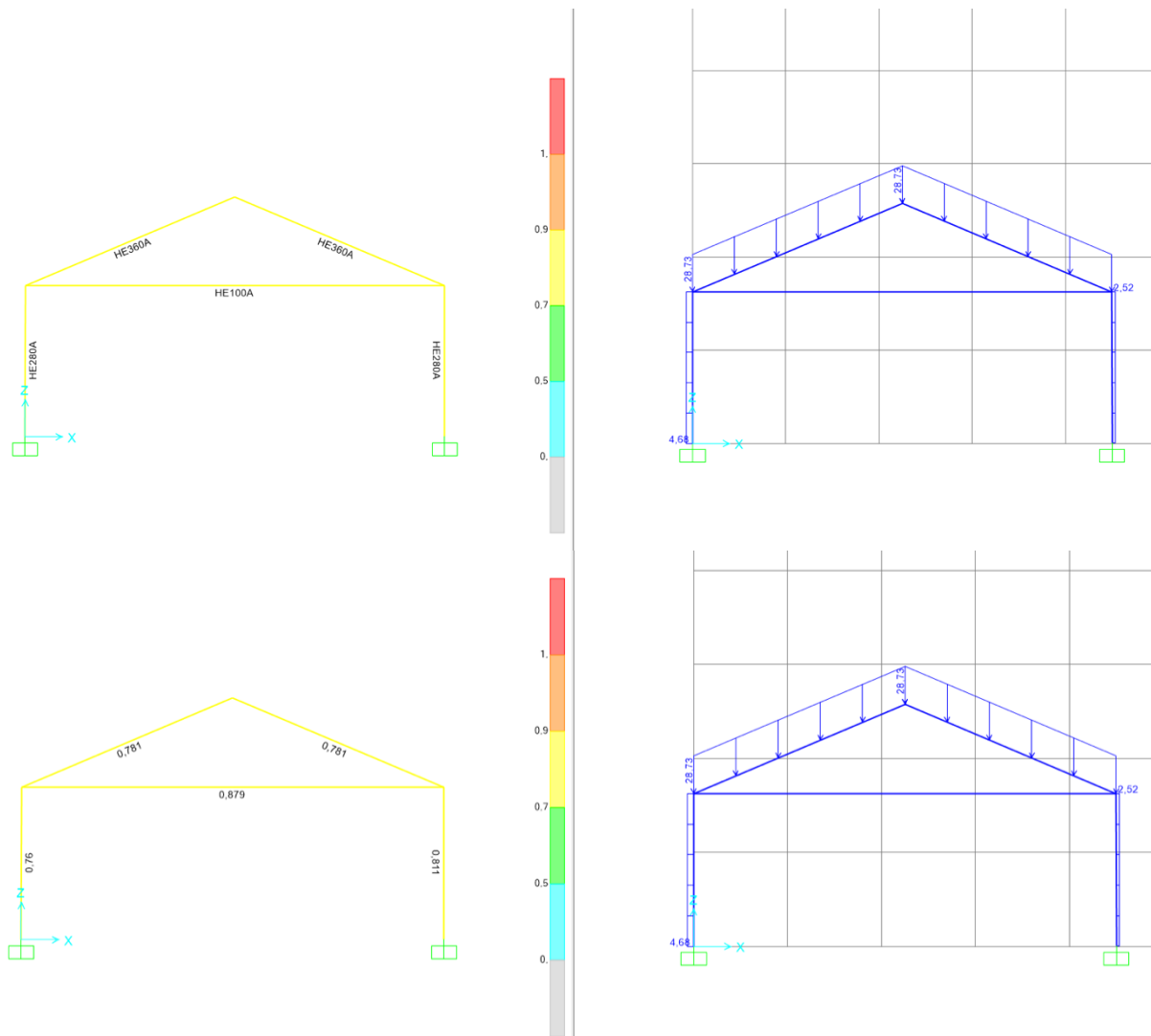
Bæresystemet for referansebygget er utformet som en fast innspent ramme, bestående av HE-A-bjelker, se figur 17. SAP2000 er programvaren som er benyttet for å dimensjonere bjelkene. Dimensjonerende laster, inkludert vindlast er hentet fra lastkart for bygningen, se vedlegg 5. Valg av bjelke dimensjon ble gjort på grunnlag av en ønsket utnyttelsesgrad tilnærmet 0,8, se figur 17.

Formel 6 - Beregning av antall rammer

$$\left(\frac{57,67m}{6m}\right) + 1 = 11 \text{ rammer}$$

Dimensjon	Løpemeter i tverrsnitt	Enhet	11 stk	Enhet	Egenvekt, kg/m	Vekt	Enhet
HE100A	18	m	198	m	16,7	3306,6	kg
HE280A	13	m	143	m	76,4	10925,2	kg
HE360A	19,86	m	218,50	m	112,1	24493,81	kg
<b>Sum</b>						<b>38725,61</b>	<b>kg</b>

Figur 16 - Egenlast, ramme. Egne beregninger



Figur 17 - Rammekonstruksjon for referansebygg, utklipp fra programvaren SAP2000

## Generelt, sandwichelementer

Yttervegger og tak kan utføres med såkalte sandwichelementer eller bygges opp med stender og bjelkelag i stål. Dette medfører at hele utsiden av bygget, samt bæringen, blir ulik slik bygget fremstår i dag. Begge disse måtene å bygge lignende konstruksjoner på er vanlige og utprøvde metoder. For prosjektet på Skjetlein kunne disse vært alternative byggemåter og er sånn sett

gunstig å sammenligne med for å kunne se de klimamessige forskjellene i bruk av stål kontra massivtre.

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	874	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	1116	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	1026	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	202	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	1175	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	8898	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,12	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,09	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	1,11	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	17,2	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	114	
Lekkasetall (n50) [1/h]:	0,29	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	85	

Figur 18 - Sentrale verdier TIP Verksted, Skjetlein Vgs.

Et viktig poeng med bygget Consto setter opp er at dette skal være et lavenergibygg. Det er derfor viktig at referansebygget oppføres i materialer og dimensjoner som er i nærheten av det eksisterende bygget. Man ser av U-verdiene til Constos lavenergievaluering for verkstedhallen på Skjetlein (Vindal, 2019) at det er lave verdier for elementer som tak, yttervegger og gulv og krever dermed høy isolasjonstykkelse på referansebygget.

Bæresystemet i bygningen skal tilfredsstillende et bæreevnekrav på 30 min under brann, R30.

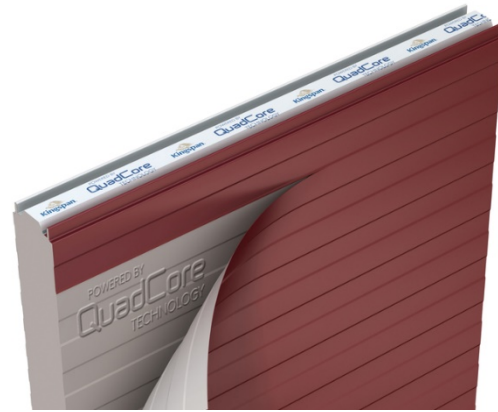
#### Yttervegg

Brannkonseptet utviklet av Sweco er benyttet for valg av elementer for prosjektet på Skjetlein Vgs. Verkstedhallen har risikoklasse 3 og brannklasse 1. Det er sikret mot brannspredning fra verkstedhall til nabobygg/byggegrense med henholdsvis 8m og 4m. Det blir valgt å bruke veggelementer som er motstandsdyktig mot brann i 30 minutter.

Et annet viktig aspekt som må tas hensyn til er varmegjennomgangskoeffisienten. For å tilfredsstillende isolasjonskravet i bygget må vi velge et produkt som har en noenlunde lik U-verdi som eksisterende vegg. I det originale bygget er U-verdien på 0,12W/m<sup>2</sup>K



På bakgrunn av disse to parameterne velger vi ut det produktet som ligger nærmest eksisterende ytterveggs prestasjoner på området. Det finnes som tidligere nevnt ulike måter å bygge opp en slik vegg på. Den enkleste måten er ved hjelp av ferdige sandwichelementer. Quadcore NC/NF med tykkelse 150mm fra Kingspan er et eksempel på et slikt element. Dette sandwichelementet



Figur 19 - KS1000 NC/NF ytterveggselement fra Kingspan

har en EI30 som innebærer at den er motstandsdyktig mot brann i 30 minutter. Det er i brannrapporten beskrevet en utrykningstid for nødetaer på 10-20min. Elementet har Euroklasse B-s1,d0. Dette betyr kort fortalt at produktet er bestående av et ikke veldig brennbart materiale, at den avgir lite røyk og ingen brennende partikler. For å tilsvare en U-verdi på 0,124 W/m<sup>2</sup>K velges det å bruke elementet som har tykkelsen 150mm. Dette gir en U-verdi lik 0,12, og er dermed like i underkant av vegg utført i massivtre. U-verdien på 0,12 er godt innenfor kravet i Tek17, Kapittel 14 - Energi, § 14-3. Minimumskrav til energieffektivitet for yttervegg er 0,22 W/m<sup>2</sup>K.

Takelementer

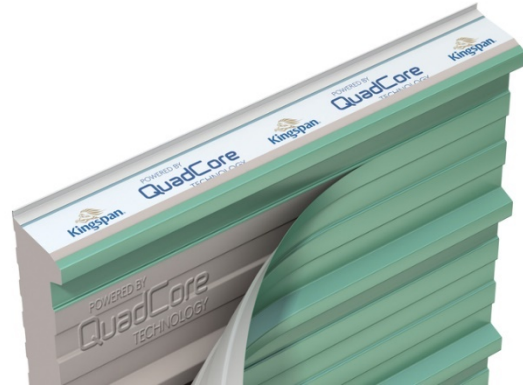
For taket stilles det andre krav til brannsikkerhet og det må dermed velges litt andre elementer her. I brannrapporten fra Sweco står det følgende beskrevet om takkonstruksjonen:

*«I byggverk uten loft eller med loft som bare kan benyttes som lager, kan takkonstruksjon oppføres uten spesifisert klasse brannmotstand, forutsatt at denne ikke har avgjørende betydning for byggverkets stabilitet i rømningsfasen, og ett av følgende kriterier er tilstede. Alle materialer i takkonstruksjon, inklusiv isolasjon, tilfredsstillers A2-s1,d0 [Ubrennbare materialer]»*

*(Brannkonsept, Skjetlein Vgs, Sweco AS).*

Det finnes mange produsenter av ferdige takelementer men her er det valgt å benytte Kingspan's Quadcore RW med gode isolasjonskvaliteter, gode reaksjoner ved brann og tilgjengelig EPD på produktet.

Kingspan Quadcore RW har ved kjernetykkelse 160mm en U-verdi på 0,11 W/m<sup>2</sup>K. Minstekravet til energieffektivitet er i henhold til TEK17 Kapittel 14 – Energi, § 14-3: 0,18W/m<sup>2</sup>K i tak. Med dette overgår valget av element minstekravet med 63%, men 10% mer enn det takkonstruksjonen i det originale byggverket.



Figur 20 - Takpanel Quadcore KS1000 RW fra Kingspan

## Feilkilder

Arbeidet for å innhente EPD'er har vært krevende. Ikke alle leverandører har utarbeidet EPD for sine produkter. Dette har ført til at vi i noen tilfeller har benyttet andre leverandørers EPD for å estimere tilsvarende utslipp for benyttede produkter. Disse er stjernemerket i regnearkene som er vedlagt. Eksempler der vi har benyttet andre leverandørers sine EPD'er gjelder blant annet for betongen. Dette medfører rom for feil, til tross for at betongkvaliteten er tilsvarende. Dette har allikevel vært en nødvendighet for å ferdigstille prosjektet.

En annen feilkilde i denne oppgaven er noen punkter under nivå A4 i klimagassberegningene. I utarbeidede EPD'er er nivå A4 listet opp som et CO<sub>2</sub>-utslipp basert på en gitt avstand fra produsent til byggeplass. Denne verdien er satt ut i fra leverandørens valg av transportmiddel, størrelse på transportmiddel og drivstoffvalg, gjerne biodiesel. Avstanden som er beskrevet i EPD'en, eksempelvis 500 km vil variere noe fra reel avstand for prosjektet på Skjetlein videregående skole. I sammendraget for klimagassutslipp er transportavstanden i km listet opp. Egne beregninger for transport er også gjennomført, dersom modul A4 har vært manglende.

Referansebygget er en sentral del av oppgaven. For å kunne fremstille gode verdier har det blitt gjort beregninger for bæresystemet og tatt hensyn til blant annet isolasjon og brannkrav ved valg av sandwichelementer. Referansebygget består av kun et produkt i hver av de tre bygningselementene tak, yttervegger og bæresystem. Dette innebærer at hvert av disse elementene har en stor påvirkning på det totale regnskapet som vil si at valg av et produkt med litt andre miljøprestasjoner gjør noe utslag på sluttresultatet. Valget av produkter for referansebygget er basert på det eksisterende byggets prestasjoner, men utgjør likevel en potensiell feilkilde.

## Kapittel 5 Resultater

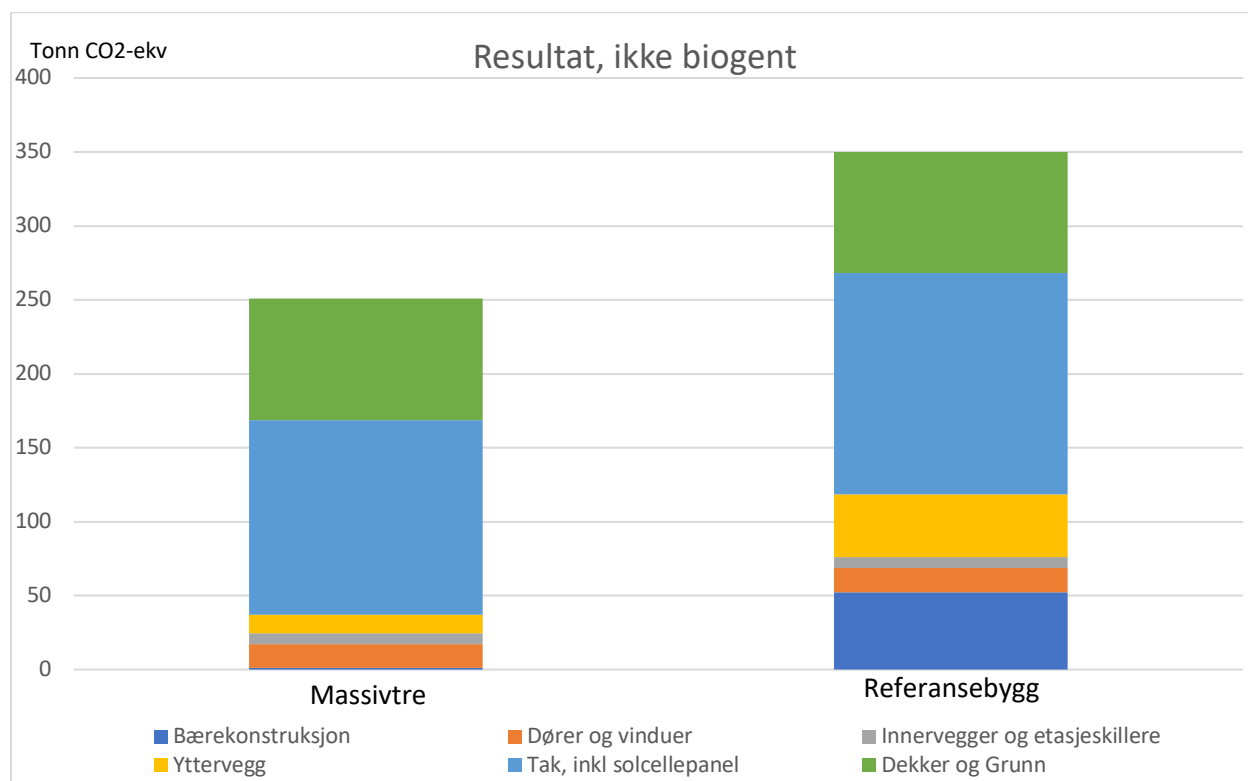
I løpet av dette prosjektet er det gjennomført et biogent og et ikke-biogent regnskap. Dette gjelder både for bygningen som Consto har oppført ved Skjetlein, men også for referansebygget. Til tross for at referansebygget er oppført med bæring i stål, og sandwichelementer gjenstår fortsatt noen materialer bestående av trevirke og dermed biogent karboninnhold, slik som traverskran (limtre) og innvendig vegger og tak. Dermed presenteres referansebygget både biogent og ikke-biogent.

For det biogene regnskapet gjøres det ikke noen tidsdifferansiering av klimaeffekten ved opptak og utslipp av karbondioksid. Dette medfører et negativt bidrag i råvarefasen (A1) og et tilsvarende positivt utslipp i avfallshåndteringen (C3), slik de fremstilles i en EPD. Effekten blir mer eller mindre den samme som ved å tidsdifferansiere, men de finnes grunner til å tro at bundet biogent karbon har en reel klimaeffekt, til tross for at dette kun er en midlertidig lagring:

- Om trevirke stammer fra ikke bærekraftig skogbruk, dermed lavere opptak i råvarefasen
- Avfallshåndtering som ikke gir fullstendig utslipp

Resultatene som fremkommer i det biogene regnskapet gir bedre klimaprestasjoner, dette fordi klimagassutslippet skjer i fremtiden, sammenlignet med nå. Ved å benytte et biogent regnskap kan man potensielt få klimagassreduksjon ved lang levetid av bygget, i tillegg til lavere utslipp ved forbrenning.

## 5.1 Ikke-biogent regnskap



Figur 21: Resultater ikke-biogent regnskap. (Egne beregninger)

Ikke-biogent, massivtre		Ikke-biogent, referansebygg	
	Enhet		Enhet
Bærekonstruksjon	1,02 tonn CO2 ekv	Bærekonstruksjon	52,43 tonn CO2 ekv
Dører og vinduer	16,36 tonn CO2 ekv	Dører og vinduer	16,36 tonn CO2 ekv
Innervegger og etasjeskillere	7,25 tonn CO2 ekv	Innervegger og etasjeskillere	7,25 tonn CO2 ekv
Yttervegg	12,43 tonn CO2 ekv	Yttervegg	42,49 tonn CO2 ekv
Tak, inklusiv solcellepanel	131,62 tonn CO2 ekv	Tak, inkl solcellepanel	149,54 tonn CO2 ekv
Dekker og Grunn	82,01 tonn CO2 ekv	Dekker og Grunn	82,01 tonn CO2 ekv
<b>SUM</b>	<b>250,68 tonn CO2 ekv</b>	<b>SUM</b>	<b>350,07 tonn CO2 ekv</b>

Tabell 5 - Sammendrag av resultater for ikke-biogene beregninger. (Egne beregninger)

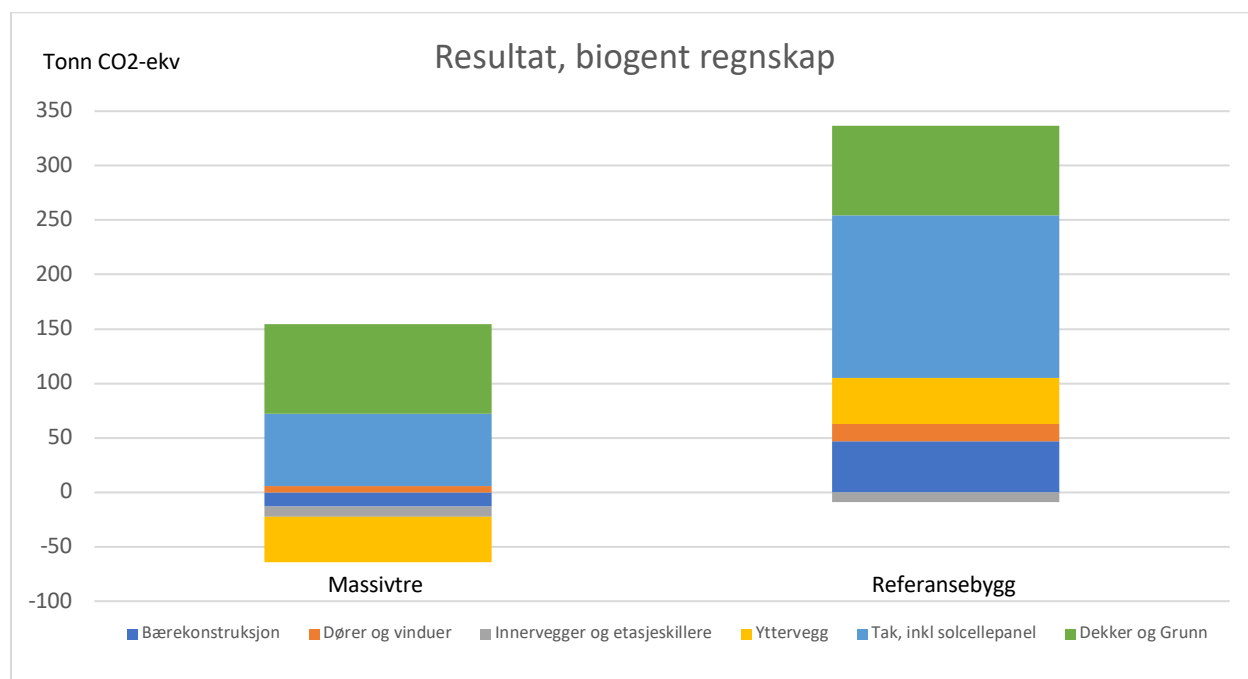
Ut ifra figur 21 kommer det tydelig frem at ved valg av massivtre og limtre gir en betydelig reduksjon av utslippene målt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter kontra referansebygget. Totalt sett er reduksjonen på massivtre i forhold til stål for dette bygget på 28,3%. Reduksjonen utgjør en betydelig forskjell og har en påvirkning på prosjektet sitt komplette utslippsomfang.

Referansebygget har et utslipp på 350,07 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mot bygget i massivtre som har utslipp på 250,68 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Differensen er på hele 99,4 tonn.

Ved å se på hvert enkelt bygningsselement kommer det tydelig frem hvor dette økte utslippet fra referansebygget kommer fra. For referansebygget er dekker og grunn, innervegger- og tak samt dører og vinduer uendret fra opprinnelig bygg, og vil dermed ikke ha noen påvirkning på differansen i det ikke-biogene regnskapet. Det som derimot utgjør forskjellen er yttervegg, tak og spesielt bæresystemet i stål. Ved å se på tabell 5 kommer det fram at yttervegger i massivtre har et totalt utslipp på 12,4 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mot referansebyggets vegger av sandwichelementer som gir utslipp på 42,5 tonn. En forskjell på 30,1 tonn. Vi ser en noe mindre prosentdifferanse i takkonstruksjonen. Her er utslippene på henholdsvis 131,6 og 149,5 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for massivtre og referansebygget hvor solcellepanelet utgjør en stor andel med sine 95 tonn. I prosent utgjør forskjellen på taket for de to byggene 12%, men sett bort fra solcellepanelet, som utgjør like mye på begge, blir forskjellen på 33%.

Den største forskjellen både i prosent og mengde CO<sub>2</sub>-ekvivalenter ligger i bærekonstruksjonen. Dette utgjør også den tydeligste forskjellen på limtre og stål. Stålet kommer dårlig ut i en slik analyse da modulene A1-A4 kun viser den energikrevende prosessen fra råmateriale til byggeplass. Tre derimot kommer godt ut. Sammenlignet med stål krever trevirke veldig lite behandling fra råmaterialet til byggemateriale ved byggeplass. Ved å tidsdifferansiere, altså inkludere utslippet (C3) for trevirket slik det er gjennomført for dette regnskapet er det liten tvil om at massivtre kommer bedre ut enn stål. Fordelene ved at stål er et resirkulerbart materiale, kommer ikke frem i denne fremstillingen. For bæresystemet resulterer det totale utslippet for trevirke kun på ett tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Stål derimot har et betydelig større utslipp på 52,4 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

## 5.2 Biogent regnskap



Figur 22 – Resultater, biogent regnskap. (Egne beregninger)

Biogent, massivtre		Biogent, referansebygg	
	Enhet		Enhet
Bærekonstruksjon	-13,26 tonn CO2 ekv	Bærekonstruksjon	47,01 tonn CO2 ekv
Dører og vinduer	5,94 tonn CO2 ekv	Dører og vinduer	15,47 tonn CO2 ekv
Innervegger og etasjeskillere	-9,12 tonn CO2 ekv	Innervegger og etasjeskillere	-9,12 tonn CO2 ekv
Yttervegg	-41,56 tonn CO2 ekv	Yttervegg	42,49 tonn CO2 ekv
Tak, inkl solcellepanel	66,39 tonn CO2 ekv	Tak, inkl solcellepanel	149,54 tonn CO2 ekv
Dekker og Grunn	82,01 tonn CO2 ekv	Dekker og Grunn	82,01 tonn CO2 ekv
<b>SUM</b>	<b>99,93 tonn CO2 ekv</b>	<b>SUM</b>	<b>327,40 tonn CO2 ekv</b>

Tabell 6 - Sammenligning av resultater, biogent regnskap. (Egne beregninger)

Det biogene resultatet viser et annet bilde. Fra figur 22 ser vi at diagrammet for massivtre har negative bidrag fra bygningselementer som yttervegg, bærekonstruksjon samt innervegger og etasjeskillere. Det kommer blant annet fra det negative bidraget på 607 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter pr m<sup>3</sup> for konstruksjonsvirke i tre. Et slikt regnestykke kan være misvisende i en sammenligning som bare tar for seg fasene A1-A4. Ved et ikke-biogent regnskap tar man hensyn til frigjørelsen

av karbondioksid i fasen C3 «avfallshåndtering» noe som vil nøytralisere det negative bidraget fra karbonbindingen til tre i fasen A1. Dette bidraget får man ikke med dette regnskapet for fasene A1-A4. Sånn sett gir dette et redusert helhetsbilde og et dårligere grunnlag for sammenligning. Av tabellen over ser vi at det totale utslippet for bygget i massivtre ender på 99,9 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mot 327,4 tonn for referansebygget. Differansen skiller seg signifikant fra differansen i det ikke-biogene regnskapet.

### 5.3 Regnskap som utelukker solcellepaneler

Solcellepanelene utgjør en stor andel av klimagassutslippene, med et bidrag på omtrent 95 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Denne verdien gjelder både for oppført bygning i massivtre og referansebygget. Ved å se bort i fra bidraget fra solcellepanelene i det ikke-biogene regnskapet resulterer dette med en besparelse på 39% CO<sub>2</sub>-ekvivalenter ved bruk av massivtre kontra stål. Dette resultatet er representativt i sammenligningen av fremstilling av massivtre sammenlignet med stål.



## Kapittel 6 Konklusjon

### 6.1 Konklusjon

Utgangspunktet for oppgaven var å gjøre et miljøregnskap for TIP-verkstedhallen Consto setter opp i massivtre ved Skjetlein Vgs. samt å sammenligne byggets klimagassutslipp med et referansebygg prosjektert i stål. Systemgrensene ble satt til fasene A1-A4 «fra vugge til port», som inkluderer råmateriale, transport til fabrikk, foredling og transport til byggeplass. I dette scenarioet hvor klimagassutslippene er beregnet fram til byggeplass kommer massivtre klart best ut. Selv om dette ikke er en fullstendig livsløpsanalyse indikerer resultatene at det er fordelaktig for klimaet å bruke massivtre istedenfor stål.

Verkstedhallen som blir reist på Skjetlein i massivtre har globalt oppvarmingspotensialet på 250,7 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter basert på det ikke-biogene regnskapet. I denne verdien er konstruksjonsdelene vegger, tak, bæring, dekke, vinduer og dører inkludert. Utslippet på 250 tonn kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter må sees i sammenheng med andre lignende bygg for å kunne sammenligne verdiene. Dermed ble det prosjektert et referansebygg i stål med sandwichelementer i samme størrelse og utforming som det opprinnelige bygget. For referansebygget resulterte det ikke-biogene utslippet på 350,1 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, altså ca 100 tonn mer enn bygget i massivtre på Skjetlein. Denne differansen utgjør 28,4% og gir grunnlag for å påstå at det globale oppvarmingspotensialet for bygg prosjektert i massivtre er lavere enn for tilsvarende bygg prosjektert i stål.

Selv om forskjellen på stål og limtre/massivtre i denne oppgaven er betydelige er det likevel viktig å belyse de svakhetene som finnes ved analysen. Feilkilder spiller en rolle i noen av delverdiene og kan ha påvirket noe. Mangler på EPD'er har sannsynligvis utgjort den største feilmarginen. For produkter med manglende EPD har det blitt benyttet andre leverandører sin EPD eller manuelle beregninger for å kompensere.

Av resultatene fra dette prosjektet kommer det frem at bygg i massivtre gir lavere klimagassutslipp enn tilsvarende konstruksjon i stål, og i et klimaperspektiv vil massivtre være det foretrukne byggematerialet. Alle gode ting er massivtre.

## 6.2 Forslag til videre forskning

I denne oppgaven er ikke alle fasene i livsløpsanalysen inkludert. Ved senere studier kan det være interessant å inkludere livsløpets drift og slutfase, altså nivå A5-C4 for å se hvilken innvirkning disse har på totalutslippet.

Fokuset i dette prosjektet har vært på miljøutslipp, og ikke økonomi. Ved å studere kostnadene for bygningen og referansebygget vil det være interessant å se hvilken bygningsform som kommer ut billigst, og hva det eventuelt koster å velge massivtre.

## Bibliografi

Anon., u.d. *Engineering Toolbox*. [Internett]

Available at: [https://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d\\_1085.html](https://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html)

BREEAM NOR, 2017. *TEKNISK MANUAL SD5075NOR – Ver: 1.1.* [Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-v.1.1-norsk.pdf>

Energi Norge m.fl, 2018. *Energi Norge*. [Internett]

Available at: [http://smooth-storage.aptoma.no/users/drp-bygg-upload/files/Rapporter/Rapport\\_Veileder\\_Utslippsfrie\\_byggeplasser\\_Rev2.pdf](http://smooth-storage.aptoma.no/users/drp-bygg-upload/files/Rapporter/Rapport_Veileder_Utslippsfrie_byggeplasser_Rev2.pdf)

EPD-Norge, 2019. *EPD Norge*. [Internett]

Available at: <https://www.epd-norge.no/>  
[Funnet Feb 2019].

EPD-Norge, u.d. *Bruksomvisning for hvordan tolke EPD'er, utenførs treprodukter*. [Internett]

Available at: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/136582-1470750924/Dokumenter/Bruksanvisninger%20tolke%20EPDer/Bruksanvisning%20for%20EPD%20-%20Utend%C3%B8rs%20treprodukter.pdf>

FPIInnovations, 2013. *CLT Handbook, U.S. Edition*. [Internett]

Available at: [https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2017/12/CLT\\_USA-Complete-document-Think\\_Wood.pdf](https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2017/12/CLT_USA-Complete-document-Think_Wood.pdf)  
[Funnet 2019].

Fthenakis, V., 2011. *International Energy Agency*. [Internett]

Available at: [http://www.clca.columbia.edu/Task12\\_LCI\\_LCA\\_10\\_21\\_Final\\_Report.pdf](http://www.clca.columbia.edu/Task12_LCI_LCA_10_21_Final_Report.pdf)

Germiso, M., 2008. *Framtiden i våre hender*. [Internett]

Available at: <https://www.framtiden.no/dokarkiv/arbeidsnotater/arbeidsnotater-2008/153-klimagassutslipp-fra-nordisk-elkraft/file.html>

Grønn Byggallianse, u.d. *BREEAM*. [Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/sertifisering/breem/>

Higgins, A., 2019. *Connect & Construct*. [Internett]

Available at: <https://connect.bim360.autodesk.com/construction-technology-innovation-2019>  
[Funnet Mai 2019].

Hull, C., 2009. *Climate Change Connection*. [Internett]

Available at: [https://climatechangeconnection.org/wp-content/uploads/2014/08/GWP\\_AR4.pdf](https://climatechangeconnection.org/wp-content/uploads/2014/08/GWP_AR4.pdf)

Lassen, N., 2010. *Hva er et Lavenergi- og Passivhus?*, s.l.: Muticonsult.

Mie Fulgseth, A. V., 2014. *Helhetlig miljøvurdering av byggematerialer*. [Internett]

Available at:

<http://biblioteket.husbanken.no/arkiv/dok/Komp/helhetlig%20miljovurdering%20av%20bygge-materialer.pdf>

Miljødirektoratet, 2017. *CO2-ekvivalenter*. [Internett]

Available at: <https://www.miljostatus.no/definisjoner/c/co2-ekvivalenter/>

Miljødirektoratet, 2018. *Globale klimaendringer - hva skjer?*. [Internett]

Available at: <https://www.miljostatus.no/tema/klima/klimaendringer-globalt/Rapport>

Nøstal, P. L., 2017. *Veidekke.no*. [Internett]

Available at:

<http://veidekke.no/incoming/article26272.ece/binary/Betong%20eller%20massivtre.pdf>

Norsk Limtreprodusenters forening, 2015. *Limtreboka*. 1. utgave red. s.l.:Norsk Limtreprodusenters forening.

Norsk massivtre, 2018. *Norsk massivtre*. [Internett]

Available at: <http://www.norskmassivtre.no/elementer/brann/>

Norsk standard, 2014. *NS EN 16449:2014*, s.l.: Standard Norge.

Norske Limtreprodusenters Forening, 2015. *Limtreboka*. 2015 red. s.l.:Norske Limtreprodusenters Forening.

NorskStandard, TEK 10. *Kriterier for passivhus og lavenergibygg*, s.l.: s.n.

Pedersen, B., 2018. *Jern*. [Internett]

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

Plannja, 2005. *Plannja*. [Internett]

Available at: [https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/plannja-no-documents/milj%C3%B8-og-kvalitet/miljovarudeklaration-fargbelagd-plat\\_2005.pdf?sfvrsn=4e153a85\\_8](https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/plannja-no-documents/milj%C3%B8-og-kvalitet/miljovarudeklaration-fargbelagd-plat_2005.pdf?sfvrsn=4e153a85_8)

Sintef, 2012. *Limsystemer for limtre og sponplater*. [Internett]

Available at:

[https://www.sintefbok.no/book/download/919/vinfopubutgivelserprosjektrapportsintef\\_byggforsk\\_prosjektrapportersb\\_prrapp\\_94nettsb\\_prrapp\\_94pdf](https://www.sintefbok.no/book/download/919/vinfopubutgivelserprosjektrapportsintef_byggforsk_prosjektrapportersb_prrapp_94nettsb_prrapp_94pdf)

[Funnet 2019].

Splitkon AS, 2014. *Limtre standard, Massivtre/Kl-tre*. [Internett]

Available at: <https://splitkon.no/media/1142/produktblad-massivtre.pdf>

Splitkon, 2019. *FDV Massivtre/KL-tre*. [Internett]  
[Funnet 2019].

Stein, p., 2019. *veidekke.no*. [Internett]  
Available at: <https://www.epd-norge.no/>  
[Funnet JAn 1999].

Stenstad, V. & Krohn, J. C., 2004. *Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner*. [Internett]  
Available at:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse\\_av\\_staal-konstruksjoner#i91](https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse_av_staal-konstruksjoner#i91)

Store Norske leksikon , 2019. *Stål*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/st%C3%A5l>

Tekna, 2017. *Tekna.no*. [Internett]  
Available at: <https://bygg.tekna.no/massivtre-og-brann/>

Transportøkonomisk institutt, 2009. *Energieffektivisering og CO2-utslipp for innlands transport 1994-2050*. [Internett]  
Available at: [https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=13916&fbclid=IwAR3q2QwPOf-khUCCG523xVZVzvhrGLixzKY6mIMbl7fcQaligMliKsUX\\_U](https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=13916&fbclid=IwAR3q2QwPOf-khUCCG523xVZVzvhrGLixzKY6mIMbl7fcQaligMliKsUX_U)  
[Funnet 2019].

Trefokus, 2013. *Trefokus.no*. [Internett]  
Available at: <http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>

Trefokus, 2013. *Treindustriens lille grønne*. [Internett]  
Available at: <http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>

Trefokus, 2015. *Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter*. [Internett]  
Available at: <http://www.treindustrien.no/resources/Miljodeklarasjoner-for-tre-og-trebaserte-produkter.pdf>

Treindustrien, 2015. *epd-norge.no*. [Internett]  
Available at: <https://www.moelven.com/globalassets/certificates-and-policies/epd/epd-moelvenwood-k-virke-g-f-nepd-308-179-no-konstruksjonsvirke-av-gran-og-furu-gk.pdf>  
[Funnet 2019].

Treteknisk, 2017. *Massivtre og brann*. [Internett]  
Available at: <https://bygg.tekna.no/massivtre-og-brann/>  
[Funnet 2019].

Venugopal, M., 2018. *What is AI and Machine Learning in Construction*. [Internett]  
Available at: <https://connect.bim360.autodesk.com/what-is-machine-learning-in-construction>  
[Funnet Apr 2019].

Vindal, J., 2019. *Lavenergisimulering TIP verkst, Skjetlein, s.l.: Consto.*

## Vedlegg

1. Biogent regnskap
2. Ikke-biogent regnskap
3. Referansebygg
4. EPD kildeliste
5. Lastkart, Interaxo
6. Plakat
7. Artikkel

# Vedlegg 1

Biogent regnskap, limtre/massivtre						SUM
Bærekonstruksjon	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv)	A4		kg CO <sub>2</sub> -ekv
Søyler, prefab limtre,	8,11	m3	-5506,69		97,82	-5408,87
Søyler, treverk 140x405	4,23	m3	-2872,17		51,02	-2821,15
Bjelker for traverskran, limtre, 140x585	7,54	m3	-5119,66		90,97	-5028,69
<b>Sum</b>						<b>-13258,71</b>
Dører, vinduer og porter	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv per m <sup>2</sup> )	A4		SUM
Vinduer	73,27	m <sup>2</sup>	5875,89		68,87	5944,75
Dører	60	m <sup>2</sup>	-406,542		266,516	-140,026
Porter	127,74	m <sup>2</sup>	9622,65		45,56	9668,22
<b>Sum</b>						<b>15472,95</b>
Innervegger og etasjeskillere	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv)	A4		
Gulvspån 22mm	8,47	m3	-7290,74		281,13	-7009,61
30mm isolasjon	180,35	m2	1315,83		4,01	1319,84
50mm isolasjon	81,95	m2	77,52		3,08	80,61
150mm isolasjon	526,02	m2	1515,46		60,27	1575,73
200mm isolasjon	96,11	m2	409,14		14,71	423,85
250mm isolasjon	49,47	m2	235,97		9,40	245,37
198x48mm trevirke	1,68	m3	-1017,35		19,11	-998,24
148x48mm trevirke	12,39	m3	-7523,03		141,29	-7381,74
248x48mm trevirke	1,09	m3	-662,84		12,45	-650,40
12mm gips	309,48	m2	649,91		111,41	761,32
Fermacell	462,17	m2	526,87		330,62	857,50
Systemhimling	187,71	m2	1708,16		170,82	1878,98
Sinusplate T18	180,35	m2	328,74		510,60	839,34
Akustisk duk	180,35	m2	**		**	0,00
Vindsperre	166,44	m2	50,76		1,17	51,94
Fibersementplater	1,05	m3	718,98		97,64	816,61
Lekter	0,80	m3	-487,14		9,15	-477,99
Treullit	2,06	Tonn	428,64		247,16	675,80
I-Bjelke 300mm	132,00	m	-451,44		77,88	-373,56
Bunnsvill	2,43	m3	-1474,75		27,70	-1447,05
Kryssfiner	0,55	m3	-318,45		8,31	-310,15
<b>Sum</b>			<b>-11259,74</b>		<b>2137,90</b>	<b>-9121,85</b>
Yttervegg	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv)	A4		
Vegger, prefab massivtrelementer	49,84	m3	-32792,088		601,1	-32190,99
Isolasjon: Glava pluss, ekstrem 32, cc 600, tykkelse: 290mm	920,79	m2	5127,42		203,90	5331,32
Stående sløyfelekt, 36x48mm	3,25	m3	-1972,75		37,05	-1935,70
Spikerslag panel liggende 48x68mm	6,63	m3	-4024,41		75,58	-3948,83
Vindsperre	929,74	m2	283,57		6,55	290,13
Dampsperre	929,74	m2	395,14		11,34	406,48
Vannese 40x104mm	0,64	m3	-388,48		7,30	-381,18
Ytre kledning - låvepanel dobbelfals, 123mm	929,74	m2	-10227,14		197,10488	-10030,04
Fibersementplater, 6mm	1,15	tonn	790,26		107,32	897,58
<b>Sum</b>						<b>-41561,23</b>
Tak	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv)	A4		
Takstoler, limtre	31,53	m3	-21408,87		380,3	-21028,57
Takplater	5,66	tonn	801,35		510,60	1311,95
Takbjelker	36,32	m <sup>3</sup>	-22046,29		414,05	-21632,24
Lekter	11,30	m <sup>3</sup>	-6856,97		128,78	-6728,19
Isolasjon	525,67	m <sup>3</sup>	3776,02		9,04	3785,06
Trefiberplate	1222,30	m <sup>2</sup>	-6343,74		200,46	-6143,28
Dampsperre	1222,30	m <sup>2</sup>	519,48		14,91	534,39
Akustisk duk	1222,30	m <sup>2</sup>	**		**	0,00
Perforerte stålplater	1222,30	m <sup>2</sup>	20264,51		111,06	20375,57
Takrenne	117,00	m	368,22		16,72	384,94
Beslag	40,95	m <sup>2</sup>	471,78		21,42	493,21
Solcellepaneler	315	stk	94170,39408		867,4	95037,7941
<b>Sum</b>						<b>66390,63</b>
Dekker og Grunn	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv)	A4		
Total armeringsmengde Ø8	89,1	kg	32,08		2,58	34,66
Total armeringsmengde Ø10	1729,9	kg	622,76		50,17	672,93
Total armeringsmengde Ø12	5980,7	kg	2153,05		173,44	2326,49
Betong - dekke	156,94	m3	38096,39		1679,20	39775,60
Betong - ringmur	75,537	m3	18336,81		808,25	19145,06
Betong - fundament for søyler	4,814	m3	1168,61		51,51	1220,12
Trykkfast isolasjon 200mm, under dekke	113,35	m2	1296,72		3,36	1300,08
Trykkfast isolasjon 230mm, under dekke	910	m2	12412,40		32,16	12444,56
Ringmursisolasjon 100mm	69,65	m2	398,40		1,03	399,43
Markisolasjon, 100mm, 2m utstikk	325,56	m2	1862,20		4,825	1867,03
Radonsperre	1035	m2	2794,5		31,05	2825,55
<b>Sum</b>						<b>82011,51</b>
<b>Totalt klimagassutslipp, CO<sub>2</sub>-ekv</b>						<b>99933,31</b>

\*\* EPD mangler



## Vedlegg 2

### Ikke-biogent regnskap, original bygning

Gulvspan, metode: (A1 til A3) + C3
121 kg CO2-ekv pr m3

Konstruksjonsvirke i gran (A1-A3), egen beregning, se formel 1
51 kg CO2-ekv pr m3

Kryssfiner, metode: (A1 til A3) + C3
316 kg CO2-ekv pr m3

Massivtre Kl, Splittkon (A1-A3), oppgitt ikke-biogen verdi
60 kg CO2-ekv pr m3

Trefiberplater, metode (A1 til A3) + C3
4,02 kg CO2-ekv pr m2

Limtre, Martinson (A1-A3), oppgitt ikke-biogen verdi
39 kg CO2-ekv pr m3

Alternativ A	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO2-ekv)	A4	SUM kg CO2-ekv
Bærekonstruksjon					
Søyler, prefab limtre,	8,11	m3	316,29	97,818765	414,11
Søyler, treverk 140x405	4,23	m3	164,97	51,02	215,99
Bjelker for traverskran, limtre, 140x585	7,54	m3	294,06	90,97176	385,03
<b>Sum</b>					<b>1015,13</b>
Dører og vinduer					
Vinduer	73,27	m²	5876,04	68,82	5944,86
Dører	60	m²	484,4	262,1	746,5
Porter	127,74	m²	9622,65	45,56	9668,22
<b>Sum</b>					<b>16359,58</b>
Innervegger og etasjesskillere					
Gulvspan 22mm	7,38	m3	892,91	245,00	1137,91
200mm isolasjon	13,44	m3	57,21	20,57	77,79
150mm isolasjon	30,23	m3	87,10	34,84	121,93
198x48mm trevirke	1,68	m3	85,48	19,11	104,58
148x48mm trevirke	12,39	m3	632,08	141,29	773,37
12mm gips	260,01	m2	546,02	93,60	639,62
Fermacell	462,17	m2	526,87	330,62	857,50
Systemhimling	138,24	m2	1257,98	125,80	1383,78
Sinusplate T18	180,35	m2	328,74	510,60	839,34
Akustisk duk	180,35	m2	**	**	0
Vindsperre	166,44	m2	50,76	1,17	51,94
Fibersementplater	1,05	m3	718,98	97,64	816,61
Lekter	0,80	m3	40,93	9,15	50,08
Treullit	1,46712	Tonn	305,16	125,27	430,43
I-Bjelke 300mm	132,00	m	-451,44	77,88	-373,56
Bunnsvill	2,43	m3	123,91	27,70	151,61
Kryssfiner	0,55	m3	173,80	8,31	182,11
<b>Sum</b>			<b>5376,50</b>	<b>1868,54</b>	<b>7245,04</b>
Yttervegg					
Vegger, prefab massivtrelementer	49,84	m3	2990,16	601,1	3591,26
Isolasjon: Glava pluss, ekstrem 32, cc 600, tykkelse: 290mm	920,79	m2	5127,419115	203,90	5331,32
Stående sløyfelekt, 36x48mm	3,25	m3	165,75	37,05	202,80
Spikerslag panel liggende 48x68mm	6,63	m3	338,13	75,582	413,71
Vindsperre	929,74	m2	283,5707	6,55	290,13
Dampsperre	929,74	m2	395,1395	11,34	406,48
Vannese 40x104mm	0,64	m3	32,64	7,30	39,94
Ytre kledning - låvepanel dobbelfals, 123mm	20,69	m3	1055,19	197,10	1252,29488
Fibersementplater, 6mm	1,15	tonn	790,26	107,32	897,58
<b>Sum</b>					<b>12425,51</b>
Tak					
Takstoler, limtre	31,53	m3	1229,67	380,3	1609,97
Takplater	5,66	tonn	801,35	510,6	1311,95
Takbjelker	36,32	m³	1852,32	414,0490032	2266,37
Lekter	11,30	m³	576,12	128,7799741	704,90
Isolasjon	525,67	m²	3776,02	9,0415068	3785,06
Trefiberplate	1222,3	m²	4913,65	200,4572	5114,10
Undertak					0,00
Dampsperre	1222,3	m²	519,48	14,91206	534,39
Akustisk duk	1222,3	m²	**	**	0,00
Perforerte stålplater	1222,3	m²	20264,51	111,06	20375,57
Takrenne	117	m	368,22	16,720704	384,94
Beslag	40,95	m²	471,78	21,423402	493,21
Solcellepaneler	315	stk	94170,39	867,4	95037,79
<b>Sum</b>					<b>131618,26</b>
Dekker og Grunn					
Total armeringsmengde Ø8	89,1	kg	32,08	2,58	34,66
Total armeringsmengde Ø10	1729,9	kg	622,76	50,17	672,93
Total armeringsmengde Ø12	5980,7	kg	2153,05	173,44	2326,49
Betong - dekke	186,46	m3	38096,39	1679,20	39775,60
Betong - ringmur	75,54	m3	18336,81	808,25	19145,06
Betong - fundament for søyler	4,81	m3	1168,61	51,51	1220,12
Trykkfast isolasjon 200mm, under dekke	113,35	m2	1296,724	3,36	1300,08
Trykkfast isolasjon 230mm, under dekke	910	m2	12412,4	32,16	12444,56
Ringmursisolasjon 100mm	69,65	m2	398,398	1,03	399,43
Markisolasjon, 100mm, 2m utstikk	325,56	m2	1862,20	4,82	1867,03
Radonsperre	1035	m2	2794,5	31,05	2825,55
<b>Sum</b>					<b>82011,51</b>

<b>Totalt klimagassutslipp, CO2-ekv</b>	<b>250675,05</b>
---	------------------

\*\* Mangler verdi

Biogent bidrag er utelukket

## Vedlegg 3

### Referansebygg, biogent

Grunn og Dekke	Mengde	Enhet	A1-A3, kg CO <sub>2</sub> -ekv	A4, kg CO <sub>2</sub> -ekv	Sum, kg CO <sub>2</sub> -ekv
Armering	7797,7	Kg	2807,9	226,19	3034,09
Betong	237,29	m3	57601,82	2538,96	60140,78
Isoalasjon	1418,56	m2	15969,73	41,38	16011,11
Radonsperre	1035	m2	2794,5	31,05	2825,55
Sum					<b>82011,53</b>
Bæresystem	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
Ramme, HE-A-bjelker, varierende dimensjon	38725,61	kg	51117,80	925,54	52043,34
Bjelker for traverskran, limtre, 140x585	7,54	m3	-5119,66	90,97	-5028,69
Sum					<b>47014,65</b>
Dører, vinduer og porter	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv per m <sup>2</sup> )	A4	kg CO <sub>2</sub> -ekv
Vinduer	73,2654	m <sup>2</sup>	5875,89	68,87	5944,75
Dører	60	m <sup>2</sup>	-406,54	266,52	-140,03
Porter	127,74	m <sup>2</sup>	9622,65	45,56	9668,22
Sum					<b>15472,95</b>
Innervegger og etasjeskillere	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
Sum	Tilsvarende original, biogen		-11259,74	2137,90	-9121,85
Yttervegg	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
KS1000 NC/NF 150mm	929	m2	34651,7	7834,42	<b>42486,12</b>
Tak	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
KS1000 RW Quadcore	1222	m2	44236,4	10262,67	54499,07
Solcellepanel	315	stk	94170,39	867,4	95037,79
Sum					<b>149536,87</b>
<b>Totalt klimagassutslipp, CO<sub>2</sub>-ekv</b>					<b>327400,28</b>

### Referansebygg, ikke-biogent

Grunn og Dekke	Mengde	Enhet	A1-A3, kg CO <sub>2</sub> -ekv	A4, kg CO <sub>2</sub> -ekv	Sum, kg CO <sub>2</sub> -ekv
Armering	7797,7	Kg	2807,9	226,19	3034,09
Betong	237,29	m3	57601,82	2538,96	60140,78
Isoalasjon	1418,56	m2	15969,73	41,38	16011,11
Radonsperre	1035	m2	2794,5	31,05	2825,55
Sum					<b>82011,53</b>
Bæresystem	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
Ramme, HE-A-bjelker, varierende dimensjon	38725,61	kg	51117,80	925,54	52043,34
Bjelker for traverskran, limtre, 140x585	7,54	m3	294,06	90,97	385,03
Sum					<b>52428,37</b>
Dører, vinduer og porter	Mengde	Enhet	A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> -ekv per m <sup>2</sup> )	A4	kg CO <sub>2</sub> -ekv
Vinduer	73,2654	m <sup>2</sup>	5875,89	68,87	5944,75
Dører	60	m <sup>2</sup>	484,40	262,10	746,50
Porter	127,74	m <sup>2</sup>	9622,65	45,56	9668,22
Sum					<b>16359,47</b>
Innervegger og etasjeskillere	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
Sum	Tilsvarende original, ikke-biogen		5376,50	1868,54	<b>7245,04</b>
Yttervegg	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
KS1000 NC/NF 150mm	929	m2	34651,7	7834,42	<b>42486,12</b>
Tak	Mengde	Enhet	A1-A3	A4	Sum
KS1000 RW Quadcore	1222	m2	44236,4	10262,67	54499,07
Solcellepanel	315	stk	94170,39	867,4	95037,79
Sum					<b>149536,87</b>
<b>Totalt klimagassutslipp, CO<sub>2</sub>-ekv</b>					<b>350067,41</b>

## Vedlegg 4

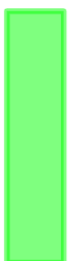
### EPD Kildeliste

Type:	Leverandør	Nivå	Transportavstand (km)	GWP (kg CO <sub>2</sub> -eqv)	Enhet	Kilde:
<b>Betong</b>						
Armeringsstål	Celsa steel service (tilsvarende)	A1-A3		0,36	Pr kilo	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135371-1468351065/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-434-305-EN_Steel-reinforcement-products-for-concrete.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135371-1468351065/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-434-305-EN_Steel-reinforcement-products-for-concrete.pdf</a>
Armeringsstål	Celsa steel service (tilsvarende)	A4	500km	0,029	Pr kilo	
Betong	*Velde, B35 M45 <200mm	A1-A3		242,7527	pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135598-1468867815/EPDer/Byggevarer/Ferdig%20betong/NEPD-332-216-NO_1-m3-Betong-B35-M45-200mm-Velde-Betong-AS.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135598-1468867815/EPDer/Byggevarer/Ferdig%20betong/NEPD-332-216-NO_1-m3-Betong-B35-M45-200mm-Velde-Betong-AS.pdf</a>
Betong	*Velde, B35 M45 <200mm	A4	25km	10,7	pr m3	
<b>Yttervegg</b>						
Massivtre	Splitkon AS	A1-A3		-658	Pr m3 (gran)	<a href="https://splitkon.no/media/1141/nepd-345-236-no-kl-tre-gk.pdf">https://splitkon.no/media/1141/nepd-345-236-no-kl-tre-gk.pdf</a>
Massivtre	Splitkon AS	A4	510km	Egen beregning, A4		
Limtre	Martinsons Såg AB	A1-A3		-679	Pr m3 (gran)	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135786-1468935559/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-346-236-NO_Limtre.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135786-1468935559/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-346-236-NO_Limtre.pdf</a>
Limtre	Martinsons Såg AB	A4	510km	Egen beregning, A4		
Isolasjon, yttervegg	290 mm Glava, extreme 32, faktor 12,95	A1-A3		5,569	pr m2	<a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
Isolasjon, yttervegg	Glava, extreme 32, faktor 12,95	A4	300km	0,221	pr m2	
Vindspærre	*Isola	A1-A3		0,305	m2	(ISOLA) <a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/138310-1512647331/EPDer/Utenlandsk%20registrerte%20EPD/NEPD-1472-492_Isola-Soft-Xtra.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/138310-1512647331/EPDer/Utenlandsk%20registrerte%20EPD/NEPD-1472-492_Isola-Soft-Xtra.pdf</a>
Vindspærre	*Isola	A4	2667km	0,00705	pr m2	
Dampspærre, 0,2mm	*Tommen Gram	A1-A3		0,425	kg CO <sub>2</sub> /m2	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/136006-1482315694/EPDer/Byggevarer/Takbelegg_membraner/NEPD-341-230-NO_Dampspærre.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/136006-1482315694/EPDer/Byggevarer/Takbelegg_membraner/NEPD-341-230-NO_Dampspærre.pdf</a>
Dampspærre, 0,2mm	*Tommen Gram	A4	80 km	0,0122	kg CO <sub>2</sub> /m2	
36x48mm sløyfe	Norsk treindustri Standard	A1-A3		-607,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf</a>
36x48mm sløyfe	Norsk treindustri Standard	A4	100km	11,40		
48x68mm lekting	Norsk treindustri Standard	A1-A3		-607,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf</a>
48x68mm lekting	Norsk treindustri Standard	A4	100km	11,40		
123mm ytre kleddning, låvepanel dobbelfals	*Treindustrien, 148mm panel	A1-A3		-11	pr m2	<a href="https://www.moelven.com/globalassets/certificates-and-policies/epd/epd-moelvenwood-kledning-2-str-nepd-310-180-no-vannlynnbr-maling-gk.pdf">https://www.moelven.com/globalassets/certificates-and-policies/epd/epd-moelvenwood-kledning-2-str-nepd-310-180-no-vannlynnbr-maling-gk.pdf</a>
123mm ytre kleddning, låvepanel dobbelfals	*Treindustrien, 148mm panel	A4	200km	0,212	pr m2	
Fibersementplater	*Cembrit	A1-A3		685,719	Pr Tonn	<a href="https://www.cembrit.no/media/7908/epd-00000354-pfi-build-indoor.pdf">https://www.cembrit.no/media/7908/epd-00000354-pfi-build-indoor.pdf</a>
Fibersementplater	*Cembrit	A4	600km	93,12		
<b>Dører, vinduer og porter</b>						
Vinduer, med aluminiumkledning	Lian trevarefabrikk AS	A1-A3		146	kg CO <sub>2</sub> /vindu	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135732-1468928922/EPDer/Byggevarer/D%C3%B8rer%20og%20vinduer/NEPD-329-212-NO_2-veis-innadsl-ende-pningsvindu.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135732-1468928922/EPDer/Byggevarer/D%C3%B8rer%20og%20vinduer/NEPD-329-212-NO_2-veis-innadsl-ende-pningsvindu.pdf</a>
Vinduer, med aluminiumkledning	Lian trevarefabrikk AS	A4	300km	1,71	kg CO <sub>2</sub> /vindu	
Porter	Autolift	A1-A3		75,33	Pr m2	Mottatt verdier på mail
Porter	Autolift	A4	400km	0,3567		
Dører	*Nordicdoor	A1-A3		-6,78	pr m2	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/138674-1520510085/EPDer/Byggevarer/D%C3%B8rer%20og%20vinduer/NEPD-1535-525_Climate-door-interior-door.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/138674-1520510085/EPDer/Byggevarer/D%C3%B8rer%20og%20vinduer/NEPD-1535-525_Climate-door-interior-door.pdf</a>
Dører	*Nordicdoor	A4	400km	4,8	pr m2	
<b>Tak</b>						
Isolasjon yttertak	400mm glava 32, faktor 17,85	A1-A3		7,68		<a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
Isolasjon yttertak	400mm glava 32, faktor 17,85	A4	300km	0,22	pr m2	
Solcellepanel	Solbes, original leverandør, ingen EPD	A1-A3		Egen beregning		
Solcellepanel	Solbes, original leverandør, ingen EPD	A4		Egen beregning		
Trefiberplate, 18mm	*Hunton	A1-A3		-5,19	pr m2	<a href="https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/04/nepd-1248-401_hunton-undertak.pdf">https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/04/nepd-1248-401_hunton-undertak.pdf</a>
Trefiberplate, 18mm	*Hunton	A4	350km	0,164	pr m2	
<b>Innervegg og etasjeskillere</b>						
Gulvspån 22mm	*Forestia	A1-A3		-861	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135684-1468919874/EPDer/Byggevarer/Bygningplater/274N_Forestia-ponplater.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135684-1468919874/EPDer/Byggevarer/Bygningplater/274N_Forestia-ponplater.pdf</a>
Gulvspån 22mm	*Forestia	A4	250km	33,2		
30 mm isolasjon	Glava	A1-A3		0,559	pr m2	Faktor 1,3 <a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
30 mm isolasjon	Glava	A4	300km	0,02223	pr m2	
50mm isolasjon	Glava	A1-A3		0,95	pr m2	Faktor 2,2 <a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
50mm isolasjon	Glava	A4	300km	0,04	pr m2	
200mm isolasjon	Glava	A1-A3		4,26	Pr m2	Faktor 8,9 - <a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
200mm isolasjon	Glava	A4	300km	0,15		
150mm isolasjon	Glava	A1-A3		2,88	Pr m2	Faktor 6,7 - <a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
150mm isolasjon	Glava	A4	300km	0,11		
250mm isolasjon	Glava	A1-A3		4,77	Pr m2	Faktor 11,1 - <a href="https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf">https://media.glava.net/mediabank/store/10634/EPD-221N-ver3-Glassull.pdf</a>
250mm isolasjon	Glava	A4	300km	0,19		
198x48mm trevirke	Norsk treindustri Standard	A1-A3		-607,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf</a>
198x48mm trevirke	Norsk treindustri Standard	A4	100km	11,40		
148x48mm trevirke	Norsk treindustri Standard	A1-A3		-607,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf</a>
148x48mm trevirke	Norsk treindustri Standard	A4	100km	11,40		
12mm gips	*Norgips	A1-A3		2,10	Pr m2	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135705-1468924280/EPDer/Byggevarer/Bygningplater/NEPD-113-177-EN_Norgips-Standard-type-A.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135705-1468924280/EPDer/Byggevarer/Bygningplater/NEPD-113-177-EN_Norgips-Standard-type-A.pdf</a>
12mm gips	*Norgips	A4	50km	0,36		
Fermacell	Hunton	A1-A3		1,14	Pr m2	<a href="https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf">https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf</a>
Fermacell	Hunton	A4	500km	0,72		
Systemhimling	*Rockfon	A1-A3		9,10	Pr m2	(ROCKFON) <a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135289-1467815793/EPDer/Byggevarer/Bygningplater/NEPD-338-229_EP-Rockfon-Ceiling-tiles-151-173-kg-m3-.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135289-1467815793/EPDer/Byggevarer/Bygningplater/NEPD-338-229_EP-Rockfon-Ceiling-tiles-151-173-kg-m3-.pdf</a>
Systemhimling	*Rockfon	A4	1218km	0,91		
Sinusplate T18	Planja	A1-A3		392,00	kg CO <sub>2</sub> /tonn	* Thomas utregning ( <a href="https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/plannja-no-documents/milj%C3%B8-og-kvalitet/miljovaredeklaration-fargbelagd-plat_2005.pdf?sfvrsn=4e153a85_8">https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/plannja-no-documents/milj%C3%B8-og-kvalitet/miljovaredeklaration-fargbelagd-plat_2005.pdf?sfvrsn=4e153a85_8</a> )
Sinusplate T18	Planja	A4	957km	0,53	kg CO <sub>2</sub> /km	
Akustisk duk	**	A1-A3		0,00	Pr m2	Mangler
Akustisk duk	**	A4	0	0,00		
Vindspærre	*Isola	A1-A3		0,31	Pr m2	(ISOLA) <a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/138310-1512647331/EPDer/Utenlandsk%20registrerte%20EPD/NEPD-1472-492_Isola-Soft-Xtra.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/138310-1512647331/EPDer/Utenlandsk%20registrerte%20EPD/NEPD-1472-492_Isola-Soft-Xtra.pdf</a>
Vindspærre	*Isola	A4	2667km	0,01		
Fibersementplater	*Cembrit	A1-A3		685,72	Pr Tonn	<a href="https://www.cembrit.no/media/7908/epd-00000354-pfi-build-indoor.pdf">https://www.cembrit.no/media/7908/epd-00000354-pfi-build-indoor.pdf</a>
Fibersementplater	*Cembrit	A4	600km	93,12		
Lekter	Norsk treindustri Standard	A1-A3		-607,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf</a>
Lekter	Norsk treindustri Standard	A4	100km	11,40		
Treullit	*Cembrit	A1-A3		208,00	Pr tonn	<a href="https://www.cembrit.no/media/7516/epd_troldekt.pdf">https://www.cembrit.no/media/7516/epd_troldekt.pdf</a>
Treullit	*Cembrit	A4	600km	119,94		
I-Bjelke 300mm	*Masonite Beam	A1-A3		-3,42	Pr m	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135266-1468341286/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-311-186_Masonite-i-bjelke_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135266-1468341286/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-311-186_Masonite-i-bjelke_no.pdf</a>

I-Bjelke 300mm	*Masonite Beam	A4	1500km	0,59		
Bunnsvill	Norsk treindustri Standard	A1-A3		-607,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135819-1469702352/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-NO_Structural-timber-Norwegian-version_no.pdf</a>
Bunnsvill	Norsk treindustri Standard	A4	100km	11,40		
Kryssfiner	*Moelven	A1-A3		-579,00	Pr m3	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/139413-1538388653/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1579-604_Kryssfiner_1.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/139413-1538388653/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1579-604_Kryssfiner_1.pdf</a>
Kryssfiner	*Moelven	A4	330	15,10		
<b>Grunn</b>						
Trykkfast isolasjon, EPS	*EPS-gruppen, trykkfasthet 80kN/m2	A1-A3		variabel, pga tykkelse	Pr m2	<a href="https://media.glaiva.net/mediabank/store/11026/NEPD-322-185-NO-EPS-isolasjon-trykkfasthet-80-rev-June-2015-GK.pdf">https://media.glaiva.net/mediabank/store/11026/NEPD-322-185-NO-EPS-isolasjon-trykkfasthet-80-rev-June-2015-GK.pdf</a>
Trykkfast isolasjon, EPS	*EPS-gruppen, trykkfasthet 80kN/m2	A4	100km	0,0057	pr m2	
Radonsperre	Icopal	A1-A3		2,7	Pr m2	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/136049-1469047618/EPDer/Byggevarer/Takbelegg_membraner/208_Icopal-RMA-1200.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/136049-1469047618/EPDer/Byggevarer/Takbelegg_membraner/208_Icopal-RMA-1200.pdf</a>
Radonsperre	Icopal	A4	250km	0,03	Pr m2	
Ringmursisolasjon 100mm	*EPS-gruppen, trykkfasthet 80kN/m2	A1-A3		variabel, pga tykkelse	pr m2	<a href="https://media.glaiva.net/mediabank/store/11026/NEPD-322-185-NO-EPS-isolasjon-trykkfasthet-80-rev-June-2015-GK.pdf">https://media.glaiva.net/mediabank/store/11026/NEPD-322-185-NO-EPS-isolasjon-trykkfasthet-80-rev-June-2015-GK.pdf</a>
Ringmursisolasjon 100mm	*EPS-gruppen, trykkfasthet 80kN/m2	A4	100km	0,0057	pr m2	
<b>Referansebygg</b>						
H-profil stål	Contiga	A1-A3		1,32	pr kilo	<a href="https://www.epd-norge.no/getfile.php/135964-1469040852/EPDer/Byggevarer/St%C3%ASIkonstruksjoner/81_Type-22-IHULT-and-wide-flats-selections.pdf">https://www.epd-norge.no/getfile.php/135964-1469040852/EPDer/Byggevarer/St%C3%ASIkonstruksjoner/81_Type-22-IHULT-and-wide-flats-selections.pdf</a>
H-profil stål	Contiga	A4	400km	0,0239	pr kilo	
Yttervegg	Kingspan	A1-A3		37,3	Pr m2	<a href="https://www.360optimi.com/app/sec/uttl/getEpdFile?resourceId=envdecKS1000NF%2FKS1000NC_150mm&amp;profileId=Kingspan2017">https://www.360optimi.com/app/sec/uttl/getEpdFile?resourceId=envdecKS1000NF%2FKS1000NC_150mm&amp;profileId=Kingspan2017</a>
Yttervegg	Kingspan	A4	800km	8,43318	Pr m2	
Tak	Kingspan	A1-A3		36,2	Pr m2	<a href="https://www.360optimi.com/app/sec/uttl/getEpdFile?resourceId=envdecKS1000NF%2FKS1000NC_150mm&amp;profileId=Kingspan2017">https://www.360optimi.com/app/sec/uttl/getEpdFile?resourceId=envdecKS1000NF%2FKS1000NC_150mm&amp;profileId=Kingspan2017</a>
Tak	Kingspan	A4	800km	8,39826	Pr m2	

\* EPD er hentet fra annen produsent

# Karakteristisk påført egenlast



Tak:  $g_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

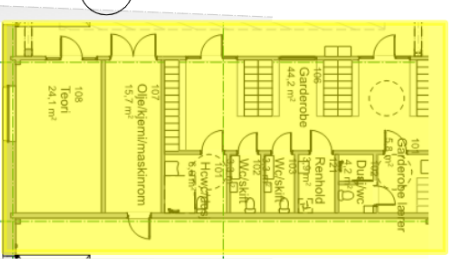


Tak + solceller:  $g_k = 1,4 \text{ kN/m}^2$

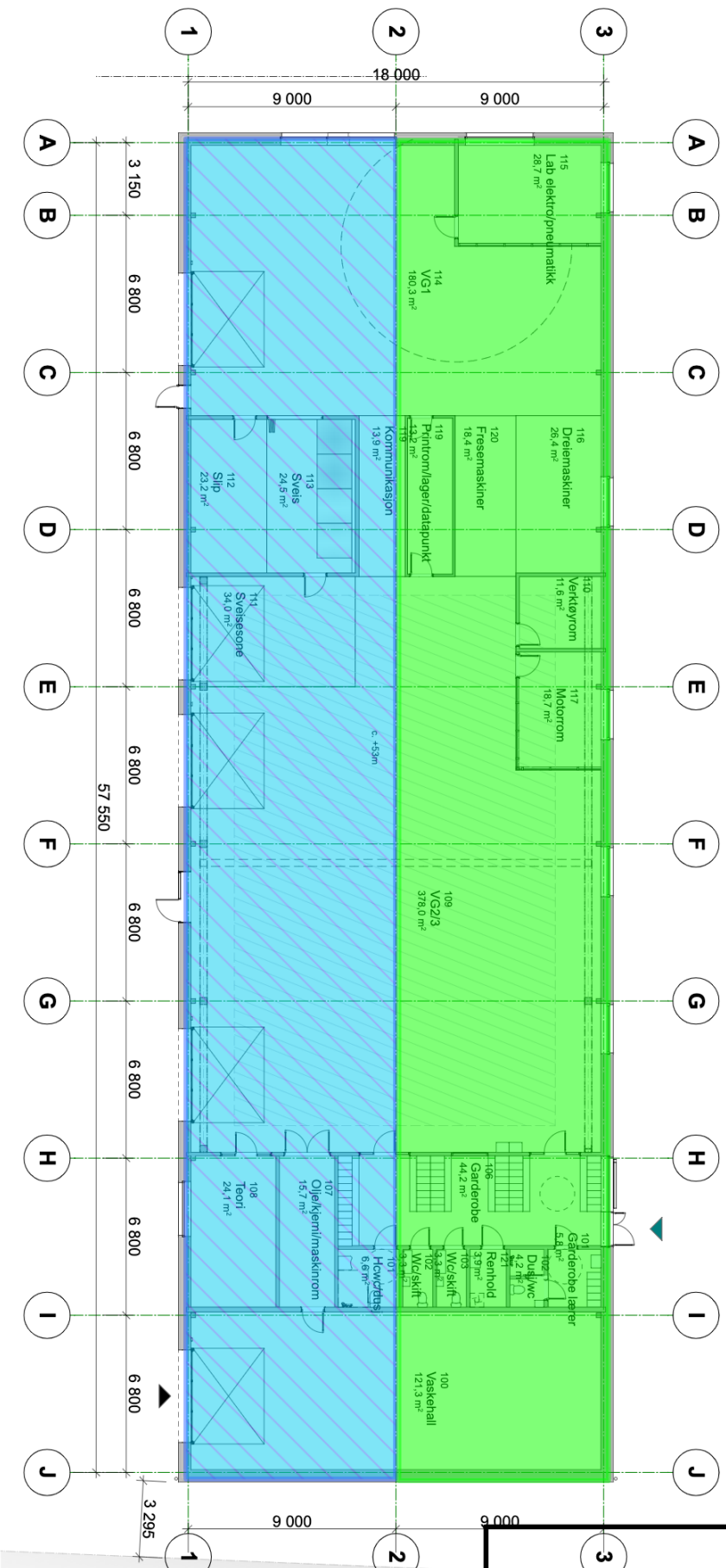


Teknisk rom:  $g_k = 1,1 \text{ kN/m}^2$

# Teknisk rom

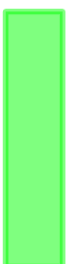


garasje



Verkstedsrett - Plan 1

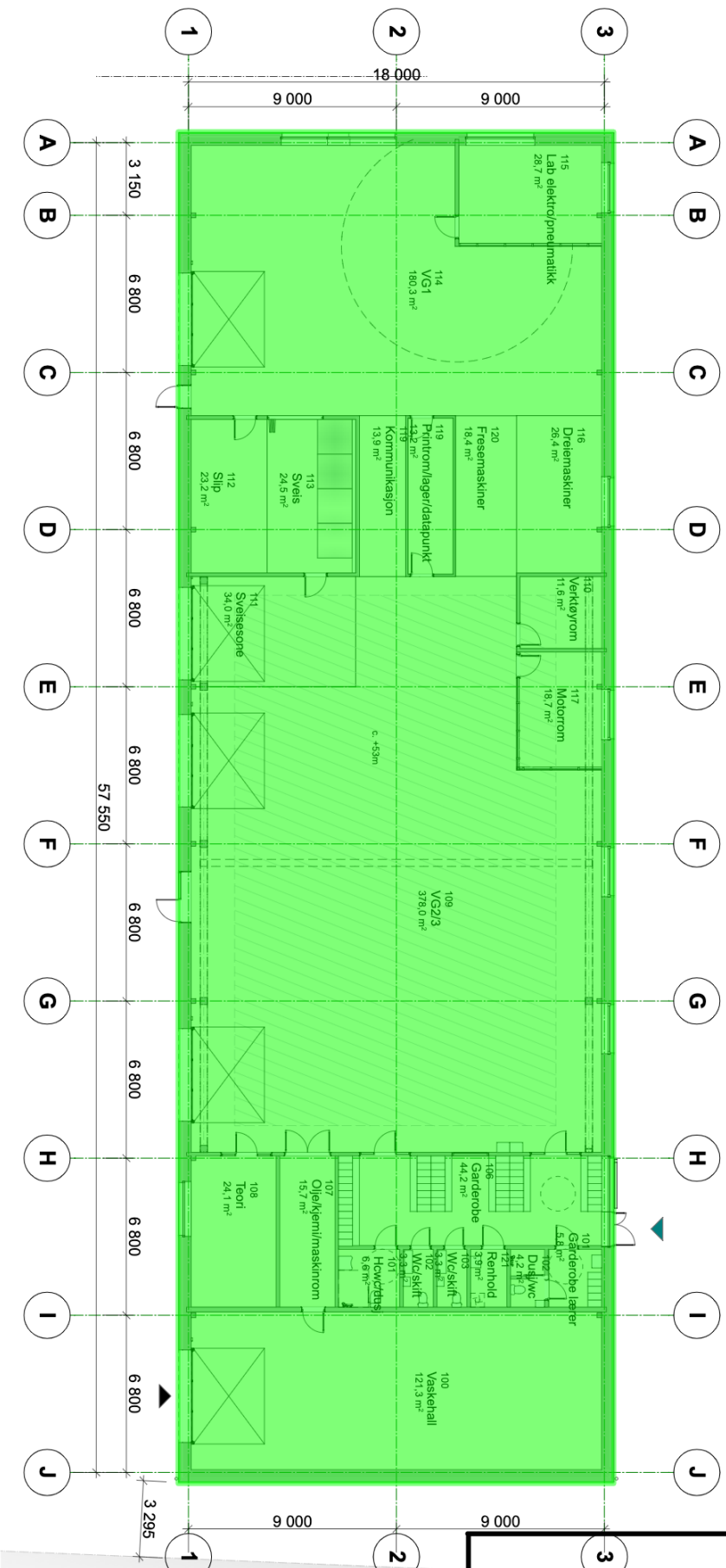
# Karakteristisk nyttelast/snølast



Tak:  $s_k = 3,2 \text{ kN/m}^2$

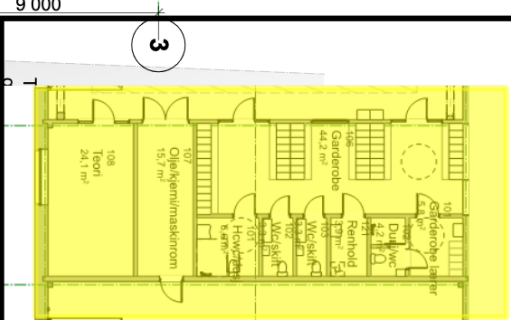


Teknisk rom:  $p_k = 5 \text{ kN/m}^2$



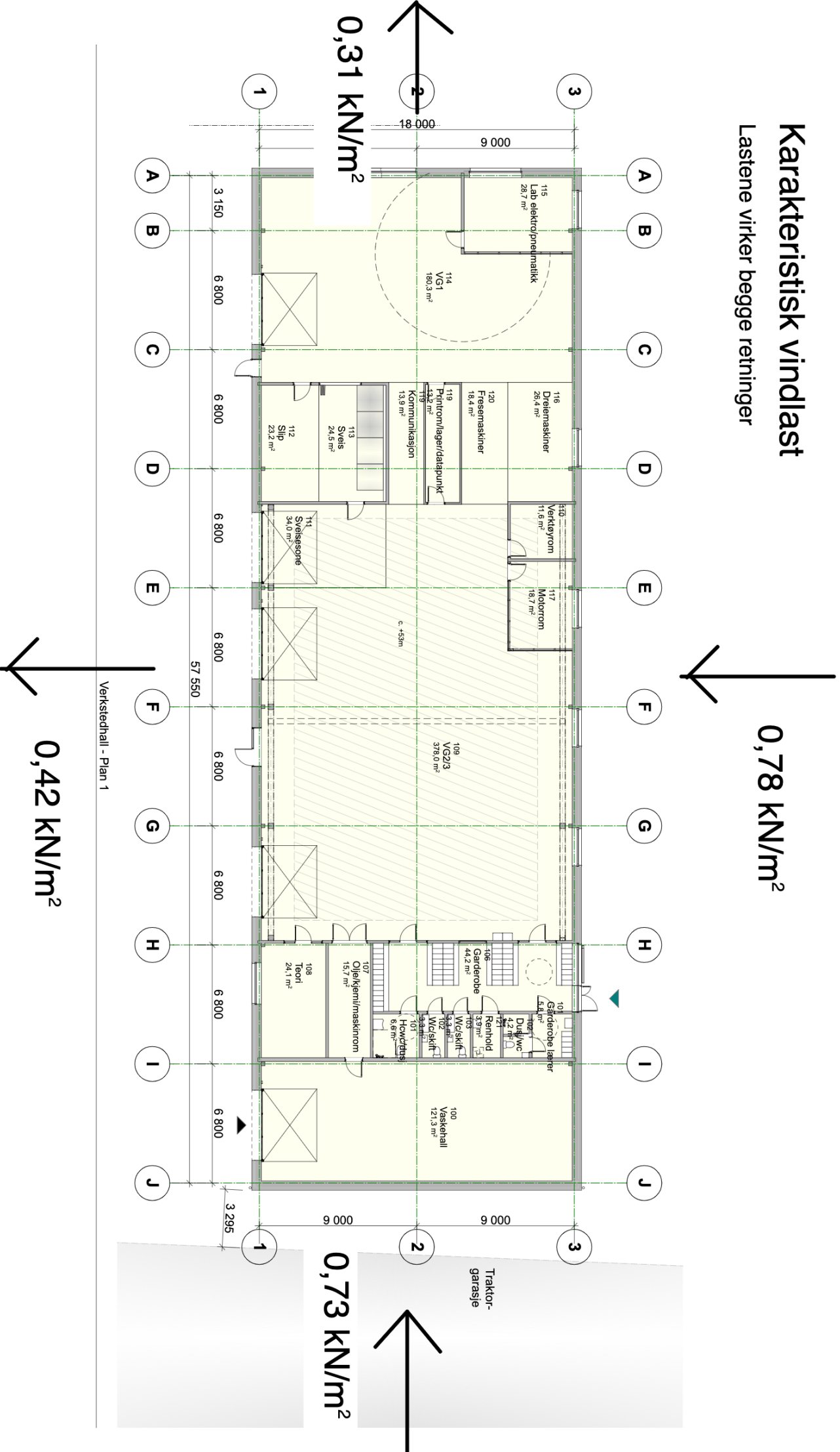
Verkstedhall - Plan 1

# Teknisk rom



# Karakteristisk vindlast

Lastene virker begge retninger



## Miljøregnskap ved bruk av massivtre sammenlignet med stål

## Environmental Impact Assessment: a comparison between Cross Laminated Timber and Steel

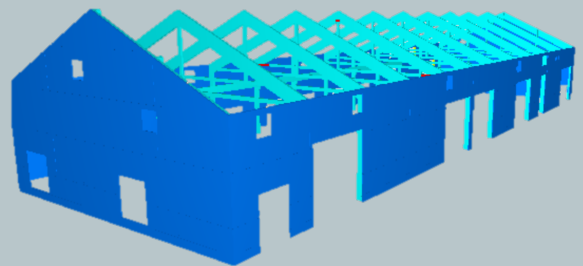
**Studenter:** Ola Ørstad Forbregd  
Thomas Svenske  
Tormod Kleveland

**Intern veileder:** Omar Sabri  
**Ekstern veileder:** Gro Nordengen Lohn,  
Consto AS

## Prosjektbeskrivelse

Formålet med prosjektet har vært å gjennomføre et klimagassregnskap for en skolebygning (1026 m<sup>2</sup>) ved Skjetlein vgs. Bæresystemet består av limtre og veggelementene i massivtre. Resultatene er presentert i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og sammenlignet med et referansebygg prosjektert i stål.

Gjennom fotosyntesen tar trær opp CO<sub>2</sub>, og binder dette som karbon i trevirket. Ved avfallshåndtering er CO<sub>2</sub>-utslipp av trevirke tilnærmet opptaket av CO<sub>2</sub>. Dette medfører at disse «nuller hverandre ut». Denne regnemetoden utelater biogent karboninnhold i trevirket og kalles umiddelbar oksidasjon.



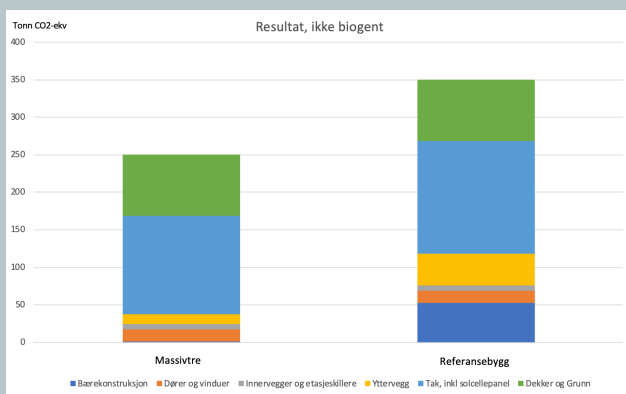
Figur. Bim-modellen illustrerer søyler og takstoler av limtre og veggelementer bestående av massivtre, 60mm

## Konklusjon

Resultatene fra oppgaven viser en tydelig reduksjon på klimagassutslipp i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter ved bruk av massivtre kontra referansebygget i stål. Total besparelse er på 28,4%.

Massivtre er et populært og klimavennlig byggemateriale som er i tydelig fremmarsj i dagens byggenæring.

Alle gode ting er massivtre!



Diagrammet viser utslippsforskjellene målt i tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter ved bruk av massivtre og stål





MJØSTÅRNET I BRUMMUNDAL ER ANGVILIG VERDENS HØYESTE TREBYGG. ILLUSTRASJON: SWECO

OLA ØRSTAD FORBREGD, THOMAS SVENSKE OG TORMOD KLEVELAND

10.05.19

## ER MASSIVTRE LØSNINGEN FOR EN MER MILJØVENNLIG BYGGEBRANSJE?

I dagens samfunn med store globale miljøutfordringer kreves det drastiske tiltak for å redusere klimafarlige utslipp. Bygg- og anleggsbransjen er en stor produsent av miljøfiendtlige gasser og har derfor mye å hente på endring og optimalisering av produksjon og drift. Samfunnet har stadig større fokus på klima og det er viktig for en entreprenør å kunne tilby grønne løsninger for å møte kundens krav. Å levere gode miljømessige produkter og tjenester er derfor ikke bare etisk korrekt, men kan også gi et konkurransefortrinn for bedriftene som klarer å redusere sitt klimaavtrykk.

### CONSTO SER PÅ GRØNNE LØSNINGER

Consto AS er bevisst på dette når de bygger den nye verkstedhallen for studieretningen Teknikk og industriell produksjon på Skjetlein Videregående skole ved Trondheim. De har valgt å utføre den ca. 1080m<sup>2</sup> store hallen,



PROSJEKTERING AV VERKSTEDHALLEN PÅ SKJETLEIN, CONSTO AS

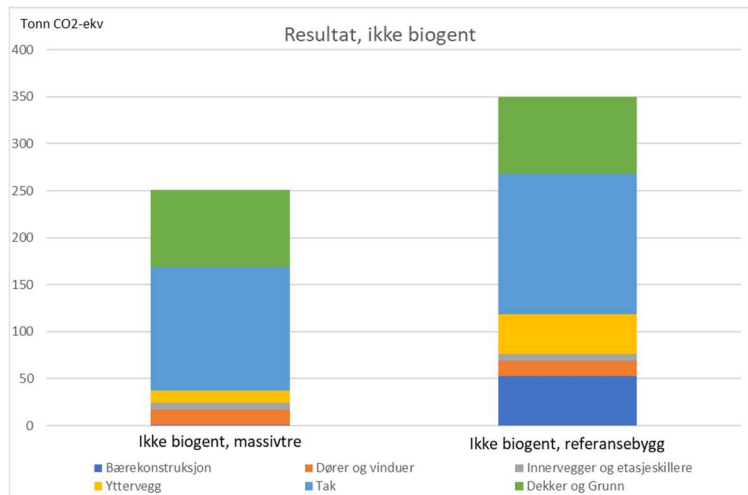
blant annet inneholder klasserom, garderober, sveiserom og en vaskehall, i massivtre. Dette er et av de første byggene Consto Midt-Norge velger å bruke massivtre og limtre for. Dette vil gi mer erfaring og kunnskap på området. I den sammenheng har Consto engasjert studenter fra NTNUs bygg- og anleggslinje til å skrive en bacheloroppgave på klimaregnskapet for bygget samt på de klimamessige fordelene og ulempene et slik valg av materialet har kontra et referansebygg utført med bæring i stål og vegger og tak i sandwichelementer.

## REGNSKAPSPROSESSEN

For å kunne utføre en slik analyse er man avhengig av å finne miljødata på de produktene som medgår i bygget. Å ta ut materialer og mengder gjøres forholdsvis enkelt med dagens BIM-verktøy og tegninger. Utfordringen med et slikt regnskap er å finne utslippsdata på alle produktene da det ikke er et krav til leverandører om at de må ha dette på sine produkter. I tillegg er det veldig viktig for å få et tallmateriale som har kredibilitet og kan sammenlignes med andre bygg/konstruksjoner at det regnskapet utføres i henhold til standard og med riktig grunnlag hva gjelder mengder, materialer, utslipp og faser i livsløpsanalysen (LCA). I dette prosjektet ble det fokusert på fasene A1 til og med A3 som innebærer innhenting og bearbeiding av materialer samt transport (A4) av disse fram til byggeplass. Dette gir da ikke et helhetlig bilde av miljøutslippene, men sier derimot noe om hvor miljøvennlige produktene er å fremstille.

## MASSIVTRE GRØNNERE ENN STÅL

Resultatene fra oppgaven viser tydelig at trevirke medregnet fasene produksjon og transport av materialer, har en betydeleg klimamessig fordel målt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Resultatene i studien viser at det totale ikke-biogene resultatet endte på ca 250 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Ved et ikke-biogen regnskap tas det ikke hensyn til det positive miljøbidraget tre har ved fotosyntese og karbonbinding. Ved bruk av massivtre gir dette en reduksjon i utslippet på 28%, sammenlignet med referansebygget. Dette er tall av betydning som utgjør en forskjell for miljøet. En svakhet i prosjektet er at man ikke ser på hele livsløpet. Studien gir allikevel grunnlag for å påstå at det globale oppvarmingspotensialet for bygg prosjektert i massivtre er lavere enn for tilsvarende bygg prosjektert i stål.



DIAGRAMMET VISER UTSLIPPSFORSKJELLENE MÅLT I KG CO<sub>2</sub> VED BRUK AV MASSIVTRE OG STÅL PÅ CONSTOS PROSJEKT VED SKJETLEIN VGS