



# Bacheloroppgave

**IB303312 Bacheloroppgave byggingeniør**

**Sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre.**

Kandidatnummer: 10023, 10035 og 10045

Antall sider inkludert forsiden:

Dokument tilgang: Åpen, men noe informasjon er ikke delt i dokumentet.

Levert Ålesund, 20 mai 2020

TITTEL: Sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre.
---

KANDIDATNUMMER(E): <b>10023</b> <b>10035</b> <b>10045</b>			
DATO: 20.05.20	EMNEKODE: IB303312	EMNE: Bacheloroppgave	DOKUMENT TILGANG: Noe begrenset
STUDIUM: Bachelor ingeniør - bygg		ANT SIDER/VEDLEGG: 100/115	BIBL. NR:

VEILEDER(E) : Kristian Normann – Intern – NTNU Ålesund Tor Laxaa – Ekstern – Åsen og Øvrelid
--

SAMMENDRAG: <p>I dette prosjektet skal det dimensjoneres fagverk, i limtre og stål, over gymsalen til Kolvikbakken ungdomsskole. Det er gjort en beregning av miljøutslipp av LCA, fase A1-A4, og samlet erfaring fra byggebransjen om bruken av de to bæresystemene gjennom intervjuer.</p> <p>Fagverket går over et spenn på 25.8 meter. På grunn av dimensjoner på lett-tak, som plasseres over fagverkene, trenger man 10 fagverk på langsiden av gymsalen. Fagverkene er beregnet både for hånd og i EUROCODEExpress. Etter gjennomføring av dimensjonering kom fagverket i limtre dårlig ut, grunnet de store dimensjonene på tverrsnittene som var nødvendig for å opprettholde krav til nedbøying. Fagverket i limtre ble for høyt, slik vi har løst oppgaven, og vil i praksis ikke kunne benyttes for Kolvikbakken ungdomsskole. Fagverket i stål er innenfor krav til nedbøying, OK etter gjennomført kontroll, og en mulig løsning for spennet over gymsalen.</p> <p>Miljøutslippene for de to bæresystemene baserer seg på forhold A1-A4 i en LCA. Fasene tar for seg miljøutslipp fra produksjon av materiale til levering på byggeplass. Etter å ha gjennomført beregningene, basert på tilgjengelige EPD-er, fant vi at samlet GWP for bæresystemet i massivtre var -1407405.83 kg CO2-eq og 904362.93 kg CO2-eq for det tradisjonelle bæresystemet. Det er bæresystemet av massivtre som kommer best ut på miljøaspektet hvor det tar opp 1407,4 tonn CO2-eq i bæresystemet.</p> <p>Det ble gjennomført tre intervjuer i prosjektet hvor vi intervjuet prosjektledere med erfaring fra byggeprosjekter med både tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre. Intervjuene tok utgangspunkt i arbeidsomfang, tid og kostnader relatert til de to bæresystemene. Ikke uventet kom det frem i intervjuene at store spenn er utfordrende med bæresystem av massivtre, noe som vi også har vist i vår dimensjonering av fagverk over et større spenn.</p>
--

*Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.*

## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input type="checkbox"/> x
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul>	<input type="checkbox"/> x
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <b>betrakte som fusk</b> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høyskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§4-7 og 4-8 og <a href="#">Forskrift om eksamen</a> §§14 og 15.	<input type="checkbox"/> x
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se <a href="#">Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver</a>	<input type="checkbox"/> x
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter <a href="#">høgskolens studieforskrift §31</a>	<input type="checkbox"/> x
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av <a href="#">kilder og referanser på biblioteket sine nettsider</a>	<input type="checkbox"/> x

## Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20

Veileder: Kristian Normann (intern) og Tor Laxaa (ekstern)

### Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjennelse.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å  
gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja  nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja  nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja  nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja  nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 20.05.20

## FORORD

Som fremtidige byggingeniører ønsket vi å gjøre en bacheloroppgave som var fremtidsrettet og relevant for vår spesialisering – konstruksjonsteknikk. Før vi fikk oppgaven med Kolvikbakken ungdomsskole av Åsen og Øvrelid, diskuterte vi at en sammenligning av et bygg i to forskjellige byggematerialer kunne være en interessant oppgave.

I prosjektet *sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre*, fikk vi mulighet til å bruke skoleutdanningen for dimensjonering av fagverk og lære mye nytt om miljøutslipp i byggebransjen. Det har vært en lærerik prosess hvor vi har fått en helt ny forståelse for vårt eget fagfelt og et nytt syn på hva vi kan vente oss i arbeidslivet.

Det har vært mange som har bidratt til at prosjektet kunne gjennomføres, og vi må rette en stor takk til ekstern veileder, Tor Laxaa, Åsen og Øvrelid-mannskapet, alle som har vært behjelpelige med å sende oss EPD-er og til de som har latt seg intervjuet fra forskjellige bedriftene.

Vi vil også rette en takk til Lala Nilsen, universitetslektor ved NTNU Ålesund, for alltid å være behjelpelig med tekniske tegneprogram.

Til slutt vil vi takke intern veileder, Kristian Normann, universitetslektor ved NTNU Ålesund, for veiledning, tålmodigheten og støttende ord de siste 5 månedene.

20.mai 2020, Ålesund



Sander H. Garberg



Aparna Jeyendran



Sara Åsnes Sagild

## **INNHOLD**

<b>OBLIGATORISK EGENERLÆRING .....</b>	<b>3</b>
<b>PUBLISERINGSAVTALE .....</b>	<b>4</b>
<b>FORORD .....</b>	<b>5</b>
<b>TABELL- OG FIGURDOVERSIKT .....</b>	<b>10</b>
<b>FORMELOVERSIKT .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>TERMOLOGI .....</b>	<b>16</b>
<b>BEGREPER .....</b>	<b>16</b>
<b>NOTASJON .....</b>	<b>16</b>
<b>SYMBOLER .....</b>	<b>16</b>
<b>FORKORTELSER .....</b>	<b>16</b>
<b>1    INNLEDNING .....</b>	<b>17</b>
<b>2    TEORITISK GRUNNLAG .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.  Fagverk .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1    BYGGEMATERIALER .....</b>	<b>18</b>
2.1.1.1    Massivtre .....	18
2.1.1.2    Betong .....	19
2.1.1.3    Fasthetsklasser .....	19
2.1.1.4    Armeringsstål .....	20
2.1.1.5    Stål .....	20
<b>2.1.2    DIMENSJONERING .....</b>	<b>21</b>
2.1.2.1    Nyttelast .....	21
2.1.2.2    Permanente laster .....	22
2.1.2.3    Snølast .....	23

2.1.2.4	Vindlast .....	23
2.1.2.5	Bruddgrensetilstand .....	24
2.1.2.6	Bruksgrensetilstand .....	24
2.1.3	BYGNINGSELEMENTER .....	25
2.1.3.1	Søyle .....	25
2.1.3.2	Bjelke .....	25
2.1.3.3	Etasjeskiller .....	26
2.1.3.4	Hulldekke .....	26
2.1.3.5	Tak .....	28
2.1.3.6	Lett- tak .....	28
2.1.3.7	Fundament .....	29
2.1.4	AVSTIVNINGSSYSTEM .....	30
2.1.4.1	Skivesystem .....	30
2.1.4.2	Horisontale skiver .....	30
2.1.4.3	Vertikale skiver .....	31
2.1.5	DATAPROGRAMMER .....	31
2.1.5.1	AutoCAD .....	31
2.1.5.2	Revit .....	32
2.1.5.3	EUROCODExpress .....	32
2.1.5.4	Microsoft projects .....	33
2.1.5.5	Microsoft Teams .....	33
2.1.5.6	MatCAD .....	34
2.1.5.7	EndNote .....	34
2.1.5.8	Google sketchUp .....	34

<b>2.2</b>	<b>Miljøaspekt</b> .....	<b>34</b>
2.2.1	LCA- LIVSLØPSANALYSE .....	34
2.2.1.1	Livsløpsmoduler og levetid .....	35
2.2.2	EPD - Environmental Product Declaration – Miljødeklarasjon .....	36
2.2.2.1	GWP-Global Warming Potential .....	36
<b>2.3</b>	<b>Intervju</b> .....	<b>37</b>
2.3.1	KVANTITATIV METODE .....	37
2.3.2	KVALITATIV METODE .....	37
2.3.2.1	SDI- stegvis deduktiv induktiv metode .....	38
2.3.2.2	Deduktiv metode .....	38
2.3.2.3	Induktiv metode .....	39
2.3.2.4	Dybdeintervju .....	39
2.3.2.5	Utvalg .....	39
2.3.2.6	Intervjuguide struktur .....	39
2.3.3	BEGREP .....	40
2.3.4	ANONYMISERING .....	40
2.3.5	INDUKTIV KODING .....	42
2.3.6	INTERVJU GRUNNLAG .....	42
<b>3.</b>	<b>METODE</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Fagverk</b> .....	<b>44</b>
3.1.1	DATA .....	44
3.1.2	GENERELT .....	44
3.1.3	EUROCODExpress .....	46
3.1.3.1	Fagverk limtre .....	46



3.1.3.2	Fagverk stål .....	47
3.1.4	DIMENSJONERING FOR HÅND .....	48
3.1.4.1	Formler .....	49
<b>3.2</b>	<b>Miljøaspekt .....</b>	<b>58</b>
3.2.1	A1-A3- UTSLIPP VED PRODUKSJON .....	59
3.2.2	A4- UTSLIPP VED PRODUKSJON .....	60
3.2.2.1	Bæresystem av massivtre .....	60
3.2.2.2	Tradisjonelt bæresystem .....	63
<b>3.3</b>	<b>Intervju .....</b>	<b>68</b>
3.3.1	GODKJENNING AV NSD .....	68
3.3.2	HENSIKT MED INTERVJU .....	68
3.3.3	BEGRUNNING AV SPØRSMÅL .....	68
3.3.4	UTVALG .....	69
3.3.5	GJENNOMFØRING AV INTERVJU .....	70
3.3.6	ANONYMISERING .....	70
3.3.7	KODING .....	70
<b>4.</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1</b>	<b>Fagverk .....</b>	<b>71</b>
4.1.1	BÆRESYSTEM AV MASSIVTRE .....	72
4.1.2	TRADISJONELT BÆRESYSTEM .....	74
<b>4.2</b>	<b>Miljøaspekt .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3</b>	<b>Intervju .....</b>	<b>80</b>
4.3.1	ARBEIDSOMFANG .....	80
4.3.2	TID .....	82

4.3.3	KOSTNADER/ØKONOMI .....	83
<b>5.</b>	<b>DRØFTING .....</b>	<b>85</b>
5.1	Fagverk .....	85
5.2	Miljøaspekt .....	86
5.3	Intervju .....	93
<b>6.</b>	<b>KONKLUSJON .....</b>	<b>96</b>
<b>7.</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>97</b>
	<b>VEDLEGG .....</b>	<b>101</b>

## TABELL- OG FIGUROVERSIKT

### Tabelloversikt

Tabell 1	Fasthetsklasser: normalbetong og tungbetong	20
Tabell 2	Karakteristiske nyttelaster på gulv	22
Tabell 3	Formfaktorer for saltak, pulttak og sagtak	23
Tabell 4	Prinsipiell beregningsgang ved partialfaktormetoden	24
Tabell 5	Lastfaktorer $\gamma$ inkludert $\psi$ -faktorer for bruksgrensetilstanden	25
Tabell 6	Vekter og anbefalte spennvidder for hulldekker	27
Tabell 7	Eurokodestandarder etter NS-EN	33
Tabell 8	Lastfaktoren $\gamma$ inkludert kombinasjonsfaktorer ( $\xi$ og $\psi$ )	45
Tabell 9	Elementbetegnelser, egenlast og tykkelser for standard elementtyper, lett-tak	46
Tabell 10	Last-verdier for fagverk i stål	48
Tabell 11	Last-verdier for fagverk i limtre	49
Tabell 12	Gyldighetsområde for sveiste knutepunkter mellom stegstaver med hulprofiler og gurter med hulprofiler	52
Tabell 13	GWP-faktorer A1-A3 fra EPD	59
Tabell 14	GWP for Massivtre, produksjonsfase	59

Tabell 15	GWP for Tradisjonell, Produksjonsfase	59
Tabell 16	Transport A4 massivtre (eksakte tall for antall kjøretøy)	61
Tabell 17	Transport A4 B35 (eksakte tall for antall kjøretøy)	62
Tabell 18	Transport A4 armeringsstål (massivtre)	62
Tabell 19	GWP for bæresystem i massivtre, transport (A4) delvis utnyttet.	63
Tabell 20	GWP for bæresystem i massivtre, transport (A4) Fullt utnyttet.	63
Tabell 21	Transport A4 B30 (eksakte tall for antall kjøretøy)	64
Tabell 22	Transport A4 B35 (eksakte tall for antall kjøretøy)	64
Tabell 23	Transport A4 Armeringsstål (tradisjonell)	65
Tabell 24	Transport A4 (eksakte tall for antall kjøretøy)	66
Tabell 25	Sum transport for Hulldekke, A4, tradisjonelt bæresystem	67
Tabell 26	GWP for tradisjonelt bæresystem, transport (A4), delvis utnyttet.	67
Tabell 27	GWP for tradisjonelt bæresystem, transport (A4) fullt utnyttet.	67
Tabell 28	GWP for bæresystem i massivtre delvis utnyttet	77
Tabell 29	GWP for bæresystem i massivtre fullt utnyttet	78
Tabell 30	GWP for tradisjonelt bæresystem delvis utnyttet	78
Tabell 31	GWP for tradisjonelt bæresystem fullt utnyttet	79

## **Figuroversikt**

Figur 1	Orienterende bæreevne av hulldekke	27
Figur 2	Takstoltyper	28
Figur 3	Oppbygging av lett-tak	29
Figur 4	Forankring av Hulldekker på DLB og LB bjelker	31
Figur 5	Livsløpstrinn og informasjonsmoduler for bygningsvurdering	35
Figur 6	Sammenheng mellom styringsvariabler og rammebetingelser	43
Figur 7	Utklipp fra EUROCODExpress for fagverk av limtre	47
Figur 8	Utklipp fra EUROCODExpress for aksialkrefter i fagverket av stål	48
Figur 9	Knekkurver	50

Figur 10	Løsning bjelkelag, stål	71
Figur 11	Løsning bjelkelag, massivtre	71
Figur 12	Utklipp fra EUROCODEExpress som viser nedbøyning for fagverket i limtre.	72
Figur 13	Tverrsnitt staver, limtre.	72
Figur 14	Tverrsnitt over- og undergurt, limtre.	73
Figur 15	Utklipp fra EUROCODEExpress som viser nedbøyning for fagverket i stål	74
Figur 16	Tverrsnitt overgurt, stål	75
Figur 17	Tverrsnitt undergurt, stål	75
Figur 18	Tverrsnitt staver, stål	76
Figur 19	Total GWP for bæresystemene, prosentvis	79
Figur 20	Total GWP for bæresystemene.	80
Figur 21	Total GWP for bæresystemene.	86
Figur 22	GWP Massivtre, A1-A3.	87
Figur 23	GWP Tradisjonell, A1-A3.	87
Figur 24	GWP massivtre, transport A4 fullt utnyttet.	88
Figur 25	GWP massivtre, transport A4 delvis utnyttet	89
Figur 26	GWP tradisjonell, transport A4 fullt utnyttet.	89
Figur 27	GWP tradisjonell, transport A4 delvis utnyttet	90
Figur 28	GWP for A1-A3 satt opp mot A4, massivtre.	92
Figur 29	GWP for A1-A3 satt opp mot A4, tradisjonell.	92

## FORMELOVERSIKT

FORMEL 1	Beregning av karakteristisk snølast på mark over referansehøyde	49
FORMEL 2	Bestemmelse av faktoren « n »	49
FORMEL 3	Jevnt fordelt last	49
FORMEL 4	Relativ slankhet	50
FORMEL 5	Kapasitetsformel for stav med aksiallast og moment	50

FORMEL 6	Forsterkningsfaktor	51
FORMEL 7	Forholdet mellom fagverkets staver og gurter	51
FORMEL 8	Eksentrisiteten i sveiste knutepunkt	51
FORMEL 9	Kontrollformel for momenter som oppstår grunnet eksentrisitet	51
FORMEL 10	Dimensjonerende aksialkapasitet for brudd i gurtflens i knutepunkt	53
FORMEL 11	Spenningsforhold for gurter med HUP	53
FORMEL 12	Faktor for beregning av kapasitet til stav i knutepunkt	53
FORMEL 13	Forhold mellom gurtbredde og to ganger veggtykkelsen	53
FORMEL 14	Dimensjonerende aksialkapasitet til diagonalstav for skjærbrudd, gurtvegg i knutepunkt	53
FORMEL 15	Skjærarealet til gurt	53
FORMEL 16	Faktor for bestemmelse av gurtens skjærareal	53
FORMEL 17	Dimensjonerende aksialkapasitet for gurt, skjærbrudd i gurtvegg	54
FORMEL 18	Dimensjonerende plastisk skjærkapasitet	54
FORMEL 19	Dimensjonerende aksialkapasitet for brudd i stegstav i knutepunkt	54
FORMEL 20	Effektiv bredde til stegstav i koblingen med gurt	54
FORMEL 21	Dimensjonerende aksialkapasitet for gjennomlokking av stav ved knutepunkt	54
FORMEL 22	Effektiv bredde ved gjennomlokking	54
FORMEL 23	Skjærspenning i sveisens lengderetning	55
FORMEL 24	Skjærspenning i sveisens lengderetning	55
FORMEL 25	Resultantspenning for sveis	55
FORMEL 26	Normalspenning og skjærspenning på sveis	55
FORMEL 27	Skjærspenning	55
FORMEL 28	Minimum motstandsmoment	55
FORMEL 29	Dimensjonerende aksialkapasitet	55
FORMEL 30	Relativ slankhet i z-retning	56
FORMEL 31	Slankhetsfaktor	56
FORMEL 32	Knekkingsfaktor	56

FORMEL 33	Minste nødvendige areal til belastet stav	56
FORMEL 34	Minste høyde for belastet stav	56
FORMEL 35	Slankhet om y-aksen	56
FORMEL 36	Slankhetsfaktor om y-aksen	57
FORMEL 37	Knekkingsfaktor om y-aksen	57
FORMEL 38	Dimensjonerende materialfasthet	57
FORMEL 39	Høydefaktor	57
FORMEL 40	Dimensjonerende materialtrykkfasthet	57
FORMEL 41	Dimensjonerende spenning	57
FORMEL 42	Dimensjonerende trykkfasthet	57
FORMEL 43	Spenningskontroll	57
FORMEL 44	Skjærkontroll	57
FORMEL 45	Relativ slankhet om y-akse	58

## **ABSTRACT**

The project gives a comparison of a structural system in traditional materials and a CLT structural system. For the comparison, Kolvikbakken secondary school is reference, for the wide span truss of steel and CLT. A LCA have been calculated for phases A1-A4, and interviews gathering experience from project leaders working with both structural systems have been made.

The wide span ranges 25.8 meter and, due to the roof construction above the trusses, sets the number of trusses needed in both constructions to 10 in total. The structural design of both trusses has been calculated by hand and checked in EUROCODEExpress. For the CLT truss the elevation is too high because of oversized dimensions of the cross sections needed to reach approval for deflection, and it fails the structural needs to be approved for use at Kolvikbakken secondary school. The steel truss is both within structural demands and maximum deflection and is therefore an option for solving the challenge with the wide span.

In the LCA we used EPDs for the different elements to calculate the total GWP for the two structural systems. A1-A4 represents the phases from production to delivery at construction site. For these phases, the total GWP for the traditional structural system was 904362.93 kg CO<sub>2</sub>-eq and -1407405.83 kg CO<sub>2</sub>-eq for the CLT structural system. Keeping in mind that A1-A4 does not represent the entire LCA of either structural systems, for the phases A1-A4 the CLT structural system is the most environmental conscious option.

In the interviews we focused on workload, time, and resources (financial) when doing projects with the two structural systems. The informants were all project leaders that had experience with both structural systems. They all commented that the major challenge with CLT structural systems was the wide spans, something our calculations also show.

## TERMINOLOGI

### *Begreper*

CC	avstand fra senter til senter
NS- EN	Norsk Standard
Limtre	kan brukes for massivtre
Kg CO2-eq	en mengde miljøutslipp gjort om til tilsvarende mengde i kilo CO2

### *Notasjon*

N	Newton
kN	Kilonewton
kN/m	Kilonewton per meter
kN/m <sup>2</sup>	Kilonewton per kvadratmeter
kNm	Kilonewtonmeter
N/mm <sup>2</sup>	Newton per kvadratmillimeter
Nmm	Newtonmillimeter

### *Symboler*

$\Pi$	3.14
-------	------

### *Forkortelser*

CAD:	Computer aided design
LCA:	Life cycle assessment
EPD:	Environmental Product Declaration
WBS:	Work breakdown structure
CLT:	Cross laminated timber
HD:	Hulldekke
CLT	Cross Laminated Timber, kan brukes for massivtre
LCA	Life Cycle Assessment – livsløpsvurdering
GWP	Global Warming Potential – Global oppvarmings potensiale
NSD	Norsk Senter for forskningsdata
SDI	Stegvis deduktiv induktiv metode



## 1. INNLEDNING

I denne oppgaven er Kolvikbakken ungdomsskole utgangspunkt for en sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre. Prosjektet er tredelt, hvor vi gjennomfører dimensjonering av fagverk over et større spenn, beregner miljøutslippene til bæresystemene og gjennomfører intervju med prosjektledere om deres erfaringer med bæresystemene.

Fagverket dimensjoneres for spennet over gymsalen. Formålet med dimensjoneringen er å se om bruk av tre-materialer er en mulig løsning, og hvilket materiale som gir mest gunstig løsning. Det blir også gjennomført en beregning av miljøutslipp på de to bæresystemene. Her ser vi på miljøutslipp fra produksjon av materialene frem til levering på byggeplass. Hva er det mest miljøbevisste materialvalget for Kolvikbakken ungdomsskole i disse fasene?

## 2. TEORETISK GRUNNLAG

### 2.1 Fagverk

Konstruksjoner som kun er bygd opp av aksialstaver kalles fagverk. Fagverk er en konstruksjonstype som blir mye brukt fordi den utnytter materiale på en svært effektiv måte (Meccanica, n.d). Et ideelt fagverk er en konstruksjon som består av staver som er bundet med hverandre i ledd, dette kalles for noder eller knutepunkt og alle ytre krefter virker i leddene. De øvre og nedre begrensingene av et fagverk kalles overgurt og undergurt (Store norske leksikon, 2019). Fagverk egner seg godt til bruk ved store spennvidder, for eksempel i broer og takkonstruksjoner. Grunnen til dette er at fagverk har høy bæreevne i forhold til vekten. Stavene kan være av ulike materiale som tre, stål, betong og aluminium.

## 2.1.1 BYGGEMATERIALER

### 2.1.1.1 Massivtre

Trevirke er en del av det naturlige økosystemet. Massivtre består av sammenkoblede lag av treplanker, her er hvert lag snudd vinkelrett på det underliggende (TreFokus).

Massivtre blir ofte betegnet som CLT, som kommer fra Cross Laminated Timber. CLT-elementer er lameller som er satt sammen til elementer ved bruk av spiker, stålstag, tredybler, skruer eller lim. Massivtre har stor styrke og kan brukes i bærende gulv, vegger og tak i høye bygg. Gran, lerk og furu er de mest brukte treslagene til produksjon av CLT-elementer. Elementenes tykkelse og antall sjikt kan variere avhengig av elementets bruksområde og funksjon. Elementene kan produseres med en tykkelse på mellom 60mm og 320 mm. Lengden kan være oppimot 16m. Antall sjikt kan variere mellom 3 og 9. Elementene blir presset sammen etter at det limes mellom hvert lag, slik at limet blir jevnt fordelt (Stora Enso, CLT). Etter hvert vil man gå over elementet igjen for å se om ytterlige overflatebehandling er nødvendig.

CLT-elementene deles inn i følgende hovedtyper (TreFokus):

#### **Kantstilte elementer:**

Elementer som er satt sammen av lameller (stående planker). Forbindelsesmiddel i disse elementene er skruer, lim, spiker, stålstag og tredybler.

#### **- Krysslagte elementer:**

Elementer som er satt sammen av lameller (planker) i flere sjikt. Vanligvis er sjiktene lagt 90 eller 45 grader i forhold til hverandre. Forbindes med lim eller tredybler.

#### **- Hulromselementer:**

Hulromselementer kommer i mange varianter. Det som er felles for dem er at de har et hulrom mellom et øvre- og nedre massivtre element.

CO<sub>2</sub> lagring i tre foregår gjennom fotosyntesen, ved at trevirke benytter CO<sub>2</sub> fra atmosfæren og binder karbonatet i selve trevirket (TreFokus, Lille Grønne). Karbonen lagres deretter i treproduktet til det blir frigjort gjennom nedbrytning eller forbrenning.

### 2.1.1.2 Betong

Betong er i volum den mest benyttede byggemateriale i vår tid (Sandaker, Sandvik, & Vik, 2017a).

Fremstilling av betong skjer ved å blande delmaterialene sement, tilslagsmaterialer (stein og sand), vann og eventuelle tilsetningsstoffer og materiale i et bestemt forhold.

Betongkonstruksjoner har lang levetid og beholder sin styrke og form gjennom hele byggets livsløp uten at det krever store vedlikeholdsarbeid. Betong har god styrke, vanntetthet og baranmotstandsevne. Bruksområdene til betong varierer fra plasstøpte konstruksjon som veier, broer, tunneller og demninger. Betong blir også brukt til prefabrikkerte betongelementer som vegg- og dekkeelementer, mur- og takstein og rør.

Betong der det er gjort tiltak på for å begrense klimautslippet kalles for lavkarbonbetong (Hokksund Betong, Lavkarbonbetong). Her er klimautslippet gitt i CO<sub>2</sub> - ekvivalenter. Det brukes tre ulike nivåer for å beskrive de ulike grensene for klimagassutslippene til lavkarbonbetong.-

- Lavkarbon A: dette er den strengeste klassen, som krever bruk av regel for spesielle tiltak
- Lavkarbon B: denne kan oppnås med ordinære resepttekniske tiltak
- Lavkarbon C: kan oppnås med enkle resepttekniske tiltak.

Klassene er definer i NS-EN 206, den definerer grenseverdien for deklarererte klimautslipp for et utvalg av kombinasjoner av fasthetskalsser og bestandighetskalsser.

### 2.1.1.3 Fasthetsklasser

Den maksimale belastningen eller spenning et prøvelegement kan påføres ved en standardisert prøvingsmetode før sammenbrudd (prøvefasthet), kalles fasthet. Betongens fasthet bestemmes som regel på utstøpte prøvestykker ved en alder på 28 døgn etter lagring i vann ved ca.20 °C. Betongen deles inn i ulike fasthetsklasser etter dokumentasjon av karakteristisk trykkfasthet for et bestemt antall prøvelegemer fra hver betongresept (Sandaker, Sandvik, & Vik, 2017b). Ved prosjektering av betongkonstruksjoner rettes det mest fokus på betongens fasthetsegenskaper da det er dette som først og fremst bestemmer konstruksjonens bæreevne.

Betongkvaliteten som er mest benyttet i dag er B30. B30 brukes blant annet til vegger, dekke og gulv i bygg.

Tabellen under viser en oversikt over ulike fasthetsklasser for normal betong

Fasthetsklasse NS	B10	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65	B75	B85	B95
CEN-betegnelse		C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C55/67				
Karakteristisk sylindrefasthet $f_{ck}$	10	20	25	30	35	45	55	65	75	85	95
Karakteristisk terningfasthet $f_{ck}^{1)}$	12	25	30	37	45	55	67	80	90	100	110
<sup>1)</sup> For fasthetsklasse B55 og høyere kan andre verdier benyttes hvis forholdet mellom disse og referansefastheten for sylindere er etablert med tilstrekkelig nøyaktighet og dokumentert for den aktuelle betongsammensetningen											

Tabell 1: Fasthetsklasser: normalbetong og tungbetong

#### 2.1.1.4 Armeringsstål

Armeringsstål er stålstenger med sirkulært tverrsnitt, som støpes inn i betong, primært for å oppta strekkrefter. Armering er den viktige bestanddelen i betongkonstruksjoner (Thue, 2019). Armeringsstål må benyttes i de deler av betongkonstruksjonen som utsettes for strekk. Størstedelen av armeringsstål som benyttes i dag, er kamstål. Kamstålet finnes i to kvaliteter som blir betegnet med B500B og B500C. Spennarmeringen i konstruksjonen utføres av kaldtrukket trådstål i stedet for varmvalset stål. Kaldtrekkingen er med på å øke fastheten til det vanlige armeringsstålet. Armeringsstålet leveres som preformede bøylor, rette stenger, spiraler, ferdigsveidede enheter og sveisede nett av kaldtrukket stål.

#### 2.1.1.5 Stål

Stål blir brukt som bærende konstruksjoner i mange forskjellige sammenhenger, for eksempel bruer, skolebygg, skips bygg oljeplattform osv. Fremstilling av stål skjer igjennom raffinering av råjern gjennom fire forskjellige trinn (Christensen & Almar-Næss, 2009). Fersking, desoksidasjon og legering, utstøping og valsing. I dagens byggindustri benyttes et konstruksjonsstål som i hovedsak består av jern, karbon og andre grunnstoffer som tilsettes for å fremme egenskapet til stålet i konstruksjonsmessige sammenheng.

Stål er et mye brukt bygningsmateriale med gode styrkeegenskaper som kan benyttes i konstruksjoner med store spennvidder. Stålet kan levers i mange ulike elementer og former

som gjør at det er et fleksibelt materiale og mer attraktiv for bruk. Stål blir ofte benyttet i tynne og slanke konstruksjonselementer der andre elementer ikke er så godt egnet. Siden det er mulig å få prefabrikkerte elementer som monteres på arbeidsplassen, gir dette en kortere byggetid. I stålkonstruksjoner benyttes det som oftest sveiseforbindelser eller bolt eller en kombinasjon av disse.

Grønt stål er klimakompensert, begrepet klimakompensasjon innebærer det at, en viss mengde klimagassutslipp målt i tonn karbondioksidekvivalenter som ikke er mulig å redusere internt, trenger tiltak utenfor egne virksomheter for å få til en reduksjon. Plan Vivo- sertifisert treplanteprosjekt og motvirkning av avskoging som foregår i Bolivia ved hjelp av et selskap kalt Zero Mission. bidrar til å redusere utslippene og absorbere karbondioksid fra atmosfæren (Anleggsmagasinet).

## 2.1.2 DIMENSJONERING

### 2.1.2.1 Nyttelast

Nyttelasten omfatter alle øvrige laster på konstruksjonene som skyldes bruken av konstruksjonen (Tesse, 2009). Nyttelasten i bygninger vil normalt bestå av personlaster, møbler, maskiner og unormale laster som opptrer i korte perioder. De karakteristiske nyttelastene i institusjonsbygg, boligbygg og forretningsbygg består av en jevnt fordelt last  $q_k$  og en punktlast  $Q_k$ , med verdier som avhenger av ulike type bygg. Dimensjonerende nyttelast for forskjellige bygningstyper er fastsatt i Norsk Standard (NS 3479). Verdiene er gitt i tabellen under.

Kategori	Bruk	Eksempler	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN)
A	Arealer for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter	Rom i boligbygg og hus; rom og avdeliger i sykehus; soverom i hoteller og gjestgiverier; kjøkken og toaletter.		
		- Gulv	2,0	2,0
		- Trapper	3,0	2,0
		- Balkonger	4,0	2,0
		- Loft med liten takhøyde eller begrenset adgang	1,0	1,5
B	Kontorarealer		3,0	2,0
C	Arealer hvor personer kan samles (med unntak av arealer som er definert i kategori A, B, D og E)	Arealer med bord, for eksempel i skoler, kafeer, restauranter, spisesaler, leserom, resepsjoner. .... C1	3,0	4,0
		Arealer med faste seter, for eksempel arealer i kirker, teatre, kinosaler, konferanserom, forelesningssaler, forsamlingsaler, venterom og lignende. .... C2	4,0	4,0
		Arealer uten hindringer for personer i bevegelse, for eksempel arealer i museer, utstillingsrom, ankomstområder i offentlige bygg, administrasjonsbygg, hoteller .... C3	5,0	4,0
		Arealer med mulige fysiske aktiviteter, for eksempel dansesaler, gymnastikkrom, scener og lignende .... C4	5,0	7,0
		Arealer som lett overfylles, for eksempel i bygg for offentlig bruk som konsertsaler, idrettshaller inklusive tribuner og atkomstområder, utendørs idrettsanlegg .... C5	5,0	4,0
D	Forretningsarealer	Arealer i detaljhandel, varehus, bok- og papirhandel ... D1	5,0	4,0
		Arealer belastet med pallet papir og lignende ..... D2	5,0	7,0
E	Arealer for oppsamling av varer, innbefattet ankomstområder	Arealer for oppbevaring, innbefattet biblioteker. .... E1	7,5	7,0

Tabell 2: Karakteristiske nyttelaster på gulv

### 2.1.2.2 Permanente laster

Permanent last, er en last som virker med samme verdi og på samme sted på konstruksjonen over en lengre periode (Rørvik, 2010). Eksempler på permanentlast er laster som egenlast og jordtrykk. Tyngden av ulike konstruksjonene og ulike konstruksjonsdeler som hviler på denne kaller vi egenlast. Egenlasten gir oss en veldefinert tyngde av tverrsnittdelene med en kjent geometri, så denne lasttypen vil kunne fastlegges med forholdsvis stor nøyaktighet. Derfor behøver ikke lastfaktoren  $\gamma$  for permanente laster å være så stor som for variable laster.

### 2.1.2.3 Snølast

Snølast er med på å utgjøre en ekstra påkjenning på takkonstruksjonen. I det nasjonale tillegget i NS-EN-1991-1-1-3 er det listet opp karakteristisk snølastdata på mark i forskjellige geografiske områder i Norge (Standard Norge, 2008). Grunnverdien for snølasten i Ålesund er  $S_{k0} 3,0 \text{ kN/m}^2$

Dimensjonering for snølast tar utgangspunkt for hver enkelt kommunes 50 års last. Her blir det tatt hensyn til ulike takutforminger i dimensjonene. Dersom snølasten blir større enn det taket er dimensjonert for, må det settes i verk tiltak for å unngå store mengder med snø.

Montering av snøfanger hindrer snø fra å rase ned og vil på den måten kunne bidra til å øke snølasten. Ut ifra tabell 3. under kan man, med hensyn på takvinkel finne formfaktoren  $\mu$ , for de ulike taktypene.

Formfaktor	Takvinkel		
	$0^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60^\circ - \alpha)/30^\circ$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8\alpha/30^\circ$	1,6	-

Tabell 3: Formfaktorer for saltak, pulttak og sagtak

(Årskog, 2003, s. 51)

Snølast på tak er gitt ved  $S = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$

$\mu$  = Formfaktor

$C_e$  = Eksponeringsfaktor

$C_t$  = Termisk faktor

$S_k$  = karakteristisk snølast på mark

### 2.1.2.4 Vindlast

Belastningen en bygningskonstruksjon utsettes for i sterk vind, defineres som vindlast (Knut Harstveit, 2009). En skiller mellom dynamisk vindlast der legemer kan ta opp turbulent energi, og kommer i svingninger og statisk vindlast der det ikke foregår vekselvirkninger mellom legemet og vinden. Det finnes standarder for hvilke vindlaster de ulike bygningskonstruksjonene skal tåle. Referansehastigheten for vind i Ålesund er gitt som  $V_b 29 \text{ m/s}$ .

### 2.1.2.5 Bruddgrensetilstand

Bruddgrensetilstand er en grensetilstand som definerer kapasiteten til hele konstruksjonen eller et konstruksjonselement. Kapasiteten er bestemt på grunnlag av hvor stor faren er for brudd eller av store uelastiske forskyvninger eller tøyninger som kan sammenlignes med brudd, synking eller kantring. Dimensjonering i bruddgrensetilstand består av å påvise at styrken (kapasiteten) tilsvarer minst den dimensjonerende påkjenning (lastvirkning).

Bruddgrensetilstand brukes som normal kontroll mot flyting i enkeltelementer og ikke mot total kollaps av konstruksjonen.

LASTSIDEN		MATERIALSIDEN	
Karakteristisk last	$F$	Karakteristisk materialfasthet	$f_k$
Lastfaktor	$\gamma$	Materialfaktor	$\gamma_M$
Dimensjonerende last	$F_{Ed}$	Dimensjonerende spenning	$f_d$
	$F_{Ed} = \gamma \cdot F$		$F_{Rd} = f_k / \gamma_M$
Lastvirkning:	$M_{Ed}$ $N_{Ed}$ $V_{Ed}$	Kapasitet:	$M_{Rd}$ $N_{Rd}$ $V_{Rd}$
Opptredende spenning	$\sigma_d$		

DIMENSJONERINGSKRITERIUM	
<i>Bruddkriterium:</i>	
a) Spenningskontroll: $\sigma_d \leq f_{Rd}$	
b) Kapasitetskontroll: $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ $N_{Ed} \leq N_{Rd}$ $V_{Ed} \leq V_{Rd}$	
<i>Brukskriterium:</i>	
Nedbøyninger, sprekker og liknende må holdes innen akseptable grenser.	

Tabell 4: Prinsipiell beregningsgang ved partialfaktormetoden

(Årskog, 2003, s. 10)

### 2.1.2.6 Bruksgrensetilstand

Bruksgrensetilstand brukes når konstruksjonens funksjonsdyktighet skal kontrolleres. Det gjelder for beregning av en konstruksjonsforskyvning. Det kan for eksempel være å beregne nedbøyningen av bjelke. Forskyvninger kan ha betydning for hvor lett en konstruksjon kommer i svingninger. For bruksgrensetilstand settes partialfaktorene lik 1,0, med mindre annet er gitt i NS-EN 1991 til NS-EN1999 (Larsen, 2008).



Lastkombinasjoner	Permanente laster	Dominerende last	Øvrige variable laster
	$\gamma_{Gj}$	$\gamma_{Q1}$	$\gamma_i$
Karakteristisk	1,0	1,0	0,7
Ofte forekommende	1,0	0,7	0,6
Tilnærmet permanent	1,0	0,6	0,6

Tabell 5: Lastfaktorer  $\gamma$  inkludert  $\psi$ -faktorer for bruksgrensetilstanden. (Fra NS-EN 3490 tab. A1.4.1, kategori C og D)

## 2.1.3 BYGNINGSELEMENTER

### 2.1.3.1 Søyle

Søyle er et bygningselement som brukes til å overføre vekt fra en overliggende struktur mot bakken eller en underliggende struktur. Søyleskaftet kan være kvadratisk, rundt eller med polygonalt tverrsnitt ("Søyle," 2019). Runde søyler støpes stående, og kantede søyler liggende. De blir støpt i former av plastbelagte finer eller stål. Kantede søyler kan gå over flere etasjer uten skjøt, mens de runde søylene må skjøtes ved hver etasjeskiller.

søyler kan også være rotasjonsinnspente ved etasjeskillere, og vil tilfredsstille brannkravet opp til R120 (SINTEF, 2009). Hjørnene på tverrsnittet er mer utsatt for temperaturpåkjenninger, så en gunstig løsning er å fordele armeringen langs side kantene på tverrsnittet istedenfor i hjørnet.

Ulike type søyle

- HE-A: lette, bredflensede H-profiler
- HE-B: normale, bredflensede H-profiler
- IPE: middels brede I-bjelker
- KFHUP: kvadratiske og rektangulære hulprofiler

(SINTEF, 2011)

### 2.1.3.2 Bjelke

Bjelke er en horisontal liggende komponent i en bygning ("Bjelke," 2019). Den skal primært bære ytre tverrlaster ved bøying. Konstruksjonselementet kommer i varianter av tre, stål og betongkonstruksjoner.

De mest brukte variantene av prefabrikkerte betongbjelker er RB, LB, DLB og LFB bjelker (Sven Alexander, 2010). Høyt tverrsnitt på bjelken gir økt stivhet og lavere kostnad enn en bjelke med lavt tverrsnitt, hvis man ser på bjelkene alene. Grunnen til dette er at det ofte er deformasjonen som er avgjørende for tverrsnittvalg. Tverrsnittet til bjelken kan bestemmes veiledende ut ifra diagrammer basert på brukslast og spennvidde på bjelken. Det må utføres en kontroll på grunn av at bjelker med avtrapper opplegg eller høy skjærkraft krever noe større dimensjoner (Årskog, 2003, s. 78). LB og DLB bjelker er bjelker med en langsgående oppleggs hulle for å kunne bære dekke. Dette er med på å redusere den totale konstruksjonshøyden. Standarsbredden på hyllene er 150 mm. Hyllens høyde er normalt 150-200mm (Ukjent. 4.3.4 Rektangulære bjelker og hullebjelker). LFB er kontinuerlige lavflensbjelker og er de bjelkene det er vanligst å bruke som kontinuerlige bjelker. LB bjelker har kun hulle på den ene siden, men s DLB har hulle på begge sider av bjelken.

#### 2.1.3.3 Etasjeskiller

Etasjeskiller er en bygningsdel som skiller mellom to etasjer, mellom kjeller og første etasje eller mellom øverste etasje og loft (Rygh, 2019). Etasjeskillere av betong blir kalt dekke, det kan også være av massivtre, disse har ofte synlige ribber eller dragere, eller det kan være utført som hulldekke med plan på undersiden. Bjelkelag er etasjeskillere laget av tre.

Det er forskjell på lette og tunge etasjeskillere. De lette etasjeskillerene er bygd opp av massive trebjelker eller I-bjelker. Tunge etasjeskillere kan være av betong eller porebetong. For utenom bæreevne, vil lyd og branntekniske egenskaper være de viktigste kravene som stilles til en etasjeskiller (Rockwool).

#### 2.1.3.4 Hulldekker

Hulldekke er et prefabrikkert betongelement, som er mest brukt i tak, dekker og som etasjeskillere (Alexander & Vinje, 2010). Produktet er av sorten fôrøppspente betongelementer, som vil si at vaierarmeringen strammes opp før betongen kommer i kontakt med den. Disse vaierne blir strammet opp i lange strekker som gjør det mulig å få plass til flere elementer. Deretter dekkes støpebordet med vann for å unngå rissdannelse i betongen, som kan komme av rask temperaturstigning. Etter dette er det klart for støpning, her er det vanlig å bruke spesialiserte hulldekkemaskiner. De fylles med en betongmasse som er fast og



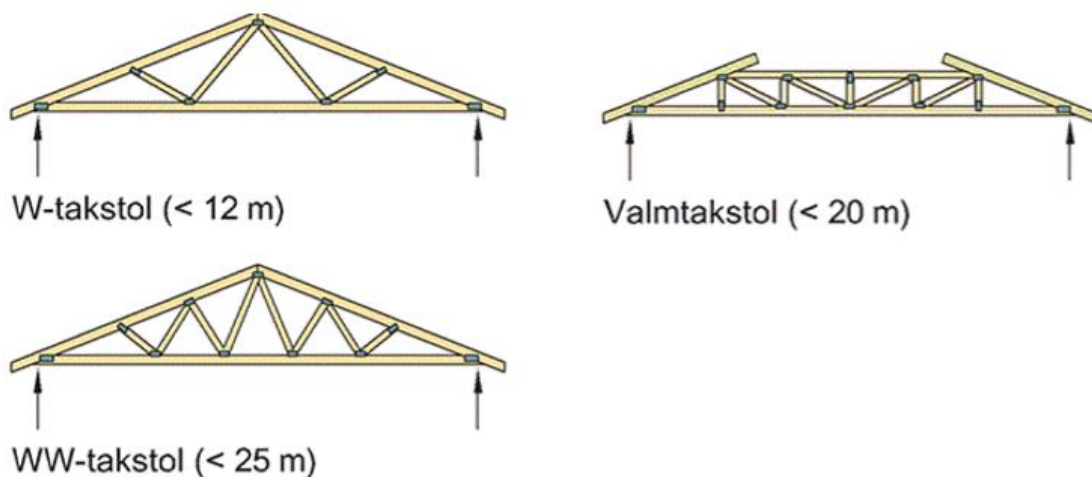
### 2.1.3.5 Tak

De øverste tekkende delene av et bygg kalles tak. Takformen bestemmes hovedsakelig ut ifra arkitektoniske ønsker og byggets planløsninger, men byggemetoden og type bærekonstruksjon er også avgjørende. Kravene som stilles til et tak er:

- Holde tett mot værpåkjenninger som regn og smeltevann
- Bære egenlaster, vindlaster og snølaster
- Ha gode avrennings-og nedbørsforhold
- Isolere mot varmetap
- Utføres slik at det bidrar til minst mulig brannspredning

(SINTEF, 2018)

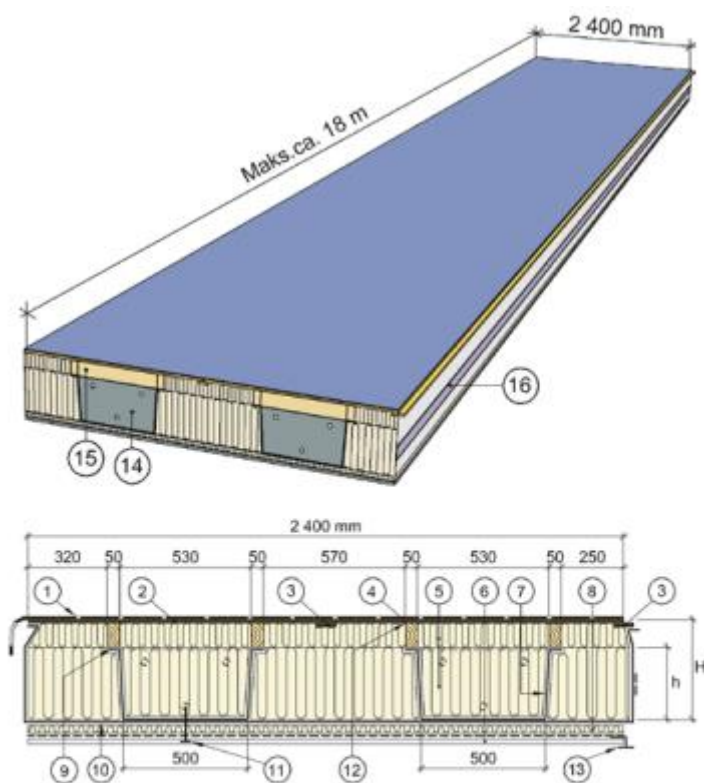
Noen av de vanligste takstoltypene er: W-takstol, WW-takstol og valmtakstol. Se figur 2.



Figur 2: Takstoltyper

#### 2.1.3.6.1 Lett-tak

Lett-tak er en type bærende takelementer basert på to U-formede platekassetter i stål som hovedbæresystem (nr. 7 på figur 3.) (SINTEF, 2017). Kassettene er festet sammen med trelekter og taktroplater. Elementene kommer fylt med mineralull og dampsperre festet til undersiden. Det er også mulig å få levert taket med ferdigmonter taktekking og himlingsplater. Dimensjonen på elementene leveres med en standardbredde på 2400 mm, og en tilpassende lengde på ca. 18 m. Tykkelsen kan variere grunnet belastninger, spennvidder og krav til varmeisolasjon.



1 Taktekning	9 Spikret eller spikerlimt forbindelse mellom stål og tre
2 Kryssfinér, 15 – 19 mm	10 Dampspørre
3 Kryssfinérilask, 15 mm	11 Himlingskrue
4 Treflens, 48 x 71/96/121 mm	12 Limfuge
5 Steinull eller glassull	13 T-list av stål
6 Himlingsplater, eventuelt lister for mineralulloppeheng	14 Gavplate av stål
7 Bærende stål-kassett	15 Treforsterkning over gavplate
8 Steinull over himling	16 To-sidig tape

Figur 3: Oppbygging av lett-tak

### 2.1.3.7 Fundament

Fundamentet, er den delen av et byggverk som skal føre alle kreftene fra konstruksjonen ned i byggegrunnen (Thune, 2019). Setninger, telehiv, bæreevne, jordtrykk mot vegger er de viktigste byggetekniske problemene knyttet til fundamentering. Grunnforholdene og konstruksjonens bæresystem er det som bestemmer fundamenteringsmåten.

Grunnundersøkelser og geoteknisk rapport angir grunnens bæreevne i  $\text{KN/m}^2$ , som videre bestemmer om det er mulig å bygge i dette området (SINTEF, 2005). Utforming av fundamentet er avhengig av lastsituasjonen. Hvis det er både horisontale og vertikale laster, så kan fundamentet bli usymmetrisk belastet. Da må fundamentet utformes slik at kontratrykket fra jorden blir tilnærmet jevnt fordelt over fundamentflaten (P. K. Larsen, 2014, s. 161).

Dersom vi kun har en vertikal last, gjøres fundamentet symmetrisk. Vegger blir fundamentert på banketter langs hele veggens lengde, som er større en veggens bredde. Enkeltfundamenter blir plassert under hver søyle.

#### 2.1.4 AVSTIVNINGSSYTEM

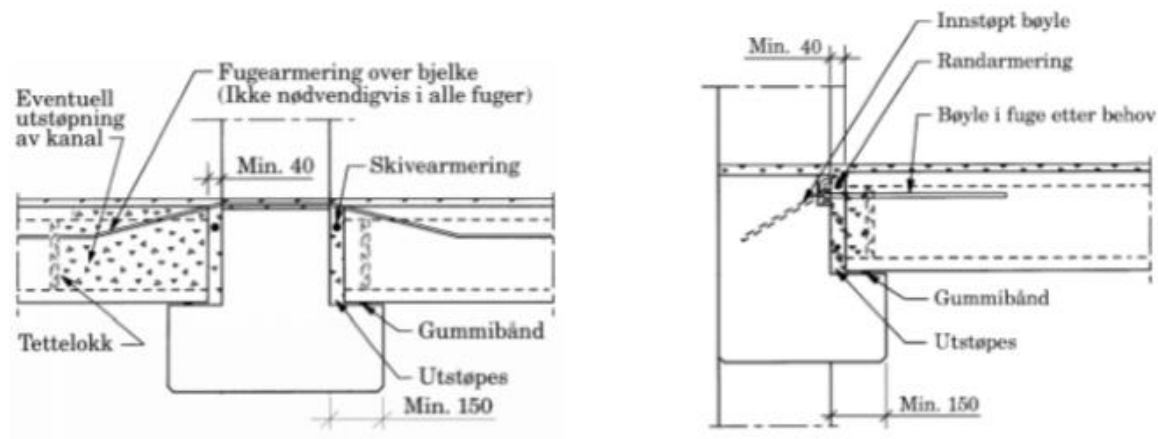
Konstruksjonen til et bygg må avstives slik at horisontalkrefter blir tatt opp og ført ned i fundamentet. Eksempel på horisontalkrefter kan være vindlast eller skjevstillingslast. Den vanligste metoden for å avstive bygg i flere etasjer er skivesystemer.

##### 2.1.4.1 Skivesystem

En veggkonstruksjon eller et dekke som har blitt påført en kraft i sitt eget plan kalles en skive. Vegger og dekker er stivere når de virker som skiver, enn når de påføres laster vinkelrett på flaten og virker som plater (Vinje, 2016). Horisontale skiver er forankret til vertikale sjakter og skiver. Skivene settes sammen av enkeltelementer med en forbindelse slik at de kan virke som en monolittisk skive.

##### 2.1.4.2 Horisontale skiver

I et skivebygg blir vindlastene overført fra ytterveggene, inn i dekkekonstruksjonene og til de avstivende konstruksjoner (Leidulv Vinje, 2012). Hulldekker er mest vanlige å bruke som dekkesskiver i dag. Fugene i dekket blir armeret slik at man kun trenger tynnpuss på toppen. På grunn av begrenset plass til armering i fugene, begrenses ofte den maksimale kapasiteten til hulldekkene. Siden hulldekker kun har armering i lengderetningen, og ikke på tvers, har de begrenset evne til å føre inn krefter fra vindsug på gavlvegger til sidekant av hulldekkene.



Figur 4: Forankring av Hulldekker på DLB og LB bjelker

### 2.1.4.3 Vertikal skiver

Vertikale skiver må behandles som søyler, fordi de normalt sett vil ha aksiallast og større påkjenning enn horisontale skiver. Skiven har liten stivhet i tverretningen og stor stivhet i kraftretningen, i motsetning til søyler. Vertikale skivers statiske system er komplisert nok ved at de virker som gjensidige, elastiske støtter, slik at skiver som er fast innspent i fundamentet med jevnt voksende aksiallast er de eneste som kan regnes for hånd. Det er ønskelig å konstruere med så liten slankhet at, horisontalkomponenter av vertikallaster fra de søylene som ikke er med avstivningen kan neglisjeres.

## 2.1.5 DATAPROGRAMMER

### 2.1.5.1 AutoCAD

AutoCAD er et av de mest utbredte CAD-programmene i bransjen. Programmet er laget av Autodesk og ble utgitt i 1982. Dette programmet brukes til å fremstille digitale modeller og tegninger i 2D eller 3D. I oppgaven vår vil vi bruke AutoCAD til å tegne detaljetegninger som knutepunkter.

### 2.1.5.2 Revit

Revit er et grafisk tegneprogram som kan brukes til å tegne 3D-modeller. Applikasjonen er levert av Autodesk. Revit er et avansert, men brukervennlig program som inkluderer funksjoner for arkitekturdesign, konstruksjonsteknikk og MEP- mechanical, electrical and plumbing. Programmet kan brukes til å designe fysiske modeller av stål, ulike type betong, tre eller en kombinasjon av disse. Ved bruk av verktøyet kan man skape en arbeidsflyt av konstruksjonen og visualisere oppbyggingen av de ulike elementene. Her får man utarbeidet en modell som man kan bruke videre til lagning av arbeidstegninger, detaljtegninger og tegninger som brukes i produksjonen av byggelement. Strukturmodellen i Revit baseres på en arkitektmodell som oftest kommer som en IFC-fil.

### 2.1.5.3 EUROCODEExpress

EUROCODEExpress er en applikasjon som inneholder en samling av gjeldene standarder for prosjektering av byggverk. Eurocoder er en felles europeisk samling, som gir nødvendig informasjon om ulike materialer, laster, konstruksjonstyper og produkter. Eurocoder gir grunnlag for konstruksjonssikkerheten til byggverket i henhold til byggeforskrifter, som skal bli dokumentert. I dag opptrer alle eurocoder som Norsk Standard, som vil si at alle byggverk som oppføres i Norge blir prosjektert etter eurokodene. Vi har 10 ulike eurokoder for prosjektering av byggverk, disse vises i tabell 7.



Link til tabellen under:

NS-EN 1990- Eurokode 0	Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS-EN 1991- Eurokode 1	Laster på konstruksjoner
NS-EN 1992- Eurokode 2	Prosjektering av betongkonstruksjoner
NS-EN 1993- Eurokode 3	Prosjektering av stålkonstruksjoner
NS-EN 1994- Eurokode 4	Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong
NS-ES 1995 - Eurokode 5	Prosjektering av trekonstruksjoner
NS-EN 1996 -Eurokode 6	Prosjektering av mur konstruksjoner
NS-EN 1997- Eurokode 7	Geoteknisk prosjektering
NS-EN 1998- Eurokode 8	Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning
NS-EN 1999- Eurokode 9	Prosjektering av aluminiums konstruksjoner

Tabell 7: Eurokodestandarder etter NS-EN

(Wikipedia, 2019, Eurokode)

#### 2.1.5.4 Microsoft Project

Microsoft Project er et prosjektstyringsvareprodukt som er levert av Microsoft (Microsoft, 2020). Denne programvaren er laget for å hjelpe prosjektledere med å utarbeide timeplaner, oppgavefordeling, fremdriftsplan, budsjettstyring og analysering av arbeidsmengder. Denne programvaren skal hjelpe til med å holde en oversikt over prosjektdeltakere og arbeid igjennom en prosjektperiode.

#### 2.1.5.5 Microsoft Teams

Microsoft Teams er en kommunikasjon- og samarbeidsplattform, der man kan opprette tekstbasert chat, Videomøter, fildeling og fillagring innenfor opprettede grupper (Wikipedia, 2020). Det er mulig å dele alle filtyper som er inkludert Office-pakken, samt andre filsorten som ikke inngår i den. Programmet ble lansert i 2017 og er levert av Microsoft.

#### 2.1.5.6 MathCAD

MathCAD er et matematisk beregningsprogram som man bruker for å dokumentere beregninger (PTC, 2019). Dataen man legger inn i programmet blir satt opp i et regneark. I regnearket blir tekst, matematiske formler og enheter, grafer og figurer sammenkoblet til et digitalt dokument. Den er egnet til å løse enkle og mer komplekse utregninger, der er også mulig å importere og eksportere data fra Excel.

#### 2.1.5.7 EndNote

EndNote er et program som brukes til litteraturreferanser (NTNU, N.D). EndNote brukes til å samle, organisere og finne igjen referanser og artikler. Det brukes ved å opprette en personlig database med referansene. Når dette er gjort kan man enkelt sette det inn i tekstdokumentet.

#### 2.1.5.8 Google sketchUp

Google sketchUp er et modelleringsprogram som er laget for å kunne konstruere to- og tredimensjonale figurer (Wikipedia, 2018, SketchUp).

Programvaren kan brukes til å lage modeller av mange ulike figurer, og modellen kan endres i alle retninger. Hensikten med programmet er at det skal være et verktøy som kan benyttes for design, konstruksjon av bygninger eller til andre formål.

## 2.2 Miljøaspekt

### 2.2.1 LCA – LIVSLØPSANALYSE

Livsløpsanalyse er en vurderingsform av et eller flere produkter, hvor man vurderer miljøutslipp relatert til produktet (Dramstad, Timmermann, Gobakk, Lange, & Dibdiakova, 2015). I analysen forsøker man å gjøre rede for utslipp som følger produktet fra «fra vugge til port», «fra vugge til grav» eller «fra vugge til vugge». «Fra vugge til port» vil si at man gjør rede for utslipp som kommer fra utvinning av råvarer, transport til fabrikk og bearbeiding av råvaren fram til produktet kjøres ut av fabrikk. «Fra vugge til grav» innebærer alt utslipp som produktet frigjør i løpet av sin levetid. I en slik analyse regner man også med transport fra fabrikk, montering av produkt og avfallshåndtering når produktet er ferdig brukt.

(NTI, N.D)

Hensikten bak LCA er å sette ulike alternativ opp mot hverandre å gjøre en vurdering på hvilke produkt som vil ha mest miljøbelastning (Dramstad et al., 2015).

### 2.2.1.1 Livsløpsmoduler og levetid

Figur 5. under viser hvilke livsløpstrinn og informasjonsmoduler som inngår i LCA av et bygg. Modellen gjelder for både internasjonale og europeiske standarder.

BUILDING ASSESSMENT INFORMATION																
Building life cycle information																Supplementary information building life cycle
Product stage			Construction process stage		Use stage							End-of-life stage				Benefits and loads beyond the system boundary
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport to site	Construction - Installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction, demolition	Transport	Waste processing	Disposal of waste	Reuse, recovery and recycling potential

Figur 5: Livsløpstrinn og informasjonsmoduler for bygningsvurdering EN 15804:2012+A1:2013

(Reiersen, 2018, side 6)

#### A1-A3

- Produktstadiet:

Tar for seg råvareforsyning, transport fra skogen til fabrikk og fremstilling av materialene.

#### A4-A5

- Byggeprosessfasen:

Tar for seg utslippene som kommer fra transport fra fabrikk til byggeplass.

#### B1-B7

- Bruksfasen:

Tar for seg utslippen som kommer i bruksfasen. Det innebærer vedlikehold, reparere, erstatning, oppussing, operativ energibruk og driftvannsbruk.

C1-C4

- Sluttfasen:

Tar for seg utslippene som kommer i sluttfasen i et bygg. Når det skal rives eller dekonstrueres. Faktorene som teller her er transport, avfallsbehandling, avhenting av avfall.

D

- Fordeler og belastninger utenfor system- grensen:

Tar for seg Gjenbruk, utvinning og resirkuleringspotensial

### 2.2.2 EPD - environmental product declaration – miljødeklarasjon

EPD er en miljødeklarasjon som oppsummerer miljøprofilen til et produkt eller tjeneste i et kort dokument (SINTEF. EPD). Deklarasjonen følger ISO-standarden 14025 Environmental Labels and Declarations Type III. Standarden er internasjonal og gjør at miljøprofilene til produkter og tjenester som er EPD merket kan vurderes mot hverandre.

SINTEF byggforsk har utarbeidet en teknisk godkjenning, tekniske godkjenningen innebærer frivillig dokumentasjon som bekrefter at produktene har egenskapene som trengs for at byggverket som produkt skal oppfylle grunnleggende krav i byggt teknisk forskrift (TEK). Tekniske godkjenningen omfatter også miljøvurdering, og en gyldig, produktspesifikk EPD som er utviklet i henhold til EN 15804 og registrert hos EPD Norge eller en av samarbeidspartnere. Når disse kravene er oppfylt blir produktet bekreftet som egnet bruk i bygninger i Norge.

#### 2.2.2.1 GWP- Global Warming Potential

Globalt oppvarmingspotensial er et mål på oppvarmingseffekten de ulike klimagassene har på atmosfæren (Mamen, 2019). De forskjellige klimagassene har forskjellige grader av påvirkning, og man velger derfor å bruke noe som heter Co2-ekvivalent. Når man bruker en CO2-ekvivalent regner man om mengden en bestemt type klimagass forurenses om til hva det vil tilsvare om det var CO2 (karbondioksid) (Toldnæs, 2019). Dette fører til at man kan kvantitativt sammenligne mengden forurensing fra de forskjellige klimagassene.

## 2.3 Intervju

### 2.3.1 KVANTITATIV METODE

Kvantitativ metode brukes til å generalisere, teste teorier og hypoteser og utvikle oversikter (Grønmo, 2020). I selve undersøkelsen stiller man forutbestemte spørsmål i form av et skjema hvor svarer selv må avgjøre på skalaen (eksempelvis i skala fra 1-6 eller verst til best) hva som stemmer best mulig for vedkommende. I kvantitative undersøkelser er det vanlig å etterstrebe et stort utvalg svarere og man genererer derfor store mengder data ved en slik undersøkelse. Dataen man samler inn analyseres i etterkant. Dette kan gjøres på tre forskjellige måter:

- Tabellanalyse - hvor man ser på fordelingen av enhetene og variablene
- Korrelasjonsanalyse - hvor man ser på sammenhengen mellom to variabler
- Regresjonsanalyse - som viser hvordan en avhengig variabel påvirkes av en uavhengig variabel

Kvantitative undersøkelser er nyttige når man etterstreber å statistisk generalisere noe, noe som kan være nyttig dersom man eksempelvis vil finne ut hva en mann i 40-årene som tjener 500 000 i året og bor i distriktet statistisk vil stemme ved et stortingsvalg. Resultatene man kommer frem til skal kunne etterprøves, om gjort rett, få samme/svært tilnærmet resultat. Et kjennetegn ved kvantitativ forskning er at resultatet ofte uttrykkes ved tall og er målbare. Kvaliteten på forskningen man har gjennomført defineres av relabiliteten, hvor pålitelig er dataen man har samlet inn, og validiteten, hvorvidt man har stilt de rette spørsmålene og fått svar på den problemstillingen man faktisk ville belyse.

### 2.3.2 KVALITATIV METODE

I motsetning til kvantitativ forskning, som søker forklaring, søker den kvalitative forskningen forståelse (Tjora side 28). Det finnes mange måter å samle kvalitativ data på. I metoden, deltakende observasjon er ofte forskeren på et eller annet vis en synlig deltaker av selve observasjonen (Tjora side 256). Etnografiske undersøkelser er karakterisert ved lengre observasjonsstudier (Tjora side 258). Andre måter å gjennomføre kvalitative undersøkelser på er strukturerte intervjuer, ustrukturerte intervjuer, semistrukturerte intervjuer (brukes ofte om

dybdeintervjuer), fokusgrupper og kvalitativ innholdsanalyse (Grønmo, 2020). Den kvalitative innholdsanalysen (også referert til som dokumentstudier i noen tilfeller) tar for seg tolkning av nedskreven tekst hvor man systematisk gjennomfører en analyse hvor det velges/plukkes ut konkrete ord eller argumenter som telles og kategoriseres (Grønmo, 2015). Tekstene som analyseres er ikke produsert til forskning, og er gjerne casespesifikke, fra medier eller generelle (dagbøker og lignende) (Tjora side 257).

Seminstrukturerte intervjuer og fokusgrupper har flere av de samme kjennetegnene (Grønmo, 2015). Begge metodene kan benyttes innen dybdeintervju og har en mer åpen intervjuguide som gjør det mulig for deltakerne i undersøkelsen å komme med ny og uventet informasjon. Metodene bærer preg av en samtale mellom forsker og deltaker (Tjora side 257).

#### 2.3.2.1 SDI – stegvis deduktiv induktiv metode:

Den stegvis- deduktive induktive metoden bygges opp etappevis, der vi går fra rådata til konsepter. (Torja, s.18) Den stigende prosessen oppfattes som induktiv, her jobber man med data mot teori. Den avtagende tilbakekoblingen oppfattes som deduktiv, her sjekker man fra det teoretiske mot det empiriske. Ved bruk av stegvis-deduktive induktive metoden kan man legge opp en trinnvis plan med ulike milepæler underveis. Dette gir en god struktur og systematikk for prosjektet.

#### 2.3.2.2 Deduktiv metode – innenfra og ut

Deduktiv metode bygges opp på et prinsipp som går fra det generelle til det spesifikke. Metoden ut på å anvende logikken ved hjelp av logiske prinsipper på angitte grunnantagelser (Tjora, side 256). Her gjelder det å samle informasjon fra ulike kilder til den gitte problemstillingen. Dersom det ikke finnes en forklaring fra før av blir det dannet en forklaringshypotese. Dersom resultatet av forsøket ikke styrker hypotesen, må hypotesen endres ved gjentatt deduksjon, slik at man kommer nærmere sannheten.

### 2.3.2.3 Induktiv metode – utenfra og inn

Induktiv metode bygges opp på et prinsipp som går fra det spesifikke til det generelle (Tjora, side 259). Metoden går ut på at man prøver og feiler til man har skaffet seg tilstrekkelig erfaring om noe spesielt, til man kan utvikle en teori om fenomenet. Induktivitet brukes til forskningsprosjekter som er eksploderende eller empiridrevet.

### 2.3.2.4 Dybdeintervju

I motsetning til kvantitative spørreundersøkelser, med surveys og avkrysningsskjema, er formålet med kvalitative spørreundersøkelser, som dybdeintervju med åpne spørsmål, å gi intervjuobjektet mulighet til å snakke friere/fritt (Tjora side 114). I dybdeintervju er det informantens subjektive holdninger som kommer frem, og det er selve sammenligningen av flere informaners ytringer som blir interessant for selve forskningsprosjektet.

### 2.3.2.5 Utvalg

Etter at man har konkretisert problemstillingen/tema man ønsker å belyse ved bruk av intervju, er det vesentlig at man velger informanter eller intervjuobjekter som er relevante for å finne gode svar på spørsmålene. I gjennomføring av dybdeintervjuer er det ikke atypisk at man må søke etter gode informanter for gjennomføringen av forskningen (Tjora side 135). Det er altså ikke gitt at man får gode svar på forskningsspørsmålet ved å gjennomføre “ti på gaten”.

### 2.3.2.6 Intervjuguide struktur

Det er vanlig praksis å dele intervjuguiden inn i tre deler: oppvarming, refleksjon og avrundning (Tjora side 145). Oppvarmingsspørsmålene bør være enkle og konkrete spørsmål som for eksempel arbeidsoppgave, hvilket firma man jobber for, hvor man bor og lignende. Spørsmålene som stilles her virker uformelle og enkle og har verdi for selve prosjektet når det kommer til om man intervjuer en informant med “rett” bakgrunn.

Refleksjonsspørsmålene er hoveddelen av intervjuet (Tjora side 146). Her stilles de gravende spørsmålene. I denne delen av intervjuet skal informanten få mulighet til å snakke fritt og

spørsmålene krever mer refleksjon. Denne delen av intervjuguiden bør ha mellom 3-6 spørsmål med noe oppfølgingsspørsmål. Aksel Tjora påpeker at “For noen intervjuere kan det fungere å vente i det lengste med oppfølgingsspørsmål, og la det bli en stillhet som informantene oppfatter som *pinlig nok* til at de automatisk utdyper sine svar, kommer med tillegg og lignende” (Tjora side 146).

Avrundingsspørsmålene normaliserer situasjonen mellom intervjuer og informant og tar gjerne opp hvordan forskningsprosjektet skal gå videre på, hvordan dataen som er samlet under intervjuet skal behandles (Tjora side 146). Etter at intervjuet er avsluttet takkes informanten for å ha deltatt i prosjektet og får muligheten til å stille spørsmål om forskningen.

### 2.3.3 ULIKE BEGREP

Forskningens kvalitet i kvalitativ forskning kan sikres av de tre kriteriene *pålitelighet*, *gyldighet* og *generaliserbarhet* (Tjora side 231). Påliteligheten handler om prosjektet har en intern logikk eller sammenheng. Det vil si kravene man stiller til datagenerering, kriterier for behandling/analyse av den innsamlede empirien og hvordan teorier gjøres mer relevante på et senere stadium. Som et mål til å oppnå pålitelighet nyttes transparens. Transparens innen kvalitativ forskning er åpenhet/formidling i selve forskningsrapporten om hvilke valg som er gjort, hvem som er intervjuet, hvordan dataen er tolket og hvilke problemer som har oppstått. Gyldigheten setter kravene til om den logiske sammenhengen mellom prosjektets formål og funn er til stede. Man vurderer gyldigheten ved å se om svarene man får i forskningen faktisk svarer på de spørsmålene man stiller. Generaliseringen knyttes til relevansen forskningen har “(...) utover de enheter som faktisk er undersøkt (...)” (Tjora side 231). Ved å ta utgangspunkt i relevant forskning når man lager spørsmålene til intervjuene styrker man generaliserbarheten. Tydeliggjøring av teoretiske utgangspunkt tillater leseren å stille seg kritisk til forskningen og kan bidra til å øke gyldigheten til resultatet.

### 2.3.4 ANONYMISERING

Et utgangspunkt for å gjennomføre intervju i sammenheng med bacheloroppgave eller annen type forskning som blir gjennomført i regi av NTNU er anonymisering av intervjudeltaker. Før intervju gjennomføres skal det søkes til NSD, norsk senter for forskningsdata, hvor man forklarer forskningsspørsmål, intensjon bak intervju og intervjuguide (se vedlegg 2). Dette er



et tiltak som ble satt i gang etter at GDPR- General Data Protection Regulation ble iverksatt av EU i 2018. Formålet er å sikre personopplysninger av sensitiv art ikke blir publisert i forskningsprosjekter. NSD krever at man lager et samtykkeskjema (se vedlegg 1.) som sendes ut til deltakerne for godkjenning og signering før intervjuet blir gjennomført hvor det blant annet opplyses hvordan informasjon fra intervjuet blir lagret og om retten til å trekke seg fra forskningsprosjektet samt at opptak og transkripsjon blir slettet etter endt prosjekt.

Det er klart at i et intervju vet selve intervjuer og arbeidsgruppen hvem det er som blir intervjuet, så fullstendig anonymitet kan ikke sikres. Selv om fullstendig anonymisering ikke er oppnåelig på dette nivået, er det standard praksis i kvalitativ forskning at det gjennomføres fullstendig anonymisering i det ferdig produkt. En vanlig måte å anonymisere deltakerne i et prosjekt på er ved bruk av identitetsindikatorer (Tjora side 177). Identitetsindikatorerne er å erstatte navn, alder, arbeidsplass, eller annen personinformasjon, med tagger. Disse taggene kan være tall, bokstaver eller fiktive navn på intervjuobjektene.

Etter at intervju er gjennomført behandles dataen fra lydopptaket fra muntlig til skriftlig. Denne prosessen kalles transkribering. Hvordan man gjennomfører transkribering handler mye om hensikten bak intervjuet og forskningsspørsmålene man stiller. Dersom man forsker på språk er det relevant å ha med pauser og toneleie på intervjuobjekt, for andre prosjekter er dette mindre relevant. Hensikten med transkribering er korrekt gjentakelse av hva intervjuobjekt har sagt under intervjuet. Som en del av anonymisering av intervjuobjekt må man i transkripsjonen ta stilling til om man skal transkribere på dialekt eller standardisere til nynorsk eller bokmål.

I noen tilfeller velger intervjuer å gjøre sitatsjekk av intervjuobjektene sine utsagn, men i kvalitativ forskning er hovedregelen at man har lydopptak av intervjuet og sitatsjekk brukes sjeldent (Tjora side 179). Aksel Tjora argumenterer i boken sin *Kvalitativ Forskningsmetoder i praksis* at "Intervjuet hører til den spesifikke situasjonen det ble gjort i, og vi er derfor varsomme med å la informantene kommentere hele sitt intervju" (Tjora side 179).

### 2.3.5 INDUKTIV KODING

Målet med koding av generert data er “(...) (1) å ekstrahere essensen i det empiriske materialet, (2) å redusere materialets volum, og sist, men ikke minst (3) å legge til rette for idégenerering på basis av detaljer i empirien” (Tjora side 197). Det kan lønne seg å forsøke en ren induktiv koding av den innsamlede empirien, selv om det ikke er helt mulig for forskeren å forholde seg objektiv i selve tolkningen av empirien og selve seleksjonen av hva som opptrer som relevante koder. Dersom man følger SDI-metoden, tar man utgangspunkt i “åpen koding”. Man forsøker å finne koder som allerede eksisterer i datamaterialet, som deltakerutsagn, for å ivareta det spesifikke. Dette kan være noe som *skiller seg ut*, som man trekker ut og ser om er en gjenganger for grunnlag når man tar for seg andre transkripsjoner. Etter å ha gjennomgått alle dokumentene man har produsert sammenlignes resultatene fra de forskjellige informantene. Det er viktig å være bevisst på at man ikke lar teorien som ligger til grunn for prosjektet lede hva man velger som koder, men at kodene springer ut fra det empiriske grunnlaget.

### 2.3.6 INTERVJU GRUNNLAG

Bakgrunnen for gjennomføring av intervju om bruken og erfaringer ved tradisjonelle byggematerialer og massivtre/limtre grunner seg i essensen av selve oppgaven. Det er mye man kan ta utgangspunkt i når man gjennomfører en slik type undersøkelse. Vil man finne ut veldig konkrete og tekniske løsninger på spesifikke utfordringer, eller vil man se på det større bildet og sanke erfaringer som kan tale både for og mot begge materialene? Vi har gått for sistnevnte. Bakgrunnen for undersøkelsen grunner i boken *Praktisk Prosjektledelse av Rolstadås et.al.* hvor det pekers på tre styringsvariabler for gjennomføring av prosjekter (Rolstadås et.al, s. 59). Arbeidsomfang, tid og kostander er grunnlag for utarbeidelse av prosjektplaner og målt i etterkant for sammenligning av planen og resultatet.



*Figur 6: Sammenheng mellom styringsvariabler og rammebetingelser.*

(Rolstadås et.al, s. 61)

Vi har valgt å bruke disse tre styringsvariabelen som referanser og utgangspunkt i intervjuene, fordi det er variabler man må ta stilling til og justere ettersom behovet melder seg i løpet av prosjekter.

## 3. METODE

### 3.1 Fagverk

#### 3.1.1 DATA

Vi startet med å lage oss et inntrykk av hvordan utformingen av slike fagverksbjelker ser ut og hvilke forskjellige metoder som kan brukes. For å finne relevant informasjon brukte vi Google.no, SINTEF.no og lærebøker.

SINTEF.no ble brukt for å finne tekniske godkjenningen på takelementene til bedriften Lett-Tak. (se vedlegg 20.)

Lærebøkene vi anvendte ble valgt for å finne et eksempel på framgangsmåte.

#### 3.1.2 GENERELT

I denne delen av oppgaven tar vi for oss fremgangsmetoden i utregningen av fagverkene. Vi har beregnet og modellert to fagverk: et i limtre, som hører til limtre- og massivtrebygget, og et i stål som hører til betong- og stålkonstruksjonen. Det stilles samme krav om sikkerhet til begge fagverkene, lastfaktorer, ytre påkjenning og dimensjonerende avstander. Den mest vesentlige forskjellen er at i limtrefagverket har vi ikke fulgt kotehøyen på endelig bygg. Dette var et forsøk på å se om det i det hele tatt lot seg gjøre å dimensjonere et fagverk i limtre, uten å nødvendigvis forholde seg til kotehøydekravene.

På grunn av at lett-taket, som legges over fagverket og vertikale vegger, skiller overgangen fra gymsal til blackbox, kunne vi se bort ifra horisontale krefter i fagverkene. De horisontale krefte blir tatt opp i skillevegger og lett-tak. Begge fagverkene må derimot kunne ta alle de vertikale krefte.

Takene i begge konstruksjonene skal oppfattes som flate, men har en helling på 1:40 fra senter til kant. Dette gjøres for at vann skal kunne dreneres vekk i takrenner/rør og hindre oppsamling i senter som øker de vertikale påkjenningene og gjør skader på selve konstruksjonen. Begge fagverkene får en vinkel i fra kant til topp på  $1/40 = 0.025$  grader

helling. Bredden på konstruksjonen er 25.8m. Avstanden fra senter til kant er  $25.8\text{m}/2 = 12.9\text{m}$ .

CC (senter-senter) avstanden mellom fagverkene på langsiden av gymsalen er 5.1m. CC-avstanden er basert på valget om å ha ti fagverk bortover langsiden av gymsalen som er på 45.9 meter i lengde. Dette var bestemt fra før av, og ikke noe vi tok stilling til videre i utregningene, sett bort i fra bruken i beregningene. Se vedlegg 3. og 8. for illustrasjon av fagverkene med verdier og mål.

Felles lastfaktorer for begge fagverkene:

Vi følger NS-EN 1990 for lastfaktorene, som er de lastfaktorene som skal brukes i Norge.

NS-EN 1990:

Lastkombinasjoner som skal påvises	Permanente Laster		Dominerende variabel last Q1	Øvrige variable laster Qi
	Ugunstig	Gunstig		
	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$		
B1	1,35	1,00	1,05	1,05 (0,90)*
B2	1,20	1,00	1,50	1,05 (0,90)*

Tabell 8: Lastfaktoren  $\gamma$  inkludert kombinasjonsfaktorer ( $\xi$  og  $\psi$ ) ved forenklet påvisning i bruddgrensetilstanden i pålitelighetsklasse 3.

\* Dersom øvrige variable laster er vindlast, eller temperaturlast, skal verdien 0.90 nyttes

\* Nyttelast på tak (unntatt snølast) skal ikke inkluderes i en lastkombinasjon dersom denne nyttelasten tilhører kategorien øvrige variable laster.

(Årskog, 2003, s. 23)

Nyttelasten er hentet fra de tekniske godkjenningene til lettakelementene. Se vedlegg 20.

Elementtype <sup>1)</sup>	Egenlast <sup>2)</sup> kN/m <sup>2</sup>	Elementtykkelse H <sup>3)</sup> mm		
		Høyde på treflens		
		71 mm	96 mm	121 mm
13/0,9	0,37 – 0,40	216	241	266
13/1,5	0,40 – 0,43			
16/0,9	0,38 – 0,41	246	271	296
16/1,5	0,41 – 0,44			
21/0,9	0,40 – 0,43	296	321	346
21/2,0	0,46 – 0,50			
31/0,9	0,44 – 0,47	396	421	446
31/2,0	0,52 – 0,55			
36/0,9	0,46 – 0,49	446	471	496
36/1,5	0,50 – 0,54			
36/2,0	0,55 – 0,58			
44/1,5	0,55 – 0,58	526	551	576
44/2,0	0,59 – 0,63			

<sup>1)</sup> Første siffer angir høyde h i cm på bærende stålkassett (se fig. 1), andre siffer angir stålets godstykkelse i mm

<sup>2)</sup> Verdiene varierer med høyde på treflenser, og gjelder for elementer med 50 mm himlingsisolasjon

<sup>3)</sup> Gjelder høyde H over opplegg (se fig. 1).

For elementer med 50 mm isolasjon i himlingen bygger isolasjonen og himlingsplate 70 mm under opplegg, se fig. 2. For elementer med 30 mm isolasjon i himlingen bygger isolasjonen og himlingsplate 50 mm under opplegg.

Tabell 9: Elementbetegnelser, egenlast og tykkelser for standard elementtyper, lett-tak.

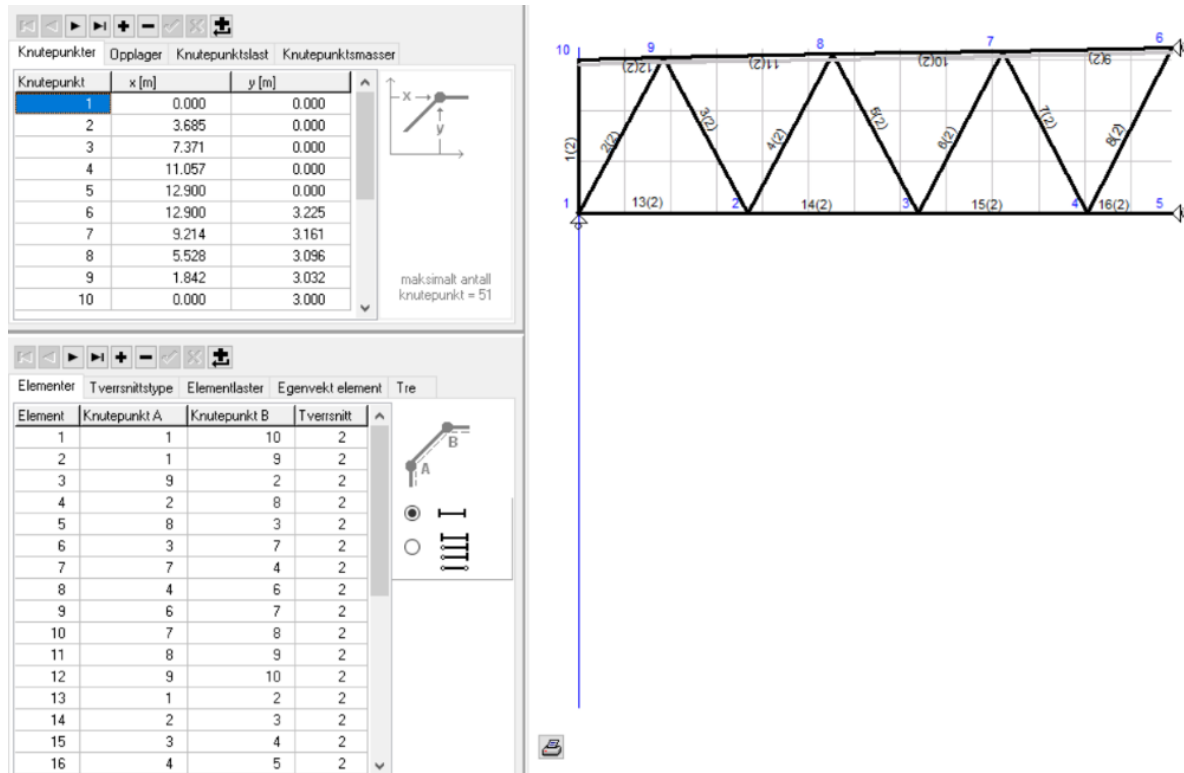
### 3.1.3 EUROCODEExpress

For å finne best mulig løsning på fagverkene, benyttet vi oss av EUROCODEExpress. En av hovedutfordringene våre var nedbøyningen midt på fagverket. Nedbøyningen skal maksimalt være  $L/300$ , så  $25800\text{mm}/300 = 86\text{mm}$ . I vedlegg 5. og 10. (bruks), 6. og 12. (brudd) kan du se utskriftene fra endelig konstruksjon.

#### 3.1.3.1 Fagverk limtre

Vi forsøkte å konstruere fagverket i både gitterverk og limtre, men endte opp med limtre da dette var materialet som ga minst nedbøyning. Tverrsnitt brukt for limtre er 480mmx450mm. Dette er et stort tverrsnitt, noe vi kommer tilbake til diskusjonen. I limrefagverket har vi, som man ser på figur 7, ingen vertikale staver, sett bort i fra endene til fagverket. Noe av dataen som ble produsert i EUROCODEExpress ble brukt i håndberegningen av fagverkene. For å lage modellen i EUROCODEExpress håndtegnet vi først en skisse for å holde knutepunktene og elementene under kontroll. Å være systematisk med nummereringen er kritisk, og vi navnga knutepunktene på undergurten 1-5 og knutepunktene på overgurten 6-10. Stavene mellom overgurt og undergurt fikk elementtall 1-8, elementene i overgurt (som

i virkeligheten er kontinuerlig) fikk tallene 9-12. Elementene i undergurten (som også i virkeligheten er kontinuerlig) ble nummerert 13- 16. Se figur 7.



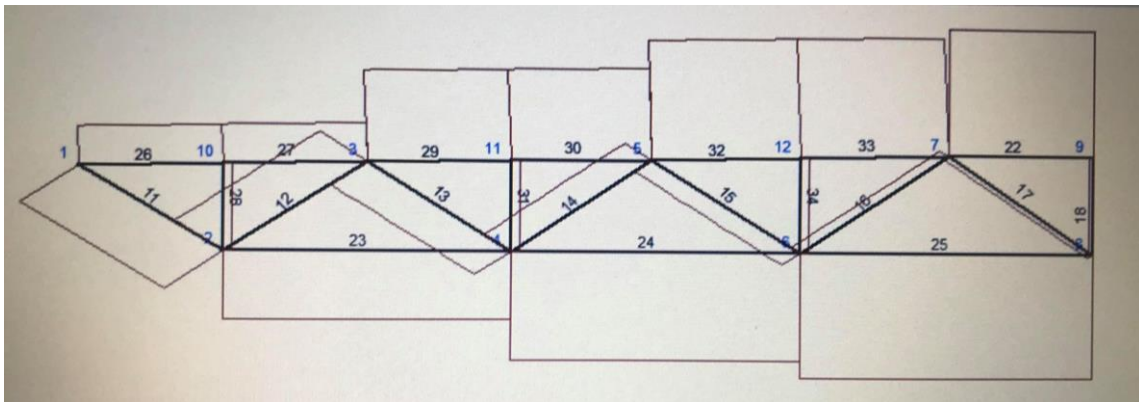
Figur 7: Utklipp fra EUROCODEExpress for fagverk av limtre

### 3.1.3.2 Fagverk Stål

Fagverkbjelken i stål hadde de samme forutsetninger som limtrebjelken når det kom til lengde, nedbøyning og CC mellom hver bjelke. Den statiske modellen for fagverk i stål ser annerledes ut enn den statiske modellen for fagverk i limtre, se vedlegg 8. Her ser du at undergurten har en lavere kotehøyde enn bjelkens opplegg. Det er også blitt brukt vertikale staver i modellen.

Fagverket består av tre forskjellige stålprofiler. I overgurten brukes HUP 250x150x10mm. Grunnen til at vi endte opp med akkurat denne profilen, kommer av at lett-takets leverandør krever at elementenes opplegg være 200mm. Vi har valgt å bruke hulprofil. Siden hulprofilet har avrundet hjørner er det viktig at den øverste overflaten minst er 200mm. For å oppnå dette ble bredden på overgurten økt til 250mm. Undergurtens hulprofil består av HUP

200x120x10mm, mens stavene er laget av HUP 80x80x10mm. Stålprofilene er sveit sammen ved knutepunktene.



Figur 8: Utklipp fra EUROCODEExpress for aksialkrefter i fagverket av stål

Den statiske modellen ble først tegnet opp for hånd. Senere ble denne også lagt inn i EUROCODE Express. I EUROCODEExpress har fagverket 12 knutepunkter. Overgurten er representert med elementene 26,27,29,30,32,33 og 22, og undergurten er laget av 23-25 og stavene er vist med 12-18. Se figur 8.

### 3.14 DIMENSJONERING FOR HÅND

Tabell 10. representer lastene som gjelder for dimensjonering av fagverket i stål, tabell 11. gjelder for dimensjonering av fagverk i limtrefagverk.

Laster for stålbjelken	Verdi	Enhet
<u>Permanente laster</u>		
Lett-tak	0,55	kN/m <sup>2</sup>
Egenlaster Fagverket	0,96	kN/m <sup>2</sup>
<u>Variierende laster</u>		
Snølast, Ålesund ( $s_k$ )	3	kN/m <sup>2</sup>

Tabell 10: Last-verdier for fagverk i stål



Laster for limtrebjelken	Verdi	Enhet
<u>Permanente laster</u>		
Lett-tak	0,55	kN/m <sup>2</sup>
Egenlaster Fagverket	2,0	kN/m <sup>2</sup>
<u>Variierende laster</u>		
Snølast, Ålesund ( $s_k$ )	3	kN/m <sup>2</sup>

Tabell 11: Last-verdier for fagverk i limtre

### 3.1.4.1 Formler

Formlene vi har brukt for å dimensjonere fagverket finner du under. De er kategorisert slik at det skal være enkelt å se hva de har blitt brukt til. Selve utregningen finner du i vedlegg 7, 11 og 13.

#### Formel 1: Beregning av karakteristisk snølast på mark over referansehøyde

$$s_k = s_{k0} + n \cdot \Delta s_k$$

#### Formel 2: Bestemmelse av faktoren « n »

$$n = \frac{(H-H_g)}{100}$$

Siden kotehøyden til bygget vårt ikke overskrider 150m trenger vi ikke å finne n. Dermed  $s_k = s_{k0}$ .

#### Formel 3: Jevnt fordelt last

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120 \text{ KN}}{L + 30 \text{ m}^2}$$

## DIMENSSJONERING AV FAGVERKET I STÅL

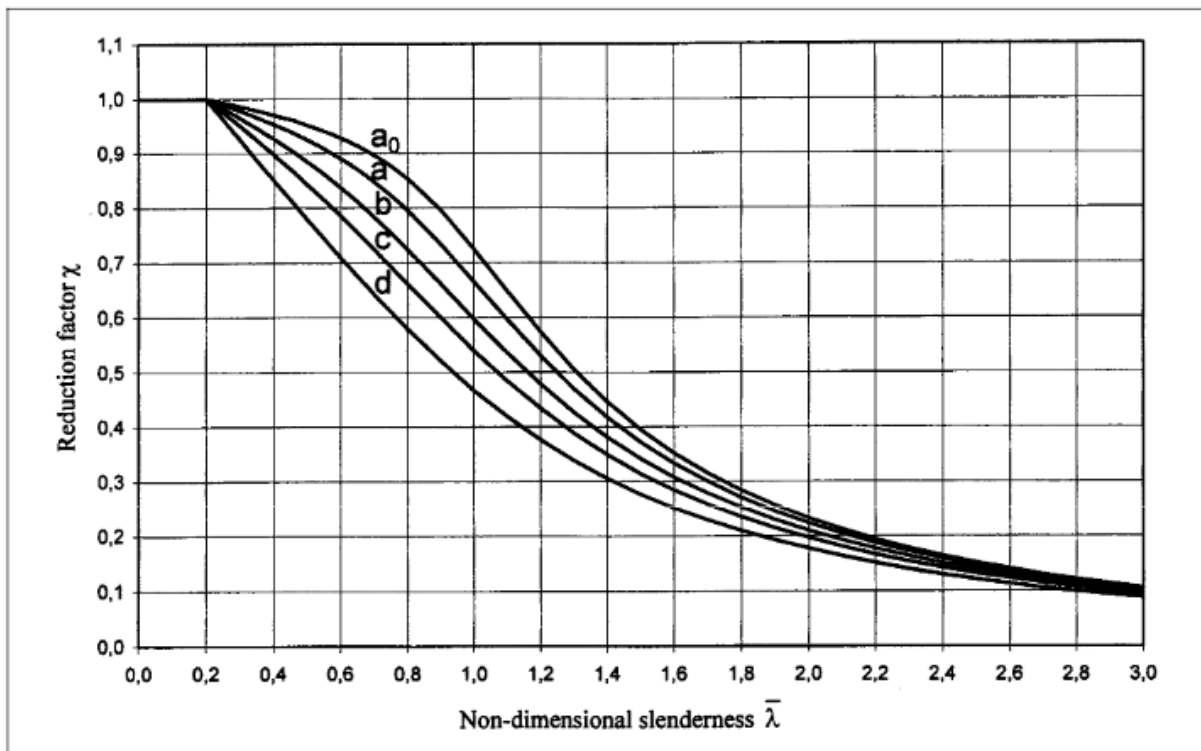
Teorien som ligger til grunn for utregningene er standarder fra Norsk Standard og Håndbok 185 fra Statens Vegvesen. Det er også brukt teori fra fagboken vår som heter Dimensjonering av stålkonstruksjoner (Larsen). Dimensjoneringen som er utført finner du i vedlegg 11 og 13.

Alle tverrsnittene til profilstålene som brukes i fagverket er symmetriske. Fagverkets gurter og staver dimensjoneres ved hjelp av følgende formler:

**Formel 4: Relativ slankhet**

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}}$$

Formelen over brukes for å finne  $\bar{\lambda}$ . Ved hjelp av figur 9. kan man bestemme reduksjonsfaktoren  $\chi$ .



Figur 9: Knekkurver for bøyingsknekking side 187 i stål dim. Boka

**Formel 5: Kapasitetsformel for stav med aksiallast og moment**

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d}$$

**Formel 6: Forsterkningsfaktor**

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right)$$

Beregning av knutepunkter

I dimensjoneringen av knutepunkt har vi benyttet oss av de største kreftene som overføres i fagverket. Vinkelen mellom gurten og stavene er 45°.

**Formel 7: Forholdet mellom fagverkets staver og gurter**

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 + b_0}$$

$$\beta \leq 1$$

**Formel 8: Eksentrisiteten i sveiste knutepunkt**

$$e = \left( \frac{h_1}{2 \cdot \sin(\theta_1)} + \frac{h_2}{2 \cdot \sin(\theta_2)} + g \right) \times \frac{\sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{h_0}{2}$$

Kontroll på eksentrisiteten i knutepunktets sveis. Hvis det forekommer for store eksentrisiteter vil det oppstå et indre moment som man må ta hensyn til. Dermed eksentrisiteten holder seg innenfor kravet kan man se bort fra den (se formel under).

**Formel 9: Kontrollformel for momenter som oppstår grunnet eksentrisitet**

$$-0,55 \leq \frac{e}{h_0} \leq 0,25$$

Type knutepunkt	Knutepunktparametere [ $i = 1$ eller $2$ , $j =$ overlappet stegstav ]					
	$b_1/b_0$ eller $d_1/b_0$	$b_1/t_1$ og $h_1/t_1$ eller $d_1/t_1$		$h_0/b_0$ og $h_1/b_1$	$b_0/t_0$ og $h_0/t_0$	Gap eller overlapp  $b_1/b_j$
		Trykk	Strekk			
T, Y eller X	$b_1/b_0 \geq 0,25$	$b_1/t_1 \leq 35$ og $h_1/t_1 \leq 35$	$b_1/t_1 \leq 35$	$\geq 0,5$ men $\leq 2,0$	$\leq 35$ og Klasse 1 eller 2	-
K-gap N-gap	$b_1/b_0 \geq 0,35$ og $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	og Klasse 1 eller 2	og $h_1/t_1 \leq 35$		$\leq 35$ og Klasse 1 eller 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ men $\leq 1,5(1 - \beta)^{1)}$ og minst $g \geq t_1 + t_2$
K-overlapp N-overlapp	$b_1/b_0 \geq 0,25$	Klasse 1			Klasse 1 eller 2	$25 \% \leq \lambda_{ov,lm} \leq \lambda_{ov,lm}^{2)}$ $b_1/b_j \leq 0,75$
Sirkulær stegstav	$d_1/b_0 \geq 0,4$ men $\leq 0,8$	Klasse 1	$d_1/t_1 \leq 50$	Som ovenfor, men $d_1$ erstatter $b_1$ og $d_j$ erstatter $b_j$ .		

1) Hvis  $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$  og  $g > t_1 + t_2$ , behandles knutepunktet som to separate T- eller Y-knutepunkter.  
2)  $\lambda_{ov,lm} = 80 \%$  når den skjulte skjøten av den overlappede staven ikke er sveist og  $\lambda_{ov,lm} = 80 \%$  når den skjulte skjøten av den overlappede staven er sveist. Forbindelsen mellom staven og gurtens flens bør sjekkes for skjær dersom overlapsforholdet er større enn  $\lambda_{ov,lm}$ , eller dersom staven har rektangulære tverrsnitt med  $h_1 < b_1$  og/eller  $h_j < b_j$ .

Tabell 12: Gyldighetsområde for sveiste knutepunkter mellom stegstaver med hulprofiler og gurter med hulprofiler. Hentet fra NS-EN 1993-1-8

Forholdene i knutepunktet sjekkes om de følger kravene gitt i tabell 12. Som vist på vedlegg 9, har vi et knutepunkt av type k-gap.

Deretter beregnes aksialkapasiteten i staven og gurtene i med tanke på bruddtilfeller. Tilfellene vi kontrollerer er skjørbrudd, brudd i stegstav, skjærbrudd i gurtvegg og gjennomløkking.

Brudd i gurtflens

**Formel 10: Dimensjonerende aksialkapasitet for brudd i gurtflens i knutepunkt**

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(\theta_i)} \cdot \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

**Formel 11: Spenningsforhold for gurter med HUP**

$$n = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_y}$$

**Formel 12: Faktor for beregning av kapasitet til stav i knutepunkt**

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta}$$

**Formel 13: Forhold mellom gurtbredde og to ganger veggtykkelsen**

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0}$$

Skjærbrudd

**Formel 14: Dimensjonerende aksialkapasitet til diagonalstav for skjærbrudd, gurtvegg i knutepunkt**

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

**Formel 15: Skjærarealet til gurt**

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$$

**Formel 16: Faktor for bestemmelse av gurtens skjærareal**

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

**Formel 17: Dimensjonerende aksialkapasitet for gurt, skjærbrudd i gurtvegg**

$$N_{0,Rd} = \frac{\left( (A_0 - A_v) \cdot f_y + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2} \right)}{\gamma_{M5}}$$

**Formel 18: Dimensjonerende plastisk skjærkapasitet**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

Brudd i stegstav

**Formel 19: Dimensjonerende aksialkapasitet for brudd i stegstav i knutepunkt**

$$N_{i,Rd} = 355 \cdot 10(2 \cdot 80 - 4 \cdot 10 + 80 + 40)$$

**Formel 20: Effektiv bredde til stegstav i koblingen med gurt**

$$b_{eff} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i$$

Gjennomlokking

**Formel 21: Dimensjonerende aksialkapasitet for gjennomlokking av stav ved knutepunkt**

$$N_{i,Rd} = \frac{355 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin(45^\circ)} \cdot \frac{\left( \frac{2 \cdot 80}{\sin(45^\circ)} + 80 + 40 \right)}{1}$$

**Formel 22: Effektiv bredde ved gjennomlokking**

$$b_{e,p} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot b_i$$

### Beregning av sveis

#### Formel 23: Skjærspenning i sveisens lengderetning

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{1,25 \cdot \beta_w}$$

#### Formel 24: Skjærspenning i sveisens lengderetning

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,\parallel}}{l_{eff}}$$

#### Formel 25: Resultantspenning for sveis

$$f_{\perp} = \frac{N_{Ed,\perp}}{l_{eff}}$$

#### Formel 26: Normalspenning og skjærspenning på sveis

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{f_{\perp}}{\sqrt{2}}$$

Hvis de verdiene man kommer fram til holder seg innenfor verdiene som er satt i tabell 12, som er kravene

#### Formel 27: Skjærspenning

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$$

#### Formel 28: Minimum motstandsmoment

$$W_y \geq \frac{M_{Ed}}{f_d}$$

#### Formel 29: Dimensjonerende aksialkapasitet

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot f_d \cdot A$$

## BEREGNINGER LIMTRE

Vi brukte Limtreboka til Norske limtreprodusenters forening samt. fagboken Trekonstruksjoner som et eksempel på hvordan vi kunne løse fagverket i trevirke. Disse ble tatt i bruk for å sjekke at kapasiteten på fagverket skulle tåle lastene som kom frem ved hjelp av EUROCODE Express. Utførelsen av dimensjoneringen, vedlegg 7.

Fagverkets gurter og staver dimensjoneres ved hjelp av følgende formler under:

Alle tverrsnittene til profilstålene som brukes i fagverket er symmetriske.

### Formel 30: Relativ slankhet i z-retning

$$\lambda_{rel,z} = \frac{l_k}{i_z} \cdot \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

### Formel 31: Slankhetsfaktor

$$k_z = 0,5 \cdot [0,97 + 0,1 \cdot \lambda_{rel,z} + \lambda_{rel,z}^2]$$

### Formel 32: Knekkingsfaktor

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}}$$

### Formel 33: Minste nødvendige areal til belastet stav

$$A_{min} = \frac{N_{Ed}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}}$$

### Formel 34: Minste høyde for belastet stav

$$h_{min} = \frac{A_{min}}{b}$$

### Formel 35: Slankhet om y-aksen

$$\lambda_y = \frac{Lk_y}{i_y}$$



**Formel 36: Slankhetsfaktor om y-aksen**

$$K_y = 0.5[1 + \beta(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

**Formel 37: Knekkingsfaktor om y-aksen**

$$K_{c,y} = \left( \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \right)$$

**Formel 38: Dimensjonerende materialfasthet**

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys}}{\gamma_M}$$

**Formel 39: Høydefaktor**

$$K_h = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1.1\right\}$$

**Formel 40: Dimensjonerende materialtrykkfasthet**

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys}}{\gamma_M}$$

**Formel 41: Dimensjonerende spenning**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W}$$

**Formel 42: Dimensjonerende trykkfasthet**

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

**Formel 43: Spenningskontroll**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{K_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + km \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$$

**Formel 44: Skjærkontroll**

$$\tau = \frac{3 \times V_d}{2 \times K_{cr} \times b \times h} \leq 1$$

### Formel 45: Relativ slankhet om y-akse

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0.05}}}$$

## 3.2 Miljøaspektet

For å finne ut miljøutslippet knyttet til de to bæresystemene har vi valgt å gjennomføre en LCA, Life Cycle Assessment, også kalt livsløpsvurdering. I løsningen har vi valgt å konsentrere oss om GWP, Global Warming Potential, da det er her miljøutslippene i kg CO<sub>2</sub>-eq kommer frem.

Vi tar for oss punkt A1-A4 som omhandler miljøutslippene fra produksjon til og med transport til byggeplass. Vi stopper på A5 grunnet manglende informasjon om hvor mye utslipp det blir ved bygging, drift og vedlikehold samt ved riving av konstruksjonene. Det er ikke sikker at alt av materiale blir destruert etter riving, og det er derfor ikke mulig å si hva endelig miljøutslipp blir.

For gjennomføring av beregning av hvor mange kg CO<sub>2</sub>-eq de forskjellige bæresystemene slipper ut, har vi benyttet oss av EPD-er, Environment Product Declaration. I EPD-ene har de forskjellige leverandørene beregnet kg CO<sub>2</sub>-utslipp for de forskjellige elementene og er derfor et gunstig hjelpemiddel for gjennomføring av beregninger. I teksten nedenfor har vi vist hvordan vi gjennomførte beregninger for bæresystemene av massivtre og tradisjonelt bæresystem. Vi tar først for oss A1-A4 og avslutningsvis A4.

Grunnet mangel på EPD av lett-tak er det ikke mulig for oss å gjøre en vurdering av miljøutslipp ved produksjonsfasen (A1-A3) eller transport fra fabrikk til byggeplass (A4). Se drøfting for utdypet kommentar.

### 3.2.1 A1-A3 – UTSLIPP VED PRODUKSJON

Faktorer tatt ut fra materialenes EPD					
			Byggematerialer		
Hva	Parametere	Enhet	A1	A2	A3
Massivtre	GWP	kg CO2-equiv/m3	-671		
Stål	GWP	kg CO2-equiv/m3	2399	29,9	62,6
Betong B35	GWP	kg CO2-equiv/m3	2,28E+02	1,38E+01	2,14E+00
Betong B30	GWP	kg CO2-equiv/m3	2,11E+02	1,33E+01	2,14E+00
Armering	GWP	kg CO2-equiv/m3	3,87E-01		
Hulldekke	GWP	kg CO2-equiv/tonns	1,06E+02	3,24E+00	5,39E+00
Lett-tak	GWP	kg CO2-equiv/m3	-	-	-

Tabell 13: GWP-faktorer A1-A3 fra EPD

For å finne ut hvor mye GWP produksjonsfasen slipper ut, satte vi opp tabellene 14. og 15. Den første tabellen gjelder for bæresystemet i massivtre, mens den andre er for tradisjonelt bæresystem. Tallene i høyreenden i tabellene representerer hvor mange kg CO<sub>2</sub>-eq som slippes ut ved produksjon av materialene. Vi kom fram til disse verdiene ved å multiplisere mengdene i tabell 13. med verdiene fra i EPD-ene (A1-A3). Noen av EPD-ene hadde delt produksjonsfasen i tre deler. For å komme fram til summen av utslippet for disse ble produktet for hver del addert med hverandre.

GWP for bæresystem i massivtre, produksjon (A1-A3)						
Elementer	Mengder	Enhet	A1	A2	A3	GWP A1-A3 (kgCO2-eq)
Massivtre	2221,14	m3	-1,49E+06			-1490384,94
Betong B35	160	m3	3,65E+04	2,21E+03	3,42E+02	39030,40
Armeing	2,79	m3	1,08E+00			1,08
Lett-tak			-			

Tabell 14: GWP for Massivtre, produksjonsfase

GWP for tradisjonelt bæresystem, produksjon (A1-A3)						
Elementer	Mengder	Enhet	A1	A2	A3	GWP A1-A3 (kgCO2-eq)
Betong B35	160	m3	3,65E+04	2,21E+03	342,40	39030,40
Betong B30	1806	m3	3,81E+05	2,40E+04	3864,84	408950,64
Armering	16,96	m3	6,56E+00			6,56
Stål	121,7	tonn	291958,3	3638,83	7618,42	303215,55
Hulldekke	1099,15	tonn	1,17E+05	3561,25	5924,42	125995,56
Lett-tak			-			

Tabell 15: GWP for Tradisjonell, Produksjonsfase

### 3.2.2 A4 – UTSLIPP VED TRANSPORT FRA FABRIKK TIL BYGGEPLASS

#### 3.2.2.1 Bæresystem av massivtre

##### *A4 – massivtre*

Fra EPD-en vi har fått tilsendt av Stora Enso står det at fra Østerrike til Sverige er det 1890 km og at kg CO<sub>2</sub>-eq per kubikk på denne transporten er 33.86 kg CO<sub>2</sub>-eq (se verdier i vedlegg 13.). Vi tok denne GWP-verdien og delte det på antall km:  $33.86 \text{ kg CO}_2\text{-eq} / 1890 \text{ km} = 0.0179 \text{ kg CO}_2\text{-eq/km}$ . Dette er kg CO<sub>2</sub>-eq per kubikk som gjelder for transport med tog. Drammen er nærmeste togstasjon som Stora Enso leverer til i Norge. Avstanden fra Gruvör i Sverige til Drammen finner vi ikke eksakt for tog, og vi tok derfor ca samme rute for bil som ble 228km. Med dette som utgangspunkt kunne vi estimere at kg CO<sub>2</sub>-eq fra fabrikk til Drammen med tog var  $0.0179 \text{ kg CO}_2\text{-eq/km} * 228 \text{ km} = 4.0812 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  for en kubikk massivtre. Denne CO<sub>2</sub>-eq blir så multiplisert med antall kubikk massivtre, 2221.14 kubikk, som gir en CO<sub>2</sub>-eq på  $2221.14 * 4.0812 = 9064.92 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  for denne delen av reisen.

Det var ikke oppgitt en A4, GWP-verdi, for transport med vogntog i EPD-en for massivtre. Vi har derfor basert denne delen av utregningen på verdier fra Statistisk Sentralbyrå for gram CO<sub>2</sub>-eq/km for lastebiler eller trekkvogner (SSB, 2016). Utslippet av gram CO<sub>2</sub>-eq avhenger av hastigheten og forholdene lastebilen kjører under. Avstanden fra Drammen sentralstasjon til Kolvikbakken ungdomsskole er, ifølge google maps, 586 km. Tiden det tar å kjøre denne avstanden er 7 timer og 47 minutter.  $47/60 = 0.7833$ , tiden,  $t = 7.7833$ . Avstanden,  $s = 586 \text{ km}$ . Dette gir en gjennomsnittshastighet på  $v = s/t = 586 \text{ km} / 7.78 = 75.42 \text{ km/t}$ . SSB benytter 100 km/t, 80 km/t og 50 km/t i sin statistikk, vi velger derfor at lastebilen kjører 80 km/t i en forenkling av virkeligheten. Vi forenkler også forholdene lastebilen kjører under til fri flyt og køkjøring. Ved fri flyt frigjør lastebilen 802.58 gram CO<sub>2</sub>-eq og 1853.8 gram CO<sub>3</sub>-eq for køkjøring. Dersom vi antar at halve strekningen kjøres i fri flyt og halve strekningen kjøres i køkjøring vil gjennomsnittlig gram CO<sub>2</sub>-eq/km bli:  $(802.58 * 1853.8) / 2 = 1328.19 \text{ gram CO}_2\text{-eq/km} = 1.33 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ . For en lastebil som kjører fra Drammen sentralstasjon til Kolvikbakken ungdomsskole, under disse gitte forholdene, vil utslippet bli  $1.33 \text{ kg CO}_2\text{-eq/km} * 586 \text{ km} = 778.38 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ .

Videre måtte vi finne antall kjøretøy og multiplisere dette med utslippsverdien for ett kjøretøy. I Teknisk Brosjyre fra Stora Enso står det at lastebilene kan lastes med 20-25 tonn

per vogntog (Se vedlegg 20.). Lastevolumet på en lastebil er ca  $50 \text{ m}^3$ . Dette gir  $2221.14 \text{ m}^3 / 50 \text{ m}^3 = 44,4$  trailere. I virkeligheten blir dette 45 lastebiler, hvor 44 lastebiler er fullt utnyttet på lasten og en siste laster delvis utnyttet. For å få eksakte tall på frakten av den eksakte mengden massivtre som skal transporteres, bruker vi derfor 44.4 trailere i beregningen, selv om det i virkeligheten er 45 lastebiler som kjører. I EPD-en er enheten til massivtre oppgitt i  $\text{m}^3$ , dette måtte derfor gjøres om til tonn. Ved å multiplisere massetettheten til massivtre,  $490 \text{ kg/m}^3$ , med antall kubikk, fikk vi mengden oppgitt i tonn:  $490 \text{ kg/m}^3 * 2221.14 \text{ m}^3 = 1088.4 * 10^3 \text{ kg} = 1088.4 \text{ tonn}$ . Kontrollen for om en lastebil laster under 25 tonn:  $1088.4 \text{ tonn} / 44.4 \text{ lastebiler} = 24.5 \text{ tonn} < 25 \text{ tonn} \rightarrow \text{OK}$ . Utslippene for transporten fra Drammen til byggeplass vil samlet være:  $44.4 * 778.38 \text{ kg CO}_2\text{-eq} = 34560.24 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ .

Samlet GWP for massivtre, fra fabrikk i Gruvör i Sverige til Kolvikbakken ungdomsskole, blir da  $34560.24 \text{ kg CO}_2\text{-eq} + 9064.92 \text{ kg CO}_2\text{-eq} = 43525.16 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ . Se tabell 16. for oversikt.

TRANSPORT A4 Massivtre (Eksakte tall for antall kjøretøy)							
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet	Sammlert GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Massivtre Tog	2221,14	m <sup>3</sup>	228	-	0,0179	4,0812	9064,92
Massivtre Vogntog	2221,14	m <sup>3</sup>	586	44,4	1,3283	778,3838	34560,24
Massivtre totalt	2221,14	m <sup>3</sup>				-	43625,16

Tabell 16: Transport A4 massivtre (eksakte tall for antall kjøretøy)

#### A4 - Fundament – betong B 35

I EPD-en for betong var det oppgitt at kjøretøyet hadde kjørt 20 km og fått en A4-GWP på  $4.03 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ . For en  $\text{m}^3$  B35 vil utslippet for en km være  $4.03/20 = 0.2015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/km}$ . Avstanden fra fabrikk, Dyrøy i Olsvika, til byggeplassen ved Kolvikbakken ungdomsskole, er 10 km. Utslippet for transporten av en  $\text{m}^3$  for ett kjøretøy blir da:  $10 \text{ km} * 0.2015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/km} = 2.015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ . EPD-en som vi har fått tilsendt basere seg på at kapasiteten på kjøretøyene er 53% utnyttet. Fra hjemmesiden til Dyrøy Betong fant vi at maks belastning på ett kjøretøy er  $7.5 \text{ m}^3$  (Dyrøy Betong). En utnyttelse på 53% vil da si at kjøretøyene kan belastes med  $7.5 * .53 = 3.975 \text{ m}^3$ . Utslipp for en tur med 53% utnyttelse blir:  $3.975 \text{ m}^3 * 2.015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3 = 8.01 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ . Totalt skal det fraktes  $160 \text{ m}^3$  (verdien

kommer fra samtale med ekstern veileder), og det må derfor nyttes  $160\text{m}^3/3.975\text{m}^3=40.25$  kjøretøy. For eksakt leveranse vil da samlet GWP bli  $40.25*8.01=322.39$  kg CO<sub>2</sub>-eq.

Dersom man beregner at kjøretøyene er fullt utnyttet kan de frakte  $7.5\text{m}^3$  B35 på hver tur.

Med fullt utnyttet laster trengs det  $160\text{m}^3/7.5\text{m}^3=21.33$  kjøreturer. Dette gir en samlet GWP for alle kjøreturene på  $2.015$  (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>)/tur\*  $21.33$  kjøreturer \*  $7.5\text{m}^3 = 322.35$  kg CO<sub>2</sub>-eq.

TRANSPORT A4 B35 (Eksakte tall for antall kjøretøy)								
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet per tur	Last per kjøretøy (m <sup>3</sup> )	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
B35 53% utnyttet	160	m <sup>3</sup>	10	40,25	0,2015	2,015	3,975	322,39
B35 100% utnyttet	160	m <sup>3</sup>	10	21,33	0,2015	2,015	7,5	322,35

Tabell 17: Transport A4 B35 (eksakte tall for antall kjøretøy)

#### A4 – Armeringsstål

For bæresystemet av massivtre er mengden armeringsstål gitt til  $2.79\text{ m}^3$ . Mengden kommer fra vedlegg 18. som man ser i utklippet av e-posten, der armeringsmengden for fundamentet gitt i tonn. For å endre dett til m<sup>3</sup> må vi dividere vekten på densiteten, som er  $7860\text{ kg/m}^3$ . Vi har fått EPD-en for armeringsstålet fra Smiths Stål, hvor vi ser på A4 at GWP er  $3.55*10^{-3}$  (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>)/km (Se vedlegg 16.). Endelig CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> armeringsstål for transport fabrikk til Kolvikbakken ungdomsskole blir da  $3.55\text{kg (CO}_2\text{-eq/m}^3\text{)/km} * 10^{-3} * 8\text{km} = 0.0284$  kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> armeringsstål. Samlet GWP for armeringsstål til bæresystemet av massivtre  $0.0284\text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3 * 2.79\text{ m}^3 = 0.08$  kg CO<sub>2</sub>-eq.

TRANSPORT A4 Armeringsstål (Massivtre)							
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Armeringsstål	2,79	m <sup>3</sup>	8	-	0,00355	0,0284	0,08

Tabell 18: Transport A4 armeringsstål (massivtre)

GWP for bæresystem i massivtre, transport (A4) delvis utnyttet			
Elementer	Mengder	Enhet	GWP A4 (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Massivtre	2221,14	m <sup>3</sup>	43625,16
Betong B35	160	m <sup>3</sup>	322,39
Armeing	2,79	m <sup>3</sup>	0,08
Lett-tak			

Tabell 19: GWP for bæresystem i massivtre, transport (A4) delvis utnyttet.

GWP for bæresystem i massivtre, transport (A4) Fullt utnyttet			
Elementer	Mengder	Enhet	GWP A4 (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Massivtre	2221,14	m <sup>3</sup>	43625,16
Betong B35	160	m <sup>3</sup>	322,35
Armeing	2,79	m <sup>3</sup>	0,08
Lett-tak			

Tabell 20: GWP for bæresystem i massivtre, transport (A4) Fullt utnyttet.

### 3.2.2.2 Tradisjonelt bæresystem

#### A4 - Betong B30

For modellen med tradisjonelt bæresystem benyttes det 1806m<sup>3</sup> B30 betong. Vi har valgt å bruke Dyrøy Betong som leverandør. Deres EPD baserer seg på at betongbilene er 53% utnyttet. GWP for en m<sup>3</sup> betong på en strekning på 10 km er 2.02 kg CO<sub>2</sub>-eq. I EPD-en vi har fått tilsendt er avstanden korrekt i forhold til kjøring fra fabrikk til byggeplass, og vi trener derfor ikke gjøre noe omregning i denne løsningen. En betongbil kan frakte 7.5 m<sup>3</sup> betong, og med 53% utnyttelse betyr dette at hver betongbil kan frakte 0.53\*7.5=3.975 m<sup>3</sup> på hvert lass. Utslipp per tur vil være 3.975\*2.02=8.0296 kg CO<sub>2</sub>-eq for en km. Vi trenger 1806m<sup>3</sup>/3.975m<sup>3</sup>/betongbil=454.33=455 betongbiler for transporten av betong. Eksakt GWP for lasten med rett mengde B30 er: 454.33\*8.0296=3648,04 kg CO<sub>2</sub>-eq.

Med 100% utnyttelse vil regnestykket bli: Hver betongbil vil ha et utslipp på 2.02\*7.5=15.15 kg CO<sub>2</sub>-eq. Antall betongbiler man trenger for transporten vil være 1806/7.5=240.8=241. Samlet GWP med 100% utnyttelse blir da: 240.8\*15.15=3648.12 kg CO<sub>2</sub>-eq.

TRANSPORT A4 B30 (Eksakte tall for antall kjøretøy)								
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet per tur	Last per kjøretøy (m <sup>3</sup> )	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
B30 53% utnyttet	1806	m <sup>3</sup>	10	454,33	0,202	2,02	3,975	3648,04
B30 100% utnyttet	1806	m <sup>3</sup>	10	240,8	0,202	2,02	7,5	3648,12

Tabell 21: Transport A4 B30 (eksakte tall for antall kjøretøy)

#### A4 – fundament – B 35

I EPD-en for betong var det oppgitt at kjøretøyet hadde kjørt 20 km og fått en A4-GWP på 4.03 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>. For en m<sup>3</sup> B35 vil utslippet for en km være  $4.03/20=0.2015$  kg CO<sub>2</sub>-eq/km. Avstanden fra fabrikk, Dyrøy i Olsvika, til byggeplassen ved Kolvikbakken ungdomsskole, er 10 km. Utslippet for transporten av en m<sup>3</sup> for ett kjøretøy blir da:  $10 \text{ km} * 0.2015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/km} = 2.015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ . EPD-en som vi har fått tilsendt basere seg på at kapasiteten på kjøretøyene er 53% utnyttet. Fra hjemmesiden til Dyrøy Betong fant vi at maks belastning på ett kjøretøy er 7.5m<sup>3</sup>. En utnyttelse på 53% vil da si at kjøretøyene kan belastes med  $7.5 * .53 = 3.975 \text{ m}^3$ . Utslipp for en tur med 53% utnyttelse blir:  $3.975 \text{ m}^3 * 2.015 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3 = 8.01 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ . Totalt skal det fraktes 160m<sup>3</sup> (verdien kommer fra samtale med ekstern veileder), og det må derfor nyttes  $160 \text{ m}^3 / 3.975 \text{ m}^3 = 40.25$  kjøretøy. For eksakt leveranse vil da samlet GWP bli  $40.25 * 8.01 = 322.39 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ .

Dersom man beregner at kjøretøyene er fullt utnyttet kan de frakte 7.5m<sup>3</sup> B35 på hver tur. Med fullt utnyttet laster trengs det  $160 \text{ m}^3 / 7.5 \text{ m}^3 = 21.33$  kjøreturer. Dette gir en samlet GWP for alle kjøreturene på  $2.015 \text{ (kg CO}_2\text{-eq/m}^3\text{) / tur} * 21.33 \text{ kjøreturer} * 7.5 \text{ m}^3 = 322.35 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

TRANSPORT A4 B35 (Eksakte tall for antall kjøretøy)								
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet per tur	Last per kjøretøy (m <sup>3</sup> )	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
B35 53% utnyttet	160	m <sup>3</sup>	10	40,25	0,2015	2,015	3,975	322,39
B35 100% utnyttet	160	m <sup>3</sup>	10	21,33	0,2015	2,015	7,5	322,35

Tabell 22: Transport A4 B35 (eksakte tall for antall kjøretøy)



#### A4 - Armeringsstål

I modellen av det tradisjonelle bæresystemet har vi fått oppgitt at det brukes  $16.96\text{m}^3$  armeringsstål. Mengden kommer fra vedlegg 18. som man ser i utklippet av e-posten, der armeringsmengden for fundamentet gitt i tonn. For å endre dett til  $\text{m}^3$  må vi dividere vekten på densiteten, som er  $7860\text{ kg/m}^3$ . Det er oppgitt i EPD-en fra Smiths Stål at  $1\text{m}^3$  armeringsstål har et utslipp på  $3.55 \cdot 10^{-3}\text{ kg CO}_2\text{-eq /km}$ . Vi har ikke fått oppgitt noe tall på maksimal belastning på et kjøretøy og ser derfor vekk fra dette i løsningen. Avstanden fra fabrikk til byggeplass er 8 km, noe som gir  $3.55 \cdot 10^{-3} \cdot 8\text{ km} = 0.0284\text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ . Samlet GWP for  $16.96\text{m}^3$  armeringsstål blir da:  $0.0284 \cdot 16.96 = 0.48\text{ kg CO}_2\text{-eq}$ . Dette gjelder armeringsstålet både i fundament og resten av modellen.

TRANSPORT A4 Armeringsstål (Tradisjonell)							
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Armeringsstål	16,96	m <sup>3</sup>	8	-	0,00355	0,0284	0,48

Tabell 23: Transport A4 Armeringsstål (tradisjonell)

#### A4 - Stål – fagverk

For stål, til bruk av fagverket, hadde ikke leverandøren som var tiltenkt i prosjektet en EPD. Vi tar derfor utgangspunkt i en EPD for stål fra Contiga, som vi fant på EPD-Norge (Vedlegg 16.). EPD tar utgangspunkt i lastebil som transport for stål. Fabrikkløse var heller ikke kjent for oss. Etter samtale med ekstern veileder ble vi enige om å ta utgangspunkt i Gdansk, da dette er en stor industriby i Polen som er vanlig å hente stål til fagverk fra. Avstanden i km fra Gdansk til Kolvikbakken ungdomsskole er 1661 km. I EPD-en er enheten kg CO<sub>2</sub>-eq/tonn, og ikke kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> som i noen av de andre EPD-ene. Det var beregnet 70% utnyttelse av lasten av en 33 tonns lastebil. Kg CO<sub>2</sub>-eq/tonn stål for en lastebil som kjører 90 km er ifølge EPD-den 7.26 kg CO<sub>2</sub>-eq. For å få (kg CO<sub>2</sub>-eq/tonn)/km dividerte vi derfor 7.26 kg CO<sub>2</sub>-eq med 90 km, som ble 0.0807 (kg CO<sub>2</sub>-eq/tonn)/km. Denne verdien multipliserte vi så med avstanden vår, 1661km, og fikk 134.04 kg CO<sub>2</sub>-eq/tonn. Kjøretøyet tar 70% last av 33 tonn, noe som gir en last på 23.1 tonn/kjøretøy. Antall kjøretøy man trenger er  $121.7/23.1 = 5.27 = 6$  kjøretøy, men vi benytter 5.27 i utregningen for at utslipp skal bli korrekt i forhold mengden stål. Utslippet for et kjøretøy som er lastet 70% utnyttet blir:  $23.1 \cdot 134.04 = 3096.33$ . Dette gir en samlet GWP for 70% utnyttelse på  $3096.33 \cdot 5.27 = 16317.63\text{ kg CO}_2\text{-eq}$ .

For 100% utnyttelse av kjøretøy benytter vi 33 tonn som belastning, i stedet for 23.1 tonn. Det reduserer antall kjøretøy nødvendig for transport til  $121.7/33=3.69 = 4$  kjøretøy. GWP for 100% utnyttelse blir da:  $134.04*33*3.688=16313.53$  kg CO<sub>2</sub>-eq.

TRANSPORT A4 Stål (Eksakte tall for antall kjøretøy)								
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet per tur	Last per kjøretøy (tonn)	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Stål 70% utnyttelse	121,7	tonn	1661	5,27	0,0807	134,0427	23,1	16317,96
Stål 100% utnyttelse	121,7	tonn	1661	3,688	0,0807	134,0427	33	16313,53

Tabell 24: Transport A4 (eksakte tall for antall kjøretøy)

#### A4 - Hulldekke

For hulldekke fikk vi tilsendt en EPD fra Spenncon, hvor GWP-en baserer seg på ett tonn hulldekke. Kapasitetsutnyttelsen på turen var 50%, og bilene kunne maksimalt belastes med 28 tonn (Vedlegg 17.). Utnyttelsen på 50% gir en belastning på 14 tonn per bil. GWP-en i EPD-en belager seg på en kjøretur på 50 km, med en A4 på 8.5 kg CO<sub>2</sub>-eq. Dette gir en GWP på  $8.5/50=0.17$  kg CO<sub>2</sub>-eq/km for ett tonn hulldekke. Kjøreturen fra fabrikk til Kolvikbakken ungdomsskole er 36.8km. For en tur vil samlet GWP for ett tonn hulldekke være  $36.8*0.17=6.256$  kg CO<sub>2</sub>-eq. I betongkonstruksjonen brukes det 370.18 tonn H400 og 728.97 tonn H265. Dette gir en samlet mengde på  $370.18+728.97=1099.15$  tonn hulldekke. En bil kan belastet med 14 tonn, og vi må derfor benytte oss av  $1099,15/14=78,5=79$  kjøretøy. For et kjøretøy med 14 tonn belastning vil miljøutslippet bli:  $14*6.256$  kg CO<sub>2</sub>-eq= $87.584$  kg CO<sub>2</sub>-eq. Samlet GWP med rett mengde hulldekke:  $78.5*87.584=6875.34$  kg CO<sub>2</sub>-eq.

Dersom man utnytter kjøretøyene 100% vil 28 tonn last på hver bil, vil man da trenge  $1099,15/28=39,26=40$  kjøretøy. Dette gir en GWP for en tur på  $28*6.256$  kg CO<sub>2</sub>-eq= $175.17$  kg CO<sub>2</sub>-eq, som gir en samlet GWP på  $39.26*175.17=6877.10$  kg CO<sub>2</sub>-eq.

TRANSPORT A4 Hulldekke (Eksakte tall for antall kjøretøy)								
Materiale	Mengde	Enhet	Distanse (km)	Antall kjøretøy	kgCO <sub>2</sub> -eq/km*enhet	kgCO <sub>2</sub> -eq/enhet per tur	Last per kjøretøy (tonn)	Samlet GWP (kgCO <sub>2</sub> -eq)
HD 50% utnyttelse	1099,15	tonn	36,8	78,5	0,17	6,256	14	6875,34
HD 100% utnyttelse	1099,15	tonn	36,8	39,26	0,17	6,256	28	6877,10

Tabell 25: Sum transport for Hulldekke, A4, tradisjonelt bæresystem

GWP for tradisjonelt bæresystem, transport (A4) delvis utnyttet			
Elementer	Mengder	Enhet	GWP A4 (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Betong B35	160	m <sup>3</sup>	322,39
Betong B30	1806	m <sup>3</sup>	3648,04
Armering	16,96	m <sup>3</sup>	0,48
Stål	121,7	tonn	16317,96
Hulldekke	1099,15	tonn	6875,34
Lett-tak			-

Tabell 26: GWP for tradisjonelt bæresystem, transport (A4), delvis utnyttet.

GWP for tradisjonelt bæresystem, transport (A4) Fullt utnyttet			
Elementer	Mengder	Enhet	GWP A4 (kgCO <sub>2</sub> -eq)
Betong B35	160	m <sup>3</sup>	322,35
Betong B30	1806	m <sup>3</sup>	3648,12
Armering	16,96	m <sup>3</sup>	0,48
Stål	121,7	tonn	16313,53
Hulldekke	1099,15	tonn	6877,1
Lett-tak			-

Tabell 27: GWP for tradisjonelt bæresystem, transport (A4) fullt utnyttet.

### 3.3 Intervju

#### 3.3.1 GODKJENNING AV NSD

Prosjektet er i henhold til NTNU sine regler for forskning godkjent av NSD før intervjuene ble gjennomført.

#### 3.3.2 HENSIKT MED INTERVJU

Forskningsspørsmålet for oppgaven er *sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre*. Vi ville løse en del av oppgaven ved å samle erfaringer og tanker fra relevante bedrifter som har gjennomført prosjekter i de forskjellige byggematerialene. For å få mest mulig ut av undersøkelsen var det gunstig å gjennomføre en form for dybdeintervju hvor vi selv ikke ville være veldig aktive under intervjuprosessen. Vi valgte å være mer passive og hovedsakelig holde oss til å stille spørsmålene for at intervjuobjektet skulle få muligheten til å snakke så fritt som mulig uten avbrytelser eller påvirkning fra intervjuer.

Intervjuguiden er bygd opp etter malen for dybdeintervju med en introduksjon, hoveddel/forskningsspørsmål og avslutning. På denne måten ble alle informantene stilt de samme spørsmålene.

#### 3.3.3. BEGRUNNING AV SPØRSMÅL

Bakgrunnen for undersøkelsen tar utgangspunkt i prosjektets overskrift: sammenligning av tradisjonelt byggemateriale og massivtre/limtre. Det ville ikke være tilstrekkelig å utføre et åpent intervju eller undersøkelse uten å konkretisere litt hva vi ville fokusere på. Siden denne oppgaven ellers tar for seg den statiske utfordringen ved store spenn i de forskjellige byggematerialene, samt et forsøk på LCA, så tenkte vi det ville være interessant å også få noen erfaringer fra firma som har gjennomført prosjekt i de forskjellige materialene om selve byggeprosessen og de økonomiske faktorene som hører til de forskjellige materialene.

Intervjuene baserer seg derfor på de tre styringsvariablene for gjennomføring av prosjekter: arbeidsomfang, tid og kostnader. Som man ser i intervjuguiden, har vi strukturert den med tredelt med oppvarmingsspørsmål, refleksjonsspørsmål og avslutningsspørsmål.

Oppvarmingsspørsmålene tar for seg stilling/rolle, firma, hvilke typer prosjekter som er vanlig for firmaet og om firmaet har gjennomført prosjekter med begge byggematerialene.

Refleksjonsspørsmålene er delt opp i tre elementer: arbeidsomfang, tid og kostnad. Om arbeidsomfang spør vi informantene hvordan de har opplevd planleggingsfasen og gjennomføringsfasen i bruken av de forskjellige byggematerialene. Om tid stiller vi spørsmål om informantens erfaringer om bruken av tid fra prosjektstart til overlevering av prosjektet til kunde. Kostnadsspørsmålene tar for seg hva informanten har gjort seg opp om hvilken av materialene som utgjør størst utgift fra start til slutt og hvordan kostnad over tid påvirker bruken av de forskjellige byggematerialene. Det å kunne bruke styringsvariabler, som gjerne er kjente for ansatte i byggebransjen som har deltatt på prosjekter, gjorde at informantene ikke nødvendigvis trengte å forberede seg så mye til intervjuet, men nok hadde tenkt en del på disse variablene fra før av når de har gjennomført byggeprosjekter. Om det er noe informantene hadde lyst å legge til av informasjon om de forskjellige byggematerialene som de selv mente kunne være relevant å legge til fikk de mulighet til dette i avslutningsrundene. Her spurte vi hva de ville anbefalt kunder å bruke av materialer og om de kan begrunne dette samt om det er noe de føler står sentralt i valg av materiale som vi ikke hadde spurt om.

#### 3.3.4 UTVALG

For å sikre at vi fikk relevante og gode svar på spørsmålene vi stilte var det viktig at vi intervjuet ansatte fra bedrifter som har vært med på prosjekter både med massivtre/limtre og tradisjonelt bæresystem (betong og stål i samme bygg). Å bygge med massivtre/limtre er ganske nytt i Norge, så det var begrenset med bedrifter som har erfaring med dette. På tross av denne begrensningen fikk vi svar fra tre bedrifter som enten er entreprenørfirma eller prosjekterende firma. Det vil være noe forskjellig erfaringer å hente fra en entreprenør sitt hold enn et prosjekterende firma, og dette var noe vi tok stilling til. Mer om dette i drøftingen.

For å finne deltakere til forskningsprosjektet gjorde vi noen søk på google for å sikre oss om at vi kun kontaktet bedrifter vi allerede viste hadde erfaring med bygg både i tradisjonelt bæresystem og massivtre/limtre. Vi fikk tak i informantene ved aktiv ringing til personer som var oppført om prosjektledere eller organisasjonsledere i de forskjellige bedriftene. Vi kom deretter enten i mailkontakt med informantene hvor vi skreiv litt om hva prosjektet gikk ut på og hva det var vi ønsket svar på. Informantene fikk tilsendt både samtykkeskjema og intervjuguide.

### 3.3.5 GJENNOMFØRING AV INTERVJU

Intervjuene ble gjennomført via Microsoft Teams. Dette fungerte godt da vi fikk en mer personlig kontakt enn via telefonsamtale. Grunnet arbeidstider ble tidspunkt for gjennomføring av intervju bestemt av informanten. Intervjuene hadde en lengde på mellom 12 og 28 minutter, i gjennomsnitt ca. 20 minutter. Etter gjennomført intervju benyttet vi oss av SharePoint via Microsoft Teams som forum for transkribering. Dette var av hensyn til at personlig informasjon ikke skulle lagres på våre private enheter, men sikres gjennom program vi har fått fra NTNU. I transkripsjonene ble informasjon om informantene anonymisert og erstattet med identitetstagger.

### 3.3.6 ANONYMISERING

I denne oppgaven har vi valgt å anonymisere ved bruk av identitetsindikatorer. Vi har valgt å kalle det første intervjuobjektet for A, bedriften A jobber for 1. Den andre vi intervjuet har identitetstagger B og bedriften vedkommende jobber for heter i teksten 2. Den tredje vi intervjuet heter C og bedriften har fått taggen 3. Det gir en logisk oppbygging av intervjuobjekter og bedriftene disse jobber for som gjør det enkelt og systematisk for oss som behandler informasjonen som har kommet frem i transkripsjonene.

For å leve opp til kravene vi selv satte til anonymisering av intervjuobjektene i prosjektet, valgte vi å oversette transkripsjonene til bokmål. Dette sammen med identitetsindikatorene mener vi har bidratt til at intervjuobjektene ikke er gjenkjennelige for andre enn dem selv.

### 3.3.7 KODING

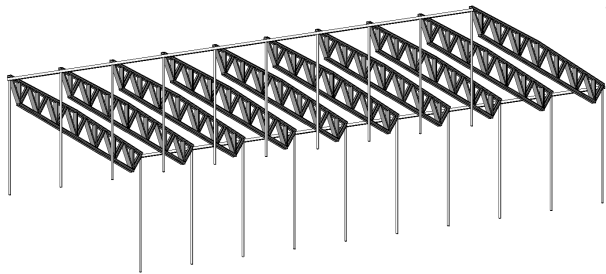
Når vi begynte med koding, tok vi for oss det første intervjuet og så om det var noe informanten selv påpekte kunne være spesielt ved det ene eller det andre byggematerialet. Vi markerte de setningene og det ordbruket som vi så enten var i enighet eller motstridene med det andre informanter har ytret.

## 4 RESULTAT

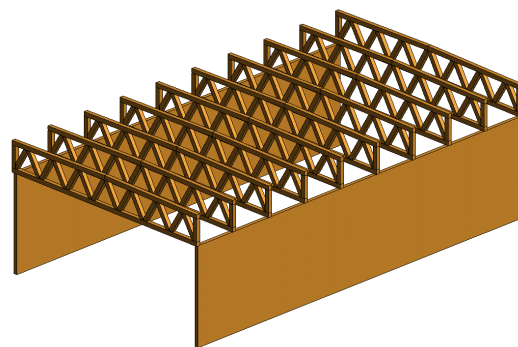
### 4.1 Fagverk

Dette kapitlet tar for seg resultatet av fagverksbjelkene i stål og limtre, som ble dimensjonert i kapittel 3. Fagverkene det er dimensjonert for, representerer utformingen til 10 stk. bjelker, som blir montert over en gymsal. Dette kan sees i figur 10. og 11. Det ble valgt å bruke 10 bjelker i bjelkelaget, siden lett-taket var dimensjonert med tanke på dette antallet.

Situasjonsbilde ved å ha samme antall bjelker for begge typene gir oss et bedre grunnlag for å sammenligne materialene opp mot hverandre.



Figur 10: Løsning bjelkelag, stål



Figur 11: Løsning bjelkelag, massivtre

Dimensjoneringen av bjelkene er gjort ut ifra nyttelast, snølast og egenlast. Det har blitt sett bort fra vindlast siden den tas opp i heis- og trappe-sjaktene. Begge typene av fagverksbjelker har blitt dimensjonert ved hjelp av EURCODExpress og gjennom håndberegninger. Ved beregning av stål brukte vi boken til Per Kristian Larsen og for trevirke brukte vi boken Trekonstruksjoner.

Snølasten ble gitt etter Formel 1. for karakteristisk snølast på mark i Ålesund kommune. Det er også brukt formfaktor for flatt tak som er gitt i Tabell 3.

Egenlasten kommer av å multiplisere materialets massetetthet med materialets volum.

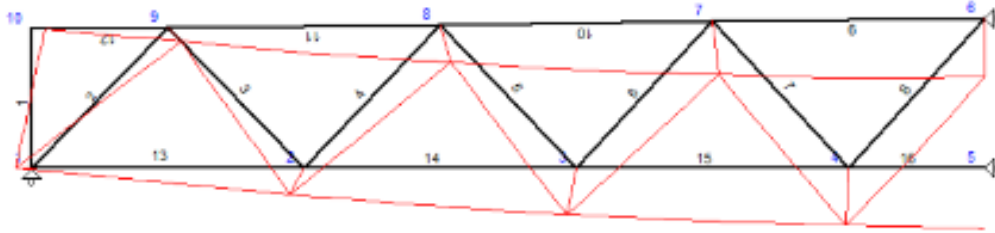
Lastene har blitt beregnet i bruddgrensetilstand med bruk av Tabell 8.

Lastene har blitt beregnet i bruksgrensetilstand med bruk av Tabell 5.

Nedbøyingen for bruksgrensetilstand er regnet etter en karakteristisk tilstand fra Tabell 5.

#### 4.1.1 BÆRESYSTEM AV MASSIVTRE

Fagverket som er konstruert i limtre er beskrevet nærmere i kapittel 3.1.3.1.



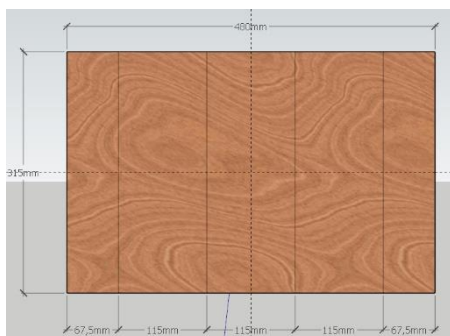
Forskyvningsdiagram

maxD=14.38979 mm

Figur 12: Utklipp fra EUROCODEExpress som viser nedbøyning for fagverket i limtre.

Nedbøyningen til fagverket ble beregnet i Eurocode og vi kom fram til et resultat som ligger under kravet for bjelkelaget. Kravet er  $L/300$  som i dette tilfelle blir  $25000/300=83.3\text{mm}$ , limtre bjelken vi har dimensjonert få en nedbøyning på  $14,3\text{mm}$ . Se figur 12. Kravet er dermed oppfylt.

#### Tverrsnitt staver



Figur 13: Tverrsnitt staver, limtre.



Vi har kontrollert stavene i limtre. Den har en dimensjon på 480mm x 315mm. Se figur 13.(den over). Belastningene som påvirker denne, har vi hentet fra EUROCODEExpress.

Utnyttelsen av den ligger på:

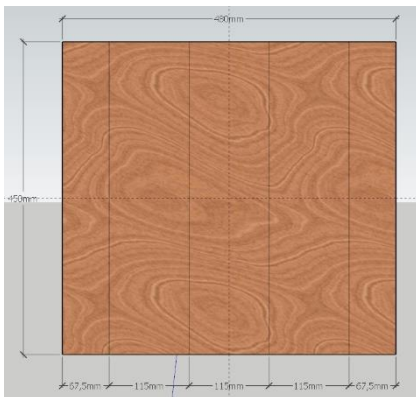
Strekk:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,97}{16} = 0,12 < 1,0 \rightarrow OK$$

Trykk:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1,38}{0,98 \cdot 19} = 0,07 < 1,0 \rightarrow OK$$

Tverrsnitt overgurt og undergurt



Figur 14: Tverrsnitt over- og undergurt, limtre.

Vi har kontrollert overgurten i limtre. Den har en dimensjon på 480mm x 450mm. Se figur 14. Belastningene som påvirker overgurten, har vi hentet fra EUROCODEExpress.

Utnyttelsen av den ligger på:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + km \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$$

$$0,14 + 0,059 = 0,2 \leq 1 \rightarrow OK$$

Undergurten har samme dimensjoner som overgurten, slik som vist på figur 13.

Forutsetningene til å dimensjonere denne er annerledes med tanke på kreftene den tar opp og overfører.

Kontroll for undergurten ble gjennomført (vedlegg 7.).

Utnyttelsen av den blir:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3.78}{16} = 0.23 < 1.0 \quad \rightarrow OK$$

#### 4.1.2 TRADISJONELT BÆRESYSTEM

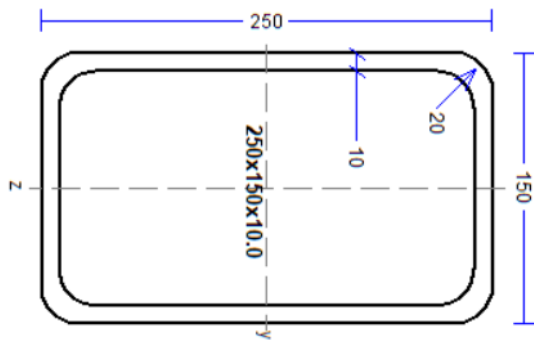


Forskyvningsdiagram  
maxD=56.64276 mm

Figur 15: Utklipp fra EUROCODExpress som viser nedbøyning for fagverket i stål.

Nedbøyningen til fagverket ble beregnet i Eurocode og vi kom fram til et resultat som ligger under kravet for bjelkelaget. Kravet er  $L/300$  som i dette tilfelle blir  $25000/300=83.3\text{mm}$ , stål bjelken vår får en nedbøyning på  $56,8\text{mm}$ . Se figur 15. Kravet er dermed oppfylt.

### Tverrsnitt overgurt

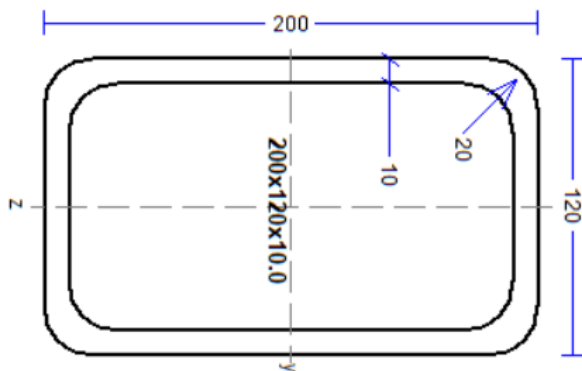


Figur 16: Tverrsnitt overgurt, stål

Vi har kontrollert overgurten til fagverket i stål. Profilet er av typer HUP 250x150x10mm slik som vist på figur 16. Overgurtens tverrsnitt har blitt dimensjonert i vedlegg 13. Her ser man at den tåler de største påkjenningene.

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,443 + 1,21 \cdot 0,078 = 0,54 < 1,0 \text{ OK!}$$

### Tverrsnitt undergurt

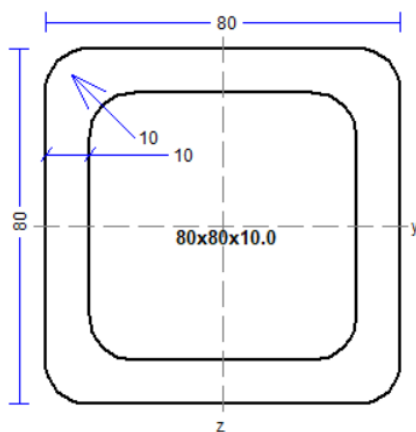


Figur 17: Tverrsnitt undergurt, stål

Vi har kontrollert undergurten til fagverket i stål. Profilet er av typer HUP 200x120x10mm slik som vist på figur 17. Overgurtens tverrsnitt har blitt dimensjonert i vedlegg 13. Her ser du at den tåler de største påkjenningene

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,688 + 1,47 \cdot 0,057 = 0,77 < 1,0 \text{ OK!}$$

Tverrsnitt staver



Figur 18: Tverrsnitt staver, stål

Vi har kontrollert diagonalstavene til fagverket i stål. Profilet er av typer HUP 80x80x10mm slik som vist på figur 18. Overgurtens tverrsnitt har blitt dimensjonert i vedlegg 13. Her ser man at den tåler de største påkjenningene.

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,553 + 1,33 \cdot 0,112 = 0,70 < 1,0 \text{ OK!}$$

## Knutepunkt

Knutepunktene til stål fagverket er sveist, som nevnt tidligere. Skisse vedlegg 9. Vi har kontrollert disse ved bruk av fremgangsmåten i vedlegg 13. Ut ifra beregningene under som går på sveisen har vi valgt 4mm kilsveis.

$$\text{Trykk: } a = \frac{\sqrt{3 \cdot 621,1^2}}{453,33} = 2,37 \text{ mm}$$

$$\text{Strekk: } a = \frac{\sqrt{439,2^2 + 3 \cdot (439,2^2 + 621,1^2)}}{453,33} = 3,1 \text{ mm}$$

## 4.2 Miljøaspekt

### Resultat LCA

I tabellene nedenfor er summen av GWP for alle elementene i de to bæresystemene addert til GWP total. Fremgangsmåten er beskrevet i metode for LCA.

For bæresystem i massivtre ser vi at det totale miljøutslippet i kg CO<sub>2</sub>-eq blir -1407405.83 når transporten er delvis utnyttet. For fullt utnyttet transport er samlet GWP -1407405.87 kg CO<sub>2</sub>-eq. Se tabell 28. og 29.

GWP for bæresystem i massivtre delvis utnyttet					
Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3	A4	TOTALT kg CO <sub>2</sub> -eq
Massivtre	2221,14	m <sup>3</sup>	-1,49E+06	43625,16	-1446759,78
Betong B35	160	m <sup>3</sup>	3,90E+04	322,39	39352,79
Armeing	2,79	m <sup>3</sup>	1,08E+00	0,08	1,16
Lett-tak	-				-
Sum					-1407405,83

Tabell 28: GWP for bæresystem i massivtre delvis utnyttet

GWP for bæresystem i massivtre fullt utnyttet					
Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3	A4	TOTALT kg CO2-eq
Massivtre	2221,14	m3	-1,49E+06	43625,16	-1446759,78
Betong B35	160	m3	3,90E+04	322,35	39352,75
Armeing	2,79	m3	1,08E+00	0,08	1,16
Lett-tak	-				-
Sum					-1407405,87

Tabell 29: GWP for bæresystem i massivtre fullt utnyttet

For det tradisjonelle bæresystemet ser vi at det totale miljøutslippet i kg CO2-eq blir 904362.94 når transporten er delvis utnyttet. For fullt utnyttet transport er samlet GWP 904360.30 kg CO2-eq. Se tabell 30. og 31.

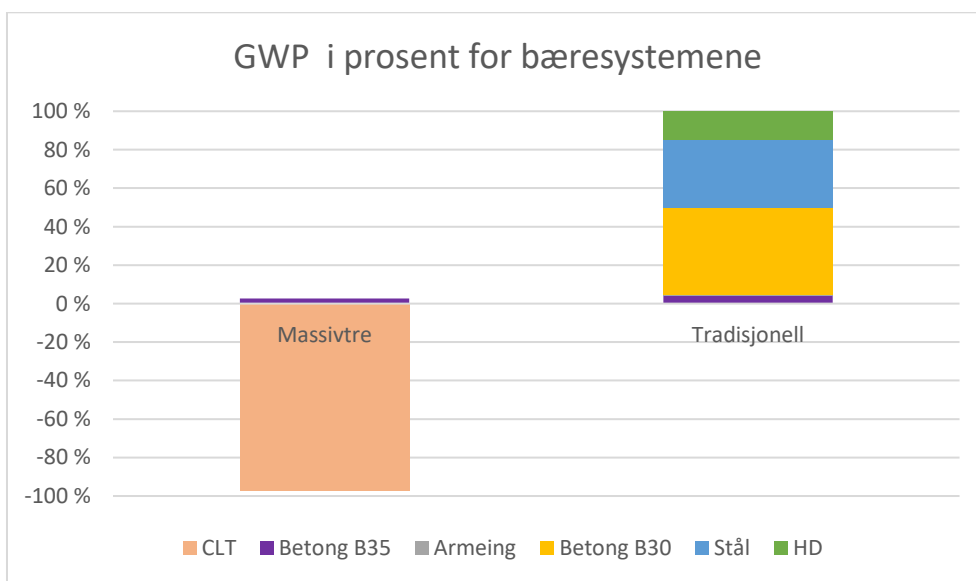
GWP for tradisjonelt bæresystem delvis utnyttet					
Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3	A4	TOTALT kg CO2-eq
Betong B35	160	m3	3,90E+04	322,39	39352,79
Betong B30	1806	m3	4,09E+05	3648,04	412598,68
Armering	16,96	m3	6,56E+00	0,48	7,05
Stål	121,7	tonn	303215,55	16317,96	319533,51
Hulldekke	1099,15	tonn	1,26E+05	6875,34	132870,91
Lett-tak	-				-
Sum					904362,93

Tabell 30: GWP for tradisjonelt bæresystem delvis utnyttet

GWP for tradisjonelt bæresystem fullt utnyttet					
Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3	A4	TOTALT kg CO2-eq
Betong B35	160	m3	3,90E+04	322,35	39352,75
Betong B30	1806	m3	4,09E+05	3648,12	412598,76
Armering	16,96	m3	6,56E+00	0,48	7,05
Stål	121,7	tonn	303215,55	16313,53	319529,08
Hulldekke	1099,15	tonn	1,26E+05	6877,10	132872,66
Lett-tak	-				-
Sum					904360,30

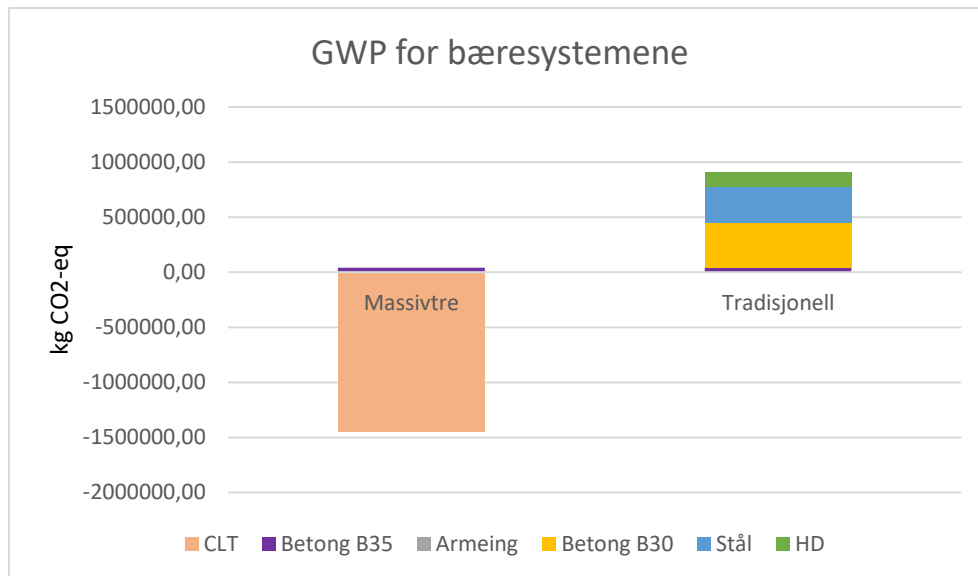
Tabell 31: GWP for tradisjonelt bæresystem fullt utnyttet

Figur 19. viser en sammenligning i prosent hvor mye hvert bæresystem med de forskjellige materialene slipper ut av kg CO2-eq prosentvis.



Figur 19: Total GWP for bæresystemene, prosentvis

Figur 20 viser en sammenligning på hvor mye hvert bæresystem med de forskjellige materialene slipper ut av kg CO2-eq.



Figur 20: Total GWP for bæresystemene.

## 4.3 Intervju

### 4.3.1 ARBEIDSOMFANG

Informantenes svar på spørsmål om arbeidsomfang og prosjekteringsfasen med de forskjellige byggematerialene:

«Ja, eehm, det blir en litt annen prosjekteringsfase der man kanskje snur litt opp ned på, eeh, på enkle fag da. Ehm. Det vi erfarte det var i hvert fall at de tekniske kom inn veldig mye tidligere. Eeh der vi da fikk finprosjektert alt av gjennomføringen ned til 35mm fikk vi innprosjektert og tatt hull på.. På ... ehm, på massivrefabrikken, sånn at det, det krevde jo at de tekniske eeh, var kommet veldig mye lenger på sin prosjektering enn tradisjonelt da, der de hadde litt bedre tid.»

«Nei, det er det med stål og betong da, det er jo mer forutsigbart på grunn av at vi har mer historie med det. Massivtre er mer uforutsigbart for det er, leverandørene er litt mer uforutsigbare blant annet. Så for prosjektet sin del er det også lang bestillingstid på massivtre. Det trenger vesentlig lengre produksjonstid enn stål og betong.»

«Ja, eh. Ofte når vi har gjort prosjektering av stål og betong ganske innarbeidet inn i bransjen. Typisk prefab har jo vært lenge i bransjen så der er på en måte alle kjente til sin



arbeidsoppgave da, og arkitekten som blir med i forprosjekter og utredningen av prosjektet, er, kjenner jo til materialer og begrensninger og mye av ting, det er ikke så veldig bindene i forhold til contra tre og massivtre da. Såee med stål og betong så kommer for eksempel rådgiverdelen og så får bygg og prosjektering inn litt senere da. Ehm.. for da kjenner arkitekten til begrensingen og så er det på en måte så tegner han opp skisser og så bestemmer ofte kunden og arkitekten forslag til materialer, om de vil få for prefab for eksempel.»

- Hvordan opplevde du gjennomføringsfasen når det kommer til bruken av tradisjonelt byggemateriale (betong og stål) contra massivtre/limtre?

«Ehh. Massivtre det mangle litt, manglende prosjektering og løsninga i forhold til betong og stål da. Sånn at det e en større prosent feil da på massivtre.»

«Ehm. Det er mye detaljer på innfestningsmetoder og litt forskjellig som vi som entreprenører kanskje er litt ukjent med, og likedan med rådgiverene er ukjent med og da, sånn som stål og betong det er kjente produkter. Det er spesielt overgangene for tre forskjellig, Forskjellige fag og rådgivere da er større utfordringer på massivtre.»

«(...) så det vi undervurderte der va de fremdriftsfordelene som massivtre hadde, de så vi ikke i anbudsfasen, men når vi begynte å kna litt på det, så er det jo veldig store fremdriftsfordeler, med at man får jo eeh, får opp bygget relativt fort med ferdige vegger og i stor grad ferdige utsparinger.»

«Vi erfarte jo det i byggefasen at det, inneklima og spesielt støy var veldig annerledes i forhold til et stål/betong bygg. For det første så va jo alle, eller de fleste utsparingene tatt da, slik at du slapp jo det støyet og det avfallet som kom fra det, contra et betongbygg der det gjerne foregår en del eller en stor del støy, kjernebåring da, i en stor del av råbyggsfasen og veldig masse innfesting i da betong, betongvegg, betongdekke som da genererer veldig mye støy da. Så støy var absolutt en positiv fordel med da massivtre.»

«Om man skal si noen ulemper i forhold til vanlig tradisjonelt stål/betong da, så er jo det lange spenn som bygger dekkene veldig mye, gjør de.»

«Så vi bygde hulldekke av tre med da limtre inni og så er det jo et kassadekke eller et tredekke over og under og det bygde jo totalt 60 cm som tradisjonelt som kanskje har bygd, har rundt 30-40 cm da.»

«Ja, som jeg nevnte så er stål og betong ganske innarbeidet, for eksempel prefab, altså, arbeidsoppgavene eller fordelingen av oppgavene er ganske innarbeidet altså og i forhold til hva ansvar, hva de skal gjøre, hva de skal levere, altså hva arkitekt skal tegna, hva RIB-en skal prosjektere.»

«Ehm, men når det kommer til limtre og tre så er det jo, det burde være samme prosessen, for på en måte limtre er jo, det er jo sammenlignes veldig med betongelement, som er, begge deler er jo et element, men det er mye mer faktorer som spiller inn i den prosessen da, eller selv før produksjonene, og tingene må være avklart. Så, jeg – ehm, syns nå at det er jo litt, det må jo være litt mer på eller detaljert, eller detaljfokus da i tidlig fase, men ehm. For at det er på limtre har du igjen mye, som på den \*\*\*skolen som jeg jobbet på da, så er det jo på en måte limtre, så har du bindingsverk, så har du gitterjelker og det i seg selv er jo tre egne leverandører som produserer det. Så det blir mange flere leverandører og mer folk å forholde seg til, så det er litt mer arbeid da, vil jeg nå si, kanskje.»

#### 4.3.2 TID

- Kan du dele noen erfaringer/tanker om tidsbruken fra prosjektstart til overlevering av prosjektet til kunde?

«Ja. Ehm. Etter min erfaring så er det ikke noen tvil om at bruk av massivtre det sparer jo litt tid, selv om kanskje kostnaden er noe høyere enda. Sånn at på et prosjekt her på, til, ehm, litt i forhold, i overkant av 13000kvadrat så sparer vi kanskje 1.5-2 måneder byggetid med å bruke massivtre contra vanlig stål/betong.»

«Det som er viktig med massivtre det er at kunden må være klar over det at det må prosjekteres veldig mye før det settes i produksjon.»

«Så for stål og betong, så hvis du sammenligner prefab så produseres og monteres det går jo ganske fort. Men for eksempel med plasstøpt betong så tar det lenger tid i selve byggeprosessen, men det er jo kanskje like mye planlegging som må gjøres uansett. Menne trematerialer, det går vel kanskje like raskt, eller vel så raskt, om ikke raskere om man skiller med prefab betong da, vil jeg tro. Så jeg tror ikke det er noe for eller mot, jeg tror kanskje det kommer an på kapasiteten, størrelse på bygget da, men jeg tror et massivtrebygg kan bygges like raskt, om ikke raskere, enn et typisk stål og prefab.»

### 4.3.3 KOSTNADER/ØKONOMI

- Hva mener du er mest kostnadsbesparende for firma og kunde av de to byggematerialene fra start til slutt?

«Hvis du ser kun på økonomi, så er jo stål og betong med økonomisk per dags dato da, hvis man ser på tidsaspektet samtidig da så minker jo den, den forskjellen da. Hvis du har et bygg da som er optimalisert med tanke på spennvidde og sånt så for et massivtrebygg, så vil jo og den forskjellen minke da, men det er, er jo, det har jo sine begrensninger i spennvidde da blant annet som er veldig kostnadsdrivende på massivtre da, der for eksempel hulldekkene har sine store fordeler da, der hvor man egentlig kan doble spennvidden og få veldig mye mindre bærevegg.»

«Nei, det e alle prosjekt jeg har vært innom, så e massivtre en dyrere løsning da. Det er det, men det er jo stort sett byggherren som er opptatt av miljø og trebygg som ønske massivtre, og vil investere i massivtre da.»

- Kan du dele noen erfaringer/tanker om tiden som økonomisk faktor?

Det er ikke en stor differanse om det er et massivtre eller stål/betong på den prosessen med overlevering, men klart det e massivtre e jo en ferdig overlate på noen til produktene, så det er viktig å være tidlig ute med å få byggherren til å bli enige om kvaliteten på massivtre da. Men det er jo likedan med synlig betongvegg. Du må være enig og forberede byggherren på hvordan kvalitet han får, hvis han skal ha en synlig betongvegg og.

«Ja, du har jo litt du har for eksempel betong da, så har du jo hvis du for eksempel har en byggetid som er ett år, og så har du for eksempel montering av,.. ave.. elementer i høstperioden, som er da surt og dårlig vær, så er det jo mer gunstig å montere betongelementer, for de tåler å stå ute i vær og vind, også tørker de og så blir de bygd inn. Men hvis du da skal montere limtre, eller massivtre, så er jo det ugunstig å montere den tidsperioden da, fordi limtre tåler jo å være fuktig en sånn, men det skal jo ikke være fuktig over lengre tid, for da blir det jo råttent og materialet blir stygt. Så du, i selve monteringsfasen er det jo noe du må ta hensyn til og planlegge ut ifra da. Så det kan jo kanskje ha en stor usikkerhetsmargin da, i selve produksjonen i byggefasen da, at det kanskje du må vente med å montere, at du må ta mer hensyn til vær og vind og planlegge og at da det spiller inn på selve

sluttdatoen da, at det tar lengre tid. Det er jo igjen en usikkerhetsmargin da, ehm, men igjen det kommer jo an etter hvert som folk, bransjen, får gode erfaringer med det så vil jo bli tatt hensyn til og planlagt i forhold til da, med tanke på årstider, såe menne det er kanskje litt større usikkerhetsmargin da, påe tre da, vil en nå si kanskje. Men jeg tror det går mer på erfaring og kunnskap da, at man må få litt mer erfaring med det.

## 5 DRØFTING

### 5.1 Fagverk

Etter dimensjonering av fagverkene i de ulike materialene, så ser vi at begge metodene fungerer statistisk, men ikke i praksis. Limtrefagverkets høyde overstiger høyden til hva som er tillatt i reguleringsplanen. Valget av å lage fagverket i limtre, selv om det ikke lar seg gjøre i praksis, ble gjort kun for å ha en mulighet for å sammenligne bæresystemene. I motsetning til fagverk av limtre, vil modellen i stål kunne brukes siden den ikke overstiger kotehøyden.

Vi har valgt dimensjonene i beregningen med hensyn på nedbøying, og kravene som skal oppfylles. Kapasitetsutnyttelsen ble grunnet dimensjoneringsvalgene lav, som medfører stort slingringsmonn. Dette kunne vært unngått dersom vi reduserer dimensjonstørrelsene. Det er felles for begge fagverkstypene.

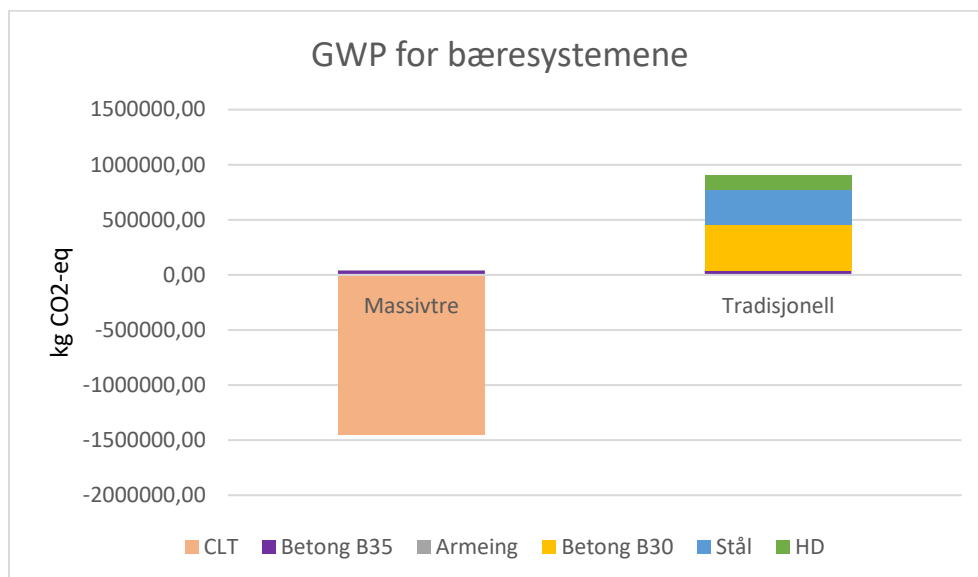
Bredden på stålfagverkets undergurt er smalere enn overgurten. Dette ble gjort for å spare materielle kostnader. Ulempen dette medfører er økt arbeidsmengde. De økte arbeidsmengdene kan medføre økte kostnader, så om dette var et godt økonomisk valg, vet vi ikke grunnet manglende erfaring.

Sveising ble valgt som en endelig løsning for festemetoden i knutepunktene i fagverket av stål. Vi så for oss to mulige løsninger for dette. Løsning 1 går ut på å sveise stavene direkte til gurtene. Løsning 2 går ut på å sveise flattstål til undergurten, og deretter bolte stavene til denne platen. (se vedlegg 9.). Løsning 1 ble foretrukket ovenfor løsning 2 på grunn av at, løsning 2 innebærer både bolting og sveising, noe som er en mer tungvint løsning.

Oppsett av diagonalstaver på fagverket ble bestemt ut fra ulike forsøk i Eurocode, med hensyn på å få best mulig resultat på nedbøyingen. Det vi ser i ettertid er at vi kunne brukt mer tid på akkurat denne fasen, for å spare materiale og miljøutslipp.

## 5.2 Miljøaspekt

Figur 21. viser samlet kg CO<sub>2</sub>-eq- utslipp for både tradisjonelt bæresystem og bæresystem i massivtre. Her ser vi at bæresystemet av massivtre tar opp CO<sub>2</sub>-eq og det tradisjonelle bæresystemet har miljøutslipp av CO<sub>2</sub>-eq. Fra tabell 28. ser man at massivtremodellen har et opptak på -1407405,83 kg CO<sub>2</sub>-eq og modellen i med tradisjonelt bæresystem har et utslipp på 904362,93 kg CO<sub>2</sub>-eq (tabell 30.). Dette negative utslippet, eller opptaket, for massivtremodellen kommer av at CO<sub>2</sub> blir lagret i treet når det felles og ikke frigjøres igjen før det dekomponeres og råtner. Som nevnt i teorien er trevirket en del av økosystemet og CO<sub>2</sub>-en som frigjøres ved råtning regnes derfor ikke som miljøutslipp. Materialer som blir brukt i tradisjonelle bæresystem er derimot ikke en del av økosystemet og all frigjøring av CO<sub>2</sub>-eq blir derfor kun utslipp.



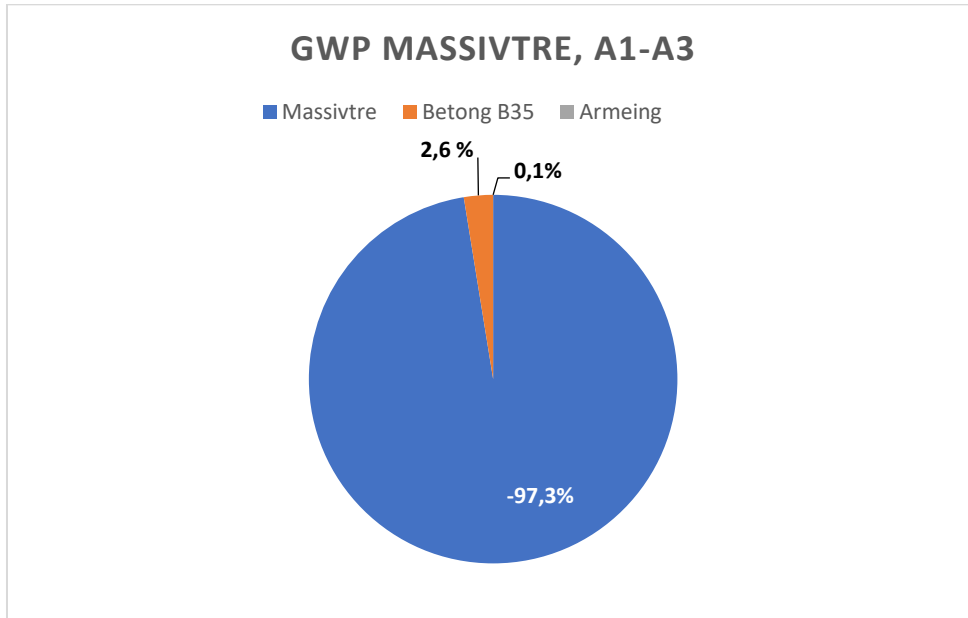
Figur 21: Total GWP for bæresystemene.

For begge bæresystemene mangler lett-tak representasjon i alle fire fasene. Dette er grunnet mangel på EPD fra leverandør. Siden begge konstruksjonene i praksis skulle benyttet lett-tak, vil samlet utslipp i virkeligheten være noe høyere. For sammenligningen vil dette da betyr at utslippene relatert til lett-tak ville vært proporsjonale for begge bæresystemene, og ikke en avgjørende faktor.

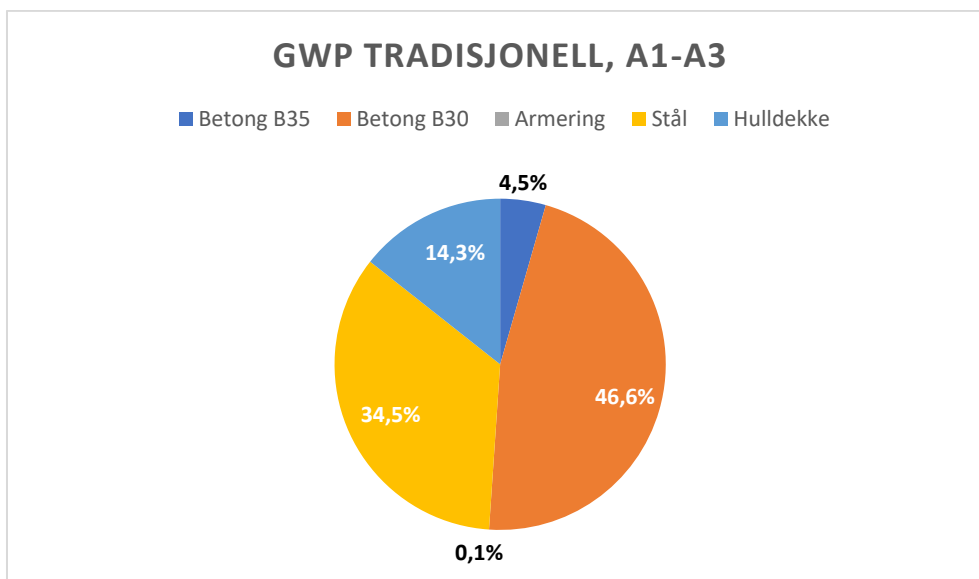
Tabell 22. og 23. viser utslippene for forhold A1 – A3. For massivtremodellen er det massivtre som er dominerende for utslippet av kg C<sub>2</sub>-eq ved produksjon av materiale. Det er ikke så mye man kan gjøre med utslipp relatert til produksjon. For det tradisjonelle

bæresystemet er det betong B30- og stålproduksjonen hvor miljøutslippet er dominerende.

Valg av alternative materialer blir diskutert lenger nede i teksten.

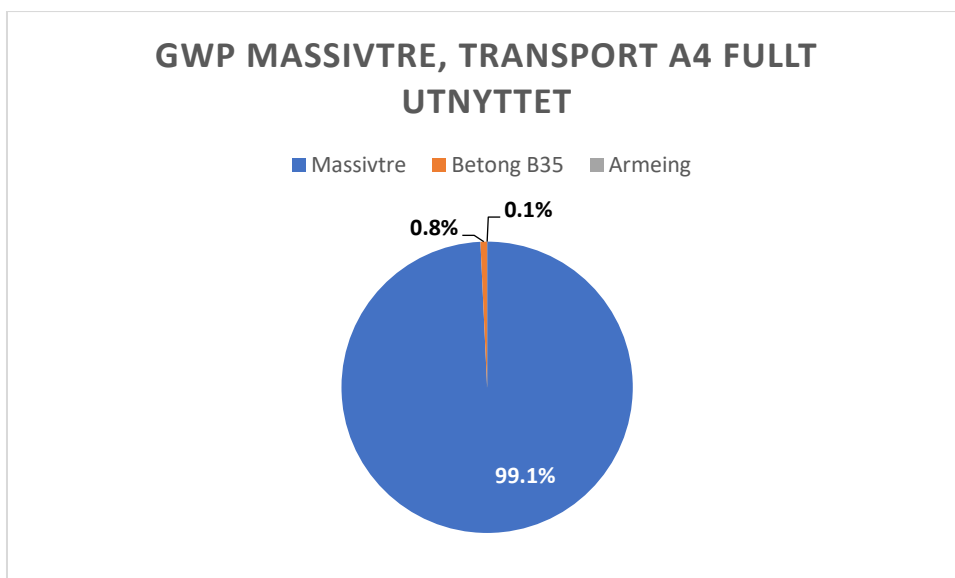


Figur 22: GWP Massivtre, A1-A3.



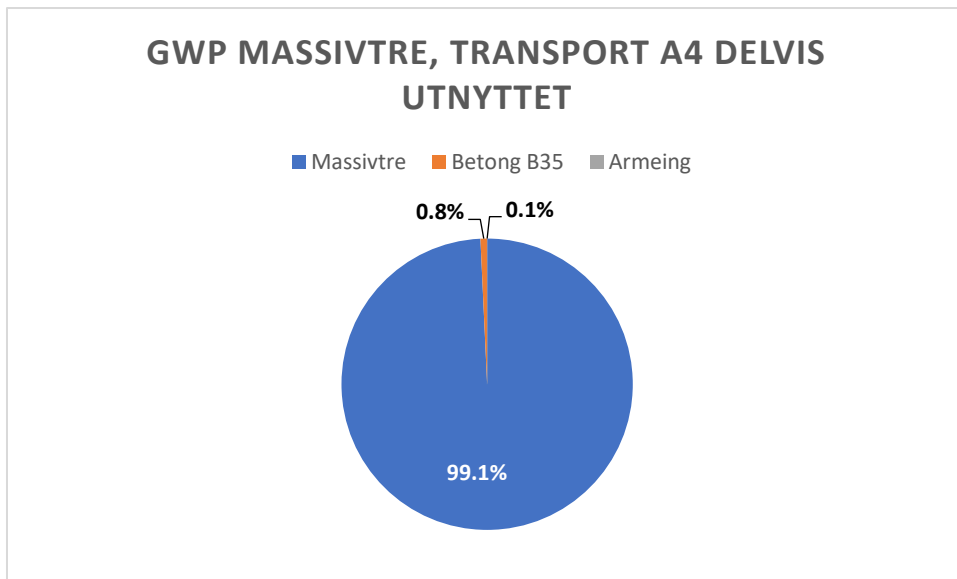
Figur 23: GWP Tradisjonell, A1-A3.

I noen av EPD-ene er det oppgitt at kjøretøyene har vært delvis utnyttet ved lastning av elementene. Dette har nok med at noen veier ikke er konstruert og ikke tåler aksialkraften ved fullt utnyttet/fullt lastet kjøretøy. I metoden har vi vist framgangsmåte for både delvis og fullt utnyttet kapasitet i kjøretøyene, der det har vært aktuelt, og som vi ser på kakediagrammene på figur 24. og 25, samt 26 og 27, har det liten betydning for samlet GWP for transport, A4, fra fabrikk til byggeplass. Dette gjelder både for bygging med tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre. En grunn til dette kan være at det er den faktiske mengden element, enten m<sup>3</sup> eller tonn, som avgjør endelig GWP. Forskjellen på om kjøretøyene er delvis eller fullt utnyttet er så liten at man i den større sammenheng kan se vekk fra dette som en avgjørende faktor for utslippet av kg CO<sub>2</sub>-eq.

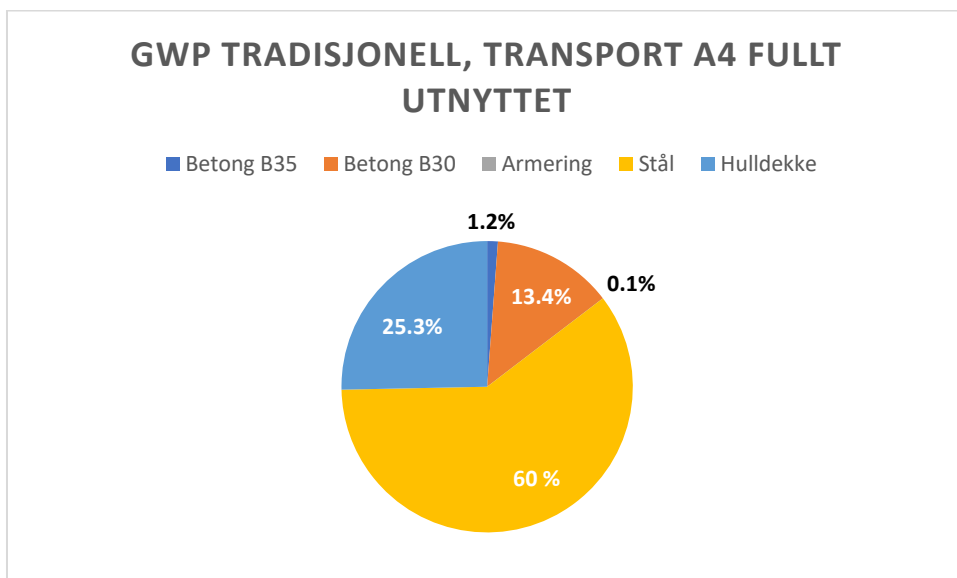


Figur 24: GWP massivtre, transport A4 fullt utnyttet.

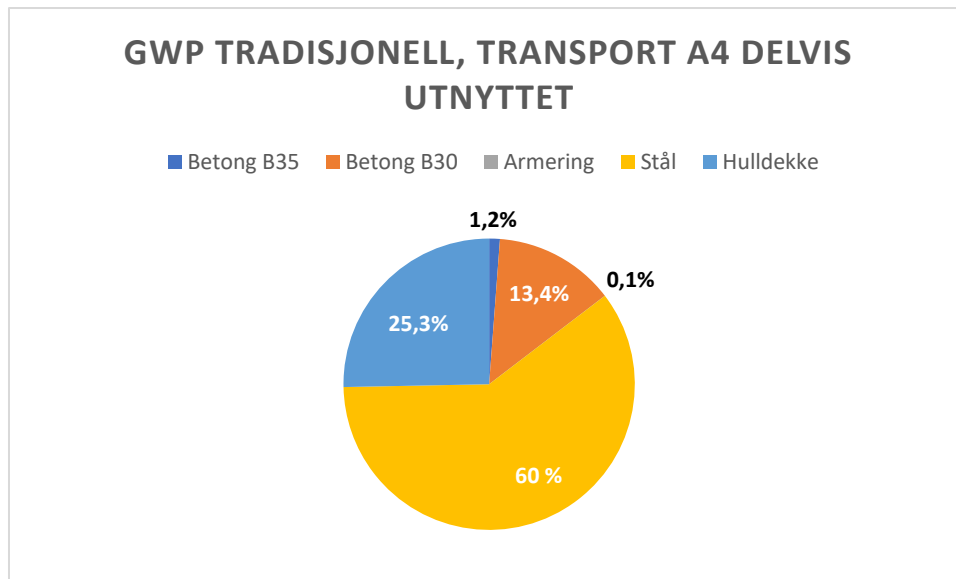




Figur 25: GWP massivtre, transport A4 delvis utnyttet



Figur 26: GWP tradisjonell, transport A4 fullt utnyttet.



Figur 27: GWP tradisjonell, transport A4 delvis utnyttet

I de tilfellene hvor vi har brukt kjøretøy som lastebiler, betongbiler o.l. for transport fra fabrikk til byggeplass, av elementer, har vi i alle tilfellene endt opp med et desimaltall. I virkeligheten er det selvfølgelig ikke mulig å kjøre 0.2 betongbiler, det blir automatisk til 1 betongbil. I beregningene har vi benyttet oss av verdien med desimaltall fordi det representerer riktig mengde bestilt produkt. Det er altså mer representativt når vi beregner GWP enn å runde opp til nærmeste hele tall. Dersom vi i utregningen runder opp til nærmeste hele tall, vil det i beregningen bli fraktet et større kvantum av varen enn det som er bestilt.

For togtransporten av massivtre, A4, var det ikke mulig å finne eksakt km fra fabrikk til Drammen sentralstasjon. Vi løste dette ved å «kjøre en bil» på google maps som tok sirka samme rute. Denne km-avstanden er nok ikke helt korrekt, men en løsning som var mulig å benytte.

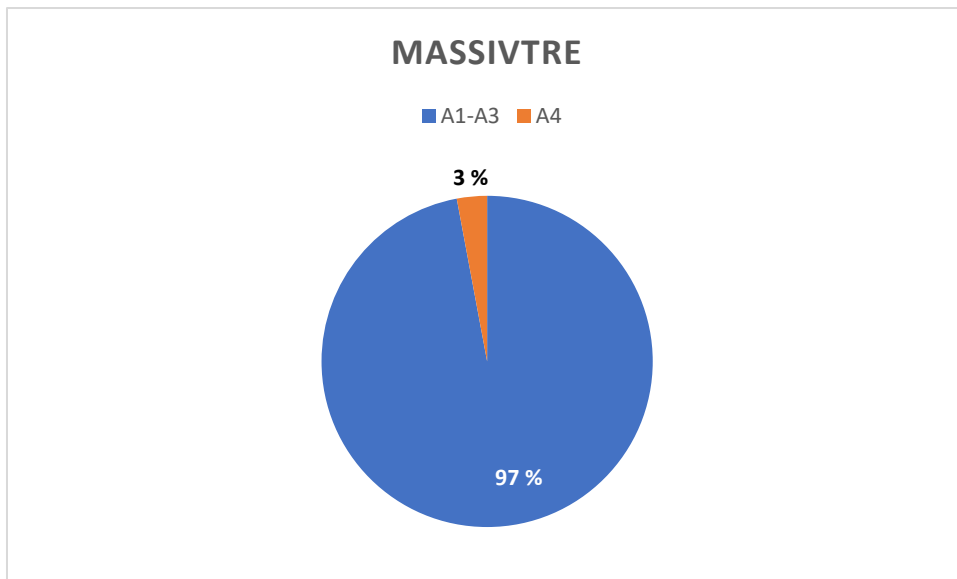
For A4 – transport av massivtre, har vi i del to av løsningen, transport fra Drammen sentralstasjon til Kolvikbakken ungdomsskole, benyttet oss av gram CO<sub>2</sub>-eq for selve kjøretøyene og ikke for massivtre. Det er en feilkilde. Dette ble gjort som en løsning for at massivtre skulle kunne representeres i sammenligningen av A4 mellom de to bæresystemene. Siden EPD-en fra Stora Enso kun oppga GWP for transport ved tog, kunne vi ikke bruke samme verdier for transport av vogntog/lastebiler. I denne delen av oppgaven ble antallet kjøretøy avgjørende for å finne et estimat for GWP. Selv om vi benyttet oss av antall kjøretøy, brukte vi her også desimaltallverdi i stedet for å runde opp til nærmeste hele tall. Dette ble gjort for å få en viss likhet med fokus på kvantum av elementene for GWP-verdiene. For å

kunne benytte oss av kjøretøyene sin EPD måtte vi velge forhold og hastighet. Igjen er dette en feilkilde, da vi ikke vet hvilke forhold kjøretøyene vil kjøre under. Valget falt på et gjennomsnitt av fri flyt og køkjøring. Ved å benytte oss av tid, fart og strekning, regnet vi ut gjennomsnittshastigheten for ett kjøretøy til 75.42 km/timen. Gjennomsnittshastigheter å velge mellom var 100 km/timen, 80 km/timen og 50 km/timen. Det ble avgjort å runde den faktiske gjennomsnittshastigheten fra 74.42 km/t opp til 80 km/timen for forenkling av beregningene.

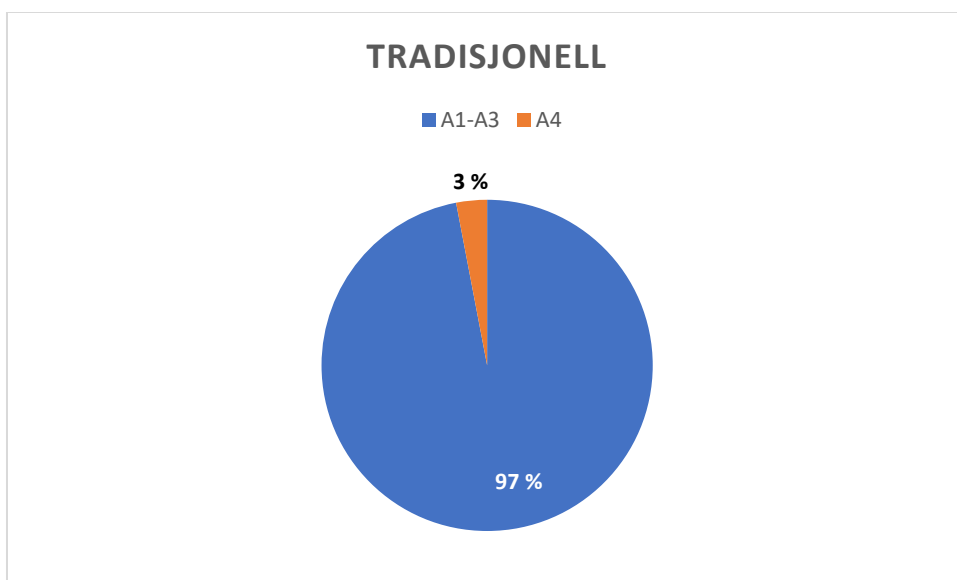
EDP-en som vi fikk tilsendt fra Smiths Stål var en EPD under arbeid, så den har ikke samme kvalitetssikring som de andre EPD-ene brukt i beregningene av GWP. I epostutvikling fra Smiths Stål skrev de at EPD-en gjaldt for 1m<sup>3</sup> armeringsstål. Det var nyttig med EPD-en for beregning av miljøutslipp under forholdene A1-A3, men for A4, transport, var det mangel på beskrivelse for hvor mange km de hadde beregnet for. Det var også mangel på informasjon om hvor mye et kjøretøy kunne belastes og hva som var beregnet for A4. Selv om EPD-en på mange måter var ufullstendig antok vi at A4 gjaldt én km. Med dette som utgangspunkt fikk vi tall til sammenligning for både tradisjonelt bæresystem og bæresystem i massivtre. Fordelen med denne feilkilden er at den gjelder for begge bæresystemene.

Faktorer som kan påvirke resultatene til å bli mer eller mindre gunstige i fordel det ene bæresystemet er plassering av fabrikk og forhold til byggeplass. Dersom vi tar for oss A4 for stål til bruk av fagverk, hvor avstanden fra fabrikk til byggeplass er 1661 km, ser vi at dette utgjør hele 60% av miljøutslippene. Dette er den lengste avstanden i A4 beregningene, og derfor naturlig at det for tradisjonelt bæresystem er den dominerende faktoren. Videre forteller det oss viktigheten av hvor man velger å handle materialer fra. Bevisste valg av nærmeste leverandører vil redusere miljøutslippene til bæresystemer uavhengig materialvalg.

Når man ser på GWP for de forskjellige kategoriene, A1-A3 og A4, er det klart at produksjon av materiale er dominerende faktor for miljøutslippet, se figur 28. og 29. Produksjonen av materiale utgjør i begge bæresystemene 97% av CO<sub>2</sub>-eq-utslippene. Selv om det har betydning for totale miljøutslipp hva avstanden fra leverandør til byggeplass er, som nevnt ovenfor, kan et resultat på 3% være et dårlig insentiv for å velge lokale leverandører fremfor leverandører på lenger avstand. Dersom man er opptatt av å bygge med minst mulig miljøutslipp vil det være avgjørende å få ned denne prosenten ytterligere, da det kan være vanskeligere å redusere utslippene knyttet til produksjon av materialene.



Figur 28: GWP for A1-A3 satt opp mot A4, massivtre.



Figur 29: GWP for A1-A3 satt opp mot A4, tradisjonell.

I teorien har vi nevnt alternativer til materialvalg som er gjort i denne oppgaven. Man kan for eksempel erstatte vanlig armeringsstål med *grønt stål*, eller vanlig betong med *lavkarbonbetong*. Tar man i bruk disse materialene som alternativer vil resultatene av miljøutslipp for produksjonen av materialene bli redusert. I virkeligheten vil ikke selve miljøutslippene i produksjonen bli redusert, men tiltak som planting av trær, investering i «grønne» bedrifter o.l tiltak vil bli kjøpt og gjøre opp for deler av miljøutslippene fra produksjonen. Det er derfor diskutabelt om man faktisk benytter mer *miljøvennlige* materialer

ved bruk av grønt stål og lavkarbonbetong, men siden noe av miljøutslippene gjøres opp for vil resultatet komme bedre ut.

### 5.3 Intervju

Om arbeidsomfang i prosjekteringsfasen, har svarene til informantene fellestrekk som at stål og betong er mer innarbeidet i selve planleggingsprosessen og at man derfor ikke har et behov for at tekniske tegnere og tilsvarende kommer inn i selve prosjektet like tidlig som ved massivtre/limtre prosjektering. Med massivtre/limtre sier den ene informanten at de erfarte at «(...) de tekniske kom inn veldig mye tidligere». En annen informant fortalte at stål og betong er mye mer forutsigbart på grunn av historien man har med det og at massivtre/limtre var mer uforutsigbart på grunn av blant annet den lange bestillingstiden. Dette støttes av den tredje informanten som peker på at «(...) stål og betong ganske innarbeidet inn i bransjen».

Om selve prosjekteringsfasen hadde informantene litt forskjellige erfaringer. En av informantene ytret at massivtre hadde manglende prosjektering og løsninger i motsetning til betong og stål, og at det dermed ble flere feil på massivtrebygget. Dette ble også nevnt av en annen informant hvor de hadde funnet egne løsninger på utfordringer som store spenn ved massivtre/limtre. Samtidig mente også denne informanten at massivtre/limtre hadde store fremdriftsfordeler hvor blant annet bygget ble reist relativt fort «(...) med ferdige vegger og i stor grad ferdige utsparinger». Det ble også pekt på at i selve gjennomføringsfasen var det mindre støy med massivtre/limtre enn med betong og stål noe som ble påpekt som en positiv erfaring. Den siste informanten peker på at dersom man sammenligner begge byggematerialene som elementer, så burde det ikke ha så mye å si på tiden man bruker eller teknikkene man bruker når man fører opp selve bygget. Det blir begrunnet med at man kan legge mer detaljfokus tidligere i planleggingsfasen ved bruk av betong og stål, på samme måte som det gjøres ved bruk av massivtre/limtre. I massivtre/limtre bygget, som informanten hadde arbeidet med, var det flere leverandører på banen med massivtre/limtre noe som førte til at man måtte forholde seg til flere aktører enn ved tradisjonelle byggematerialer.

Om tidsbruken for gjennomføring av prosjekter i de ulike byggematerialene sier informantene at dersom man ikke sparer tid, så bruker man heller ikke mer tid når man bygger med massivtre/limtre contra betong og stål. Det blir poengtert at selve prosjekteringsfasen tar lenger tid med massivtre/limtre enn ved bruk av tradisjonelle byggematerialer.

Informantene var enige om at massivtre/limtre er en dyrere løsning enn å bygge i betong og stål. Det trekkes frem at dersom man velger å bygge en konstruksjon som er tilpasset massivtre/limtre med hensyn på spennvidder og bærevegger så vil nok kostnadene synke. Den ene informanten peker også på at kostnadsforskjellene kanskje vil jevne seg ut over tid.

Om tid som økonomisk faktor peker informantene på at det er viktig å være tidlig ute å avtale med byggherre hvilken kvalitet som kan nås dersom byggherren ønsker synlig massivtre/limtre og betong. En informant peker på det med sesonger og at det kan være mindre gunstig å bygge med massivtre/limtre i høstperioden med surt og dårlig vær enn andre tider av året. Massivtre/limtre vil være mer utsatt for fukt og skader av været og det må derfor planlegges på en annen måte enn ved bruk av prefabrikkerte elementer. Dersom man ikke treffer i rett sesong kan dette føre til sluttdatoen på prosjekter blir flyttet lenger ved massivtre/limtre enn ved bruk av betong og stål som byggematerialer.

Da vi søkte etter informanter til å gjennomføre intervjuene så vi på bedrifter som hadde gjennomført prosjekter med både massivtre/limtre og betong og stål. Vi søkte etter prosjektledere og endte opp med to fra entreprenørfirma og en fra konsulentfirma. Dette innebar at de ikke hadde samme forhold til prosjektene de har deltatt på, da entreprenører gjerne følger prosjektene fra start til slutt og konsulentene leies inn for å løse mer konkrete utfordringer. Selv om dette var tilfellet, mener vi at som interesseundersøkelse på erfaringer at utvalget av informanter var godt. Alle svarene vi fikk var godt underbygd og mye ble eksemplifisert fra erfaringer de hadde gjort seg fra prosjekter med begge byggematerialene. Selv om vi ikke hadde satte at informantene skulle ha deltatt på skolebyggprosjekter, var vi heldige og fikk dette.

Vi fikk tak i informantene gjennom søking på nett og telefonsamtaler med diverse firma. Den aktive oppsøkingen av informanter førte til at vi fikk tak i *de rette* informantene for prosjektet. Informantene ble informert om at de kunne trekke seg ved enhver anledning, og vi mener derfor at deltakelsen kan betraktes som frivillig.

Før vi gjennomførte intervjuene antok vi at selve intervjuprosessen skulle ta omtrent en time. Dette basert på antall spørsmål på intervjuguide og samtale med intern veileder. Det viste seg at intervjuene tok i gjennomsnitt ca 20 minutter. Vår erfaring med gjennomføring av intervju var intet eksisterende og derfor overvurderte vi hvor mye informantene ville svare på spørsmålene og lengden på intervjuguiden. På en måte var det nok greit at intervjuene ikke varte en time, på grunn av at intervjuene ble gjennomført i arbeidstiden til informantene.

Ved gjennomføring av det ene intervjuet brukte intervjuer den ikke-oppdaterede intervjuguiden, noe som førte til at den ene informanten ikke ble spurt om tid som økonomisk faktor i byggeprosjektene. Dette er selvfølgelig en feil i prosjektet da informanten ikke fikk mulighet til å svare på hele intervjuet.

## 6 KONKLUSJON

I intervjuene spurte vi informantene om deres personlige erfaringer ved bruken av tradisjonelt byggemateriale versus massivtre/limtre som byggemateriale. Vi kan dermed ikke si noe om hvilke av materialene som er mer eller mindre gunstig, men at informantene i stor grad hadde de samme erfaringene ved bruken av byggematerialene. Fellestrekk for informantene var at med massivtre/limtre gikk prosjekteringsfasen over en lengre periode og flere aktører kom på banen tidligere enn ved bruk av betong og stål. Det var også flere utfordringer knyttet til massivtre/limtre, blant annet store spenn og hvilken tid av året man reiser et bygg i massivtre/limtre. På tross av dette hadde også noen av informantene god erfaring ved bruk av massivtre/limtre som at bygget kom fort opp og at det var mindre støy på arbeidsplassen enn i bygg av betong og stål.

Utfordringen med store spenn i massivtrebygg var grunnen til at vi ville se på mulighetene i å dimensjonere fagverk i limtre for massivtrebygg. Som man ser i resultatene er dette en ikke gunstig måte å løse utfordringen på, da dimensjonene blir altfor store. Mulighetene er der, men fagverk i stål, i dette tilfellet, er en bedre løsning.

En fordel med å trekke inn massivtre ser vi på miljøaspektet hvor den totale GWP-en for fase A1-A4 får et negativt utslipp, i motsetning til det tradisjonelle bæresystemet som har et positivt utslipp. Fra et miljøbevisst ståsted vil det være fordelaktig, for fase A1-A4, å bygge Kolvikbakken i massivtre basert på resultatet av de beregningene som er gjort i dette prosjektet.



## 7 REFERANSER

### Litteraturliste:

Anleggsmagasinet. Lanserer «Grønt stål». (oppdatert 29.04.2019). Hentet 16.04.20 fra:

<https://www.tungt.no/anleggsmagasinet/na-kommer-gront-stal-6769488>

Alexander, & Vinje. (2010). *BIND A - BYGGING MED BETONGELEMENTER*(Vol. A).

Retrieved from

[http://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookA.asp?isSearch=0&liID=421&DocumentId=BindA/Del\\_1/A4/4\\_2\\_1\\_Hulldekker.pdf&BookId=A](http://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookA.asp?isSearch=0&liID=421&DocumentId=BindA/Del_1/A4/4_2_1_Hulldekker.pdf&BookId=A)

Bjelke. (2019). In *Det Store Norske Leksikon*.

Christensen, & Almar-Næss. (2009, 11. april 2019). Stål. Retrieved from

<https://snl.no/st%C3%A5l>

Dramstad, W., Timmermann, V., Gobakk, L. R., Lange, H., & Dibdiakova, J. (2015).

Livsløpsanalyser (LCA). Retrieved from <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmloi/bitstream/handle/11250/2437126/SOL-Fakta-2015-09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dyrøy Betong. *Før støping/planlegging*. Hentet 12.05.2020 fra

<http://dyroybetong.no/index.php/stoping>

Grønmo, Sigurd (04.10.2015). *Innholdsanalyse*. Hentet 20.04.2020 fra

<https://snl.no/innholdsanalyse>

Grønmo, Sigmund (10.01.2020). *Kvalitativ metode*. Hentet 20.04.2020 fra

[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)

Grønmo, Sigurd (16.04.2020). *Kvantitativ metode*. Hentet 20.04.2020 fra

[https://snl.no/kvantitativ\\_metode](https://snl.no/kvantitativ_metode)

Grønmo, Sigurd (07.05.2015). *Strukturerte intervju*. Hentet 20.04.2020 fra

[https://snl.no/strukturert\\_intervju](https://snl.no/strukturert_intervju)

Hokksund Betong, Lavkarbonbetong (17.11.2016). Hentet 12.05.20 fra

<https://hokksundbetong.no/lavkarbonbetong/>

Knut Harstveit. (2009, 19. februar). Vindlast. Retrieved from <https://snl.no/vindlast>

Larsen. (2008). *Konstruksjonsteknikk* (2 ed.). Bergen: Fagbokforlaget.

Larsen, P. K. (2014). *Konstruksjonsteknikk - Laster og bæresystem*. Bergen: Fagbokforlaget

Vigmostad & Bjørke AS.

- Leidulv Vinje. (2012). *BETONGELEMENTBOKEN BIND B [4]AVSTIVNING OG KRAFTOVERFØRING* (Vol. Bind B). Retrieved from [https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&liID=1241&DocumentId=BindB/Del\\_2/B12/12\\_4\\_1.pdf&BookId=B](https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&liID=1241&DocumentId=BindB/Del_2/B12/12_4_1.pdf&BookId=B)
- Mamen, Jostein (17.07.2019). *Globale oppvarmingspotensialer*. Hentet 02.05.2020 fra [https://snl.no/globale\\_oppvarmingspotensialer](https://snl.no/globale_oppvarmingspotensialer)
- Meccanica. (n.d). Fagverk. Retrieved from <http://meccanica.no/statikk/fagverk.html>
- Microsoft. (2020). Microsoft Project. Retrieved from <https://products.office.com/nb-no/project/project-management-software?rtc=1&market=no>
- NTI. (N.D). SYNCHRO PRO. Retrieved from <https://www.nti.biz/no/produkter/flere-produkter/synchro/>
- NTNU. (N.D). EndNote. Retrieved from <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/EndNote>
- PTC. (2019). PTC Mathcad – Show Your Work! Retrieved from <https://www.mathcad.com/en>
- Reiersen, John-Erik. *Blir det bedre bygg ved bruk av LCA? Gjennomgang av noen uvalgte LCA-studier*. (22.02.2018)
- Rockwool. Etasjeskillere. Retrieved from <https://www.rockwool.no/konstruksjoner/gulv/etasjeskillere/?selectedCat=brosjyrer>
- Rolstadås et.al. (2020). *Praktisk Prosjektledelse*. 2.utgave. Fagbokforlaget, Bergen
- Rygh, P. (2019). Etasjeskiller. In *Det Store Norske Leksikon*.
- Rørvik. (2010). konstruksjonsikkerhet og belastning In N.D (Ed.), (3 ed., pp. 19). Ålesund.
- Sandaker, Sandvik, & Vik. (2017a). Materialkunnskap. In Ekeli (Ed.), *Materialkunnskap*. Oslo: Byggenæringens forlag.
- Sandaker, Sandvik, & Vik. (2017b). Materialkunnskap. In Ekeli (Ed.), *Materialkunnskap* (pp. 37). Oslo: Byggenæringens forlag.
- SINTEF. (2005) Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen. In.
- SINTEF. (2009) Brannmotstand for bjelker og søyler av betong, mur og tre. In: *Vol. Byggforskserien*.
- SINTEF. (2011) Stålbjelker for små spenn - Dimensjonering. In: *Vol. Byggforskserien. Byggedetaljer*.
- SINTEF. (2017). *TG 2215 Lett-Tak takelementer (2215)*. Retrieved from <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/208>

SINTEF. (2018) Kompakte Tak. In: *Vol. Byggforskserien*.

SINTEF. *EPD – Miljødeklarasjon av byggematerialer* (ukjent). Hentet 02.05.2020 fra <https://www.sintef.no/epd-miljodeklarasjon-av-byggematerialer/>

Standard Norge. (2008). NS-EN 1991-1-3. In.

Store norske leksikon. (2019, 17. juni). fagverk. Retrieved from <https://snl.no/fagverk>

Stora Enso. CLT. Hentet 03.04.20 fra <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/massive-wood-construction/clt>

Sven Alexander. (2010). Bygging med betongelementer. In (4 ed., Vol. Bind A). Retrieved from

<https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookA.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindA/Forord.pdf&BookId=A>

SSB (2016). *Drivstofforbruk og utslipp per kjøretøy per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper*. Hentet, 10.05.20 fra

<https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>

Søyle. (2019). In *Wikipedia*.

Tessem. (2009, 22. februar 2017). nyttelast - byggeteknikk. Retrieved from

<https://snl.no/.versions/list/140539>

Thue. (2019, 29. juli). armeringsstål. Retrieved from <https://snl.no/armeringsst%C3%A5l>

Thune, J. V. (2019). Fundament. In *Det Store Norske Leksikon*.

Tjora, Aksel (2020). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. 3.utgave. Gyldendal, Oslo

Trefokus. Lille Grønne (mai 2013). Hentet 25.04.20 fra

<http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>

TreFokus. Massivtre. Hentet 27.04.20 fra

<http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/massivtre>

Vinje, L. (2016). *Betongelementboka - Avstining og Kraftoverføring* (Vol. Bind B):  
Betongelementforeningen

Wikipedia. (2020). Microsoft Teams. Retrieved from

[https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Teams](https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Teams)

Wikipedia. Eurokode. (28.07.2019). Hentet 05.03.2020 fra

<https://no.wikipedia.org/wiki/Eurokode>

Wikipedia. SketchUp (04.07.2018). Hentet 05.03.2020 fra

<https://no.wikipedia.org/wiki/SketchUp>

Årskog, Vemund. (2003). Kostruksjonssikkerhet og belastning. *Kompendium i lastberegning*. (revidert 2010).

(Ukjent). 4.3.4 Rektangulære bjelker og hyllebjelker. Hentet 03.04.20 fra:

<https://docplayer.me/10322386-4-3-4-rektangulaere-bjelker-og-hyllebjelker.html>

## VEDLEGG

### Vedlegg 1: Samtykkeskjema – intervju

1 av 4

#### Vil du delta i forskningsprosjektet

#### *”Sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre”?*

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å samle noen erfaringer bedrifter/ansatte fra bedrifter har gjort seg om byggematerialene betong/stål contra massivtre/limtre. I dette skrevet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

##### **Formål**

Forskningsprosjektet er en del av en mer omfattende bacheloroppgave hvor vi (3 studenter fra NTNU Ålesund) ser på forskjellene mellom tradisjonelt bæresystem (betong og stål) og massivtre/limtre som byggematerialer. Vi ønsker i den sammenheng å intervju noen fra bransjen om deres erfaringer med de forskjellige byggematerialene. Intervjuet tar utgangspunkt i «funksjonelle krav og kvalitet»-trekanten fra boken *Praktisk prosjektledelse*. Overordnet tema er arbeidsomfang, tid og kostnad.

##### **Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?**

Institutt for Havromsoperasjoner og Byggeteknikk ved NTNU er ansvarlig for prosjektet.

##### **Hvorfor får du spørsmål om å delta?**

Vi ønsker din deltakelse fordi du arbeider i et firma som vi tror har erfaringer som kan bidra til å belyse utfordringer og positive sider ved bruk av betong og stål contra massivtre/limtre, noe vi kan dra godt nytte av i vårt prosjekt.

Et kriterie for å delta er at du enten har erfaring ved bygging av betong/stål og massivtre/limtre eller bare den ene og en formening om den andre. Vi har begrenset kjennskap til individer i bransjen, og har derfor benyttet oss av å ringe rundt til firma som vi ser har gjort prosjekter i begge byggematerialene hvor vi enten har kommet direkte i kontakt med personer som har sagt seg villig til å delta, eller har sendt mail med forespørsel om å kunne få gjennomføre et intervju med den det gjelder.

##### **Hva innebærer det for deg å delta?**

Hvis du velger å delta i prosjektet, innebærer det at du lar deg intervju via nettmøte med lydopptak i ca 60 minutter.

Intervjuet vil være et dybdeintervju, hvor vi stiller spørsmål om dine erfaringer om de forskjellige byggematerialene. Intervjuguiden er ferdigstilt før intervju og intervjuer vil forholde seg til disse spørsmålene. Svarene vil bli tatt opp på lydopptak og senere transkribert og anonymisert for bruk.

##### **Det er frivillig å delta**

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

### **Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger**

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

Det vil kun være selve bachelorgruppen + veileder som har tilgang til rådataen (lydopptak) og transkripsjon. Denne dataen vil bli lagret i en skytjeneste (Sharepoint via Microsoft Teams) som er gitt av NTNU. De som har tilgang er:

Studenter: Sara Åsnes Sagild, Sander Holstad Garberg, Aparna Jeyendran

Veileder: Kristian Normann

Etter at prosjektet er ferdig, vil lydopptak og transkripsjon bli slettet. Det som blir valgt ut til bruk i selve oppgaven, vil ikke bli slettet, men anonymisert. Anonymiseringen vil bli at intervjuobjektets navn erstattes med bokstaver i alfabetet: «A: ...», «B: ...». Dersom firmanavn blir brukt vil det anonymiseres ved bruk av tall: «1», «2»...

### **Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?**

Opplysningene anonymiseres når prosjektet avsluttes/oppgaven er godkjent, noe som etter planen er 20.mai.2020. Da slettes filene og opptaket fra intervjuet.

### **Dine rettigheter**

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

### **Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?**

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra Institutt for Havromsoperasjoner og Byggeteknikk ved NTNU har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

### **Hvor kan jeg finne ut mer?**

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med: Institutt for Havromsoperasjoner og Byggeteknikk ved NTNU ved

Veileder:

Kristian Normann, [kristian.normann@ntnu.no](mailto:kristian.normann@ntnu.no)

Studenter:

Sara Åsnes Sagild, [saraasa@stud.ntnu.no](mailto:saraasa@stud.ntnu.no)

Sander Holstad Garberg, [sanderg@stud.ntnu.no](mailto:sanderg@stud.ntnu.no)

Aparna Jeyendran, [aparnaj@stud.ntnu.no](mailto:aparnaj@stud.ntnu.no)

Vårt personvernombud: Thomas Helgesen, [thomas.helgesen@ntnu.no](mailto:thomas.helgesen@ntnu.no)

Hvis du har spørsmål knyttet til NSD sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS på epost ([personverntjenester@nsd.no](mailto:personverntjenester@nsd.no)) eller på telefon: 55 58 21 17.  
Med vennlig hilsen

Krisitan Normann  
(Veileder)

Sara Åsnes Sagild, Sander Holstad Garberg, Aparna Jeyendran  
(Studenter)

08.04.20 *Kristin Normann*

---

*Sara Åsnes Sagild 08.04.2020*

*Sander Holstad Garberg 08.04.2020*

*Aparna Jeyendran 08.04.2020*

## Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet [*sett inn tittel*], og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i dybdeintervju via videomøte med lydopptak
- at studentgruppen med veileder kan bruke opplysninger (anonymisert) til prosjektet

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)



## Vedlegg 2: Intervjuguide

### «Sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre»

#### *Intervjuguide*

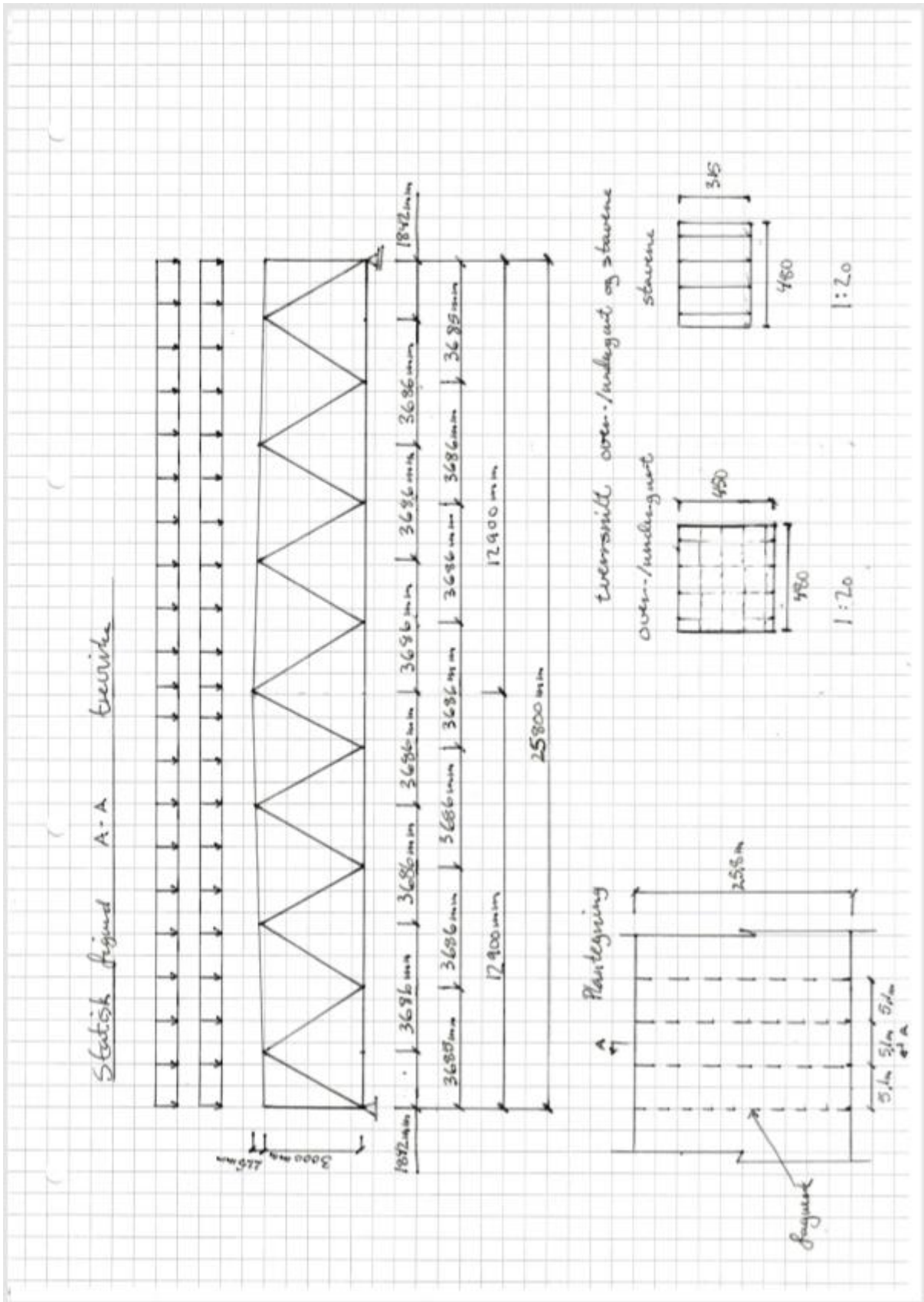
Innledning: Firma og generelt hva som er bygget i de forskjellige materialene - introduksjonen

1.
  - Stilling/rolle, firma?
  - Hvilken type bedrift er dere?
  - Hvilken type prosjekter er mest vanlig for ditt firma?
  - Har dere gjennomført prosjekter med betong og stål eller massivtre/limtre som byggematerialene?

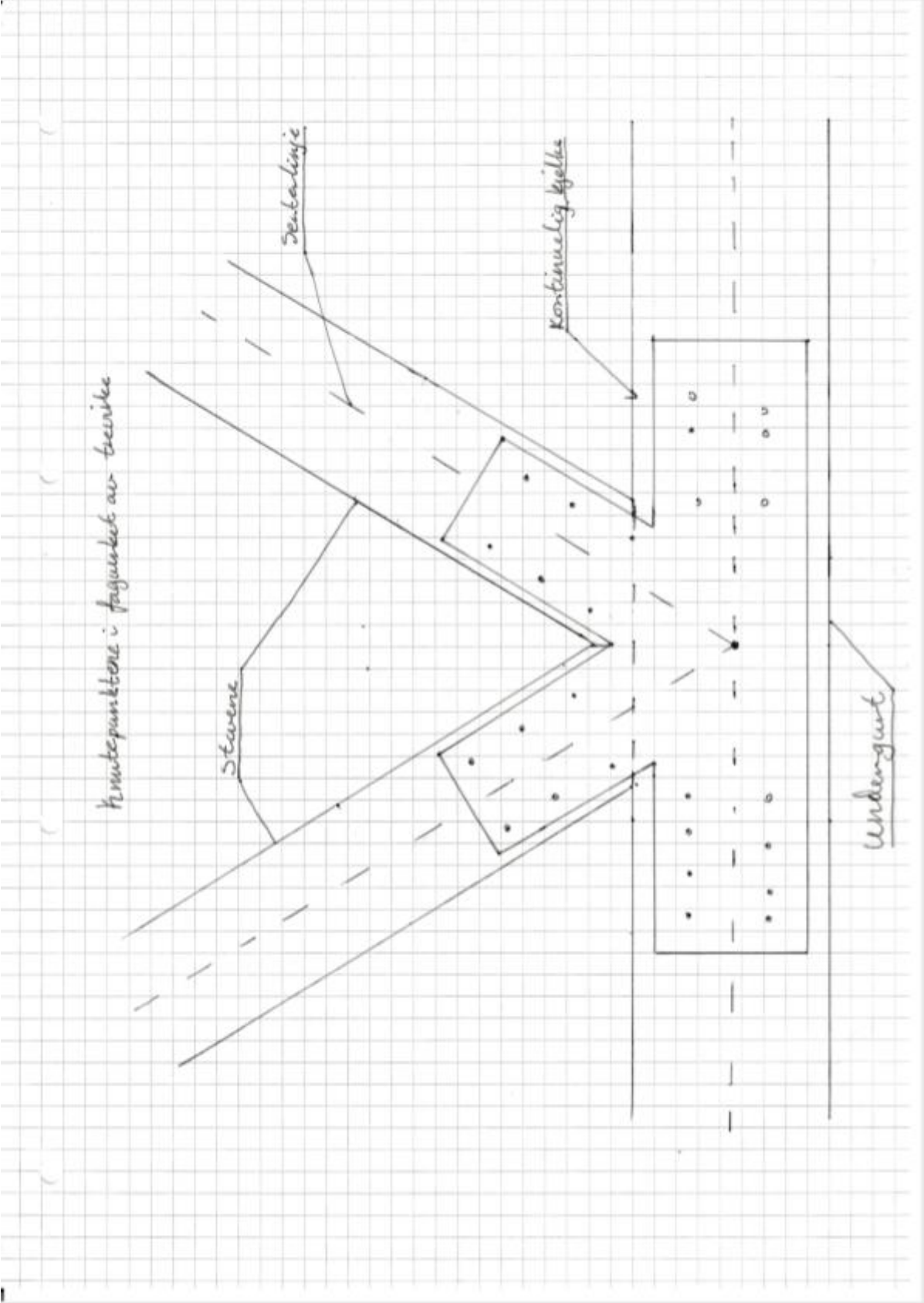
Hoveddel: Tar sikte på å finne ut om kostnader, tidsbruk og arbeidsomfang ved de to forskjellige byggematerialene.

2.
  - Arbeidsomfang – spør om de forskjellige stegene i prosjektfasen
  - Hvordan har du opplevd planleggingsfasen når det kommer til bruken av tradisjonelt byggemateriale (betong og stål) contra massivtre/limtre?
  - Hvordan opplevde du gjennomføringsfasen når det kommer til bruken av tradisjonelt byggemateriale (betong og stål) contra massivtre/limtre?
  - Tid – tar for seg tid som ressurs gjennom prosjektet
  - Kan du dele noen erfaringer/tanker om tidsbruken fra prosjektstart til overlevering av prosjektet til kunde?
  - Kostnad – økonomisk
  - Hva mener du er mest kostnadsbesparende for firma og kunde av de to byggematerialene fra start til slutt?
  - Kan du dele noen erfaringer/tanker om tiden fra start til overlevering av prosjektet til kunde?
3. Avslutning
  - Hvilke av materialene ville du anbefalt andre å bygge med? Begrunn kort
  - Er det noe du vil legge til som du føler er sentralt når man skal velge mellom de forskjellige materialene?

Vedlegg 3: Statisk figur, limtrebjelke



Vedlegg 4: Knutepunkt, limtrebjelke



**VEDLEGG 5: Fagverk i Tre, Bruksgrensetilstand**

—

**Knutepunktsforskyvninger**

Kn.P.	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	-1.78755	0.00000	0.00115
2	-1.57690	-4.68863	0.00110
3	-1.05746	-8.27201	0.00071
4	-0.36655	-10.16056	0.00031
5	0.00000	-10.73887	0.00031
6	0.00000	-10.41581	-0.00017
7	0.70001	-9.48909	0.00050
8	1.25670	-6.70736	0.00091
9	1.55129	-2.45928	0.00131
10	1.51351	-0.02701	0.00127

**Opplagerkrefter**

Kn.P.	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]
1	0.000	214.798	0.000
5	429.597	0.000	0.000
6	-429.597	0.000	0.000

**Element endekrefter (globalkoordinater)**

Element	FxA [kN]	FyA [kN]	MA [kNm]	FxB [kN]	FyB [kN]	MB [kNm]
1	5.175	19.446	6.274	-5.175	-19.446	9.249
2	118.303	190.464	2.237	-118.303	-190.464	5.623
3	-92.253	143.524	9.805	92.253	-143.524	5.392
4	88.656	146.219	4.362	-88.656	-146.219	0.636
5	-50.388	82.146	4.316	50.388	-82.146	0.290
6	50.102	84.364	3.554	-50.102	-84.364	-0.662
7	-14.526	20.822	5.634	14.526	-20.822	1.907
8	10.194	20.797	1.990	-10.194	-20.797	-7.443
9	-419.403	20.797	7.443	419.403	40.579	-17.058
10	-354.775	22.964	12.087	354.775	38.412	-17.499
11	-215.731	25.660	12.546	215.731	35.715	-17.271
12	-5.174	11.225	1.843	5.174	19.446	-9.249
13	-123.478	4.888	-8.511	123.478	-4.888	-9.500
14	-304.387	2.193	-0.253	304.387	-2.193	-7.831
15	-404.877	-0.025	3.988	404.877	0.025	-3.897
16	-429.597	0.000	0.000	429.597	0.000	0.000

**Element endekrefter (lokalkoordinater)**

Element	fxA [kN]	fyA [kN]	mA [kNm]	fxB [kN]	fyB [kN]	mB [kNm]
1	19.446	-5.175	6.274	-19.446	5.175	9.249
2	224.204	-2.215	2.237	-224.204	2.215	5.623
3	-170.562	-4.283	9.805	170.562	4.283	5.392
4	170.991	-1.387	4.362	-170.991	1.387	0.636
5	-96.360	-1.278	4.316	96.360	1.278	0.290
6	98.117	-0.790	3.554	-98.117	0.790	-0.662
7	-25.304	-2.061	5.634	25.304	2.061	1.907
8	23.114	1.468	1.990	-23.114	-1.468	-7.443
9	418.979	-28.075	7.443	-420.044	-33.291	-17.058
10	354.315	-29.215	12.087	-355.397	-32.151	-17.499
11	215.253	-29.402	12.546	-216.318	-31.965	-17.271
12	4.979	-11.313	1.843	-5.511	-19.353	-9.249
13	-123.478	4.888	-8.511	123.478	-4.888	-9.500
14	-304.387	2.193	-0.253	304.387	-2.193	-7.831
15	-404.877	-0.025	3.988	404.877	0.025	-3.897
16	-429.597	0.000	0.000	429.597	0.000	0.000

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 1**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	6.27	5.17	-19.45	-1.788	0.000
1.788	1	0.100	0.30	4.72	5.17	-19.45	-1.451	-0.003
1.451	2	0.200	0.60	3.17	5.17	-19.45	-1.126	-0.005

1.126	3	0.300	0.90	1.62	5.17	-19.45	-0.809	-0.008
0.809	4	0.400	1.20	0.06	5.17	-19.45	-0.496	-0.011
0.496	5	0.500	1.50	-1.49	5.17	-19.45	-0.183	-0.013
0.183	6	0.600	1.80	-3.04	5.17	-19.45	0.134	-0.016
0.135	7	0.700	2.10	-4.59	5.17	-19.45	0.458	-0.019
0.458	8	0.800	2.40	-6.14	5.17	-19.45	0.793	-0.022
0.794	9	0.900	2.70	-7.70	5.17	-19.45	1.144	-0.024
1.144	10	1.000	3.00	-9.25	5.17	-19.45	1.514	-0.027
1.514								

Maksimalverdi for element 1

maxM=	6.274 kNm,	minM=	-9.249 kNm
maxV=	5.175 kN,	minV=	5.175 kN
maxN=	-19.446 kN,	minN=	-19.446 kN
maxd=	1.78755 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 2**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	2.24	2.22	-224.20	-1.788	0.000
1.788	1	0.100	0.35	1.45	2.22	-224.20	-1.462	-0.241
1.482	2	0.200	0.71	0.66	2.22	-224.20	-1.141	-0.479
1.238	3	0.300	1.06	-0.12	2.22	-224.20	-0.822	-0.716
1.090	4	0.400	1.42	-0.91	2.22	-224.20	-0.503	-0.953
1.077	5	0.500	1.77	-1.69	2.22	-224.20	-0.181	-1.192
1.205	6	0.600	2.13	-2.48	2.22	-224.20	0.147	-1.434
1.441	7	0.700	2.48	-3.27	2.22	-224.20	0.481	-1.680
1.747	8	0.800	2.84	-4.05	2.22	-224.20	0.825	-1.932
2.101	9	0.900	3.19	-4.84	2.22	-224.20	1.181	-2.191
2.489	10	1.000	3.55	-5.62	2.22	-224.20	1.551	-2.459
2.908								

Maksimalverdi for element 2

maxM=	2.237 kNm,	minM=	-5.623 kNm
maxV=	2.215 kN,	minV=	2.215 kN
maxN=	-224.204 kN,	minN=	-224.204 kN
maxd=	2.90767 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 3**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	9.81	4.28	170.56	1.551	-2.459
2.908	1	0.100	0.35	8.29	4.28	170.56	1.182	-2.716
2.962	2	0.200	0.71	6.77	4.28	170.56	0.838	-2.959
3.075	3	0.300	1.06	5.25	4.28	170.56	0.513	-3.189
3.230	4	0.400	1.42	3.73	4.28	170.56	0.204	-3.409

3.416	5	0.500	1.77	2.21	4.28	170.56	-0.094	-3.623
3.625	6	0.600	2.13	0.69	4.28	170.56	-0.386	-3.833
3.853	7	0.700	2.48	-0.83	4.28	170.56	-0.676	-4.042
4.098	8	0.800	2.84	-2.35	4.28	170.56	-0.967	-4.253
4.361	9	0.900	3.19	-3.87	4.28	170.56	-1.266	-4.467
4.643	10	1.000	3.55	-5.39	4.28	170.56	-1.577	-4.689
4.947								

Maksimalverdi for element 3

maxM=	9.805 kNm,	minM=	-5.393 kNm
maxV=	4.283 kN,	minV=	4.283 kN
maxN=	170.562 kN,	minN=	170.562 kN
maxd=	4.94670 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 4**

<u>d[mm]</u>	n	x/l	x[m]	M[kNm]	V[kN]	N[kN]	dx[mm]	dy[mm]
4.947	0	0.000	0.00	4.36	1.39	-170.99	-1.577	-4.689
5.070	1	0.100	0.36	3.86	1.39	-170.99	-1.259	-4.911
5.214	2	0.200	0.72	3.36	1.39	-170.99	-0.952	-5.127
5.376	3	0.300	1.08	2.86	1.39	-170.99	-0.656	-5.336
5.553	4	0.400	1.44	2.36	1.39	-170.99	-0.369	-5.541
5.741	5	0.500	1.80	1.86	1.39	-170.99	-0.089	-5.740
5.940	6	0.600	2.16	1.36	1.39	-170.99	0.186	-5.937
6.148	7	0.700	2.52	0.86	1.39	-170.99	0.456	-6.131
6.365	8	0.800	2.88	0.36	1.39	-170.99	0.723	-6.323
6.590	9	0.900	3.24	-0.14	1.39	-170.99	0.990	-6.515
6.824	10	1.000	3.60	-0.64	1.39	-170.99	1.256	-6.707

Maksimalverdi for element 4

maxM=	4.362 kNm,	minM=	-0.637 kNm
maxV=	1.387 kN,	minV=	1.387 kN
maxN=	-170.991 kN,	minN=	-170.991 kN
maxd=	6.82410 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 5**

<u>d[mm]</u>	n	x/l	x[m]	M[kNm]	V[kN]	N[kN]	dx[mm]	dy[mm]
6.824	0	0.000	0.00	4.32	1.28	96.36	1.256	-6.707
6.956	1	0.100	0.36	3.86	1.28	96.36	0.989	-6.885
7.094	2	0.200	0.72	3.40	1.28	96.36	0.733	-7.056
7.238	3	0.300	1.08	2.93	1.28	96.36	0.488	-7.221
7.385	4	0.400	1.44	2.47	1.28	96.36	0.252	-7.381
7.536	5	0.500	1.80	2.01	1.28	96.36	0.023	-7.536
	6	0.600	2.16	1.55	1.28	96.36	-0.200	-7.687

7.689	7	0.700	2.52	1.09	1.28	96.36	-0.418	-7.835
7.846	8	0.800	2.88	0.63	1.28	96.36	-0.633	-7.982
8.007	9	0.900	3.24	0.17	1.28	96.36	-0.845	-8.127
8.171	10	1.000	3.60	-0.29	1.28	96.36	-1.058	-8.272

8.339

Maksimalverdi for element 5

maxM= 4.316 kNm, minM= -0.289 kNm  
 maxV= 1.278 kN, minV= 1.278 kN  
 maxN= 96.360 kN, minN= 96.360 kN  
 maxd= 8.33934 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 6**

<u>d[mm]</u>	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
	0	0.000	0.00	3.55	0.79	-98.12	-1.058	-8.272
8.339	1	0.100	0.37	3.26	0.79	-98.12	-0.846	-8.414
8.457	2	0.200	0.73	2.98	0.79	-98.12	-0.645	-8.551
8.575	3	0.300	1.10	2.69	0.79	-98.12	-0.454	-8.682
8.694	4	0.400	1.46	2.40	0.79	-98.12	-0.271	-8.808
8.812	5	0.500	1.83	2.11	0.79	-98.12	-0.095	-8.929
8.930	6	0.600	2.20	1.82	0.79	-98.12	0.074	-9.047
9.047	7	0.700	2.56	1.53	0.79	-98.12	0.236	-9.161
9.164	8	0.800	2.93	1.24	0.79	-98.12	0.395	-9.273
9.281	9	0.900	3.29	0.95	0.79	-98.12	0.549	-9.382
9.398	10	1.000	3.66	0.66	0.79	-98.12	0.700	-9.489

9.515

Maksimalverdi for element 6

maxM= 3.554 kNm, minM= 0.662 kNm  
 maxV= 0.790 kN, minV= 0.790 kN  
 maxN= -98.117 kN, minN= -98.117 kN  
 maxd= 9.51484 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 7**

<u>d[mm]</u>	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
	0	0.000	0.00	5.63	2.06	25.30	0.700	-9.489
9.515	1	0.100	0.37	4.88	2.06	25.30	0.553	-9.580
9.596	2	0.200	0.73	4.13	2.06	25.30	0.420	-9.662
9.671	3	0.300	1.10	3.37	2.06	25.30	0.302	-9.736
9.741	4	0.400	1.46	2.62	2.06	25.30	0.193	-9.805
9.806	5	0.500	1.83	1.86	2.06	25.30	0.093	-9.868
9.868	6	0.600	2.20	1.11	2.06	25.30	-0.002	-9.928
9.928	7	0.700	2.56	0.36	2.06	25.30	-0.092	-9.986
9.986	8	0.800	2.93	-0.40	2.06	25.30	-0.181	-10.043

10.044	9	0.900	3.29	-1.15	2.06	25.30	-0.272	-10.101
10.104	10	1.000	3.66	-1.91	2.06	25.30	-0.366	-10.161

10.167

Maksimalverdi for element 7

maxM=	5.634 kNm,	minM=	-1.907 kNm
maxV=	2.061 kN,	minV=	2.061 kN
maxN=	25.304 kN,	minN=	25.304 kN
maxd=	10.16716 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 8**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	1.99	-1.47	-23.11	-0.366	-10.161
10.167	1	0.100	0.37	2.54	-1.47	-23.11	-0.271	-10.220
10.223	2	0.200	0.74	3.08	-1.47	-23.11	-0.183	-10.274
10.276	3	0.300	1.11	3.63	-1.47	-23.11	-0.106	-10.323
10.324	4	0.400	1.49	4.17	-1.47	-23.11	-0.041	-10.365
10.365	5	0.500	1.86	4.72	-1.47	-23.11	0.010	-10.399
10.399	6	0.600	2.23	5.26	-1.47	-23.11	0.047	-10.424
10.424	7	0.700	2.60	5.81	-1.47	-23.11	0.065	-10.439
10.440	8	0.800	2.97	6.35	-1.47	-23.11	0.065	-10.444
10.444	9	0.900	3.34	6.90	-1.47	-23.11	0.043	-10.436
10.436	10	1.000	3.71	7.44	-1.47	-23.11	0.000	-10.416

10.416

Maksimalverdi for element 8

maxM=	7.443 kNm,	minM=	1.990 kNm
maxV=	-1.468 kN,	minV=	-1.468 kN
maxN=	-23.114 kN,	minN=	-23.114 kN
maxd=	10.44393 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 9**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	7.44	28.07	-418.98	0.000	-10.416
10.416	1	0.100	0.37	-1.78	21.94	-419.09	0.073	-10.484
10.484	2	0.200	0.74	-8.73	15.80	-419.19	0.145	-10.546
10.547	3	0.300	1.11	-13.43	9.66	-419.30	0.218	-10.576
10.579	4	0.400	1.47	-15.86	3.53	-419.40	0.289	-10.557
10.561	5	0.500	1.84	-16.03	-2.61	-419.51	0.359	-10.480
10.486	6	0.600	2.21	-13.94	-8.74	-419.62	0.429	-10.343
10.352	7	0.700	2.58	-9.58	-14.88	-419.72	0.497	-10.155
10.167	8	0.800	2.95	-2.96	-21.02	-419.83	0.564	-9.933
9.949	9	0.900	3.32	5.92	-27.15	-419.94	0.632	-9.699
9.720	10	1.000	3.69	17.06	-33.29	-420.04	0.700	-9.489



9.515

Maksimalverdi for element 9

maxM= 17.058 kNm, minM= -16.028 kNm  
 maxV= 28.075 kN, minV= -33.291 kN  
 maxN= -418.979 kN, minN= -420.044 kN  
 maxd= 10.57861 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 10**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0.000	0.00	12.09	29.22	-354.31	0.700	-9.489
9.515								
	1	0.100	0.37	2.45	23.08	-354.42	0.757	-9.320
9.350								
	2	0.200	0.74	-4.93	16.94	-354.53	0.816	-9.160
9.196								
	3	0.300	1.11	-10.04	10.81	-354.64	0.873	-8.983
9.025								
	4	0.400	1.47	-12.90	4.67	-354.75	0.930	-8.769
8.818								
	5	0.500	1.84	-13.49	-1.47	-354.86	0.986	-8.507
8.564								
	6	0.600	2.21	-11.81	-7.60	-354.96	1.041	-8.196
8.262								
	7	0.700	2.58	-7.88	-13.74	-355.07	1.095	-7.842
7.918								
	8	0.800	2.95	-1.68	-19.88	-355.18	1.149	-7.459
7.547								
	9	0.900	3.32	6.78	-26.01	-355.29	1.202	-7.070
7.172								
	10	1.000	3.69	17.50	-32.15	-355.40	1.256	-6.707
6.824								

Maksimalverdi for element 10

maxM= 17.499 kNm, minM= -13.486 kNm  
 maxV= 29.215 kN, minV= -32.151 kN  
 maxN= -354.315 kN, minN= -355.397 kN  
 maxd= 9.51484 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 11**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0.000	0.00	12.55	29.40	-215.25	1.256	-6.707
6.824								
	1	0.100	0.37	2.84	23.26	-215.36	1.288	-6.388
6.516								
	2	0.200	0.74	-4.61	17.13	-215.47	1.320	-6.079
6.221								
	3	0.300	1.11	-9.79	10.99	-215.57	1.351	-5.755
5.911								
	4	0.400	1.47	-12.71	4.86	-215.68	1.381	-5.394
5.568								
	5	0.500	1.84	-13.37	-1.28	-215.79	1.411	-4.987
5.182								
	6	0.600	2.21	-11.77	-7.42	-215.89	1.440	-4.530
4.754								
	7	0.700	2.58	-7.90	-13.55	-216.00	1.468	-4.031
4.290								
	8	0.800	2.95	-1.77	-19.69	-216.11	1.496	-3.502
3.808								
	9	0.900	3.32	6.62	-25.83	-216.21	1.523	-2.968
3.336								
	10	1.000	3.69	17.27	-31.96	-216.32	1.551	-2.459
2.908								

Maksimalverdi for element 11

maxM= 17.271 kNm, minM= -13.371 kNm  
 maxV= 29.402 kN, minV= -31.965 kN

maxN= -215.253 kN, minN= -216.318 kN  
maxd= 6.82410 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 12**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	1.84	11.31	-4.98	1.551	-2.459
2.908	1	0.100	0.18	0.04	8.25	-5.03	1.548	-2.219
2.705	2	0.200	0.37	-1.20	5.18	-5.09	1.544	-1.978
2.509	3	0.300	0.55	-1.87	2.11	-5.14	1.540	-1.736
2.321	4	0.400	0.74	-1.97	-0.95	-5.19	1.536	-1.492
2.142	5	0.500	0.92	-1.52	-4.02	-5.25	1.532	-1.247
1.976	6	0.600	1.11	-0.49	-7.09	-5.30	1.529	-1.000
1.827	7	0.700	1.29	1.10	-10.15	-5.35	1.525	-0.753
1.701	8	0.800	1.47	3.25	-13.22	-5.40	1.521	-0.507
1.603	9	0.900	1.66	5.97	-16.29	-5.46	1.517	-0.264
1.540	10	1.000	1.84	9.25	-19.35	-5.51	1.514	-0.027
1.514								

**Maksimalverdi for element 12**

maxM= 9.249 kNm, minM= -1.974 kNm  
maxV= 11.313 kN, minV= -19.353 kN  
maxN= -4.979 kN, minN= -5.511 kN  
maxd= 2.90767 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 13**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	-8.51	-4.89	123.48	-1.788	0.000
1.788	1	0.100	0.37	-6.71	-4.89	123.48	-1.766	-0.437
1.820	2	0.200	0.74	-4.91	-4.89	123.48	-1.745	-0.899
1.963	3	0.300	1.11	-3.11	-4.89	123.48	-1.724	-1.379
2.208	4	0.400	1.47	-1.31	-4.89	123.48	-1.703	-1.871
2.530	5	0.500	1.84	0.49	-4.89	123.48	-1.682	-2.367
2.904	6	0.600	2.21	2.30	-4.89	123.48	-1.661	-2.862
3.309	7	0.700	2.58	4.10	-4.89	123.48	-1.640	-3.348
3.728	8	0.800	2.95	5.90	-4.89	123.48	-1.619	-3.819
4.148	9	0.900	3.32	7.70	-4.89	123.48	-1.598	-4.268
4.558	10	1.000	3.68	9.50	-4.89	123.48	-1.577	-4.689
4.947								

**Maksimalverdi for element 13**

maxM= 9.500 kNm, minM= -8.511 kNm  
maxV= -4.888 kN, minV= -4.888 kN  
maxN= 123.478 kN, minN= 123.478 kN  
maxd= 4.94670 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 14**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	-0.25	-2.19	304.39	-1.577	-4.689
4.947	1	0.100	0.37	0.56	-2.19	304.39	-1.525	-5.092
5.316	2	0.200	0.74	1.36	-2.19	304.39	-1.473	-5.494
5.688	3	0.300	1.11	2.17	-2.19	304.39	-1.421	-5.891
6.060	4	0.400	1.47	2.98	-2.19	304.39	-1.369	-6.279
6.427	5	0.500	1.84	3.79	-2.19	304.39	-1.317	-6.657
6.786	6	0.600	2.21	4.60	-2.19	304.39	-1.265	-7.020
7.133	7	0.700	2.58	5.41	-2.19	304.39	-1.213	-7.366
7.466	8	0.800	2.95	6.21	-2.19	304.39	-1.161	-7.692
7.780	9	0.900	3.32	7.02	-2.19	304.39	-1.109	-7.995
8.072	10	1.000	3.69	7.83	-2.19	304.39	-1.058	-8.272
8.339								

Maksimalverdi for element 14

maxM= 7.831 kNm, minM= -0.253 kNm  
 maxV= -2.193 kN, minV= -2.193 kN  
 maxN= 304.387 kN, minN= 304.387 kN  
 maxd= 8.33934 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 15**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	3.99	0.02	404.88	-1.058	-8.272
8.339	1	0.100	0.37	3.98	0.02	404.88	-0.988	-8.527
8.584	2	0.200	0.74	3.97	0.02	404.88	-0.919	-8.768
8.816	3	0.300	1.11	3.96	0.02	404.88	-0.850	-8.993
9.033	4	0.400	1.47	3.95	0.02	404.88	-0.781	-9.204
9.237	5	0.500	1.84	3.94	0.02	404.88	-0.712	-9.400
9.427	6	0.600	2.21	3.93	0.02	404.88	-0.643	-9.581
9.603	7	0.700	2.58	3.92	0.02	404.88	-0.574	-9.748
9.765	8	0.800	2.95	3.92	0.02	404.88	-0.505	-9.900
9.913	9	0.900	3.32	3.91	0.02	404.88	-0.436	-10.038
10.047	10	1.000	3.69	3.90	0.02	404.88	-0.366	-10.161
10.167								

Maksimalverdi for element 15

maxM= 3.988 kNm, minM= 3.897 kNm  
 maxV= 0.025 kN, minV= 0.025 kN  
 maxN= 404.877 kN, minN= 404.877 kN  
 maxd= 10.16716 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 16**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	0.00	0.00	429.60	-0.366	-10.161

10.167	1	0.100	0.18	0.00	0.00	429.60	-0.329	-10.218
10.224	2	0.200	0.37	0.00	0.00	429.60	-0.293	-10.276
10.280	3	0.300	0.55	0.00	0.00	429.60	-0.257	-10.334
10.337	4	0.400	0.74	0.00	0.00	429.60	-0.220	-10.392
10.394	5	0.500	0.92	0.00	0.00	429.60	-0.184	-10.450
10.451	6	0.600	1.11	0.00	0.00	429.60	-0.147	-10.508
10.509	7	0.700	1.29	0.00	0.00	429.60	-0.110	-10.565
10.566	8	0.800	1.47	0.00	0.00	429.60	-0.073	-10.623
10.623	9	0.900	1.66	0.00	0.00	429.60	-0.037	-10.681
10.681	10	1.000	1.84	0.00	0.00	429.60	0.000	-10.739
10.739								

Maksimalverdi for element 16

maxM= 0.000 kNm, minM= 0.000 kNm  
 maxV= 0.000 kN, minV= 0.000 kN  
 maxN= 429.597 kN, minN= 429.597 kN  
 maxd= 10.73887 mm

Vedlegg 6: Dimensjonering av fagverk for limtre i Eurocode i Bruddgrensetilstand

**test**

**Knutepunktsforskyvninger**

Kn.P.	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	-2,37862	0,00000	0,00152
2	-2,09831	-6,23897	0,00146
3	-1,40713	-11,00723	0,00095
4	-0,48775	-13,52025	0,00042
5	0,00000	-14,28979	0,00042
6	0,00000	-13,85991	-0,00022
7	0,93148	-12,62675	0,00067
8	1,67224	-8,92522	0,00121
9	2,06424	-3,27247	0,00174
10	2,01397	-0,03594	0,00169

**Opplagerkrefter**

Kn.P.	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]
1	0,000	285,824	0,000
5	571,647	0,000	0,000
6	-571,648	0,000	0,000

**Element endekrefter (globalkoordinater)**

Element	FxA [kN]	FyA [kN]	MA [kNm]	FxB [kN]	FyB [kN]	MB [kNm]
1	6,886	25,876	8,349	-6,886	-25,876	12,308
2	157,421	253,443	2,976	-157,421	-253,443	7,482
3	-122,758	190,982	13,047	122,758	-190,982	7,175
4	117,971	194,567	5,804	-117,971	-194,567	0,847
5	-67,049	109,308	5,744	67,049	-109,308	0,385
6	66,669	112,259	4,729	-66,669	-112,259	-0,881
7	-19,328	27,706	7,497	19,328	-27,706	2,537
8	13,565	27,674	2,648	-13,565	-27,674	-9,904
9	-558,083	27,674	9,904	558,083	53,996	-22,699
10	-472,085	30,557	16,084	472,085	51,114	-23,285
11	-287,065	34,145	16,694	287,065	47,525	-22,981
12	-6,885	14,937	2,452	6,885	25,876	-12,308
13	-164,307	6,504	-11,325	164,307	-6,504	-12,642
14	-405,035	2,918	-0,337	405,035	-2,918	-10,420
15	-538,754	-0,033	5,306	538,754	0,033	-5,185
16	-571,647	0,000	0,000	571,647	0,000	0,000

**Element endekrefter (lokalkoordinater)**

Element	fxA [kN]	fyA [kN]	mA [kNm]	fxB [kN]	fyB [kN]	mB [kNm]
1	25,876	-6,886	8,349	-25,876	6,886	12,308
2	298,339	-2,948	2,976	-298,339	2,948	7,482
3	-226,960	-5,700	13,047	226,960	5,700	7,175
4	227,530	-1,846	5,804	-227,530	1,846	0,847
5	-128,222	-1,701	5,744	128,222	1,701	0,385
6	130,560	-1,052	4,729	-130,560	1,052	-0,881
7	-33,671	-2,742	7,497	33,671	2,742	2,537
8	30,758	1,954	2,648	-30,758	-1,954	-9,904
9	557,518	-37,358	9,904	-558,936	-44,300	-22,699
10	471,473	-38,876	16,084	-472,913	-42,782	-23,285
11	286,428	-39,124	16,694	-287,846	-42,534	-22,981
12	6,625	-15,054	2,452	-7,334	-25,753	-12,308
13	-164,307	6,504	-11,325	164,307	-6,504	-12,642
14	-405,035	2,918	-0,337	405,035	-2,918	-10,420
15	-538,754	-0,033	5,306	538,754	0,033	-5,185
16	-571,647	0,000	0,000	571,647	0,000	0,000

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 1**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	
d [mm]	0	0,000	0,00	8,35	6,89	-25,88	-2,379	0,000

2,379

1,931	1	0,100	0,30	6,28	6,89	-25,88	-1,931	-0,004
1,498	2	0,200	0,60	4,22	6,89	-25,88	-1,498	-0,007
1,077	3	0,300	0,90	2,15	6,89	-25,88	-1,076	-0,011
0,660	4	0,400	1,20	0,09	6,89	-25,88	-0,660	-0,014
0,244	5	0,500	1,50	-1,98	6,89	-25,88	-0,243	-0,018
0,179	6	0,600	1,80	-4,04	6,89	-25,88	0,178	-0,022
0,610	7	0,700	2,10	-6,11	6,89	-25,88	0,609	-0,025
1,056	8	0,800	2,40	-8,18	6,89	-25,88	1,056	-0,029
1,522	9	0,900	2,70	-10,24	6,89	-25,88	1,522	-0,032
2,014	10	1,000	3,00	-12,31	6,89	-25,88	2,014	-0,036

Maksimalverdi for element 1

maxM=	8,349 kNm,	minM=	-12,308 kNm
maxV=	6,886 kN,	minV=	6,886 kN
maxN=	-25,876 kN,	minN=	-25,876 kN
maxd=	2,37862 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 2

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
2,379	0	0,000	0,00	2,98	2,95	-298,34	-2,379	0,000
1,972	1	0,100	0,35	1,93	2,95	-298,34	-1,946	-0,320
1,647	2	0,200	0,71	0,88	2,95	-298,34	-1,519	-0,637
1,451	3	0,300	1,06	-0,16	2,95	-298,34	-1,094	-0,952
1,434	4	0,400	1,42	-1,21	2,95	-298,34	-0,669	-1,268
1,604	5	0,500	1,77	-2,25	2,95	-298,34	-0,240	-1,586
1,917	6	0,600	2,13	-3,30	2,95	-298,34	0,195	-1,908
2,325	7	0,700	2,48	-4,34	2,95	-298,34	0,640	-2,235
2,795	8	0,800	2,84	-5,39	2,95	-298,34	1,098	-2,571
3,312	9	0,900	3,19	-6,44	2,95	-298,34	1,572	-2,916
3,869	10	1,000	3,55	-7,48	2,95	-298,34	2,064	-3,273

Maksimalverdi for element 2

maxM=	2,976 kNm,	minM=	-7,482 kNm
maxV=	2,948 kN,	minV=	2,948 kN
maxN=	-298,339 kN,	minN=	-298,339 kN
maxd=	3,86917 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 3

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
3,869	0	0,000	0,00	13,05	5,70	226,96	2,064	-3,273
3,942	1	0,100	0,35	11,02	5,70	226,96	1,573	-3,615
4,092	2	0,200	0,71	9,00	5,70	226,96	1,115	-3,937

4,298	3	0,300	1,06	6,98	5,70	226,96	0,683	-4,243
4,545	4	0,400	1,42	4,96	5,70	226,96	0,271	-4,537
4,823	5	0,500	1,77	2,94	5,70	226,96	-0,125	-4,822
5,127	6	0,600	2,13	0,91	5,70	226,96	-0,513	-5,101
5,453	7	0,700	2,48	-1,11	5,70	226,96	-0,899	-5,379
5,803	8	0,800	2,84	-3,13	5,70	226,96	-1,287	-5,659
6,179	9	0,900	3,19	-5,15	5,70	226,96	-1,685	-5,944
6,582	10	1,000	3,55	-7,18	5,70	226,96	-2,098	-6,239

Maksimalverdi for element 3

maxM=	13,047 kNm,	minM=	-7,176 kNm
maxV=	5,700 kN,	minV=	5,700 kN
maxN=	226,960 kN,	minN=	226,960 kN
maxd=	6,58238 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 4**

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x[m]</u>	<u>M[kNm]</u>	<u>V[kN]</u>	<u>N[kN]</u>	<u>dx[mm]</u>	<u>dy[mm]</u>
6,582	0	0,000	0,00	5,80	1,85	-227,53	-2,098	-6,239
6,746	1	0,100	0,36	5,14	1,85	-227,53	-1,675	-6,535
6,939	2	0,200	0,72	4,47	1,85	-227,53	-1,267	-6,822
7,154	3	0,300	1,08	3,81	1,85	-227,53	-0,873	-7,101
7,389	4	0,400	1,44	3,14	1,85	-227,53	-0,491	-7,373
7,639	5	0,500	1,80	2,48	1,85	-227,53	-0,118	-7,639
7,904	6	0,600	2,16	1,81	1,85	-227,53	0,247	-7,900
8,181	7	0,700	2,52	1,15	1,85	-227,53	0,607	-8,158
8,469	8	0,800	2,88	0,48	1,85	-227,53	0,962	-8,414
8,769	9	0,900	3,24	-0,18	1,85	-227,53	1,317	-8,670
9,081	10	1,000	3,60	-0,85	1,85	-227,53	1,672	-8,925

Maksimalverdi for element 4

maxM=	5,804 kNm,	minM=	-0,846 kNm
maxV=	1,846 kN,	minV=	1,846 kN
maxN=	-227,530 kN,	minN=	-227,530 kN
maxd=	9,08051 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 5**

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x[m]</u>	<u>M[kNm]</u>	<u>V[kN]</u>	<u>N[kN]</u>	<u>dx[mm]</u>	<u>dy[mm]</u>
9,081	0	0,000	0,00	5,74	1,70	128,22	1,672	-8,925
9,256	1	0,100	0,36	5,13	1,70	128,22	1,316	-9,162
9,440	2	0,200	0,72	4,52	1,70	128,22	0,976	-9,390
9,631	3	0,300	1,08	3,90	1,70	128,22	0,649	-9,609
9,827	4	0,400	1,44	3,29	1,70	128,22	0,335	-9,821





13,288	7	0,700	2,56	0,47	2,74	33,67	-0,122	-13,287
13,366	8	0,800	2,93	-0,53	2,74	33,67	-0,241	-13,363
13,445	9	0,900	3,29	-1,53	2,74	33,67	-0,362	-13,440
13,529	10	1,000	3,66	-2,54	2,74	33,67	-0,487	-13,520

Maksimalverdi for element 7

maxM=	7,497 kNm,	minM=	-2,538 kNm
maxV=	2,742 kN,	minV=	2,742 kN
maxN=	33,671 kN,	minN=	33,671 kN
maxd=	13,52903 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 8**

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
13,529	0	0,000	0,00	2,65	-1,95	-30,76	-0,487	-13,520
13,604	1	0,100	0,37	3,37	-1,95	-30,76	-0,360	-13,599
13,674	2	0,200	0,74	4,10	-1,95	-30,76	-0,244	-13,672
13,737	3	0,300	1,11	4,83	-1,95	-30,76	-0,142	-13,736
13,792	4	0,400	1,49	5,55	-1,95	-30,76	-0,054	-13,792
13,837	5	0,500	1,86	6,28	-1,95	-30,76	0,014	-13,837
13,871	6	0,600	2,23	7,00	-1,95	-30,76	0,062	-13,871
13,892	7	0,700	2,60	7,73	-1,95	-30,76	0,087	-13,891
13,897	8	0,800	2,97	8,45	-1,95	-30,76	0,087	-13,897
13,887	9	0,900	3,34	9,18	-1,95	-30,76	0,059	-13,887
13,860	10	1,000	3,71	9,90	-1,95	-30,76	0,000	-13,860

Maksimalverdi for element 8

maxM=	9,904 kNm,	minM=	2,648 kNm
maxV=	-1,954 kN,	minV=	-1,954 kN
maxN=	-30,758 kN,	minN=	-30,758 kN
maxd=	13,89749 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 9**

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
13,860	0	0,000	0,00	9,90	37,36	-557,52	0,000	-13,860
13,951	1	0,100	0,37	-2,36	29,19	-557,66	0,096	-13,950
14,034	2	0,200	0,74	-11,62	21,03	-557,80	0,194	-14,033
14,076	3	0,300	1,11	-17,87	12,86	-557,94	0,289	-14,073
14,053	4	0,400	1,47	-21,10	4,70	-558,09	0,385	-14,048
13,953	5	0,500	1,84	-21,33	-3,47	-558,23	0,478	-13,945
13,775	6	0,600	2,21	-18,54	-11,64	-558,37	0,570	-13,763
13,530	7	0,700	2,58	-12,75	-19,80	-558,51	0,661	-13,513
13,238	8	0,800	2,95	-3,94	-27,97	-558,65	0,751	-13,217



Maksimalverdi for element 11

maxM= 22,981 kNm, minM= -17,792 kNm  
 maxV= 39,124 kN, minV= -42,534 kN  
 maxN= -286,428 kN, minN= -287,846 kN  
 maxd= 9,08051 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 12**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0,000	0,00	2,45	15,05	-6,62	2,064	-3,273
3,869	1	0,100	0,18	0,05	10,97	-6,70	2,059	-2,952
3,599	2	0,200	0,37	-1,59	6,89	-6,77	2,054	-2,632
3,339	3	0,300	0,55	-2,48	2,81	-6,84	2,049	-2,310
3,088	4	0,400	0,74	-2,63	-1,27	-6,91	2,044	-1,986
2,850	5	0,500	0,92	-2,02	-5,35	-6,98	2,039	-1,659
2,629	6	0,600	1,11	-0,66	-9,43	-7,05	2,034	-1,331
2,431	7	0,700	1,29	1,46	-13,51	-7,12	2,029	-1,002
2,263	8	0,800	1,47	4,32	-17,59	-7,19	2,024	-0,675
2,134	9	0,900	1,66	7,94	-21,67	-7,26	2,019	-0,352
2,049	10	1,000	1,84	12,31	-25,75	-7,33	2,014	-0,036
2,014								

Maksimalverdi for element 12

maxM= 12,308 kNm, minM= -2,627 kNm  
 maxV= 15,054 kN, minV= -25,753 kN  
 maxN= -6,625 kN, minN= -7,334 kN  
 maxd= 3,86917 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 13**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0,000	0,00	-11,33	-6,50	164,31	-2,379	0,000
2,379	1	0,100	0,37	-8,93	-6,50	164,31	-2,351	-0,581
2,421	2	0,200	0,74	-6,53	-6,50	164,31	-2,323	-1,196
2,612	3	0,300	1,11	-4,14	-6,50	164,31	-2,295	-1,835
2,938	4	0,400	1,47	-1,74	-6,50	164,31	-2,267	-2,489
3,367	5	0,500	1,84	0,66	-6,50	164,31	-2,239	-3,150
3,864	6	0,600	2,21	3,05	-6,50	164,31	-2,210	-3,809
4,404	7	0,700	2,58	5,45	-6,50	164,31	-2,182	-4,456
4,961	8	0,800	2,95	7,85	-6,50	164,31	-2,154	-5,082
5,520	9	0,900	3,32	10,25	-6,50	164,31	-2,126	-5,680
6,065	10	1,000	3,68	12,64	-6,50	164,31	-2,098	-6,239
6,582								

Maksimalverdi for element 13

maxM= 12,642 kNm, minM= -11,325 kNm  
 maxV= -6,504 kN, minV= -6,504 kN  
 maxN= 164,307 kN, minN= 164,307 kN

maxd= 6,58238 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 14**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	-0,34	-2,92	405,04	-2,098	-6,239
6,582	1	0,100	0,37	0,74	-2,92	405,04	-2,029	-6,776
7,074	2	0,200	0,74	1,81	-2,92	405,04	-1,960	-7,311
7,569	3	0,300	1,11	2,89	-2,92	405,04	-1,891	-7,839
8,064	4	0,400	1,47	3,97	-2,92	405,04	-1,822	-8,356
8,552	5	0,500	1,84	5,04	-2,92	405,04	-1,753	-8,858
9,030	6	0,600	2,21	6,12	-2,92	405,04	-1,683	-9,341
9,492	7	0,700	2,58	7,19	-2,92	405,04	-1,615	-9,802
9,934	8	0,800	2,95	8,27	-2,92	405,04	-1,545	-10,236
10,352	9	0,900	3,32	9,34	-2,92	405,04	-1,476	-10,639
10,741	10	1,000	3,69	10,42	-2,92	405,04	-1,407	-11,007
11,097								

**Maksimalverdi for element 14**

maxM= 10,420 kNm, minM= -0,337 kNm  
 maxV= -2,918 kN, minV= -2,918 kN  
 maxN= 405,035 kN, minN= 405,035 kN  
 maxd= 11,09681 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 15**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	5,31	0,03	538,75	-1,407	-11,007
11,097	1	0,100	0,37	5,29	0,03	538,75	-1,315	-11,347
11,423	2	0,200	0,74	5,28	0,03	538,75	-1,223	-11,667
11,731	3	0,300	1,11	5,27	0,03	538,75	-1,131	-11,967
12,020	4	0,400	1,47	5,26	0,03	538,75	-1,040	-12,247
12,291	5	0,500	1,84	5,25	0,03	538,75	-0,947	-12,508
12,544	6	0,600	2,21	5,23	0,03	538,75	-0,856	-12,750
12,778	7	0,700	2,58	5,22	0,03	538,75	-0,763	-12,971
12,994	8	0,800	2,95	5,21	0,03	538,75	-0,672	-13,174
13,191	9	0,900	3,32	5,20	0,03	538,75	-0,580	-13,357
13,369	10	1,000	3,69	5,19	0,03	538,75	-0,487	-13,520
13,529								

**Maksimalverdi for element 15**

maxM= 5,306 kNm, minM= 5,185 kNm  
 maxV= 0,033 kN, minV= 0,033 kN  
 maxN= 538,754 kN, minN= 538,754 kN  
 maxd= 13,52903 mm

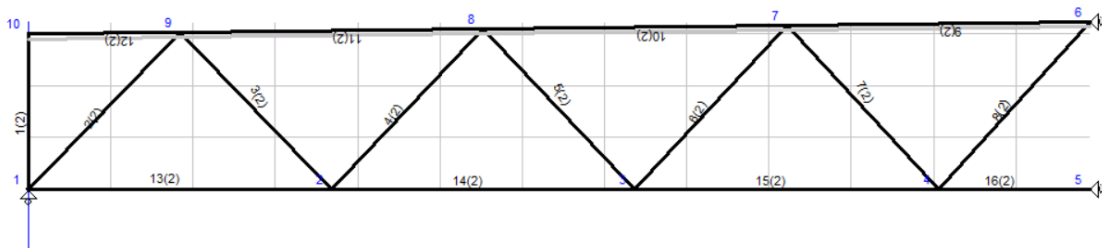
**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 16**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	0,00	0,00	571,65	-0,487	-13,520
13,529	1	0,100	0,18	0,00	0,00	571,65	-0,439	-13,597
13,604	2	0,200	0,37	0,00	0,00	571,65	-0,390	-13,674
13,680	3	0,300	0,55	0,00	0,00	571,65	-0,341	-13,751
13,755	4	0,400	0,74	0,00	0,00	571,65	-0,293	-13,828
13,831	5	0,500	0,92	0,00	0,00	571,65	-0,244	-13,905
13,907	6	0,600	1,11	0,00	0,00	571,65	-0,196	-13,982
13,983	7	0,700	1,29	0,00	0,00	571,65	-0,146	-14,059
14,060	8	0,800	1,47	0,00	0,00	571,65	-0,097	-14,136
14,136	9	0,900	1,66	0,00	0,00	571,65	-0,049	-14,213
14,213	10	1,000	1,84	0,00	0,00	571,65	0,000	-14,290
14,290								

Maksimalverdi for element 16

maxM= 0,000 kNm, minM= 0,000 kNm  
maxV= 0,000 kN, minV= 0,000 kN  
maxN= 571,647 kN, minN= 571,647 kN  
maxd= 14,28979 mm

Vedlegg 7: Beregning av fagverk i tre



Egenvekt fagverk:  $g_{f,k} = 2.0 \text{ kN/m}$

Permanent last fra lettak:  $g_{t,k} = 0.55 \text{ kN/m}^2$

Lengde,  $L = 5.1 \text{ m}$

Lettakssystem inkludert himling og tekniske installasjoner:

$$g_{t,k} \cdot L = 0,55 \cdot 5,1 = 2.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Permanent last: } 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 2.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 4.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Snølast på mark:  $S_k = 3.0 \text{ kN/m}^2$

Formfaktor:  $M = 0.8$

$$\text{Nyttelast: } q_{s,k} = M \times S_k \times L = 0.8 \times 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 5.1 \text{ m} = 12.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastkombinasjon:

*Bruddgrensetilstand:*

$$P_{d1} = 1.2g_k + 1.5q_{s,k} = 1.2 \times 4.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.5 \times 12.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 24.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

*Bruksgrensetilstand:*

$$Pd_2 = gk + qs, k \times YQ1 = 4.81 \frac{kN}{m} + 12.29 \frac{kN}{m} \times 0.7 = 13.37 \frac{kN}{m}$$

$Pd_1 > Pd_2 \rightarrow$  *Dermed bruker brudd videre*

### Bruddgrensekontroll

Klimaklasse 2:  $k_{mod} = 0.9$

Fasthetsklasse, kombinert tverrsnitt: GL30c  $\rightarrow$  30 Bøyefasthet

*Dimensjonerende fastheter:*

$$f_{m,d} = 30 \times \frac{1.03 \times 0.9}{1.15} = 24 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Formel 38.})$$

$$f_{t,0,d} = 19.5 \times \frac{1.02 \times 0.9}{1.15} = 16 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,0,d} = 24.5 \times \frac{0.9}{1.15} = 19 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Formel 4.})$$

$$Kh = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1.1\right\} \quad (\text{Formel 39.})$$

$$Kh = \left(\frac{600}{450}\right)^{0.1} = 1.03 \rightarrow \text{bøyning}$$

$$Kh = \left(\frac{600}{480}\right)^{0.1} = 1.02 \rightarrow \text{strek}$$

### Knekking

Knekk lengden =  $L_{ky} = L = 5160 \text{ mm}$

$$\text{Slankheten} = \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{5160 \text{ mm}}{0.29h} = \frac{5160 \text{ mm}}{0.29 \times 450} = 39.5 \quad (\text{Formel 35.})$$

*Knekking om y-aksen*

Fra tabell 6:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0.05}}} = \frac{39.5}{\pi} \times \sqrt{\frac{24.5}{10800}} = 0,60 \quad (\text{Formel 45.})$$

For limtre  $\beta_c = 0.1$

$$K_y = 0.5[1 + \beta(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2] \quad (\text{Formel 36.})$$

$$K_y = 0.5[1 + 0.1(0.6 - 0.3) + (0.6)^2] = 0.7$$

$$K_{c,y} = \left( \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \right) = \left( \frac{1}{0.7 + \sqrt{0.7^2 - 0.6^2}} \right) = 0.94 \quad (\text{Formel 37.})$$

Dimensjonerende trykkfasthet:

$$f_{c,90,d} = 2.5 \times \frac{0.9}{1.15} = 2.0 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Formel 42.})$$

Dimensjonerende materialtrykkfasthet:

$$f_{v,d} = 3.5 \times \frac{0.9}{1.15} = 2,7 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Formel 40.})$$

Kontroll av fagverkets overgurt

Dimensjonerende spenning

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W} = \frac{23.28 \times 10^6}{\left( \frac{b \times h^2}{6} \right)} \quad (\text{Formel 41.})$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \times 23.28 \times 10^6}{480 \times 450^2} = 1.43 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0$$

Fra EUROCODEExpress (element 9),  $N_{max} = 557518 \text{ N}$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{557518 \text{ N}}{480 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}} = 2.58 \frac{N}{mm^2}$$



Kontroll

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{K_{c,yfc,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + km \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1 \quad (\text{Formel 43.})$$

$$\frac{2.58}{0.94 \times 19} + \frac{1.43}{24} + 0 \leq 1$$

$$0.14 + 0.059 = 0.2 \leq 1 \quad \rightarrow OK!$$

*Skjærkontroll*

$$\tau = \frac{3 \times V_d}{2 \times K_{cr} \times b \times h} = \frac{3 \times 39120}{2 \times 0.8 \times 480 \times 450} = 0.33 \quad (\text{Formel 44.})$$

$$0.33 < 1.0 \quad \rightarrow OK!$$

*Kontroll av fagverkets undergurt:*

Strekkontroll av element 16 fra EUROCOExpress

$$N_{\max} = 571647 \text{ N}$$

Dimensjonerende spenning:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{571647}{0.7 \times 480 \times 450} = 3.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kontroll:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3.78}{16} = 0.23 < 1.0 \quad \rightarrow OK!$$

### Kontroll av fagverkets diagonalstenger

$$\text{Knekkklengden} = L_{ky} = L = 3715 \text{ mm}$$

$$\text{Slankheten} = \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{3715 \text{ mm}}{0.29h} = \frac{3715 \text{ mm}}{0.29 \times 450} = 28,46 \quad (\text{Formel 35.})$$

### Knekking om y-aksen

Fra tabell 6:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0.05}}} = \frac{28,46}{\pi} \times \sqrt{\frac{24.5}{10800}} = 0,43 \quad (\text{Formel 45.})$$

For limtre  $\beta_c = 0.1$

$$k_y = 0.5[1 + \beta(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2] \quad (\text{Formel 36.})$$

$$k_y = 0.5[1 + 0.1(0.43 - 0.3) + (0.43)^2] = 0.6$$

$$k_{c,y} = \left( \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \right) = \left( \frac{1}{0.6 + \sqrt{0.6^2 - 0.43^2}} \right) = 0.98 \quad (\text{Formel 37.})$$

### Dimensjonerende strekkspenning

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{0.7 \cdot A} = \frac{298,4 \cdot 10^3}{0.7 \cdot 480 \cdot 450} = 1,97 \text{ N/mm}^2$$

Kontroll

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,97}{16} = 0,12 < 1,0 \rightarrow OK$$

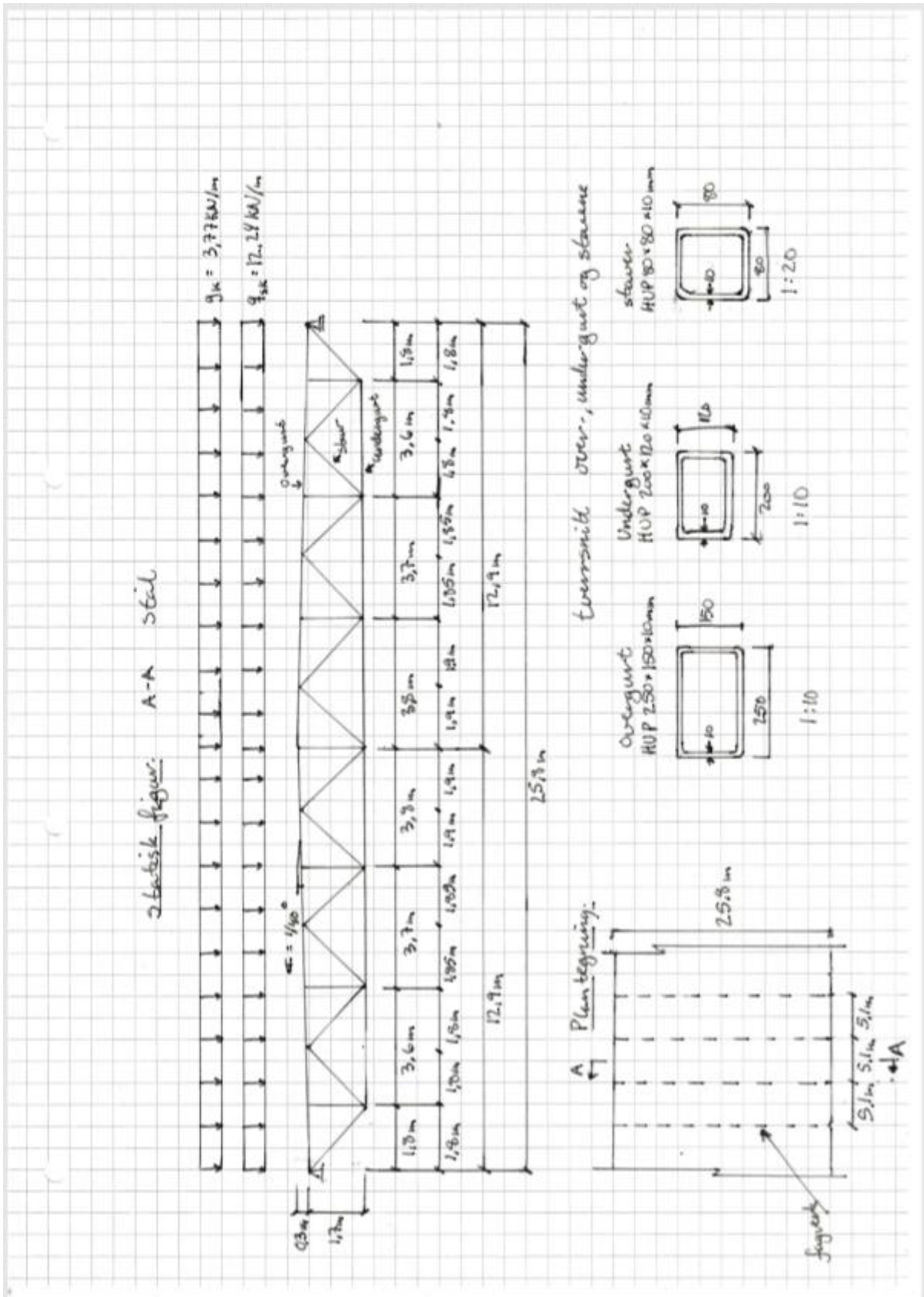
### Dimensjonerende trykkspenning

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{298,4 \cdot 10^3}{480 \cdot 450} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

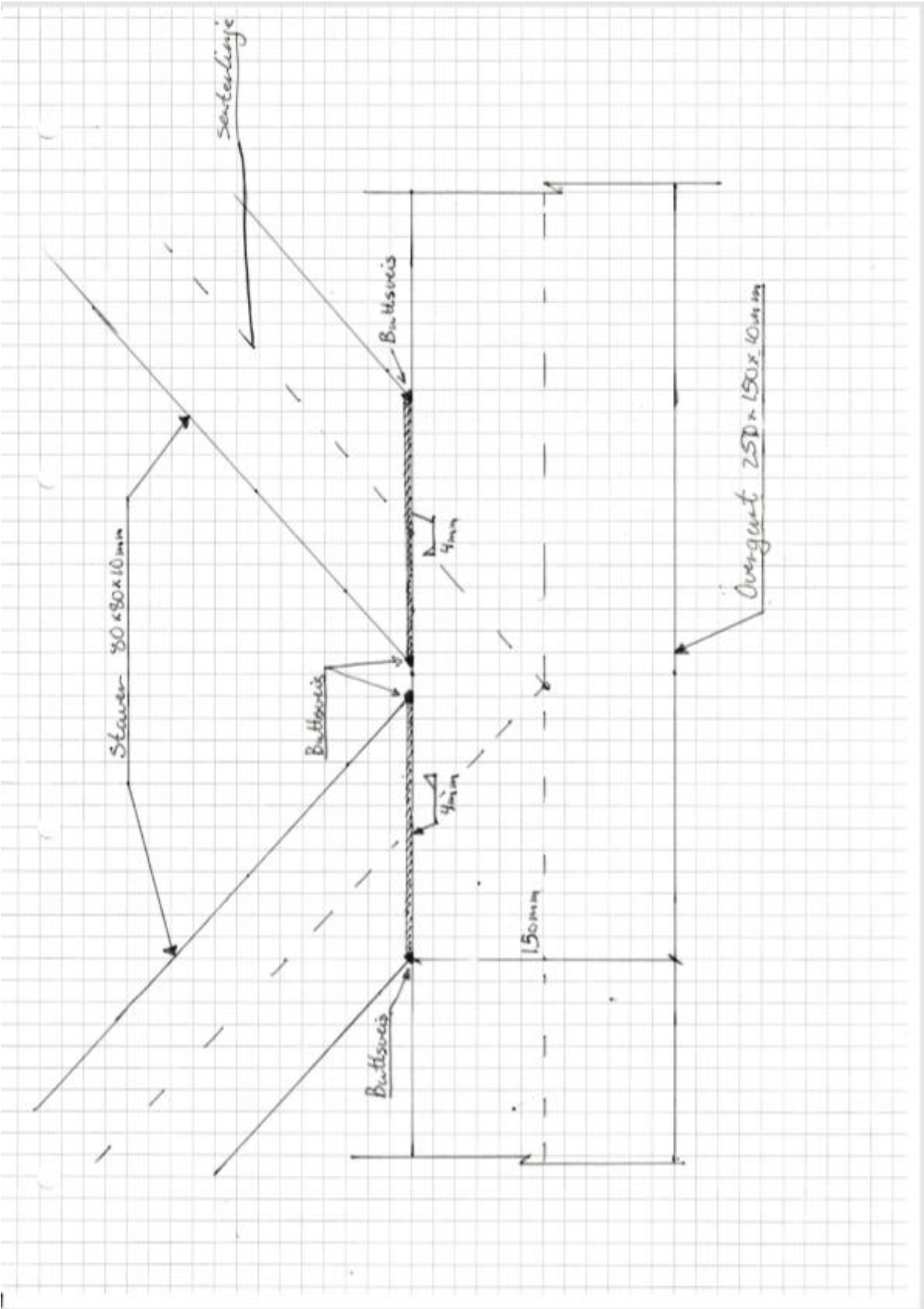
Kontroll

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1,38}{0,98 \cdot 19} = 0,07 < 1,0 \rightarrow OK$$

Vedlegg 8: Statisk figur, Fagverk i stål



Vedlegg 9: Kuntepunkt, Fagverk i stål



Vedlegg 10: Fagverk i Stål, Bruksgrensetilstand

**Knutepunktsforskyvninger**

Kn.P.	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	2.35815	0.00000	0.00837
2	-7.42019	-14.27276	0.00686
3	2.65419	-27.50516	0.00672
4	-5.79565	-38.40487	0.00568
5	2.09382	-47.68064	0.00434
6	-3.14795	-54.23123	0.00268
7	0.83134	-58.61578	0.00139
8	0.00000	-59.80979	0.00073
9	0.00000	-59.95623	0.00017
10	2.52727	-14.48051	0.00766
11	2.40352	-38.63261	0.00561
12	1.49811	-54.48967	0.00286

**Opplagerkrefter**

Kn.P.	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]
1	0.000	209.240	0.000
8	674.763	0.000	0.000
9	-674.763	0.000	0.000

**Element endekrefter (globalkoordinater)**

Element	FxA [kN]	FyA [kN]	MA [kNm]	FxB [kN]	FyB [kN]	MB [kNm]
11	-199.359	187.820	0.565	199.359	-187.820	0.270
12	156.415	156.214	0.194	-156.415	-156.214	0.168
13	-121.524	121.000	0.570	121.524	-121.000	0.372
14	86.721	91.303	0.336	-86.721	-91.303	0.088
15	-61.488	61.259	0.366	61.488	-61.259	0.068
16	27.532	29.041	0.056	-27.532	-29.041	-0.170
17	-18.588	19.267	0.342	18.588	-19.267	0.226
18	0.324	18.452	0.391	-0.324	-18.452	0.257
22	674.439	12.357	6.047	-674.439	18.452	-0.257
23	-357.263	1.689	-1.658	357.263	-1.689	-4.423
24	-566.536	0.365	2.754	566.536	-0.365	-4.104
25	-655.851	-0.816	3.716	655.851	0.816	-0.617
26	199.359	21.420	-0.565	-199.359	7.778	-1.746
27	200.848	22.139	0.332	-200.848	7.059	-3.862
28	-1.490	-29.917	1.413	1.490	29.917	1.194
29	478.787	28.154	3.124	-478.787	1.044	-3.583
30	479.815	29.977	2.640	-479.815	-0.779	-6.330
31	-1.028	-31.021	0.942	1.028	31.021	0.960
32	628.024	30.823	5.876	-628.024	-0.004	-3.760
33	628.319	33.403	3.449	-628.319	-2.583	-6.220
34	-0.295	-33.399	0.311	0.295	33.399	0.264

**Element endekrefter (lokalkoordinater)**

Element	fxA [kN]	fyA [kN]	mA [kNm]	fxB [kN]	fyB [kN]	mB [kNm]
11	-273.898	-0.337	0.565	273.898	0.337	0.270
12	221.062	-0.142	0.194	-221.062	0.142	0.168
13	-171.491	-0.370	0.570	171.491	0.370	0.372
14	125.923	-0.162	0.336	-125.923	0.162	0.088
15	-86.795	-0.162	0.366	86.795	0.162	0.068
16	40.017	0.041	0.056	-40.017	-0.041	-0.170
17	-26.771	-0.206	0.342	26.771	0.206	0.226
18	18.452	-0.324	0.391	-18.452	0.324	0.257
22	674.439	12.357	6.047	-674.439	18.452	-0.257
23	-357.263	1.689	-1.658	357.263	-1.689	-4.423
24	-566.536	0.365	2.754	566.536	-0.365	-4.104
25	-655.851	-0.816	3.716	655.851	0.816	-0.617
26	199.876	15.876	-0.565	-199.066	13.311	-1.746
27	201.386	16.554	0.332	-200.575	12.633	-3.862
28	29.917	-1.490	1.413	-29.917	1.490	1.194
29	479.384	14.848	3.124	-478.573	14.339	-3.583
30	480.463	16.643	2.640	-479.652	12.544	-6.330
31	31.021	-1.028	0.942	-31.021	1.028	0.960
32	628.618	14.291	5.876	-627.807	16.518	-3.760

33	628.980	16.862	3.449	-628.170	13.947	-6.220
34	33.399	-0.295	0.311	-33.399	0.295	0.264

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 11**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	0.56	0.34	273.90	2.358	0.000
2.358	1	0.100	0.25	0.48	0.34	273.90	1.178	-1.642
2.021	2	0.200	0.50	0.40	0.34	273.90	0.081	-3.195
3.196	3	0.300	0.74	0.31	0.34	273.90	-0.947	-4.675
4.770	4	0.400	0.99	0.23	0.34	273.90	-1.919	-6.097
6.392	5	0.500	1.24	0.15	0.34	273.90	-2.852	-7.476
8.002	6	0.600	1.49	0.06	0.34	273.90	-3.759	-8.828
9.595	7	0.700	1.73	-0.02	0.34	273.90	-4.654	-10.169
11.183	8	0.800	1.98	-0.10	0.34	273.90	-5.554	-11.512
12.782	9	0.900	2.23	-0.19	0.34	273.90	-6.471	-12.875
14.410	10	1.000	2.48	-0.27	0.34	273.90	-7.420	-14.273
16.086								

Maksimalverdi for element 11

maxM=	0.565 kNm,	minM=	-0.270 kNm
maxV=	0.337 kN,	minV=	0.337 kN
maxN=	273.898 kN,	minN=	273.898 kN
maxd=	16.08640 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 12**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	0.19	0.14	-221.06	-7.420	-14.273
16.086	1	0.100	0.25	0.16	0.14	-221.06	-6.360	-15.648
16.892	2	0.200	0.51	0.12	0.14	-221.06	-5.331	-16.994
17.810	3	0.300	0.76	0.09	0.14	-221.06	-4.324	-18.316
18.820	4	0.400	1.02	0.05	0.14	-221.06	-3.333	-19.623
19.904	5	0.500	1.27	0.01	0.14	-221.06	-2.352	-20.920
21.052	6	0.600	1.53	-0.02	0.14	-221.06	-1.374	-22.214
22.257	7	0.700	1.78	-0.06	0.14	-221.06	-0.390	-23.513
23.516	8	0.800	2.04	-0.10	0.14	-221.06	0.604	-24.823
24.831	9	0.900	2.29	-0.13	0.14	-221.06	1.617	-26.152
26.202	10	1.000	2.55	-0.17	0.14	-221.06	2.654	-27.505
27.633								

Maksimalverdi for element 12

maxM=	0.194 kNm,	minM=	-0.168 kNm
maxV=	0.142 kN,	minV=	0.142 kN
maxN=	-221.062 kN,	minN=	-221.062 kN
maxd=	27.63291 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 13**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
27.633	0	0.000	0.00	0.57	0.37	171.49	2.654	-27.505
28.832	1	0.100	0.25	0.48	0.37	171.49	1.617	-28.787
29.986	2	0.200	0.51	0.38	0.37	171.49	0.671	-29.978
31.098	3	0.300	0.76	0.29	0.37	171.49	-0.203	-31.097
32.178	4	0.400	1.02	0.19	0.37	171.49	-1.023	-32.162
33.239	5	0.500	1.27	0.10	0.37	171.49	-1.805	-33.190
34.295	6	0.600	1.53	0.00	0.37	171.49	-2.569	-34.199
35.364	7	0.700	1.78	-0.09	0.37	171.49	-3.332	-35.207
36.465	8	0.800	2.04	-0.18	0.37	171.49	-4.113	-36.232
37.616	9	0.900	2.29	-0.28	0.37	171.49	-4.928	-37.292
38.840	10	1.000	2.55	-0.37	0.37	171.49	-5.795	-38.405

**Maksimalverdi for element 13**

maxM= 0.570 kNm, minM= -0.373 kNm  
 maxV= 0.370 kN, minV= 0.370 kN  
 maxN= 171.491 kN, minN= 171.491 kN  
 maxd= 38.83974 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 14**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
38.840	0	0.000	0.00	0.34	0.16	-125.92	-5.795	-38.405
39.787	1	0.100	0.26	0.29	0.16	-125.92	-4.839	-39.491
40.711	2	0.200	0.52	0.25	0.16	-125.92	-3.943	-40.520
41.615	3	0.300	0.79	0.21	0.16	-125.92	-3.099	-41.500
42.501	4	0.400	1.05	0.17	0.16	-125.92	-2.298	-42.439
43.373	5	0.500	1.31	0.12	0.16	-125.92	-1.531	-43.346
44.235	6	0.600	1.57	0.08	0.16	-125.92	-0.790	-44.228
45.094	7	0.700	1.83	0.04	0.16	-125.92	-0.066	-45.094
45.958	8	0.800	2.09	0.00	0.16	-125.92	0.651	-45.953
46.832	9	0.900	2.36	-0.05	0.16	-125.92	1.367	-46.812
47.727	10	1.000	2.62	-0.09	0.16	-125.92	2.094	-47.681

**Maksimalverdi for element 14**

maxM= 0.336 kNm, minM= -0.088 kNm  
 maxV= 0.162 kN, minV= 0.162 kN  
 maxN= -125.923 kN, minN= -125.923 kN  
 maxd= 47.72660 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 15**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0.000	0.00	0.37	0.16	86.79	2.094	-47.681

47.727								
1	0.100	0.27	0.32	0.16	86.79	1.373	-48.533	
48.552								
2	0.200	0.54	0.28	0.16	86.79	0.720	-49.317	
49.322								
3	0.300	0.81	0.24	0.16	86.79	0.126	-50.041	
50.041								
4	0.400	1.07	0.19	0.16	86.79	-0.418	-50.716	
50.718								
5	0.500	1.34	0.15	0.16	86.79	-0.922	-51.350	
51.359								
6	0.600	1.61	0.11	0.16	86.79	-1.393	-51.953	
51.971								
7	0.700	1.88	0.06	0.16	86.79	-1.842	-52.533	
52.565								
8	0.800	2.15	0.02	0.16	86.79	-2.278	-53.100	
53.149								
9	0.900	2.42	-0.02	0.16	86.79	-2.711	-53.663	
53.732								
10	1.000	2.69	-0.07	0.16	86.79	-3.148	-54.231	
54.323								

Maksimalverdi for element 15

maxM=	0.366 kNm,	minM=	-0.068 kNm
maxV=	0.162 kN,	minV=	0.162 kN
maxN=	86.795 kN,	minN=	86.795 kN
maxd=	54.32254 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 16**

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
0	0.000	0.00	0.06	-0.04	-40.02	-3.148	-54.231	
54.322								
1	0.100	0.28	0.07	-0.04	-40.02	-2.650	-54.765	
54.829								
2	0.200	0.55	0.08	-0.04	-40.02	-2.167	-55.284	
55.326								
3	0.300	0.83	0.09	-0.04	-40.02	-1.702	-55.786	
55.812								
4	0.400	1.10	0.10	-0.04	-40.02	-1.258	-56.269	
56.283								
5	0.500	1.38	0.11	-0.04	-40.02	-0.836	-56.729	
56.735								
6	0.600	1.66	0.12	-0.04	-40.02	-0.441	-57.165	
57.167								
7	0.700	1.93	0.14	-0.04	-40.02	-0.074	-57.575	
57.575								
8	0.800	2.21	0.15	-0.04	-40.02	0.262	-57.954	
57.955								
9	0.900	2.48	0.16	-0.04	-40.02	0.565	-58.302	
58.305								
10	1.000	2.76	0.17	-0.04	-40.02	0.832	-58.616	
58.622								

Maksimalverdi for element 16

maxM=	0.170 kNm,	minM=	0.056 kNm
maxV=	-0.041 kN,	minV=	-0.041 kN
maxN=	-40.017 kN,	minN=	-40.017 kN
maxd=	58.62169 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 17**

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
0	0.000	0.00	0.34	0.21	26.77	0.832	-58.616	
58.622								
1	0.100	0.28	0.29	0.21	26.77	0.611	-58.866	
58.869								
2	0.200	0.55	0.23	0.21	26.77	0.455	-59.054	



59.056	3	0.300	0.83	0.17	0.21	26.77	0.352	-59.192
59.193	4	0.400	1.10	0.11	0.21	26.77	0.287	-59.294
59.295	5	0.500	1.38	0.06	0.21	26.77	0.250	-59.370
59.371	6	0.600	1.66	0.00	0.21	26.77	0.226	-59.434
59.434	7	0.700	1.93	-0.06	0.21	26.77	0.200	-59.498
59.498	8	0.800	2.21	-0.11	0.21	26.77	0.164	-59.573
59.573	9	0.900	2.48	-0.17	0.21	26.77	0.102	-59.673
59.673	10	1.000	2.76	-0.23	0.21	26.77	0.000	-59.810
59.810								

Maksimalverdi for element 17

maxM=	0.342 kNm,	minM=	-0.226 kNm
maxV=	0.206 kN,	minV=	0.206 kN
maxN=	26.771 kN,	minN=	26.771 kN
maxd=	59.80974 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 18

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	0.39	0.32	-18.45	0.000	-59.810
59.810	1	0.100	0.20	0.33	0.32	-18.45	0.114	-59.824
59.825	2	0.200	0.40	0.26	0.32	-18.45	0.175	-59.839
59.839	3	0.300	0.60	0.20	0.32	-18.45	0.192	-59.854
59.854	4	0.400	0.80	0.13	0.32	-18.45	0.176	-59.868
59.869	5	0.500	1.00	0.07	0.32	-18.45	0.139	-59.883
59.883	6	0.600	1.20	0.00	0.32	-18.45	0.091	-59.898
59.898	7	0.700	1.40	-0.06	0.32	-18.45	0.042	-59.912
59.912	8	0.800	1.60	-0.13	0.32	-18.45	0.003	-59.927
59.927	9	0.900	1.80	-0.19	0.32	-18.45	-0.014	-59.942
59.942	10	1.000	2.00	-0.26	0.32	-18.45	0.000	-59.956
59.956								

Maksimalverdi for element 18

maxM=	0.391 kNm,	minM=	-0.257 kNm
maxV=	0.324 kN,	minV=	0.324 kN
maxN=	-18.452 kN,	minN=	-18.452 kN
maxd=	59.95624 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 22

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	6.05	-12.36	-674.44	0.832	-58.616
58.622	1	0.100	0.19	8.10	-9.28	-674.44	0.748	-58.870
58.875	2	0.200	0.38	9.57	-6.19	-674.44	0.665	-59.101
59.104	3	0.300	0.57	10.46	-3.11	-674.44	0.582	-59.304
59.307	4	0.400	0.76	10.76	-0.03	-674.44	0.499	-59.477

59.479	5	0.500	0.95	10.47	3.05	-674.44	0.416	-59.619
59.621	6	0.600	1.14	9.60	6.13	-674.44	0.332	-59.732
59.733	7	0.700	1.33	8.14	9.21	-674.44	0.249	-59.817
59.817	8	0.800	1.52	6.10	12.29	-674.44	0.167	-59.878
59.878	9	0.900	1.71	3.47	15.37	-674.44	0.083	-59.922
59.922	10	1.000	1.90	0.26	18.45	-674.44	0.000	-59.956
59.956								

Maksimalverdi for element 22

maxM=	10.756 kNm,	minM=	0.257 kNm
maxV=	18.452 kN,	minV=	-12.357 kN
maxN=	-674.439 kN,	minN=	-674.439 kN
maxd=	59.95624 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 23**

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x[m]</u>	<u>M[kNm]</u>	<u>V[kN]</u>	<u>N[kN]</u>	<u>dx[mm]</u>	<u>dy[mm]</u>
	0	0.000	0.00	-1.66	-1.69	357.26	-7.420	-14.273
16.086	1	0.100	0.36	-1.05	-1.69	357.26	-7.258	-16.765
18.269	2	0.200	0.72	-0.44	-1.69	357.26	-7.095	-19.289
20.553	3	0.300	1.08	0.17	-1.69	357.26	-6.933	-21.827
22.902	4	0.400	1.44	0.77	-1.69	357.26	-6.770	-24.360
25.284	5	0.500	1.80	1.38	-1.69	357.26	-6.608	-26.869
27.670	6	0.600	2.16	1.99	-1.69	357.26	-6.445	-29.336
30.036	7	0.700	2.52	2.60	-1.69	357.26	-6.283	-31.742
32.358	8	0.800	2.88	3.21	-1.69	357.26	-6.120	-34.067
34.613	9	0.900	3.24	3.81	-1.69	357.26	-5.958	-36.295
36.780	10	1.000	3.60	4.42	-1.69	357.26	-5.795	-38.405
38.840								

Maksimalverdi for element 23

maxM=	4.423 kNm,	minM=	-1.658 kNm
maxV=	-1.689 kN,	minV=	-1.689 kN
maxN=	357.263 kN,	minN=	357.263 kN
maxd=	38.83965 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 24**

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x[m]</u>	<u>M[kNm]</u>	<u>V[kN]</u>	<u>N[kN]</u>	<u>dx[mm]</u>	<u>dy[mm]</u>
	0	0.000	0.00	2.75	-0.37	566.54	-5.795	-38.405
38.840	1	0.100	0.37	2.89	-0.37	566.54	-5.531	-40.462
40.838	2	0.200	0.74	3.02	-0.37	566.54	-5.266	-42.425
42.750	3	0.300	1.11	3.16	-0.37	566.54	-5.002	-44.290
44.571	4	0.400	1.48	3.29	-0.37	566.54	-4.737	-46.052
46.295	5	0.500	1.85	3.43	-0.37	566.54	-4.472	-47.708
47.917	6	0.600	2.22	3.56	-0.37	566.54	-4.207	-49.253

49.432	7	0.700	2.59	3.70	-0.37	566.54	-3.942	-50.682
50.835	8	0.800	2.96	3.83	-0.37	566.54	-3.677	-51.991
52.121	9	0.900	3.33	3.97	-0.37	566.54	-3.413	-53.175
53.285	10	1.000	3.70	4.10	-0.37	566.54	-3.148	-54.231
54.322								

Maksimalverdi for element 24

maxM=	4.104 kNm,	minM=	2.754 kNm
maxV=	-0.365 kN,	minV=	-0.365 kN
maxN=	566.536 kN,	minN=	566.536 kN
maxd=	54.32246 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 25

<u>d[mm]</u>	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
	0	0.000	0.00	3.72	0.82	655.85	-3.148	-54.231
54.322	1	0.100	0.38	3.41	0.82	655.85	-2.833	-55.186
55.259	2	0.200	0.76	3.10	0.82	655.85	-2.518	-56.025
56.081	3	0.300	1.14	2.79	0.82	655.85	-2.203	-56.757
56.800	4	0.400	1.52	2.48	0.82	655.85	-1.888	-57.395
57.426	5	0.500	1.90	2.17	0.82	655.85	-1.574	-57.947
57.968	6	0.600	2.28	1.86	0.82	655.85	-1.259	-58.425
58.439	7	0.700	2.66	1.55	0.82	655.85	-0.945	-58.840
58.848	8	0.800	3.04	1.24	0.82	655.85	-0.630	-59.202
59.206	9	0.900	3.42	0.93	0.82	655.85	-0.315	-59.522
59.523	10	1.000	3.80	0.62	0.82	655.85	0.000	-59.810
59.810								

Maksimalverdi for element 25

maxM=	3.716 kNm,	minM=	0.617 kNm
maxV=	0.816 kN,	minV=	0.816 kN
maxN=	655.851 kN,	minN=	655.851 kN
maxd=	59.80980 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 26

<u>d[mm]</u>	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
	0	0.000	0.00	-0.56	-15.88	-199.88	2.358	0.000
2.358	1	0.100	0.18	2.03	-12.96	-199.80	2.377	-1.507
2.814	2	0.200	0.36	4.10	-10.04	-199.71	2.395	-3.009
3.846	3	0.300	0.54	5.65	-7.12	-199.63	2.413	-4.500
5.106	4	0.400	0.72	6.67	-4.20	-199.55	2.431	-5.977
6.452	5	0.500	0.90	7.16	-1.28	-199.47	2.448	-7.437
7.829	6	0.600	1.08	7.13	1.64	-199.39	2.465	-8.878
9.214	7	0.700	1.26	6.57	4.55	-199.31	2.481	-10.301
10.595	8	0.800	1.44	5.49	7.47	-199.23	2.497	-11.707

11.970	9	0.900	1.62	3.88	10.39	-199.15	2.512	-13.099
13.337	10	1.000	1.80	1.75	13.31	-199.07	2.527	-14.481

14.699

Maksimalverdi for element 26

maxM= 7.160 kNm, minM= -0.565 kNm  
 maxV= 13.311 kN, minV= -15.876 kN  
 maxN= -199.066 kN, minN= -199.876 kN  
 maxd= 14.69939 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 27**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	0.33	-16.55	-201.39	2.527	-14.481
14.699	1	0.100	0.18	3.05	-13.63	-201.30	2.542	-15.858
16.060	2	0.200	0.36	5.24	-10.72	-201.22	2.557	-17.227
17.416	3	0.300	0.54	6.91	-7.80	-201.14	2.571	-18.583
18.760	4	0.400	0.72	8.05	-4.88	-201.06	2.584	-19.921
20.088	5	0.500	0.90	8.67	-1.96	-200.98	2.597	-21.238
21.396	6	0.600	1.08	8.76	0.96	-200.90	2.610	-22.533
22.684	7	0.700	1.26	8.32	3.88	-200.82	2.622	-23.805
23.949	8	0.800	1.44	7.36	6.80	-200.74	2.633	-25.056
25.194	9	0.900	1.62	5.87	9.71	-200.66	2.644	-26.288
26.421	10	1.000	1.80	3.86	12.63	-200.57	2.654	-27.505
27.633								

Maksimalverdi for element 27

maxM= 8.757 kNm, minM= 0.332 kNm  
 maxV= 12.633 kN, minV= -16.554 kN  
 maxN= -200.575 kN, minN= -201.386 kN  
 maxd= 27.63291 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 28**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	1.41	1.49	-29.92	2.527	-14.481
14.699	1	0.100	0.17	1.15	1.49	-29.92	1.272	-14.460
14.516	2	0.200	0.35	0.89	1.49	-29.92	0.162	-14.439
14.440	3	0.300	0.52	0.63	1.49	-29.92	-0.834	-14.418
14.442	4	0.400	0.70	0.37	1.49	-29.92	-1.751	-14.397
14.503	5	0.500	0.88	0.11	1.49	-29.92	-2.620	-14.377
14.613	6	0.600	1.05	-0.15	1.49	-29.92	-3.476	-14.356
14.771	7	0.700	1.23	-0.41	1.49	-29.92	-4.351	-14.335
14.981	8	0.800	1.40	-0.67	1.49	-29.92	-5.278	-14.314
15.256	9	0.900	1.58	-0.93	1.49	-29.92	-6.290	-14.294
15.616	10	1.000	1.75	-1.19	1.49	-29.92	-7.420	-14.273

16.086

Maksimalverdi for element 28

maxM= 1.413 kNm, minM= -1.194 kNm  
 maxV= 1.490 kN, minV= 1.490 kN  
 maxN= -29.917 kN, minN= -29.917 kN  
 maxd= 16.08633 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 29**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0.000	0.00	3.12	-14.85	-479.38	2.654	-27.505
27.633								
	1	0.100	0.18	5.53	-11.93	-479.30	2.632	-28.712
28.832								
	2	0.200	0.36	7.42	-9.01	-479.22	2.609	-29.904
30.018								
	3	0.300	0.54	8.78	-6.09	-479.14	2.585	-31.078
31.185								
	4	0.400	0.72	9.61	-3.17	-479.06	2.561	-32.229
32.330								
	5	0.500	0.90	9.92	-0.25	-478.98	2.537	-33.355
33.451								
	6	0.600	1.08	9.71	2.66	-478.90	2.511	-34.455
34.546								
	7	0.700	1.26	8.96	5.58	-478.82	2.485	-35.530
35.617								
	8	0.800	1.44	7.70	8.50	-478.74	2.458	-36.583
36.665								
	9	0.900	1.62	5.90	11.42	-478.65	2.431	-37.615
37.694								
	10	1.000	1.80	3.58	14.34	-478.57	2.404	-38.633
38.707								

Maksimalverdi for element 29

maxM= 9.923 kNm, minM= 3.124 kNm  
 maxV= 14.339 kN, minV= -14.848 kN  
 maxN= -478.573 kN, minN= -479.384 kN  
 maxd= 38.70732 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 30**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
	0	0.000	0.00	2.64	-16.64	-480.46	2.404	-38.633
38.707								
	1	0.100	0.18	5.37	-13.72	-480.38	2.375	-39.640
39.711								
	2	0.200	0.36	7.58	-10.81	-480.30	2.347	-40.633
40.700								
	3	0.300	0.54	9.27	-7.89	-480.22	2.318	-41.606
41.671								
	4	0.400	0.72	10.42	-4.97	-480.14	2.288	-42.556
42.618								
	5	0.500	0.90	11.05	-2.05	-480.06	2.258	-43.479
43.538								
	6	0.600	1.08	11.16	0.87	-479.98	2.226	-44.373
44.429								
	7	0.700	1.26	10.74	3.79	-479.90	2.194	-45.239
45.292								
	8	0.800	1.44	9.80	6.71	-479.81	2.161	-46.077
46.128								
	9	0.900	1.62	8.33	9.63	-479.73	2.128	-46.889
46.938								
	10	1.000	1.80	6.33	12.54	-479.65	2.094	-47.681
47.727								

Maksimalverdi for element 30

maxM= 11.161 kNm, minM= 2.640 kNm  
 maxV= 12.544 kN, minV= -16.643 kN

maxN= -479.652 kN, minN= -480.463 kN  
maxd= 47.72658 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 31**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	0.94	1.03	-31.02	2.404	-38.633
38.707	1	0.100	0.19	0.75	1.03	-31.02	1.428	-38.610
38.636	2	0.200	0.37	0.56	1.03	-31.02	0.558	-38.587
38.591	3	0.300	0.56	0.37	1.03	-31.02	-0.231	-38.564
38.565	4	0.400	0.74	0.18	1.03	-31.02	-0.968	-38.542
38.554	5	0.500	0.93	-0.01	1.03	-31.02	-1.680	-38.519
38.555	6	0.600	1.11	-0.20	1.03	-31.02	-2.393	-38.496
38.570	7	0.700	1.30	-0.39	1.03	-31.02	-3.133	-38.473
38.601	8	0.800	1.48	-0.58	1.03	-31.02	-3.930	-38.450
38.651	9	0.900	1.66	-0.77	1.03	-31.02	-4.808	-38.428
38.727	10	1.000	1.85	-0.96	1.03	-31.02	-5.795	-38.405
38.840								

Maksimalverdi for element 31

maxM= 0.942 kNm, minM= -0.960 kNm  
maxV= 1.028 kN, minV= 1.028 kN  
maxN= -31.021 kN, minN= -31.021 kN  
maxd= 38.83967 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 32**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0.000	0.00	5.88	-14.29	-628.62	2.094	-47.681
47.727	1	0.100	0.19	8.30	-11.21	-628.54	2.038	-48.497
48.540	2	0.200	0.38	10.14	-8.13	-628.46	1.981	-49.289
49.329	3	0.300	0.57	11.39	-5.05	-628.37	1.924	-50.052
50.089	4	0.400	0.76	12.06	-1.97	-628.29	1.865	-50.783
50.817	5	0.500	0.95	12.14	1.11	-628.21	1.807	-51.479
51.511	6	0.600	1.14	11.63	4.19	-628.13	1.746	-52.140
52.169	7	0.700	1.33	10.54	7.27	-628.05	1.686	-52.768
52.794	8	0.800	1.52	8.87	10.36	-627.97	1.623	-53.365
53.390	9	0.900	1.71	6.61	13.44	-627.89	1.561	-53.937
53.959	10	1.000	1.90	3.76	16.52	-627.81	1.498	-54.490
54.510								

Maksimalverdi for element 32

maxM= 12.137 kNm, minM= 3.760 kNm  
maxV= 16.518 kN, minV= -14.291 kN  
maxN= -627.807 kN, minN= -628.618 kN  
maxd= 54.51027 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 33**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
54.510	0	0.000	0.00	3.45	-16.86	-628.98	1.498	-54.490
55.048	1	0.100	0.19	6.36	-13.78	-628.90	1.435	-55.029
55.568	2	0.200	0.38	8.69	-10.70	-628.82	1.371	-55.551
56.062	3	0.300	0.57	10.43	-7.62	-628.74	1.306	-56.047
56.527	4	0.400	0.76	11.58	-4.54	-628.66	1.241	-56.514
56.959	5	0.500	0.95	12.15	-1.46	-628.58	1.175	-56.947
57.356	6	0.600	1.14	12.14	1.62	-628.49	1.108	-57.345
57.718	7	0.700	1.33	11.54	4.70	-628.41	1.040	-57.709
58.047	8	0.800	1.52	10.35	7.78	-628.33	0.972	-58.039
58.347	9	0.900	1.71	8.58	10.87	-628.25	0.902	-58.340
58.622	10	1.000	1.90	6.22	13.95	-628.17	0.832	-58.616

Maksimalverdi for element 33

maxM= 12.154 kNm, minM= 3.449 kNm  
 maxV= 13.947 kN, minV= -16.862 kN  
 maxN= -628.170 kN, minN= -628.980 kN  
 maxd= 58.62167 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 34**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
54.510	0	0.000	0.00	0.31	0.29	-33.40	1.498	-54.490
54.472	1	0.100	0.20	0.25	0.29	-33.40	0.962	-54.464
54.440	2	0.200	0.39	0.20	0.29	-33.40	0.467	-54.438
54.412	3	0.300	0.59	0.14	0.29	-33.40	0.003	-54.412
54.388	4	0.400	0.78	0.08	0.29	-33.40	-0.441	-54.386
54.367	5	0.500	0.98	0.02	0.29	-33.40	-0.871	-54.360
54.350	6	0.600	1.17	-0.03	0.29	-33.40	-1.297	-54.335
54.336	7	0.700	1.37	-0.09	0.29	-33.40	-1.729	-54.309
54.326	8	0.800	1.56	-0.15	0.29	-33.40	-2.175	-54.283
54.321	9	0.900	1.75	-0.21	0.29	-33.40	-2.645	-54.257
54.322	10	1.000	1.95	-0.26	0.29	-33.40	-3.148	-54.231

Maksimalverdi for element 34

maxM= 0.311 kNm, minM= -0.264 kNm  
 maxV= 0.295 kN, minV= 0.295 kN  
 maxN= -33.399 kN, minN= -33.399 kN  
 maxd= 54.51027 mm

## Vedlegg 11: Beregninger for fagverk i stål, Bruksgrensetilstand

### Stålprofiler

Overgurt: HUP 250x150x10mm

Undergurt: HUP 200x120x10mm

Staver: HUP 80x80x10mm

Lastbredde:  $L_b = 5.1\text{m}$

### Laster:

#### Permanente laster

Egenlast fagverk:  $g_{fk} = 0,96\text{kN/m}$

Lett-tak:  $g_t = \frac{0,55\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow g_{tk} = g_t \cdot L_b = 0,55 \cdot 5,1 = 2,81\text{kN/m}$

Permanentlast:  $g_k = g_{fk} + g_{tk} = 0,96 + 2,81 = 3,77\text{kN/m}$

#### Variable laster

Snølast:  $s_k = 3,0\text{kN/m}^2$       Formfaktor:  $\mu = 0,8$

$$q_{sk} = \mu \cdot s_k \cdot L_b = 0,8 \cdot 3 \cdot 5,1 = 12,24\text{kN/m}$$

#### Lastkombinasjon

*Bruksgrensetilstand:*

$$Pd_2 = g_k + q_{s,k} \times \gamma_{Q1} = 3,77 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 12,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,7 = 12,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



## Dimensjonering av over-, under-gurt og staver. Bruddgrensetilstand

### Overgurt

Stålprofil: HUP 250x150x10mm

Aksialkraft fra Eurocode:  $N_{Ed} = 674,439kN$

Bøyningmoment:  $M_{y,Ed} = 3,76kNm$

S355

Areal:  $A=7340mm^2$

Tverrsnittmodul:  $W_y = 477 \cdot 10^3mm^3$

Bredde:  $b=250mm$

Høyde:  $h=150mm$

Tykkelse:  $t=10mm$

Treghetsradius:  $i_z = 60,5mm$

Kneklengde:  $L_k = 3800mm$

Slankheten:  $\lambda_{fy} = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$

Der:  $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}} = \frac{3800}{60,5 \cdot 76,4} = 0,822 \quad (\text{Formel 4.})$$

Bruker kurve a i figur (x). Ved å sette inn verdien for  $\bar{\lambda}$  finner man reduksjonsfaktoren  $X_y$ .

$$X_y = 0,79$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} = \frac{674,439 \cdot 10^3}{7340} = 0,344$$

$$\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = \frac{12,51 \cdot 10^6}{477 \cdot 10^3} = 0,023$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \alpha_h = 0$$

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \quad (\text{Formel 6.})$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,822 - 0,2) \cdot 0,344) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,344)$$

$$k_{yy} = 0,53 < 1,21 \rightarrow k_{yy} = 0,53$$

### Kapasitetsformel

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,334 + 0,53 \cdot 0,023 = 0,36 < 1,0 \text{ OK!} \quad (\text{Formel 5.})$$

### Udergurt

Stålprofil: HUP 200x120x10mm

Aksialkraft fra Eurocode:  $N_{Ed} = 655,851 \text{ kN}$

Bøyningmoment:  $M_{y,Ed} = 1,689 \text{ kNm}$

S355

Areal:  $A = 5740 \text{ mm}^2$

Tverrsnittmodul:  $W_y = 289 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Bredde:  $b = 200 \text{ mm}$

Høyde:  $h = 120 \text{ mm}$

Tykkelse:  $t = 10 \text{ mm}$

Treghetsradius:  $i_z = 47,5 \text{ mm}$

Kneklengde:  $L_k = 3800 \text{ mm}$

$$\text{Slankheten: } \lambda_{fy} = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4 \quad \text{Der: } \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}} = \frac{3800}{47,5 \cdot 76,4} = 1,04 \quad (\text{Formel 4.})$$

Bruker kurve a i tabell (x). Ved å sette inn verdien for  $\bar{\lambda}$  finner man reduksjonsfaktoren  $X_y$ .

$$X_y = 0,66$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} = \frac{655,851 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 338} = 0,512$$

$$\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = \frac{1,689 \cdot 10^6}{289 \cdot 10^3} = 0,017$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \alpha_h = 0$$

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d}\right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d}\right) \quad (\text{Formel 5.})$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (1,04 - 0,2) \cdot 0,512) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,512)$$

$$k_{yy} = 1,36 < 1,34 \rightarrow k_{yy} = 1,34$$

Kapasitetsformel

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,512 + 1,34 \cdot 0,017 = 0,53 < 1,0 \text{ OK!} \quad (\text{Formel 6.})$$

## Diagonalstaver

Stålprofil: HUP 80x80x10mm

Aksialkraft fra Eurocode:  $N_{Ed} = 273,898 \text{ kN}$

Bøyningsmoment:  $M_{y,Ed} = 1,49 \text{ kNm}$

S355

Areal:  $A = 2710 \text{ mm}^2$

Tverrsnittmodul:  $W_y = 55,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Bredde:  $b = 80 \text{ mm}$

Høyde:  $h = 80 \text{ mm}$

Tykkelse:  $t = 10 \text{ mm}$

Treghetsradius:  $i_z = 28,6 \text{ mm}$

Knekk lengde:  $L_k = 2000 \text{ mm}$

$$\text{Slankheten: } \lambda_{fy} = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4 \quad \text{Der: } \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}} = \frac{2000}{28,6 \cdot 76,4} = 0,92 \quad (\text{Formel 4.})$$

Bruker kurve a i tabell (x). Ved å sette inn verdien for  $\bar{\lambda}$  finner man reduksjonsfaktoren  $X_y$ .

$$X_y = 0,73$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} = \frac{273,898 \cdot 10^3}{0,73 \cdot 338} = 0,41$$

$$\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = \frac{1,49 \cdot 10^6}{55,3 \cdot 10^3 \cdot 338} = 0,08$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \alpha_h = 0$$

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \quad (\text{Formel 6.})$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,92 - 0,2) \cdot 0,41) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,41)$$

$$k_{yy} = 1,23 < 1,26 \rightarrow k_{yy} = 1,23$$

Kapasitetsformel

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,41 + 1,23 \cdot 0,08 = 0,51 < 1,0 \text{ OK!} \quad (\text{Formel 5.})$$

### Kontroll av skjær

Overgurt

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 9,81^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,6618 \quad (\text{Formel 15 og 16.})$$

$$A_v = (2 \cdot 150 + 0,6618 \cdot 250) \cdot 10$$

$$A_v = 4654,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 18,452 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{355}{\sqrt{3}} = 204,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{18,452 \cdot 10^3}{4654,5} = 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A = 7340 \text{ mm}^2$$

Undergurt

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 9,81^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,6618 \quad (\text{Formel 15 og 16.})$$

$$A_v = (2 \cdot 120 + 0,6618 \cdot 200) \cdot 10$$

$$A_v = 3723,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 4,888 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{355}{\sqrt{3}} = 204,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{4,888 \cdot 10^3}{3723,6} = 1,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A = 5740\text{mm}^2$$

### Kontroll for strekk

Overgurt

$$N_{Ed} = 674,439\text{kN}$$

$$A = 7340\text{mm}^2$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_d = 7340 \cdot 338 = 2480,92\text{kN} > 674,439\text{kN} \rightarrow \text{OK!}$$

Undergurt

$$N_{Ed} = 273,898\text{kN}$$

$$A = 5740\text{mm}^2$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_d = 5740 \cdot 338 = 1940,12\text{kN} > 273,898\text{kN} \rightarrow \text{OK!}$$

Diagonalstaver

$$N_{Ed} = 655,851\text{kN}$$

$$A = 2710\text{mm}^2$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_d = 2710 \cdot 338 = 915,98\text{kN} > 655,851\text{kN} \rightarrow \text{OK!}$$

Vedlegg 12: Dimensjonering av fagverk for stål i Eurocode i Bruddgrensetilstand

**Project Frame2D**

**Knutepunktsforskyvninger**

Kn.P.	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	3,80634	0,00000	0,00783
2	-6,55172	-13,30802	0,00655
3	3,88776	-25,62842	0,00636
4	-5,11596	-36,07802	0,00539
5	2,91538	-44,77143	0,00415
6	-2,77773	-51,22351	0,00260
7	1,11345	-55,29520	0,00135
8	0,00000	-56,56618	0,00066
9	0,00000	-56,64276	0,00013
10	3,86525	-13,43474	0,00710
11	3,43013	-36,20363	0,00531
12	2,04963	-51,36478	0,00275

**Opplagerkrefter**

Kn.P.	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]
1	0,000	280,277	0,000
8	903,845	-0,001	0,000
9	-903,845	0,001	0,000

**Element endekrefter (globalkoordinater)**

Element	FxA [kN]	FyA [kN]	MA [kNm]	FxB [kN]	FyB [kN]	MB [kNm]
11	-268,824	253,380	0,697	268,824	-253,380	0,219
12	210,332	210,173	0,179	-210,332	-210,173	0,109
13	-161,909	161,338	0,690	161,909	-161,338	0,337
14	117,918	124,165	0,493	-117,918	-124,165	0,053
15	-80,470	80,276	0,452	80,470	-80,276	-0,083
16	38,603	40,704	0,144	-38,603	-40,704	-0,276
17	-22,173	22,921	0,514	22,173	-22,921	0,282
18	0,547	21,791	0,671	-0,547	-21,791	0,423
22	903,298	19,476	2,622	-903,298	21,792	-0,423
23	-480,741	1,998	-1,639	480,741	-1,998	-5,555
24	-761,758	0,527	3,604	761,758	-0,527	-5,555
25	-881,125	-1,129	5,245	881,125	1,129	-0,953
26	268,824	26,897	-0,697	-268,824	12,214	0,924
27	270,409	28,995	-2,456	-270,409	10,116	-1,014
28	-1,585	-41,210	1,532	1,585	41,210	1,241
29	642,649	38,719	0,215	-642,649	0,392	-2,576
30	643,840	38,251	1,494	-643,840	0,860	-2,954
31	-1,190	-38,642	1,082	1,190	38,642	1,120
32	842,229	43,029	2,448	-842,229	-1,746	-2,873
33	842,522	42,975	2,551	-842,522	-1,693	-2,860
34	-0,293	-41,229	0,322	0,293	41,229	0,249

**Element endekrefter (lokalkoordinater)**

Element	fxA [kN]	fyA [kN]	mA [kNm]	fxB [kN]	fyB [kN]	mB [kNm]
11	-369,415	-0,370	0,697	369,415	0,370	0,219
12	297,342	-0,113	0,179	-297,342	0,113	0,109
13	-228,570	-0,404	0,690	228,570	0,404	0,337
14	171,235	-0,209	0,493	-171,235	0,209	0,053
15	-113,665	-0,137	0,452	113,665	0,137	-0,083
16	56,098	0,048	0,144	-56,098	-0,048	-0,276
17	-31,890	-0,289	0,514	31,890	0,289	0,282
18	21,791	-0,547	0,671	-21,791	0,547	0,423
22	903,298	19,476	2,622	-903,298	21,792	-0,423
23	-480,741	1,998	-1,639	480,741	-1,998	-5,555
24	-761,758	0,527	3,604	761,758	-0,527	-5,555
25	-881,125	-1,129	5,245	881,125	1,129	-0,953
26	269,467	19,422	-0,697	-268,381	19,674	0,924
27	271,109	21,475	-2,456	-270,023	17,621	-1,014
28	41,210	-1,585	1,532	-41,210	1,585	1,241
29	643,477	20,859	0,215	-642,391	18,237	-2,576
30	644,654	20,359	1,494	-643,568	18,737	-2,954

31	38,642	-1,190	1,082	-38,642	1,190	1,120
32	843,069	20,857	2,448	-841,983	20,411	-2,873
33	843,361	20,797	2,551	-842,275	20,471	-2,860
34	41,229	-0,293	0,322	-41,229	0,293	0,249

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 11**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	0,70	0,37	369,42	3,806	0,000
3,806	1	0,100	0,25	0,61	0,37	369,42	2,623	-1,487
3,015	2	0,200	0,50	0,51	0,37	369,42	1,495	-2,916
3,276	3	0,300	0,74	0,42	0,37	369,42	0,413	-4,295
4,315	4	0,400	0,99	0,33	0,37	369,42	-0,630	-5,634
5,669	5	0,500	1,24	0,24	0,37	369,42	-1,644	-6,941
7,133	6	0,600	1,49	0,15	0,37	369,42	-2,635	-8,225
8,637	7	0,700	1,73	0,06	0,37	369,42	-3,614	-9,495
10,160	8	0,800	1,98	-0,04	0,37	369,42	-4,587	-10,760
11,697	9	0,900	2,23	-0,13	0,37	369,42	-5,564	-12,028
13,252	10	1,000	2,48	-0,22	0,37	369,42	-6,552	-13,308
14,833								

Maksimalverdi for element 11

maxM=	0,697 kNm,	minM=	-0,219 kNm
maxV=	0,370 kN,	minV=	0,370 kN
maxN=	369,415 kN,	minN=	369,415 kN
maxd=	14,83339 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 12**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	0,18	0,11	-297,34	-6,552	-13,308
14,833	1	0,100	0,25	0,15	0,11	-297,34	-5,475	-14,573
15,567	2	0,200	0,51	0,12	0,11	-297,34	-4,413	-15,823
16,427	3	0,300	0,76	0,09	0,11	-297,34	-3,364	-17,060
17,389	4	0,400	1,02	0,06	0,11	-297,34	-2,323	-18,289
18,436	5	0,500	1,27	0,04	0,11	-297,34	-1,289	-19,511
19,554	6	0,600	1,53	0,01	0,11	-297,34	-0,258	-20,730
20,732	7	0,700	1,78	-0,02	0,11	-297,34	0,772	-21,949
21,962	8	0,800	2,04	-0,05	0,11	-297,34	1,805	-23,169
23,239	9	0,900	2,29	-0,08	0,11	-297,34	2,842	-24,395
24,560	10	1,000	2,55	-0,11	0,11	-297,34	3,888	-25,628
25,922								

Maksimalverdi for element 12

maxM=	0,179 kNm,	minM=	-0,109 kNm
maxV=	0,113 kN,	minV=	0,113 kN
maxN=	-297,342 kN,	minN=	-297,342 kN
maxd=	25,92161 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 13**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	0,69	0,40	228,57	3,888	-25,628
25,922	1	0,100	0,25	0,59	0,40	228,57	2,848	-26,813
26,964	2	0,200	0,51	0,48	0,40	228,57	1,866	-27,939
28,001	3	0,300	0,76	0,38	0,40	228,57	0,933	-29,017
29,032	4	0,400	1,02	0,28	0,40	228,57	0,036	-30,058
30,058	5	0,500	1,27	0,18	0,40	228,57	-0,832	-31,071
31,082	6	0,600	1,53	0,07	0,40	228,57	-1,683	-32,067
32,111	7	0,700	1,78	-0,03	0,40	228,57	-2,527	-33,055
33,152	8	0,800	2,04	-0,13	0,40	228,57	-3,373	-34,046
34,213	9	0,900	2,29	-0,23	0,40	228,57	-4,233	-35,051
35,305	10	1,000	2,55	-0,34	0,40	228,57	-5,116	-36,078
36,439								
Maksimalverdi for element 13								
maxM=	0,690 kNm, minM=			-0,337 kNm				
maxV=	0,404 kN, minV=			0,404 kN				
maxN=	228,570 kN, minN=			228,570 kN				
maxd=	36,43900 mm							

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 14**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	0,49	0,21	-171,24	-5,116	-36,078
36,439	1	0,100	0,26	0,44	0,21	-171,24	-4,172	-37,081
37,315	2	0,200	0,52	0,38	0,21	-171,24	-3,274	-38,040
38,180	3	0,300	0,79	0,33	0,21	-171,24	-2,418	-38,959
39,034	4	0,400	1,05	0,27	0,21	-171,24	-1,597	-39,846
39,878	5	0,500	1,31	0,22	0,21	-171,24	-0,806	-40,704
40,712	6	0,600	1,57	0,17	0,21	-171,24	-0,038	-41,540
41,540	7	0,700	1,83	0,11	0,21	-171,24	0,712	-42,359
42,365	8	0,800	2,09	0,06	0,21	-171,24	1,451	-43,167
43,191	9	0,900	2,36	0,00	0,21	-171,24	2,183	-43,969
44,023	10	1,000	2,62	-0,05	0,21	-171,24	2,915	-44,771
44,866								
Maksimalverdi for element 14								
maxM=	0,493 kNm, minM=			-0,054 kNm				
maxV=	0,209 kN, minV=			0,209 kN				
maxN=	-171,235 kN, minN=			-171,235 kN				
maxd=	44,86625 mm							

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 15**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
--	---	-----	-------	---------	--------	--------	---------	---------



d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
44,866	0	0,000	0,00	0,45	0,14	113,67	2,915	-44,771
45,626	1	0,100	0,27	0,42	0,14	113,67	2,189	-45,573
46,354	2	0,200	0,54	0,38	0,14	113,67	1,509	-46,330
47,053	3	0,300	0,81	0,34	0,14	113,67	0,870	-47,045
47,723	4	0,400	1,07	0,30	0,14	113,67	0,268	-47,722
48,366	5	0,500	1,34	0,27	0,14	113,67	-0,299	-48,365
48,987	6	0,600	1,61	0,23	0,14	113,67	-0,837	-48,980
49,587	7	0,700	1,88	0,19	0,14	113,67	-1,351	-49,569
50,170	8	0,800	2,15	0,16	0,14	113,67	-1,843	-50,136
50,739	9	0,900	2,42	0,12	0,14	113,67	-2,317	-50,686
51,299	10	1,000	2,69	0,08	0,14	113,67	-2,778	-51,223

Maksimalverdi for element 15

maxM=	0,452 kNm,	minM=	0,083 kNm
maxV=	0,137 kN,	minV=	0,137 kN
maxN=	113,665 kN,	minN=	113,665 kN
maxd=	51,29875 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 16

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
51,299	0	0,000	0,00	0,14	-0,05	-56,10	-2,778	-51,224
51,779	1	0,100	0,28	0,16	-0,05	-56,10	-2,285	-51,729
52,248	2	0,200	0,55	0,17	-0,05	-56,10	-1,812	-52,216
52,702	3	0,300	0,83	0,18	-0,05	-56,10	-1,358	-52,684
53,139	4	0,400	1,10	0,20	-0,05	-56,10	-0,928	-53,131
53,559	5	0,500	1,38	0,21	-0,05	-56,10	-0,520	-53,556
53,958	6	0,600	1,66	0,22	-0,05	-56,10	-0,137	-53,958
54,334	7	0,700	1,93	0,24	-0,05	-56,10	0,220	-54,334
54,686	8	0,800	2,21	0,25	-0,05	-56,10	0,548	-54,683
55,010	9	0,900	2,48	0,26	-0,05	-56,10	0,846	-55,004
55,306	10	1,000	2,76	0,28	-0,05	-56,10	1,114	-55,295

Maksimalverdi for element 16

maxM=	0,276 kNm,	minM=	0,144 kNm
maxV=	-0,048 kN,	minV=	-0,048 kN
maxN=	-56,098 kN,	minN=	-56,098 kN
maxd=	55,30642 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 17

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
55,306	0	0,000	0,00	0,51	0,29	31,89	1,114	-55,295
	1	0,100	0,28	0,43	0,29	31,89	0,884	-55,535

55,542	2	0,200	0,55	0,35	0,29	31,89	0,705	-55,726
55,730	3	0,300	0,83	0,27	0,29	31,89	0,568	-55,877
55,880	4	0,400	1,10	0,20	0,29	31,89	0,465	-55,997
55,998	5	0,500	1,38	0,12	0,29	31,89	0,384	-56,094
56,095	6	0,600	1,66	0,04	0,29	31,89	0,318	-56,179
56,180	7	0,700	1,93	-0,04	0,29	31,89	0,256	-56,259
56,260	8	0,800	2,21	-0,12	0,29	31,89	0,189	-56,345
56,345	9	0,900	2,48	-0,20	0,29	31,89	0,106	-56,444
56,444	10	1,000	2,76	-0,28	0,29	31,89	0,000	-56,566

Maksimalverdi for element 17

maxM=	0,514 kNm,	minM=	-0,283 kNm
maxV=	0,289 kN,	minV=	0,289 kN
maxN=	31,890 kN,	minN=	31,890 kN
maxd=	56,56618 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 18

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x [m]</u>	<u>M [kNm]</u>	<u>V [kN]</u>	<u>N [kN]</u>	<u>dx [mm]</u>	<u>dy [mm]</u>
56,566	0	0,000	0,00	0,67	0,55	-21,79	0,000	-56,566
56,574	1	0,100	0,20	0,56	0,55	-21,79	0,105	-56,574
56,582	2	0,200	0,40	0,45	0,55	-21,79	0,161	-56,582
56,589	3	0,300	0,60	0,34	0,55	-21,79	0,178	-56,589
56,597	4	0,400	0,80	0,23	0,55	-21,79	0,166	-56,597
56,605	5	0,500	1,00	0,12	0,55	-21,79	0,134	-56,604
56,612	6	0,600	1,20	0,01	0,55	-21,79	0,091	-56,612
56,620	7	0,700	1,40	-0,09	0,55	-21,79	0,047	-56,620
56,627	8	0,800	1,60	-0,20	0,55	-21,79	0,010	-56,627
56,635	9	0,900	1,80	-0,31	0,55	-21,79	-0,009	-56,635
56,643	10	1,000	2,00	-0,42	0,55	-21,79	0,000	-56,643

Maksimalverdi for element 18

maxM=	0,671 kNm,	minM=	-0,423 kNm
maxV=	0,547 kN,	minV=	0,547 kN
maxN=	-21,791 kN,	minN=	-21,791 kN
maxd=	56,64277 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 22

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x [m]</u>	<u>M [kNm]</u>	<u>V [kN]</u>	<u>N [kN]</u>	<u>dx [mm]</u>	<u>dy [mm]</u>
55,306	0	0,000	0,00	2,62	-19,48	-903,30	1,114	-55,295
55,555	1	0,100	0,19	5,93	-15,35	-903,30	1,002	-55,546
55,787	2	0,200	0,38	8,46	-11,22	-903,30	0,891	-55,780
	3	0,300	0,57	10,20	-7,10	-903,30	0,779	-55,989

55,995	4	0,400	0,76	11,15	-2,97	-903,30	0,668	-56,170
56,174	5	0,500	0,95	11,32	1,16	-903,30	0,557	-56,318
56,321	6	0,600	1,14	10,71	5,28	-903,30	0,445	-56,434
56,436	7	0,700	1,33	9,32	9,41	-903,30	0,334	-56,520
56,521	8	0,800	1,52	7,14	13,54	-903,30	0,223	-56,578
56,579	9	0,900	1,71	4,17	17,66	-903,30	0,111	-56,616
56,617	10	1,000	1,90	0,42	21,79	-903,30	0,000	-56,643

Maksimalverdi for element 22

maxM=	11,324 kNm,	minM=	0,423 kNm
maxV=	21,792 kN,	minV=	-19,476 kN
maxN=	-903,298 kN,	minN=	-903,298 kN
maxd=	56,64276 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 23

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x [m]</u>	<u>M [kNm]</u>	<u>V [kN]</u>	<u>N [kN]</u>	<u>dx [mm]</u>	<u>dy [mm]</u>
0	0,000	0,00	-1,64	-2,00	480,74	-6,552	-13,308	
14,833	1	0,100	0,36	-0,92	-2,00	480,74	-6,408	-15,681
16,940	2	0,200	0,72	-0,20	-2,00	480,74	-6,264	-18,073
19,128	3	0,300	1,08	0,52	-2,00	480,74	-6,121	-20,470
21,366	4	0,400	1,44	1,24	-2,00	480,74	-5,977	-22,856
23,625	5	0,500	1,80	1,96	-2,00	480,74	-5,834	-25,215
25,881	6	0,600	2,16	2,68	-2,00	480,74	-5,690	-27,533
28,115	7	0,700	2,52	3,40	-2,00	480,74	-5,547	-29,793
30,305	8	0,800	2,88	4,12	-2,00	480,74	-5,403	-31,981
32,434	9	0,900	3,24	4,84	-2,00	480,74	-5,260	-34,081
34,485	10	1,000	3,60	5,55	-2,00	480,74	-5,116	-36,078

Maksimalverdi for element 23

maxM=	5,555 kNm,	minM=	-1,639 kNm
maxV=	-1,998 kN,	minV=	-1,998 kN
maxN=	480,741 kN,	minN=	480,741 kN
maxd=	36,43890 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 24

<u>d[mm]</u>	<u>n</u>	<u>x/l</u>	<u>x [m]</u>	<u>M [kNm]</u>	<u>V [kN]</u>	<u>N [kN]</u>	<u>dx [mm]</u>	<u>dy [mm]</u>
0	0,000	0,00	3,60	-0,53	761,76	-5,116	-36,078	
36,439	1	0,100	0,37	3,80	-0,53	761,76	-4,882	-38,031
38,343	2	0,200	0,74	3,99	-0,53	761,76	-4,649	-39,898
40,168	3	0,300	1,11	4,19	-0,53	761,76	-4,415	-41,675
41,908	4	0,400	1,48	4,38	-0,53	761,76	-4,181	-43,357
43,558	5	0,500	1,85	4,58	-0,53	761,76	-3,947	-44,941

45,114	6	0,600	2,22	4,77	-0,53	761,76	-3,713	-46,422
46,570	7	0,700	2,59	4,97	-0,53	761,76	-3,479	-47,795
47,921	8	0,800	2,96	5,17	-0,53	761,76	-3,245	-49,055
49,163	9	0,900	3,33	5,36	-0,53	761,76	-3,011	-50,200
50,290	10	1,000	3,70	5,56	-0,53	761,76	-2,778	-51,224
51,299								

Maksimalverdi for element 24

maxM=	5,555 kNm,	minM=	3,604 kNm
maxV=	-0,527 kN,	minV=	-0,527 kN
maxN=	761,758 kN,	minN=	761,758 kN
maxd=	51,29879 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 25

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	5,24	1,13	881,13	-2,778	-51,224
51,299	1	0,100	0,38	4,82	1,13	881,13	-2,500	-52,151
52,211	2	0,200	0,76	4,39	1,13	881,13	-2,223	-52,963
53,010	3	0,300	1,14	3,96	1,13	881,13	-1,944	-53,671
53,707	4	0,400	1,52	3,53	1,13	881,13	-1,666	-54,286
54,311	5	0,500	1,90	3,10	1,13	881,13	-1,389	-54,816
54,833	6	0,600	2,28	2,67	1,13	881,13	-1,111	-55,272
55,284	7	0,700	2,66	2,24	1,13	881,13	-0,833	-55,666
55,672	8	0,800	3,04	1,81	1,13	881,13	-0,555	-56,005
56,008	9	0,900	3,42	1,38	1,13	881,13	-0,278	-56,302
56,303	10	1,000	3,80	0,95	1,13	881,13	0,000	-56,566
56,566								

Maksimalverdi for element 25

maxM=	5,245 kNm,	minM=	0,953 kNm
maxV=	1,129 kN,	minV=	1,129 kN
maxN=	881,125 kN,	minN=	881,125 kN
maxd=	56,56624 mm		

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 26

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	-0,70	-19,42	-269,47	3,806	0,000
3,806	1	0,100	0,18	2,45	-15,51	-269,36	3,814	-1,409
4,066	2	0,200	0,36	4,89	-11,60	-269,25	3,822	-2,812
4,744	3	0,300	0,54	6,63	-7,69	-269,14	3,829	-4,202
5,685	4	0,400	0,72	7,66	-3,78	-269,03	3,835	-5,575
6,767	5	0,500	0,90	7,99	0,13	-268,92	3,842	-6,929
7,922	6	0,600	1,08	7,61	4,04	-268,82	3,847	-8,261
9,113	7	0,700	1,26	6,54	7,95	-268,71	3,852	-9,575

10,321	8	0,800	1,44	4,75	11,86	-268,60	3,857	-10,872
11,535	9	0,900	1,62	2,27	15,76	-268,49	3,861	-12,156
12,754	10	1,000	1,80	-0,92	19,67	-268,38	3,865	-13,435
13,980								

Maksimalverdi for element 26

maxM=	7,989 kNm,	minM=	-0,924 kNm
maxV=	19,674 kN,	minV=	-19,422 kN
maxN=	-268,381 kN,	minN=	-269,467 kN
maxd=	13,97971 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 27**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	-2,46	-21,48	-271,11	3,865	-13,435
13,980	1	0,100	0,18	1,06	-17,57	-271,00	3,869	-14,715
15,215	2	0,200	0,36	3,87	-13,66	-270,89	3,873	-15,992
16,455	3	0,300	0,54	5,98	-9,75	-270,78	3,877	-17,260
17,690	4	0,400	0,72	7,38	-5,84	-270,67	3,880	-18,512
18,914	5	0,500	0,90	8,08	-1,93	-270,57	3,883	-19,746
20,124	6	0,600	1,08	8,07	1,98	-270,46	3,884	-20,958
21,315	7	0,700	1,26	7,36	5,89	-270,35	3,886	-22,150
22,488	8	0,800	1,44	5,95	9,80	-270,24	3,887	-23,323
23,645	9	0,900	1,62	3,84	13,71	-270,13	3,887	-24,481
24,787	10	1,000	1,80	1,01	17,62	-270,02	3,888	-25,628
25,922								

Maksimalverdi for element 27

maxM=	8,079 kNm,	minM=	-2,456 kNm
maxV=	17,621 kN,	minV=	-21,475 kN
maxN=	-270,023 kN,	minN=	-271,109 kN
maxd=	25,92161 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 28**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	1,53	1,58	-41,21	3,865	-13,435
13,980	1	0,100	0,17	1,25	1,58	-41,21	2,671	-13,422
13,685	2	0,200	0,35	0,98	1,58	-41,21	1,559	-13,409
13,500	3	0,300	0,52	0,70	1,58	-41,21	0,511	-13,397
13,406	4	0,400	0,70	0,42	1,58	-41,21	-0,490	-13,384
13,393	5	0,500	0,88	0,15	1,58	-41,21	-1,463	-13,371
13,451	6	0,600	1,05	-0,13	1,58	-41,21	-2,427	-13,359
13,577	7	0,700	1,23	-0,41	1,58	-41,21	-3,399	-13,346
13,772	8	0,800	1,40	-0,69	1,58	-41,21	-4,399	-13,333
14,040	9	0,900	1,58	-0,96	1,58	-41,21	-5,443	-13,321

14,390  
10 1,000 1,75 -1,24 1,58 -41,21 -6,552 -13,308

14,833

Maksimalverdi for element 28

maxM= 1,532 kNm, minM= -1,241 kNm  
maxV= 1,585 kN, minV= 1,585 kN  
maxN= -41,210 kN, minN= -41,210 kN  
maxd= 14,83333 mm

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 29

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	0,21	-20,86	-643,48	3,888	-25,628
25,922	1	0,100	0,18	3,62	-16,95	-643,37	3,844	-26,773
27,048	2	0,200	0,36	6,32	-13,04	-643,26	3,801	-27,908
28,166	3	0,300	0,54	8,32	-9,13	-643,15	3,757	-29,028
29,270	4	0,400	0,72	9,61	-5,22	-643,04	3,712	-30,125
30,353	5	0,500	0,90	10,20	-1,31	-642,93	3,667	-31,199
31,413	6	0,600	1,08	10,08	2,60	-642,83	3,621	-32,245
32,448	7	0,700	1,26	9,26	6,51	-642,72	3,574	-33,266
33,458	8	0,800	1,44	7,74	10,42	-642,61	3,527	-34,263
34,444	9	0,900	1,62	5,51	14,33	-642,50	3,478	-35,241
35,412	10	1,000	1,80	2,58	18,24	-642,39	3,430	-36,204
36,366								

Maksimalverdi for element 29

maxM= 10,196 kNm, minM= 0,215 kNm  
maxV= 18,237 kN, minV= -20,859 kN  
maxN= -642,391 kN, minN= -643,477 kN  
maxd= 36,36579 mm

Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 30

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]	0	0,000	0,00	1,49	-20,36	-644,65	3,430	-36,204
36,366	1	0,100	0,18	4,81	-16,45	-644,55	3,382	-37,159
37,312	2	0,200	0,36	7,42	-12,54	-644,44	3,332	-38,101
38,247	3	0,300	0,54	9,32	-8,63	-644,33	3,283	-39,025
39,163	4	0,400	0,72	10,53	-4,72	-644,22	3,232	-39,924
40,055	5	0,500	0,90	11,02	-0,81	-644,11	3,181	-40,797
40,921	6	0,600	1,08	10,82	3,10	-644,00	3,130	-41,641
41,758	7	0,700	1,26	9,91	7,01	-643,89	3,077	-42,457
42,569	8	0,800	1,44	8,29	10,92	-643,78	3,023	-43,248
43,354	9	0,900	1,62	5,98	14,83	-643,68	2,970	-44,017
44,117	10	1,000	1,80	2,95	18,74	-643,57	2,915	-44,771
44,866								

Maksimalverdi for element 30

maxM= 11,024 kNm, minM= 1,494 kNm  
 maxV= 18,737 kN, minV= -20,359 kN  
 maxN= -643,568 kN, minN= -644,654 kN  
 maxd= 44,86625 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 31**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
36,366	0	0,000	0,00	1,08	1,19	-38,64	3,430	-36,204
36,276	1	0,100	0,19	0,86	1,19	-38,64	2,484	-36,191
36,214	2	0,200	0,37	0,64	1,19	-38,64	1,602	-36,179
36,174	3	0,300	0,56	0,42	1,19	-38,64	0,768	-36,166
36,153	4	0,400	0,74	0,20	1,19	-38,64	-0,036	-36,153
36,150	5	0,500	0,93	-0,02	1,19	-38,64	-0,825	-36,141
36,164	6	0,600	1,11	-0,24	1,19	-38,64	-1,616	-36,128
36,197	7	0,700	1,30	-0,46	1,19	-38,64	-2,424	-36,116
36,251	8	0,800	1,48	-0,68	1,19	-38,64	-3,265	-36,103
36,329	9	0,900	1,66	-0,90	1,19	-38,64	-4,158	-36,091
36,439	10	1,000	1,85	-1,12	1,19	-38,64	-5,116	-36,078

Maksimalverdi for element 31

maxM= 1,082 kNm, minM= -1,120 kNm  
 maxV= 1,190 kN, minV= 1,190 kN  
 maxN= -38,642 kN, minN= -38,642 kN  
 maxd= 36,43893 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 32**

	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
d [mm]								
44,866	0	0,000	0,00	2,45	-20,86	-843,07	2,915	-44,771
45,645	1	0,100	0,19	6,02	-16,73	-842,96	2,832	-45,557
46,407	2	0,200	0,38	8,81	-12,60	-842,85	2,748	-46,326
47,144	3	0,300	0,57	10,81	-8,48	-842,74	2,664	-47,069
47,851	4	0,400	0,76	12,03	-4,35	-842,63	2,579	-47,781
48,523	5	0,500	0,95	12,47	-0,22	-842,53	2,492	-48,459
49,160	6	0,600	1,14	12,12	3,90	-842,42	2,406	-49,101
49,762	7	0,700	1,33	10,98	8,03	-842,31	2,318	-49,708
50,333	8	0,800	1,52	9,06	12,16	-842,20	2,229	-50,284
50,878	9	0,900	1,71	6,36	16,28	-842,09	2,140	-50,833
51,406	10	1,000	1,90	2,87	20,41	-841,98	2,049	-51,365

Maksimalverdi for element 32

maxM= 12,465 kNm, minM= 2,448 kNm  
 maxV= 20,411 kN, minV= -20,857 kN  
 maxN= -841,983 kN, minN= -843,069 kN  
 maxd= 51,40565 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 33**

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
0	0,000	0,00	2,55	-20,80	-843,36	2,049	-51,365	
51,406	1	0,100	0,19	6,11	-16,67	-843,25	1,959	-51,885
51,922	2	0,200	0,38	8,89	-12,54	-843,14	1,868	-52,388
52,421	3	0,300	0,57	10,88	-8,42	-843,03	1,777	-52,865
52,895	4	0,400	0,76	12,09	-4,29	-842,93	1,685	-53,311
53,338	5	0,500	0,95	12,51	-0,16	-842,82	1,592	-53,722
53,746	6	0,600	1,14	12,15	3,96	-842,71	1,498	-54,098
54,118	7	0,700	1,33	11,00	8,09	-842,60	1,403	-54,438
54,456	8	0,800	1,52	9,07	12,22	-842,49	1,307	-54,747
54,763	9	0,900	1,71	6,36	16,34	-842,38	1,211	-55,030
55,044	10	1,000	1,90	2,86	20,47	-842,27	1,114	-55,295
55,306								
Maksimalverdi for element 33								
maxM=				12,510 kNm,	minM=		2,551 kNm	
maxV=				20,471 kN,	minV=		-20,797 kN	
maxN=				-842,275 kN,	minN=		-843,361 kN	
maxd=				55,30642 mm				

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 34**

d[mm]	n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]
0	0,000	0,00	0,32	0,29	-41,23	2,049	-51,365	
51,406	1	0,100	0,20	0,26	0,29	-41,23	1,525	-51,351
51,373	2	0,200	0,39	0,21	0,29	-41,23	1,023	-51,337
51,347	3	0,300	0,59	0,15	0,29	-41,23	0,537	-51,322
51,325	4	0,400	0,78	0,09	0,29	-41,23	0,064	-51,308
51,308	5	0,500	0,98	0,04	0,29	-41,23	-0,401	-51,294
51,296	6	0,600	1,17	-0,02	0,29	-41,23	-0,864	-51,280
51,287	7	0,700	1,37	-0,08	0,29	-41,23	-1,328	-51,266
51,283	8	0,800	1,56	-0,14	0,29	-41,23	-1,799	-51,252
51,283	9	0,900	1,75	-0,19	0,29	-41,23	-2,280	-51,238
51,288	10	1,000	1,95	-0,25	0,29	-41,23	-2,778	-51,224
51,299								
Maksimalverdi for element 34								
maxM=				0,322 kNm,	minM=		-0,249 kNm	
maxV=				0,293 kN,	minV=		0,293 kN	
maxN=				-41,229 kN,	minN=		-41,229 kN	
maxd=				51,40565 mm				



### Vedlegg 13: Beregninger av fagverk i stål, Bruddgrensetilstand

#### Stålprofiler

Overgurt: HUP 250x150x10mm

Undergurt: HUP 200x120x10mm

Staver: HUP 80x80x10mm

Lastbredde:  $L_b = 5.1\text{m}$

#### Laster:

##### Permanente laster

Egenlast fagverk:  $g_{fk} = 0,96\text{kN/m}$

Letttak:  $g_t = \frac{0,55\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow g_{tk} = g_t \cdot L_b = 0,55 \cdot 5,1 = 2,81\text{kN/m}$

Permanentlast:  $g_k = g_{fk} + g_{tk} = 0,96 + 2,81 = 3,77\text{kN/m}$

##### Variable laster

Snølast:  $s_k = 3,0\text{kN/m}^2$       Formfaktor:  $\mu = 0,8$

$$q_{sk} = \mu \cdot s_k \cdot L_b = 0,8 \cdot 3 \cdot 5,1 = 12,24\text{kN/m}$$

##### Lastkombinasjoner

Bruddgrensetilstand

$$q_{Ed2} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{s_k} = 1,2 \cdot 3,77 + 1,05 \cdot 12,24 = 17,942\text{kNm}$$

$$q_{Ed2} = 1,2 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{s_k} = 1,2 \cdot 3,77 + 1,5 \cdot 12,24 = 22,89\text{kNm}$$

## Dimensjonering av over-, under-gurt og staver. Bruddgrensetilstand

### Overgurt

Stålprofil: HUP 250x150x10mm

Aksialkraft fra Eurocode:  $N_{Ed} = 903,298kN$

Bøyningmoment:  $M_{y,Ed} = 12,51kNm$

S355

Areal:  $A=7340mm^2$

Tverrsnittmodul:  $W_y = 477 \cdot 10^3mm^3$

Bredde:  $b=250mm$

Høyde:  $h=150mm$

Tykkelse:  $t=10mm$

Treghetsradius:  $i_z = 60,5mm$

Kneklengde:  $L_k = 3800mm$

Slankheten:  $\lambda_{fy} = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$

Der:  $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}} = \frac{3800}{60,5 \cdot 76,4} = 0,822 \quad (\text{Formel 4.})$$

Bruker kurve a i figur (x). Ved å sette inn verdien for  $\bar{\lambda}$  finner man reduksjonsfaktoren  $X_y$ .

$$X_y = 0,79$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} = \frac{903,298 \cdot 10^3}{7340} = 0,461$$

$$\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = \frac{12,51 \cdot 10^6}{477 \cdot 10^3} = 0,0776$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \alpha_h = 0$$

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d}\right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d}\right) \quad (\text{Formel 6.})$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,822 - 0,2) \cdot 0,443) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,443)$$

$$k_{yy} = 1,21 < 1,29 \rightarrow k_{yy} = 1,21$$

### Kapasitetsformel

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,443 + 1,21 \cdot 0,078 = 0,54 < 1,0 \text{ OK!} \quad (\text{Formel 5.})$$

### Udergurt

Stålprofil: HUP 200x120x10mm

Aksialkraft fra Eurocode:  $N_{Ed} = 881,13kN$

Bøyningsmoment:  $M_{y,Ed} = 5,56kNm$

S355

Areal:  $A=5740mm^2$

Tverrsnittmodul:  $W_y = 289 \cdot 10^3mm^3$

Bredde:  $b=200mm$

Høyde:  $h=120mm$

Tykkelse:  $t=10mm$

Tregghetsradius:  $i_z = 47,5mm$

Kneklengde:  $L_k = 3800mm$

$$\text{Slankheten: } \lambda_{fy} = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4 \quad \text{Der: } \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}} = \frac{3800}{47,5 \cdot 76,4} = 1,04 \quad (\text{Formel 4.})$$

Bruker kurve a i tabell (x). Ved å sette inn verdien for  $\bar{\lambda}$  finner man reduksjonsfaktoren  $X_y$ .

$$X_y = 0,66$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} = \frac{881,13 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 338} = 0,688$$

$$\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = \frac{5,56 \cdot 10^6}{289 \cdot 10^3 \cdot 338} = 0,0569$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \alpha_h = 0$$

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} \right) \quad (\text{Formel 5.})$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (1,04 - 0,2) \cdot 0,688) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,688)$$

$$k_{yy} = 1,5 < 1,47 \rightarrow k_{yy} = 1,47$$

Kapasitetsformel

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,688 + 1,47 \cdot 0,057 = 0,77 < 1,0 \text{ OK!} \quad (\text{Formel 6.})$$

### Diagonalstaver

Stålprofil: HUP 80x80x10mm

Aksialkraft fra Eurocode:  $N_{Ed} = 369,42 \text{ kN}$

Bøyningsmoment:  $M_{y,Ed} = 1,53 \text{ kNm}$

S355

Areal:  $A = 2710 \text{ mm}^2$

Tverrsnittmodul:  $W_y = 55,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Bredde:  $b = 80 \text{ mm}$

Høyde:  $h = 80 \text{ mm}$

Tykkelse:  $t = 10 \text{ mm}$

Treghetsradius:  $i_z = 28,6 \text{ mm}$

Knekk lengde:  $L_k = 2000 \text{ mm}$

$$\text{Slankheten: } \lambda_{fy} = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4 \quad \text{Der: } \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_k}{i_z \cdot \lambda_{fy}} = \frac{2000}{28,6 \cdot 76,4} = 0,92 \quad (\text{Formel 4.})$$

Bruker kurve a i tabell (x). Ved å sette inn verdien for  $\bar{\lambda}$  finner man reduksjonsfaktoren  $X_y$ .

$$X_y = 0,73$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{X_y \cdot f_d} = \frac{369,42 \cdot 10^3}{0,73 \cdot 338} = 0,552$$

$$\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = \frac{1,53 \cdot 10^6}{55,3 \cdot 10^3 \cdot 338} = 0,0819$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \alpha_h = 0$$

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{x_y \cdot f_d}\right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{x_y \cdot f_d}\right) \quad (\text{Formel 6.})$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,92 - 0,2) \cdot 0,553) \leq 0,95 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,553)$$

$$k_{yy} = 1,33 < 1,37 \rightarrow k_{yy} = 1,33$$

Kapasitetsformel

$$\frac{\sigma_{Ed}}{x_f \cdot f_d} + k_{yy} \cdot \frac{\sigma_{y,Ed}}{f_d} = 0,553 + 1,33 \cdot 0,082 = 0,66 < 1,0 \text{ OK!} \quad (\text{Formel 5.})$$

### Kontroll av skjær

Overgurt

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 9,81^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,6618 \quad (\text{Formel 15 og 16.})$$

$$A_v = (2 \cdot 150 + 0,6618 \cdot 250) \cdot 10$$

$$A_v = 4654,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 21,792 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{355}{\sqrt{3}} = 204,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{21,792 \cdot 10^3}{4654,5} = 4,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A = 7340 \text{ mm}^2$$

Undergurt

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 9,81^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,6618 \quad (\text{Formel 15 og 16.})$$

$$A_v = (2 \cdot 120 + 0,6618 \cdot 200) \cdot 10$$

$$A_v = 3723,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 1,998 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{355}{\sqrt{3}} = 204,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{1,998 \cdot 10^3}{3723,6} = 0,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A = 5740 \text{ mm}^2$$

### Kontroll for strekk

### Overgurt

$$N_{Ed} = 903,298kN$$

$$A = 7340mm^2$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_d = 7340 \cdot 338 = 2480,92kN > 903,298kN \rightarrow OK!$$

### Undergurt

$$N_{Ed} = 369,415kN$$

$$A = 5740mm^2$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_d = 5740 \cdot 338 = 1940,12kN > 369,415kN \rightarrow OK!$$

### Diagonalstaver

$$N_{Ed} = 881,125kN$$

$$A = 2710mm^2$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_d = 2710 \cdot 338 = 915,98kN > 881,125kN \rightarrow OK!$$

## Beregninger knutepunkter i stål

### Kontrollerer eksentrisiteten i knutepunktet

$$g = 36mm, h_1 = 80mm, h_2 = 80mm, h_0 = 120mm, \theta_1 = 45^\circ, \theta_2 = 45^\circ$$

$$e = \left( \frac{h_1}{2 \cdot \sin(\theta_1)} + \frac{h_2}{2 \cdot \sin(\theta_2)} + g \right) \times \frac{\sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{h_0}{2} \quad (\text{Formel 8.})$$

$$e = \left( \frac{80}{2 \cdot \sin(45)} + \frac{80}{2 \cdot \sin(45)} + 36 \right) \times \frac{\sin(45) \cdot \sin(45)}{\sin(45 + 45)} - \frac{120}{2} = 14,57$$

$$-0,55 \leq \frac{e}{h_0} = \frac{14,57}{120} = 0,121 \leq 0,25$$

### Sjekker forholdstallene

$$b_1 = 80mm, b_2 = 80mm, b_0 = 200mm$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 + b_0} \quad (\text{Formel 7.})$$

$$\beta = \frac{80 + 80 + 80 + 80}{4 \cdot 200} = 0,4$$

$$\frac{80}{200} = 0,4 \geq 0,35$$

$$\frac{80}{200} = 0,4 \geq 0,1 + 0,001 \cdot \frac{200}{10} = 0,12$$

### Sjekker tverrsnittsklasse

#### Strekk/trykk stav

$$\varepsilon_y = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$
$$c_f = 80 - 3 \cdot 10 = 50$$
$$\lambda_f = \frac{c_f}{t_0 \cdot \varepsilon_y} = \frac{50}{10 \cdot 0,81} = 6,17$$

Tverrsnittsklasse 1

**Overgurt**

$$c_f = 150 - 3 \cdot 10 = 120$$
$$\lambda_f = \frac{120}{10 \cdot 0,81} = 14,8$$

Tverrsnittsklasse 1

**Undergurt**

$$c_f = 120 - 3 \cdot 10 = 90$$
$$\lambda_f = \frac{90}{10 \cdot 0,81} = 11,1$$

Tverrsnittsklasse 1

**Kontrollerer aksialkapasiteten til knutepunktet**

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{200}{2 \cdot 10} = 10 \quad (\text{Formel 13.})$$

$$n = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_y} = \frac{878,51 \cdot 10^3 N}{5740 \cdot 355 N} = 0,431 \quad (\text{Formel 11.})$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,431}{0,4} = 0,869 \quad (\text{Formel 12.})$$

Bruker  $k_n = 0,8$

$$\theta_i \approx 45^\circ$$

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(\theta_i)} \cdot \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \quad (\text{Formel 21.})$$

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot 0,8 \cdot 355 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{10}}{\sin(45)} \cdot \frac{\gamma_{M5} \cdot \frac{80+80+80+80}{4 \cdot 200}}{1,0} = 452,2 kN$$

Alle kreftene i diagonalstavene ligger under dette, dermed anses det som ok

### Skjærbrudd i gurtvegg

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 36^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,234$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 120 + 0,234 \cdot 200) \cdot 10 = 2868 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 1,19 \cdot \sin(45^\circ) = 0,84 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{2868 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1,05} = 559,8 \text{ kN} \quad (\text{Formel 18.})$$

$$N_{i,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355 \cdot 2868}{\sqrt{3} \cdot \sin(45^\circ)}}{1,0} = 831,307 \text{ kN} \quad (\text{Formel 14.})$$

$$N_{0,Rd} = \frac{\left( (A_0 - A_v) \cdot f_y + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2} \right)}{\gamma_{M5}} \quad (\text{Formel 17.})$$

$$N_{0,Rd} = \frac{\left( (5740 - 2868) \cdot 355 + 2868 \cdot 355 \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{1,19}{559,8} \right)^2} \right)}{1} = 2037,7 \text{ kN}$$

Alle de opptredende kreftene i gurter og diagonalstavene er under kapasitetene over, dermed ok

### Brudd i stagstav

$$b_{eff} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i = \frac{10}{\frac{200}{10}} \cdot \frac{355 \cdot 10}{355 \cdot 10} \cdot 80 = 40 \quad (\text{Formel 20.})$$

$$N_{i,Rd} = 355 \cdot 10(2 \cdot 80 - 4 \cdot 10 + 80 + 40) = 852 \text{ kN}$$

Kapasiteten er større enn den opptredende kraften i diagonalstavene, ok

### Gjennomlokking

$$\beta \leq \left( 1 - \frac{1}{\gamma} \right) = \left( 1 - \frac{1}{10} \right) = 0,9$$

$$b_{e,p} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot b_i = \frac{10}{\frac{200}{10}} \cdot 80 = 40 \quad (\text{Formel 22.})$$

$$N_{i,Rd} = \frac{355 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin(45^\circ)} \cdot \frac{\left( \frac{2 \cdot 80}{\sin(45^\circ)} + 80 + 40 \right)}{1} = 1003,7 \text{ kN} \quad (\text{Formel 21.})$$

Kapasiteten er større enn den opptredende kraften i diagonalstavene, ok

### Beregne a-mål på sveis i knutepunkter



### Trykk

$$l_{eff} = 2 \cdot \left( \frac{80}{\cos(45^\circ)} - 2 \cdot 4 \right) = 210,3 \text{ mm}$$
$$N_{Ed,\parallel} = 369,42 \cdot \cos(45^\circ) \cdot 0,5 = 130,61 \text{ kN}$$
$$\frac{510}{1,25 \cdot 0,9} = 453,33$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,\parallel}}{l_{eff}} = \frac{130,61 \cdot 10^3}{210,3} = 621,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Formel 24.})$$
$$a = \frac{\sqrt{3 \cdot 621,1^2}}{453,33} = 2,37 \text{ mm}$$

### Strekk

$$N_{Ed,\parallel} = N_{Ed,\perp} = 130,61 \text{ kN}$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{130,61 \cdot 10^2}{210,3} = 621,1 \quad (\text{Formel 24.})$$
$$f_{\perp} = \frac{N_{Ed,\perp}}{l_{eff}} = \frac{130,61 \cdot 10^2}{210,3} = 621,1 \quad (\text{Formel 25.})$$
$$a \cdot \sigma_{\perp} = a \cdot \tau_{\perp} = \frac{f_{\perp}}{\sqrt{2}} = \frac{621,1}{\sqrt{2}} = 439,2 \quad (\text{Formel 26.})$$
$$a = \frac{\sqrt{439,2^2 + 3 \cdot (439,2^2 + 621,1^2)}}{453,33} = 3,1 \text{ mm}$$

Bruker minstekrav i henhold til Håndbok 185,  $a = 4 \text{ mm}$

Bruker diagonalstaver av HUP 80x80x10mm, overgurt av HUP 250x150x10mm og undergurt  
av HUP 200x120x10mm.

---

Vedlegg 13: EPD CLT



### CLT by Stora Enso

**Product:** Cross Laminated Timber (CLT) is a solid wood construction product consisting of at least three bonded single-layer panels arranged at right angles to each other.

**Manufacturer:** Stora Enso Wood Products Oy Ltd, P.O.Box 309, FI-00101 Helsinki, Finland

**Manufacturing sites:** Ybbs an der Donau and Bad St. Leonhard (Austria)

**Declared unit:** 1 m<sup>3</sup> of CLT

**Approval date:** 2017-06-01

**Valid until:** 2022-05-31

**Reference year:** 2014

The declaration is calculated on the basis of standards ISO 14025, EN 15804+A1 and EN 16485. EPDs of construction products may not be comparable if they do not comply with these standards.

**Verification:** CEN standard EN 15904 serves as the core product category rules. Independent verification of the declaration and data, according to EN ISO 14025.

internal     external

**Third party verifier:**



Hannu Karppi  
Vahanen Environment Oy

Teija Käpynen  
Vahanen Environment Oy



## Stora Enso

Stora Enso is a leading provider of renewable solutions in packaging, biomaterials, wood and paper to global markets. Our customers include the packaging, joinery and construction industries as well as publishers, printing houses and paper merchants. Our aim is to replace non-renewable materials by innovating and developing new products and services based on wood and other renewable materials. Our focus is on fibre-based packaging, plantation-based pulp, innovations in biomaterials, and sustainable building solutions.

Stora Enso's Wood Products division is a market-leading provider of innovative wood-based products for construction and interior usages. Our product range covers all areas of urban construction including massive wood elements, wood components and pellets. We offer a variety of sawn timber goods. All the division's mills are certified in accordance with chain-of-custody (FSC® and/or PEFC™), quality management (ISO 9001), energy management (ISO 50001), environmental management (ISO 14001), and health and safety (OHSAS 18001).

## Sustainability at Stora Enso

For Stora Enso, sustainability means realising concrete actions that will help us fulfil our Purpose, which is to 'Do good for the people and the planet, and to create shared value. Our values, Lead and Do what's right, guide our sustainability agenda. Our values are about setting high ethical standards in all of the work we do. As a global company we consistently act in accordance with our values, policies and guidelines everywhere we operate.

We comply with and when necessary go beyond the requirements of national legislation and regulations. We also expect our business partners and suppliers to comply with Stora Enso's policies and guidelines on Sustainability and Business Ethics. Social, environmental, and economic sustainability form the triple bottom line. Sustainability at Stora Enso is about maximising positive impacts on humans, the planet, and the economy, and minimising negative ones.

## Product

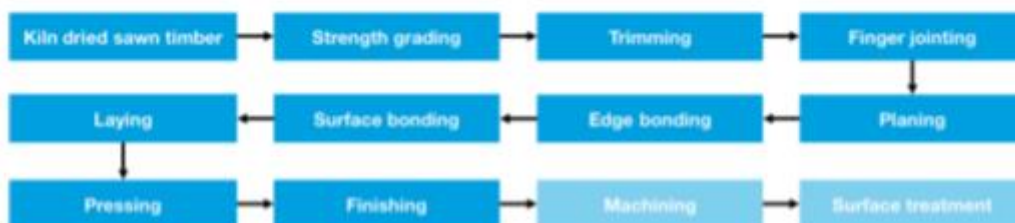
Cross Laminated Timber by Stora Enso is a solid wood construction product consisting of bonded single-layer panels arranged at right angles (90°) to each other. It can measure up to 2.95 m × 16.00 m. CLT solid wood panels are made up of several layers (3, 5, 7, or 8 layers) and are available in different panel thicknesses (maximum thickness 0.4 m). The layers are bonded using formaldehyde-free adhesives. Panels of CLT are used for the construction of houses and apartment buildings, as well as for industrial and commercial buildings. Panels can be used in wall, ceiling and roof constructions.

### Technical information

- Wood species: spruce (*Picea abies*), pine (*Pinus sylvestris*)
- Wood moisture: 12% ± 2%
- Glue/adhesive: polyurethane adhesive (PUR), emulsion-polymer-isocyanate adhesive (EPI)
- Composition: wood (99%), resin (1%)
- Visual quality: non-visible, industrial visible and visible quality; the surface are sanded on both faces
- Weight: approx. 470 kg/m<sup>3</sup>
- Water vapour transmission resistance: 20–60 μ (EN 12524)
- Thermal conductivity λ: 0.11 W/(mK) (EN 12524)
- Specific heat capacity c<sub>p</sub>: 1.600 J/(kgK) (EN 12524)
- Usage classes: 1 and 2 (EN 1995-1-1)
- Strength class: C24 (EN 338)

### Production steps

Cross Laminated Timber is produced from the sawn timber by gluing lamellas together. Lamellas are trimmed and finger jointed before production. Product is finalised and customised after pressing on demand.



## Environmental performance

The Cross Laminated Timber EPD includes information on the use of resources, potential environmental impacts, and waste production. The declared unit is one cubic meter of CLT. The results per declared unit are presented by life cycle modules (A1–A3, C1–C4 and D). Energy values (MJ) are presented in results as net calorific values.

### ENVIRONMENTAL IMPACTS

Parameters describing environmental impacts		Global warming potential	Depletion potential of stratospheric ozone layer	Acidification potential of soil and water	Eutrophication potential	Formation potential of tropospheric ozone	Abiotic depletion potential (elements)	Abiotic depletion potential (fossil)
		GWP	ODP	AP	EP	FOCP	ADPE	ADPF
		kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CFC 11-eq	kg SO <sub>2</sub> -eq	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	kg Ethene-eq	kg Sb-eq	MJ
<b>Product stage</b>	A1–A3	-671 *	8.14E-06	0.240	0.347	6.82E-03	3.70E-05	959
<b>Reuse 100%</b>								
De-construction	C1	0.551	5.86E-07	5.30E-03	8.27E-04	1.36E-04	2.49E-07	44.89
Transport	C2	2.37	0	7.41E-03	1.92E-03	3.59E-05	0	3.34E+01
Waste processing	C3	731	4.74E-08	8.46E-04	5.54E-03	2.73E-05	9.28E-08	5.91
Disposal	C4	0	0	0	0	0	0	0
Re-use potential	D	-787.8	-7.51E-06	-0.227	-0.339	-6.62E-03	-3.67E-05	-875
<b>Recycling 100%</b>								
De-construction	C1	0.551	5.86E-07	5.30E-03	8.27E-04	1.36E-04	2.49E-07	44.9
Transport	C2	2.37	0	7.41E-03	1.92E-03	3.59E-05	0	33.4
Waste processing	C3	735	4.54E-07	3.32E-02	1.60E-02	3.71E-04	5.63E-06	59.2
Disposal	C4	0	0	0	0	0	0	0
Recycling potential	D	-744	-4.63E-06	-5.53E-02	-8.05E-02	-4.20E-03	-3.79E-07	-150
<b>Incineration 100%</b>								
De-construction	C1	0.551	5.86E-07	5.30E-03	8.27E-04	1.36E-04	2.49E-07	44.9
Transport	C2	2.37	0	7.41E-03	1.92E-03	3.59E-05	0	33.4
Waste processing	C3	735	4.54E-07	3.32E-02	1.60E-02	3.71E-04	5.63E-06	59.2
Disposal	C4	16.3	3.95E-06	1.12	0.459	6.57E-02	7.11E-05	130
Recovery potential	D	-413	-6.07E-05	0.597	0.344	4.24E-02	4.08E-05	-7444

\* A1–A3 GWP: emissions from the production stage 60 kg CO<sub>2</sub>-eq and biogenic carbon storage in wood -731 kg CO<sub>2</sub>-eq

**ADDITIONAL INFORMATION**

Unit Parameter	Unit	Result
<b>Product stage</b>		
Origin of wood	Countries	Austria, Czech Republic, Germany, Hungary, Poland, Slovakia, Slovenia
Stored biogenic carbon in wood (EN 16449)	kg CO <sub>2</sub>	-731
Net calorific value of wood (MC 12%)	MJ/kg	15.9
<b>Construction stage; A4 Transportation to the some countries *</b>		
Transport to Austria	km	171
	kg CO <sub>2</sub> -eq	3.21
Transport to Finland	km	1913
	kg CO <sub>2</sub> -eq	35.96
Transport to France	km	1189
	kg CO <sub>2</sub> -eq	22.35
Transport to Germany	km	350
	kg CO <sub>2</sub> -eq	13.59
Transport to UK	km	1431
	kg CO <sub>2</sub> -eq	26.90
Transport to Sweden	km	1890
	kg CO <sub>2</sub> -eq	33.86
<b>Construction stage; A5 Installation</b>		
Normally installation is done with a crane to lift up the CLT elements. CLT elements are fixed with screws, commonly also steel connectors and support structures are needed. Cellular rubber band is needed for sealing and vibration insulation.		

\* 1 m<sup>3</sup> of CLT delivered to an average European customer which is assumed to be in different locations.



Stora Enso practises and promotes economically, socially, and environmentally sustainable forest management. The two most significant forest certification systems recognised by Stora Enso are run by the Forest Stewardship Council (FSC®) and the Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC™).



Trees grow by absorbing carbon dioxide, and remove carbon from the atmosphere. They help to reverse the greenhouse effect. Net carbon sequestration in the forest for the average of all wood production in Europe amounts to -730 kg of biogenic carbon per 1 cubic metre of wood.



Wood is recyclable and is a good resource for new fibre based products or energy generation to substitute fossil energy. Collection schemes and actual recycling rates depend on national waste legislation, consumer behaviour, point of consumption, local collection system and infrastructure.

Vedlegg 14: EPD B35

08/1 2019



## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

In accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Dyrøy Betong Ålesund as
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	NEPD-1746-719-NO
Publiseringsnummer:	NEPD-1746-719-NO
ECO Platform registreringsnummer:	-
Godkjent dato:	08.04.2019
Gyldig til:	08.04.2024

B 35 M 45 22mm

Dyrøy Betong Ålesund as



[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)





## Generell informasjon

### Produkt:

B 35 M 45 22mm

### Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Phone: +47 977 22 020  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

Deklarasjonsnummer: NEPD-1746-719-NO

### ECO Plattform registreringsnummer:

### Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR

### Erklæringen om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

### Deklarert enhet:

1 m3 B 35 M 45 22mm

### Deklarert enhet med opsjon:

A1,A2,A3,A4

### Funksjonell enhet:

### Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign

Seniorforsker Anne Rønning

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

### Eier av deklarasjonen:

Dyrøy Betong Ålesund as  
Kontaktperson: Ronny Breiteig  
Telefon: 41 41 61 70  
e-post: [ronny@dyroybetong.no](mailto:ronny@dyroybetong.no)

### Produsent:

Dyrøy Betong Ålesund as

### Produksjonssted:

Dyrøy Betong Ålesund as  
Postboks 7812 Spjelkavik 6022 Ålesund  
Telf: 70179020 Mail:[dyroy@dyroybetong.no](mailto:dyroy@dyroybetong.no)  
Web:[www.dyroybetong.no](http://www.dyroybetong.no)

### Kvalitet/Miljøsystem:

Dyrøy Betongs kvalitets og miljøsystem er bygget opp i henhold til NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017. Samt intern kontrollforskriften

### Org. no.:

998 082 803

### Godkjent dato:

08.04.2019

### Gyldig til:

08.04.2024

### Årattall for studien:

2019

### Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningekontekst.

### Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av eEPD v3.0 fra LCA.no  
Godkjenning:  
Bedrifts spesifikke data er

Samlet og registrert av: Ronny Breiteig

Kontrollert av: Frode M. Døving

### Godkjent:

Sign

Håkon Hauan  
Daglig leder av EPD-Norge



### LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

#### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (lf)
Bil	53,0 %	Concrete truck, EURO 6	20	0,020216	lfkm	0,40
Jernbane					lfkm	
Båt					lfkm	
Annet					lfkm	





## LCA: Resultater

### Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklartert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage				Construction installation stage	User stage								End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterier	Transport	Thinking	Transport	Konstruksjon/ installasjonfase	Brak	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Ardbeihandling	Avfall til returbehandling	Gjenbruk/ gjenvinning/ resirkulering/ postmateriale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	

### Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	2,28E+02	1,38E+01	2,14E+00	4,03E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,83E-06	2,22E-06	3,67E-07	7,62E-07
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	3,45E-02	2,36E-03	4,40E-04	7,15E-04
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	6,29E-01	1,01E-01	1,56E-02	1,42E-02
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	7,11E-02	2,18E-02	3,34E-03	2,95E-03
ADPM	kg Sb -eq	1,02E-04	6,92E-06	3,25E-06	8,91E-06
ADPE	MJ	1,29E+03	1,83E+02	3,00E+01	6,16E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Laseeksempel 9,0 E-03 = 9,0\*10<sup>-3</sup> = 0,009

\*INA Indicator Not Assessed

Vedlegg 15: EPD B30

www.epd.no

## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

In accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Dyrøy Betong Ålesund as
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklasjonsnummer:	Ref EPD Norge nr NEPD-1746-716
Publiseringsnummer:	Ikke tildeelt
ECO Platform registreringsnummer:	Ikke tildeelt
Godkjent dato:	03.04.2019
Gyldig til:	03.04.2024

### B 30 M 60 22mm 301001 KOLVIKKBAKKEN

Dyrøy Betong Ålesund as

**DYRØY**  
BETONG

[www.epd.no/2023/2/](http://www.epd.no/2023/2/)





## Generell informasjon

### Produkt:

B 30 M 60 22mm 301001 KOLVIKKBAKKEN

### Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Pb. 5250 Majstuen, 0303 Oslo  
Phone: +47 23 08 80 00  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

### Deklarasjonsnummer:

Ref EPD Norge nr NEPD-1746-716

### ECO Plattform registreringsnummer:

### Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som tjeme-PCR  
PCR for Precast Concrete Products, NPCR PART A, NPCR 020.2016  
PART B.

### Erklæring om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

### Deklært enhet:

1 m3 B 30 M 60 22mm 301001 KOLVIKKBAKKEN

### Deklært enhet med opsjon:

A1,A2,A3,A4

### Funksjonell enhet:

### Eier av deklarasjonen:

Dyroy Betong Ålesund as  
Kontaktperson: Ronny Breiteig  
Telefon: 41 41 61 70  
e-post: [ronny@dyroybetong.no](mailto:ronny@dyroybetong.no)

### Produsent:

Dyroy Betong Ålesund as

### Produksjonssted:

Dyroy Betong Ålesund as  
Postboks 7812 Spjelkavik 6022 Ålesund  
Telf: 70179020 Mail: [dyroy@dyroybetong.no](mailto:dyroy@dyroybetong.no)  
Web: [www.dyroybetong.no](http://www.dyroybetong.no)

### Kvalitet/Miljøsystem:

Dyroy Betong's kvalitets og miljøsystem er bygget opp i henhold til NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017. Samt intern kontrollsystemet

### Org. no.:

998 052 803

### Godkjent dato:

03.04.2019

### Gyldig til:

03.04.2024

### Årstall for studien:

### Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

### Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av eEPD v3.0 fra LCA.no  
Godkjenning:  
Bedriftspesifikke data er

Samiel og registrert av: Ronny Breiteig

Kontrollert av:

### Godkjent:

### Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign

Seniorfonker Anne Renning

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

Sign

(Daglig leder av EPD-Norge)



### LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

#### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distansen km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (t)
Bil	53,0 %	Concrete truck, EURO 6	10	0,020216	l/tkm	0,20
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Byggefase A5			Monterte produkter i bruk (B1)			
	Enhet	Verdi		Unit	Value	
Hjelpematerialer	kg					
Vannforbruk	m <sup>3</sup>					
Elektrisitetsforbruk	kWh					
Andre energikilder	MJ					
Materialer	kg					
Materialer til behandling	kg					
Støv i luften	kg					
VOC utslipp	kg					
Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B2)			Utskifting (B4)/Renovering (B5)			
	Enhet	Verdi		Enhet	Verdi	
Vedlikeholdsfrekvens*	-		Utskiftingsfrekvens*	sk		
Hjelpematerialer	kg		Elektrisitetsforbruk	kWh		
Andre ressurser			Utskifting av slitte deler	0		
Vannforbruk			* Tall eller referanselevetid			
Elektrisitetsforbruk	kWh					
Andre energikilder	MJ					
Materialer	kg					
VOC utslipp	kg					
Driftsenergi (B6) og vannbruk (B7)			Slutfase (C)			
	Enhet	Verdi		Enhet	Verdi	
Vannforbruk	m <sup>3</sup>		Farlig avfall	kg		
Elektrisitetsforbruk	kWh		Blandet avfall	kg		
Andre energikilder	MJ		Gjenbruk	kg		
Utstyrets varmeeffekt	W		Resirkulering	kg		
			Energigjenvinning			
			Til deponi			
Transport avfallsbehandling (C2)						
Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distansen km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (t)
Bil					l/tkm	
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Scenarier etter A1-A4 er ikke inkludert



**LCA: Resultater**

**Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklartert, MNR=modul ikke relevant)**

Product stage				Construction Installation stage	User stage										End of life stage			Beyond the system boundaries
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D		
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND		

**Miljøpåvirkning (Environmental impact)**

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	2,11E+02	1,33E+01	2,14E+00	2,02E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,80E-06	2,13E-06	3,67E-07	3,81E-07
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	3,24E-02	2,33E-03	4,40E-04	3,57E-04
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	5,92E-01	9,72E-02	1,56E-02	7,10E-03
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	6,78E-02	2,07E-02	3,34E-03	1,48E-03
ADPM	kg Sb -eq	1,00E-04	6,70E-06	3,25E-06	4,45E-06
ADPE	MJ	1,21E+03	1,77E+02	3,00E+01	3,08E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0\*10<sup>-3</sup> = 0,009

\*INA Indicator Not Assesed

Vedlegg 16: GWP for armeringsstål, Utklipp fra e-post

Environmental impact									
Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D	
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eqv	3,87E-01	3,55E-03	6,09E-04	7,30E-03	0,00E+00	1,28E-03	-8,36E-01	

Vedlegg 16: EPD Stål

Rev. 1/2019



## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Ågare av deklarasjonen:	Contiga AB
Program operatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgivere:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjons nummer:	NEPD-1928-851-SE
Publiserings nummer:	NEPD-1928-851-SE
ECO Platform registreringsnummer:	-
Godkänd datum:	15.11.2019
Giltig till:	15.11.2024

### Prefabricerade stålkonstruksjoner

Contiga AB

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)





## Generell informasjon

### Produkt:

Prefabrierte stålkonstruksjoner

### Program operatør:

Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Tlf: +47 97722020  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

### Deklarasjonsnummer:

NEPD-1928-851-SE

### ECO Platform registreringsnummer:

### Deklarasjonen baseres på PCR:

CEN/EN 15904:2012+A1:2013  
NPCR, 2017 Part A Construction Products and Services Part B for Steel and Aluminium construction products, NPCR 013 version 3.0, 2019

### Utlåtande om ansvar:

Agaren till EPDn ansvarar for miljøbedømmingen. Foretag som deklarerer sin produkt ansvarar for att tekniska spesifikasjonen føljs.

### Deklarerad enhet med tilval:

1 ton stålkonstruksjon


### Funktionell enhet:

### Verifikasjon:

Oberoende verifikasjon av deklarasjonen og data, i enlighet med ISO 14025:2010

intern  extern

### Tredjepartsverifikator:

  
Martin Erlandsson, IVL Svenska Miljöinstituttet  
(Oberoende verifikator godkänd av EPD Norge)

### Agare av deklarasjonen:

Contiga AB  
Kontaktperson: Elin Fröberg  
Tel.: 010-471 40 05  
e-post: [elin.froberg@contiga.se](mailto:elin.froberg@contiga.se)

### Tillverkare:

Contiga AB

### Produksjonsort:

Norrälje, Sverige

### Kvalitet-/Miljøledningssystem:

ISO9001 och ISO14001

### Org. no.:

556270-5979

### Godkänd datum:

15.11.2019

### Giltig till:

15.11.2024

### Årtal for studien:

2019

### Jämförbarhet:

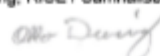
För att jämföra miljøprestandan i EPD:er for olika konstruksjonsdelar krävs att modulerna A-C är deklarerade for en specifik byggdel. Denna EPD kan vara ett en del av ett underlag for jämförelse om det finns kompletterande data i modul A-C på alla byggdelar som krävs for att uppfylla en byggnadsfysiska funktion som är preciserad till samma funktionella enhet i byggnaden tex 1 meter balk med böjmotstånd x och brandklass y och livslängdsklass z.

### Tillverkningsdata har inventerats av:

Elin Fröberg, Contiga AB

LCA-beräkningar har kontrollerats av:  
Otto During, RISE / Samhällsbyggnad / CBI





Godkänd



Håkon Hauan  
Verkställande direktör EPD-Norge





**Datakvalitet:**

Specificke data har anvænt for k pt st l som st r for mer  n 90% av den redovisade milj belastningen. Plattst l fr n SSAB st r for 60% av ink pt st l og baseras p  EPD, Hot-Rolled steel plates, sheets and coils, SSAB 2014. St lprofiler st r for 40% av k pt st let og baseras p  EPD, Structural hollow sections, TATA STEEL, 2017 Tillverket i Port Talbot i England. Lastbiltransporter av st l inkluderer tom  tertransport og  r ber knaede med NTM calc 3.0, 2014. Ovriga lasbiltransporter  r tagna fr n ecoinvent og ber knaede med 70% fyllnadsgrad. Materialanv ndning, energiforbrukning og avfallsgenerering  r ber knaed som ett medelv rde fr n  ren 2016 og 2017 i Contigas fabrikk i Norrt lje. Milj p virkningen fr n sveitsning  r tagen fr n Ecoinvent 3.1, 2019. Transportstr kka i A4  r vald for ett specifikk projekt 90 km fr n fabriken. Energianv ndning vid montering og demontering i A5  r ber knaet fr n kranarbeite att lyfte st lelement.

**Allokering:**

Allokeringen p  produktionsanl gningen baseras p   rlige milj belastninger som delats med den totala produksjonen av st lprodukter. LCA-data som anv nds baseras p  EPDer som f lger EN15804 eller databasdata fr n ecoinvent v3.1.

**Cut-off kriterier:**

Alla r material og all energi som  r identifisert i inventeringen  r medtagen i studien.

**LCA: Scenarier og annan teknisk informasjon**

F ljende informasjon beskriver scenarier i livscykeln

**Transport fr n tilberedningen til byggeplassen (A4)**

Type	Fyllnadsgrad	V�gttype	Avst�nd km	br�nsleforbrukning	V�rde
33 ton Lastbil	70% + tom retur		90(enkel tur)	liter/ton, km	0.026

**Bygg- og installasjonsprosessen (A5)**

	Enhet	V�rde
El for kraner og arbeidsmaskiner	kWh	1
Diesel for kraner og arbeidsmaskiner	kWh	1

Energianv ndning vid montering  r ber knaet fr n branchdata for kranarbeite att lyfte i byggelement i ett flerv ningshus.

**Slutskede (C1, C3, C4)**

	Enhet	v�rde
Kraner og arbeidsmaskiner	kWh	12

Energianv ndning vid rivning og bearbeiting av betongen  r ett generellt v rde som anv nds i EPD-verktøyet for kranarbeite (Erlandsson & Petersson 2015).

**Transport til avfallsbehandling (C2)**

Type	Fyllnadsgrad	Material	Avst�nd km	br�nsleforbrukning	V�rde
40 ton Lastbil	100% + tom retur	st�l	35	liter/ton, km	0.021



## LCA: Resultat

Føljende informasjon beskriver de ulike modulerna i EPD:n.

Systemgrenser (X = ingår, MID = ingår inte, MIR = inte relevant)

Produktskedet		Byggprosesskedet		Anvendingskedet								Slutskedet				Utanfor systemgrensena
Råvareforberedning	Transport	Tilberedning	Transport	konstruksjons- og installasjonsprosessen	Anvendingskedet	Underhøll	Reparasjon	Utbyte	Renovering	Driftsenergi	Driftens vattenanvendning	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfallshandling	Potensial for återanvändning och/eller återvinning uttryckt som nettopåverkan och miljönytta
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	MID

## Miljøpåverkan

	enhet	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	A1-A3
GWP	kg CO <sub>2</sub> -e	2399	29.9	62.6	7.26	0.358	0.6320104	1.94	1	0	2492
ODP	kg CFC11-e	8.56E-06	4.7E-06	2.587E-05	5.6E-07	9.91E-08	1.188E-07	1.50E-07	1.2E-07	0	3.9E-05
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -e	0.576	0.01718	0.0122	0.00041	6.74E-05	0.0010794	1.08E-04	1.2E-04	0	0.606
AP	kg SO <sub>2</sub> -e	5.08	0.613	0.338	0.0298	3.29E-03	0.0001166	7.80E-03	0.006	0	6.03
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>-e</sup>	0.572	0.0591	0.0523	0.00531	5.40E-04	0.006228	1.39E-03	0.001	0	0.684
ADPM	kg Sb-e	7.41E-03	3.9E-06	4.816E-05	3.9E-08	2.42E-08	1.908E-09	1.04E-08	1.9E-09	0	0.0075
ADPE	MJ	10255	119	204	116	0.313	0	31.0	0	0	10577

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

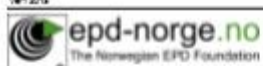
## Ressursanvendning

	enhet	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	A1-A3
RPEE	MJ	570	0.683	1538	0.669	3.30	0.0186	0.179	0.019	0	2109
RPEM	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TPE	MJ	570	0.683	1538	0.669	3.30	0.0186	0.179	0.019	0	2109
NRPE	MJ	17732	357	3125	116	10.2	9.82	31.0	9.8	0	21214
NRPM	MJ	6849	0	0	0	0	0	0	0	0	6849
TRPE	MJ	24575	357	3125	116	10.2	9.82	31.0	9.8	0	28057
SM	kg	31.1	0	0	0	0	0	0	0	0	31.1
RSF	MJ	0.009969	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00997
NRSF	MJ	0.0962	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0962
W	m <sup>3</sup>	12.6	0	0	0	0	0	0	0	0	12.6

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Vedlegg 17: EPD Hulldekke

14.01.2016



## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

In accordance with ISO 14025 ISO 21930 EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Spenncon AS
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjon nummer:	NEPD-14-317-NO
Godkjent dato:	24.05.2016
Gyldig til:	24.05.2021

### HULLDEKKEELEMENT TYPE HD 265 B45 M45.



Spenncon AS

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)





## Generell informasjon

<b>Produkt:</b> HULLDEKKEELEMENT TYPE HD 265 B45 M45.	<b>Eier av deklarasjonen:</b> Spenncon AS Kontaktperson: Bård H. Johansen Telefon: +47 67 57 39 00 e-post: <a href="mailto:post@spenncon.no">post@spenncon.no</a>
<b>Programoperatør:</b> Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Phone: +47 23 08 82 92 e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a>	<b>Produsent:</b> Spenncon AS
<b>Deklarasjon nummer:</b> NEPD-14-317-NO	<b>Produksjonssted:</b> Spenncon AS Hanefos
<b>ECO Platform registreringsnummer:</b>	<b>Kvalitet/Miljøsystem:</b> Sertifisert iht kvalitetsstyringsystem NS-EN ISO 9001 og miljøstyringsystem NS-EN ISO 14001
<b>Deklarasjonen er basert på PCR:</b> EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR PCR for Precast Concrete Products, NPCR 10.2011	<b>Org. no.:</b> No 844 558 052
<b>Erklæringen om ansvar:</b> Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.	<b>Godkjent dato:</b> 24.05.2016
<b>Deklarert enhet:</b> 1 tonne HULLDEKKEELEMENT TYPE HD 265 B45 M45.	<b>Gyldig til:</b> 24.05.2021
<b>Deklarert enhet med opsjon:</b>	<b>Åretall for studien:</b> 2015
<b>Funksjonell enhet:</b>	<b>Sammenlignbarhet:</b> EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.
<b>Verifikasjon:</b> Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4	<b>Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:</b> Deklarasjonen er utviklet ved bruk av EPDGen-Version 1.1 Godkjenning: Bedriftsspesifikke data er  Samlet og registrert av: Stelmar Raine Kontrollert av: Morten Karisrud
<b>Ekstern</b> Tredjeparts verifikator: Sign  Seniorforsker Anne Rønning (Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)	<b>Godkjent:</b>  Håkon Hauan Daglig leder av EPD-Norge

### LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPD-en.

#### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	50 %	Truck 28 tonn	50	0,020559	l/tkm	1,03
Jernbane	-	-	-	-	-	-
Båt	-	-	-	-	-	-
Annet	-	-	-	-	-	-

#### Byggefase A5

.	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	0
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0
Materialer fra avfallsbehandling	kg	0
Støv i luften	kg	0

#### Monterte produkter i bruk (B1)

.	Enhet	Verdi
ingen påvirkning	0	0

#### Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	-	0
Hjelpematerialer	kg	0
Andre ressurser	kg	0
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0

#### Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens*	stk	0
Elektrisitetforbruk	kWh	0
Utskifting av slitte deler	0	0

\* Tall eller referanselevetid

#### Drifte energi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Utstyrets varmeeffekt	kW	0

#### Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	0
Blandet avfall	kg	0
Gjenbruk	kg	0
Resirkulering	kg	0
Energigjenvinning	kg	0
Til deponi	kg	0

#### Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	0 %	-	0	0	l/tkm	0
Jernbane	-	-	-	-	-	-
Båt	-	-	-	-	-	-
Annet	-	-	-	-	-	-

From EPD

#### Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

From EPD

**LCA: Resultater**

**Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklartert, MNR=modul ikke relevant)**

Product stage				Construction installation stage	User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Raw material	Transport	Manufacturing	Transport	Construction installation stage	Use	Maintenance	Repair	Upgrading	Renovation	Operational energy use	Operational water use	Dismantling	Transport	Waste treatment	Final disposal	Operational energy use - potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR

**Miljøpåvirkning (Environmental impact)**

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	1,06E+002	3,24E+000	5,39E+000	8,50E+000			
ODP	kg CFC11-eq	1,00E-006	0,00E+000	1,54E-006	0,00E+000			
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	1,47E-001	1,58E-002	2,71E-002	4,54E-002			
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	1,63E-001	3,44E-003	1,25E-002	1,01E-002			
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	1,63E-002	5,91E-004	1,26E-003	1,60E-003			
ADPM	kg Sb-eq	7,60E-005	0,00E+000	8,27E-005	0,00E+000			
ADPE	MJ	6,20E+002	4,88E+001	6,57E+001	1,31E+002			

GWP Globalt oppvarmingspotensial; ODP Potensial for nedbrytning av stratosfærisk ozon; POCP Potensial for fotokjemisk oksidantdannning; AP Forurensningspotensial for kilder på land og vann; EP Overgjødslingspotensial; ADPM Abiotisk uttømmingspotensial for Ikke-fossile ressurser; ADPE Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser

Vedlegg 18: Mengder armering brukt i bæresystemet

Hei

Her er stålmengdene ved Kolvikbakken ungdomsskole

DS Nor har beregnet litt med til platerpigger, stivere etc, til sammen 129,434 tonn.

Når det gjelder armeringsjern:

Fundamenter:	21,9 tonn
Vegger:	58,2 tonn
Dekker/gulv	42,6 tonn
Annet, trapper/div	10,6 tonn
Sum	133,3 tonn

Betong ca 1966m<sup>2</sup> inkl utomhus. Inkl ca 150m<sup>3</sup> innervegger i garderobe

Med vennlig hilsen

Åsen & Øvrelid Nordvest

Tor Laxaa

Mobil +47 90121365

E-post [tor.laxaa@aasen-ovrelid.no](mailto:tor.laxaa@aasen-ovrelid.no)



Vedlegg 19: Mengder Stål brukt i bæresystemet

**KOLVIKBAKKEN UNGDOMSSKOLE**

Foreløpig masseberegning, stålkonstruksjoner

Prosj.nr: 5199501

Sign: TerOed

STÅLBJELKER					
Navn	Beskrivelse	Lengde	Antall	Volum	Vekt
NO_S-Frame_Steel_HEA: HEA120	HEA120	147 m	6	0,354 m <sup>3</sup>	2 775 kg
NO_S-Frame_Steel_HEA: HEA200	HEA200	563 m	42	2,874 m <sup>3</sup>	22 553 kg
NO_S-Frame_Steel_HEA: HEA220	HEA220	22 m	2	0,133 m <sup>3</sup>	1 042 kg
NO_S-Frame_Steel_HEB: HEB260	HEB260	20 m	2	0,228 m <sup>3</sup>	1 786 kg
NO_S-Frame_Steel_IPE: IPE220	IPE220	250 m	14	0,804 m <sup>3</sup>	6 307 kg
NO_S-Frame_Steel_IPE: IPE300	IPE300	253 m	12	1,315 m <sup>3</sup>	10 320 kg
NO_S-Frame_Steel_IPE: IPE330	IPE330	71 m	6	0,426 m <sup>3</sup>	3 344 kg
NO_S-Frame_Steel_RHS (EN 10210-2_Hot finished): HF-RHS80x8	HF-RHS80x8	495 m	172	1,121 m <sup>3</sup>	8 794 kg
NO_S-Frame_Steel_RHS (EN 10210-2_Hot finished): HF-RHS100x8	HF-RHS100x8	28 m	24	0,078 m <sup>3</sup>	612 kg
NO_S-Frame_Steel_RHS (EN 10219-2_Cold formed welded): CF-RHS150x100x8	CF-RHS150x100x8	125 m	8	0,466 m <sup>3</sup>	3 660 kg
THP Beams: THP200x10-150x15-500x15	THP200x10-150x15-500x15	76 m	4	1,051 m <sup>3</sup>	8 247 kg
THP Beams: THP250x10-180x25-460x25	THP250x10-180x25-460x25	101 m	4	2,131 m <sup>3</sup>	16 727 kg
THP Beams: THP250x25-300x40-600x30	THP250x25-300x40-600x30	15 m	2	0,653 m <sup>3</sup>	5 128 kg
<b>TOTALT</b>		<b>2 167 m</b>	<b>298</b>	<b>11,633 m<sup>3</sup></b>	<b>91 295 kg</b>

STÅLSØYLER					
Navn	Beskrivelse	Lengde	Antall	Volum	Vekt
NO_S-Column_Steel_HEA: HEA200	HEA200	182 m	19	0,930 m <sup>3</sup>	7 299 kg
NO_S-Column_Steel_RHS (EN 10219-2_Cold formed welded): CF-RHS100x6	CF-RHS 100x6	149 m	44	0,337 m <sup>3</sup>	2 647 kg
NO_S-Column_Steel_RHS (EN 10219-2_Cold formed welded): CF-RHS100x8	CF-RHS 100x8	78 m	20	0,229 m <sup>3</sup>	1 799 kg
NO_S-Column_Steel_RHS (EN 10219-2_Cold formed welded): CF-RHS150x8	CF-RHS 150x8	385 m	74	1,749 m <sup>3</sup>	13 723 kg
NO_S-Column_Steel_RHS (EN 10219-2_Cold formed welded): CF-RHS150x12.5	CF-RHS 150x12,5	91 m	22	0,628 m <sup>3</sup>	4 928 kg
<b>TOTALT</b>		<b>926 m</b>	<b>245</b>	<b>6,081 m<sup>3</sup></b>	<b>30 396 kg</b>

Vedlegg 20: Transport av CLT

# Transport

## Liggende lasting

En standard semitrailer kan belastes med maksimalt 25 t ved liggende lasting. Den maksimale lastelengden er 13,60 m og den maksimale lastebredden er 2,95 m. Hvis platetykkelsen tillater det, er det også mulig å frakte maksimalt 15,00 m lange CLT-plater med en standard semitrailer. Ved beregning av lastevektene kan det tas utgangspunkt i en tetthet på 400 kg/m<sup>3</sup>. Vanligvis kan det gås ut fra et lastevolum

på ca. 50 m<sup>3</sup>. For en standard semitrailer kan det gås ut fra en maksimal lastehøyde på 2,60 m.

Hvis det trengs spesialutstyr, utarbeider vi gjerne et tilbud på det. Vær oppmerksom på følgende endringer med tanke på maksimal lastelengde-, bredde og -vekt.

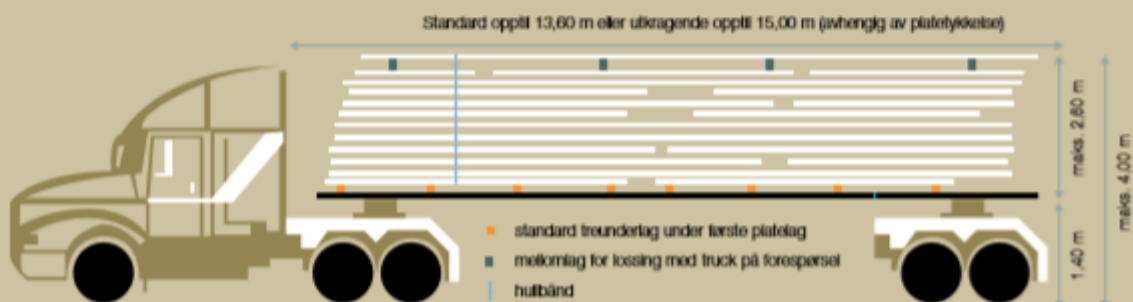
Standardutstyr	Maks. belastning	Maks. lastelengde	Maks. lastebredde
Standard semitrailer	25 t	15,00 m	2,95 m

Spesialutstyr	Maks. belastning	Maks. lastelengde	Maks. lastebredde
Uttrekbar semitrailer	24 t	16,00 m	2,95 m
Styrt bakaksel	20 t	15,00 m	2,95 m
Allhjuldrift og styrt bakaksel	på forespørsel	på forespørsel	

Vi pakker elementene i en folie (elementer av synlig kvalitet får en UV-beskyttende folie) og dekker dem til med en lastebilpresenning. Dette er nødvendig for at platene skal beskyttes mot ytre påvirkning. Elementene beskyttes også med kanibeskyttelse av papp mellom festestroppene og platene.

Vi legger som standard åtte treunderlag (105 x 105 mm eller 95 x 95 mm) under det første platelaget. Treunderlagene er utstyrt med antisklitter. Men de påfølgende lagene legges rett oppå hverandre.

Hvis det trengs mellomlag for lossing med kran eller truck, må dette angis ved bestilling (inkl. skisse). Transportøren tar underlag og mellomlag i retur. Hvis du vil fortsette å bruke underlagene, fakturerer vi dem.





Vedlegg 21. Sertifisering av Lett-tak



SINTEF Certification

Nr. 2215

Utstedt første gang: 27.03.2000

Revidert siste gang: 28.02.2017

Gyldig til: 01.03.2022

Forutsatt publisert på [www.sintefcertification.no](http://www.sintefcertification.no)



SINTEF Byggforsk bekrefter at

**Lett-Tak takelementer**

er vurdert å være egnet i bruk og tilfredsstillende krav til produkt dokumentasjon i henhold til Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK) og Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10), for de egenskaper, bruksområder og betingelser for bruk som er angitt i dette dokumentet

**1. Innehaver av godkjenningen**

Lett-Tak Systemer AS  
Hegdalseveien 139  
3261 Larvik  
[www.lett-tak.no](http://www.lett-tak.no)

**2. Produktbeskrivelse**

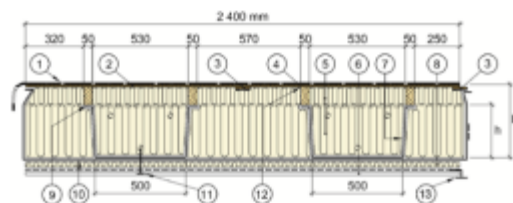
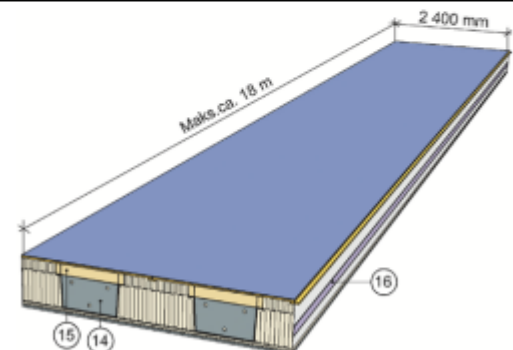
Lett-Tak er bærende takelementer basert på to parallelle, U-formede tynnplatekassetter av varmforsinket stål som hovedbæresystem, se fig. 1. Stålkassetene er festet sammen med treflensler og taktroplater av kryssfinér ved spikring eller ved spikerliming til et statisk samvirke-tverrsnitt. Elementene er fylt med mineralullisolasjon, og har dampspærre på plastfolie på undersiden. Elementene leveres med takbelegg eller takmembran som tekning.

Elementene leveres med eller uten ulike typer korrugerte himlingsplater av stål montert på fabrikk. Elementene leveres også med bord av tre på undersiden for feste av himling på byggeplass. Der det kreves ekstra brannmotstand og/eller lydabsorpsjon leveres også elementene med tilleggsisolering av steinull på undersiden, se pkt. 4.2.

Standard elementbredde er 2,4 m. Lengden tilpasses det enkelte bygg, og kan ha spennvidde opp til ca. 18,0 m. Elementbetegnelser, vekt og elementtykkelse for standard elementkonstruksjoner er vist i tabell 2. Elementtykkelsen bestemmes av krav til bæreevne og spennvidde samt krav til varmeisolasjonstykkelse.

Elementkonstruksjonen er nærmere beskrevet i "Standard konstruksjonsdetaljer for Lett-Tak takelementer tilhørende SINTEF Teknisk Godkjenning 2215". Den versjonen som til enhver tid er arkivert hos SINTEF Byggforsk utgjør en formell del av godkjenningen.

Materialspesifikasjoner for delkomponentene er vist i tabell 1. Elementene kan også utføres med andre typer trebaserte konstruksjonsplater som taktro, forutsatt at det utføres fullstendige beregninger for bæreevnen til elementer med slike plater.



1	Taktekning	9	Spikret eller spikerlimt forbindelse mellom stål og tre
2	Kryssfinér, 15 – 19 mm	10	Dampspærre
3	Kryssfinérlåsk, 15 mm	11	Himlingskrue
4	Treflens, 48 x 71/96/121 mm	12	Lamfluge
5	Steinull eller glassull	13	T-liste av stål
6	Himlingsplater, eventuelt lister for mineralulloppheng	14	Gavplate av stål
7	Bærende stålkassett	15	Treforslerkning over gavplate
8	Steinull over himling	16	To-sidig tape

Fig. 1  
Prinsipiell oppbygning av Lett-Tak takelementer. Mål i mm.

**3. Bruksområder**

Lett-Tak takelementer kan brukes i bygninger med brannklasse 1 – 3. Takene kan være flate eller skrå, og normalt forutsettes det innvendig taknedløp. Skrå tak med utvendig nedløp forutsetter oppført, luftet taktekning.

Elementene kan brukes over rom med normalt, tørt inn klima. Elementene skal ikke brukes over rom med spesielt høyt fuktinnhold i luften (som f.eks. i svømme-haller), eller i bygninger med mekanisk overtrykks-ventilasjon, uten at det gjøres supplerende tiltak i det enkelte byggeprosjekt for sikring mot fuktskader.

SINTEF Byggforsk er norsk medlem i European Organisation for Technical Assessment, EOTA, og European Union of Agrément, UEAtc

Kontaktperson, SINTEF Byggforsk: Jon Lundesgaard

Utarbeidet av: Jon Lundesgaard

[www.sintefcertification.no](http://www.sintefcertification.no)

Telefon: 73 59 30 00

E-post: [certification@sintef.no](mailto:certification@sintef.no)

Tabell 1  
Materialspefifikasjoner

Material / komponent	Spesifikasjon Ikke-spesifiserte materialdimensjoner skal være som angitt i "Standard konstruksjonsdetaljer" eller i henhold til spesifikk dimensjonering for hver enkelt leveranse	CE-merking
Stålkassetter	Sinkbelagte tynnplater i kvalitet S350GD+Z275MA i henhold til NS-EN 10027, eller med annen fasthetsklasse i henhold til spesifikke beregninger for hver enkelt leveranse	
Taktro	15 -19 mm konstruksjonskryssfinér i henhold til NS-EN 636-2 eller 636-3, formaldehydklasse E1, deklarererte fastheter og stivheter i henhold til spesifikke beregninger for hver enkelt leveranse	X
Treflenser	Konstruksjonsvirke i henhold til NS-EN 14081, fasthetsklasse C24 eller C30 i henhold til spesifikke beregninger for hver enkelt leveranse	X
Lim	Konstruksjonslim mellom taktro og treflenser og mellom treflens og stålkassetter i henhold til kontrollbeskrivelsen	
Taktekning	Takmembran med SINTEF Teknisk Godkjenning	X
Varmeisolasjon i elementer	Steinull eller glassull i henhold til NS-EN 13162 med deklartert varmekonduktivitet i henhold til spesifikkasjon for hver enkelt leveranse.	X
Isolasjon over himling	Rockwool steinull i henhold til NS-EN 13162 med densitet minst 90 kg/m <sup>3</sup>	X
Dampspærre	0,2 mm polyetylenfolie med SINTEF Teknisk Godkjenning	X
Teip for skjøter i dampspærre og for gjennomføringer	Teip med dokumenterte egenskaper som minimum kreves for produkter med SINTEF Teknisk Godkjenning	
Himlingsplater	Profilerte stålplater med brannteknisk klasse A1 i henhold NS-EN 13501-1	
Festemidler	2,5 mm x 32 mm el.forsinket vridt stålsjaker i henhold til EN 14592, med flytemoment $M_{fy} > 3,5$ Nm og gjennomtreningskapasitet $f_{trekk} > ca. 20$ N/mm <sup>2</sup> , for feste mellom stålkassetter og treflenser	X
Feste av takteknning	Mekanisk feste i henhold til SINTEF Teknisk Godkjenning for tekkesystemet.	
Tetningsbånd	Henkel Teroson RBB1 butylgummi Siga Primur rull	

Tabell 2  
Elementbetegnelse, egenlast og tykkelse for standard elementtyper

Elementtype <sup>1)</sup>	Egenlast <sup>2)</sup> kN/m <sup>2</sup>	Elementtykkelse H <sup>3)</sup> mm		
		Høyde på treflens		
		71 mm	96 mm	121 mm
13/0,9	0,37 – 0,40	216	241	266
13/1,5	0,40 – 0,43			
16/0,9	0,38 – 0,41	246	271	296
16/1,5	0,41 – 0,44			
21/0,9	0,40 – 0,43	296	321	346
21/2,0	0,46 – 0,50			
31/0,9	0,44 – 0,47	396	421	446
31/2,0	0,52 – 0,55			
36/0,9	0,46 – 0,49	446	471	496
36/1,5	0,50 – 0,54			
36/2,0	0,55 – 0,58			
44/1,5	0,55 – 0,58	526	551	576
44/2,0	0,59 – 0,63			

<sup>1)</sup> Første siffer angir høyde h i cm på bærende stålkasset (se fig. 1), andre siffer angir stålets godstykkelse i mm

<sup>2)</sup> Verdiene varierer med høyde på treflenser, og gjelder for elementer med 50 mm himlingsisolasjon

<sup>3)</sup> Gjelder høyde H over opplegg (se fig. 1).  
For elementer med 50 mm isolasjon i himlingen bygger isolasjonen og himlingsplate 70 mm under opplegg, se fig. 2.  
For elementer med 30 mm isolasjon i himlingen bygger isolasjonen og himlingsplate 50 mm under opplegg.

## 4. Egenskaper

### 4.1 Bæreevne

Elementene dimensjoneres særskilt for hver enkelt leveranse av Lett-Tak Systemer AS, se pkt. 6.1. Maksimal spennvidde avhenger primært av snølastkrav, og detaljerte spennviddetabeller publiseres av Lett-Tak Systemer AS.

### 4.2 Brannmotstand

Med ulik mineralullisolasjon festet på undersiden av elementene kan Lett-Tak takelementer leveres med forskjellig brannmotstandsklasse i henhold til NS-EN 13501-2 som vist i tabell 3. Det er forutsatt brann fra undersiden. Se forøvrig pkt. 6.2 om prosjektering og betingelser for bruk.

Tabell 3  
Brannmotstand til Lett-Tak takelementer <sup>1)</sup>

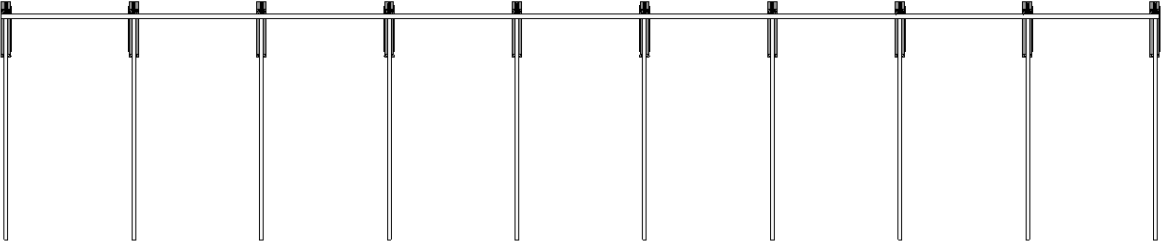
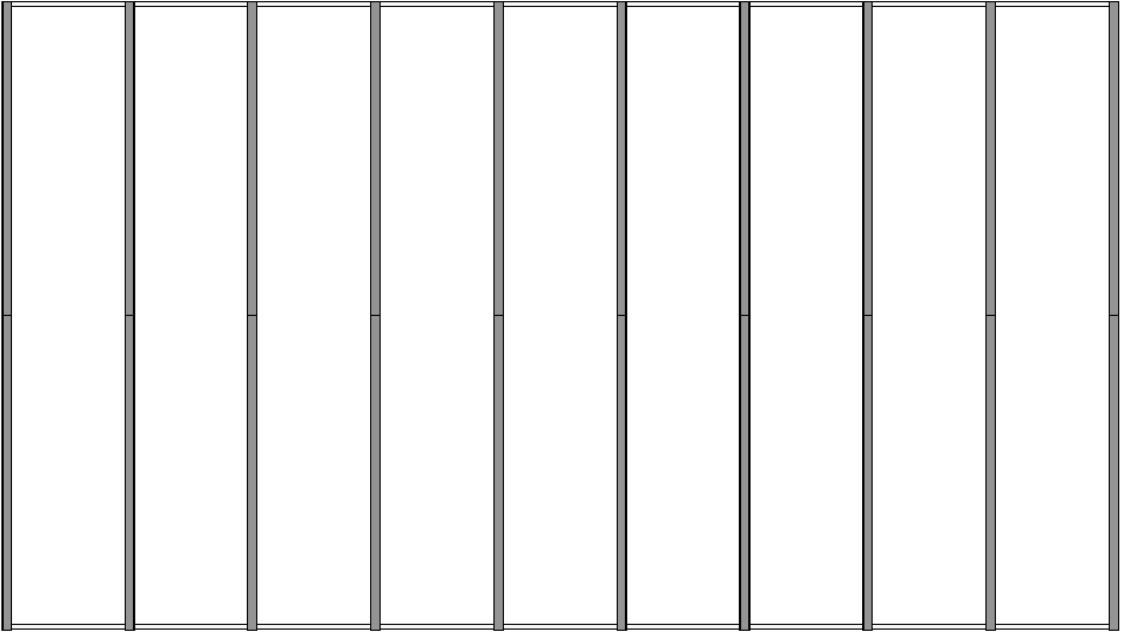
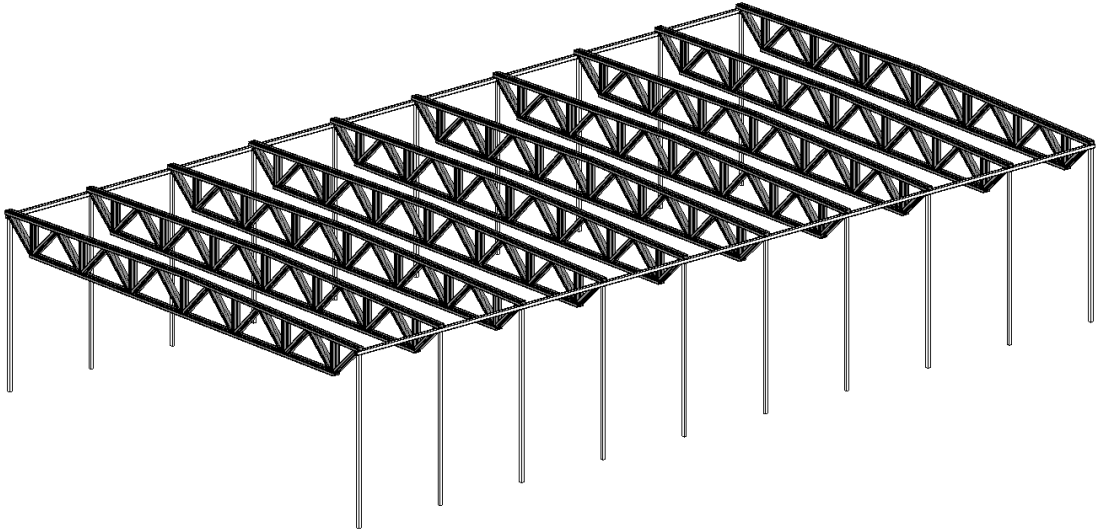
Brannmotstand	Isolasjon i himling	Isolasjon i elementene
REI 15	Ingen	Steinull eller glassull
REI 30	30 mm steinull <sup>2)</sup>	Steinull
	50 mm steinull <sup>3)</sup>	Steinull eller glassull
REI 60	50 mm steinull <sup>3)</sup>	Steinull
	100 mm steinull <sup>3)</sup>	Steinull eller glassull
REI 90	100 mm steinull <sup>3)</sup>	Steinull

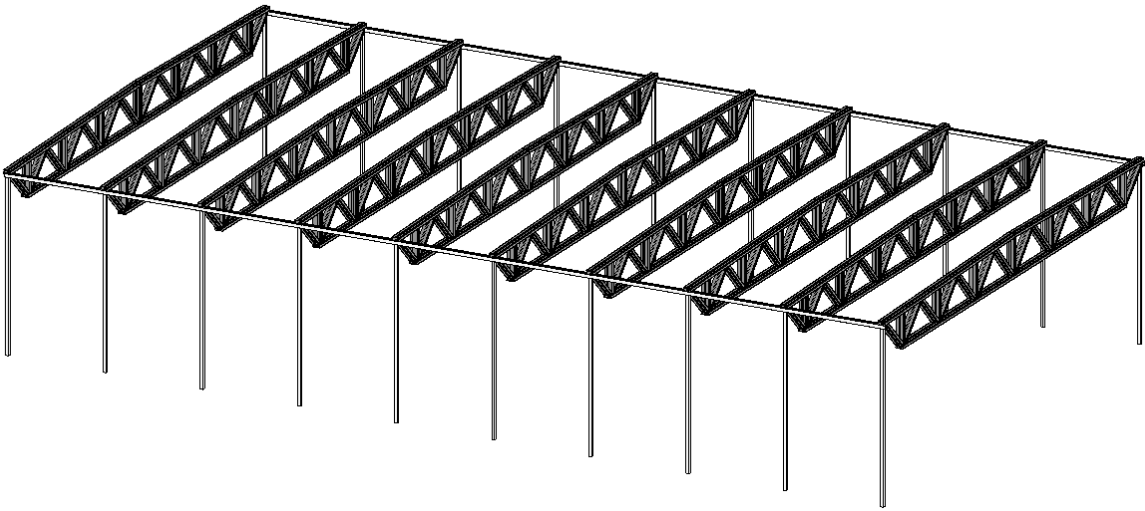
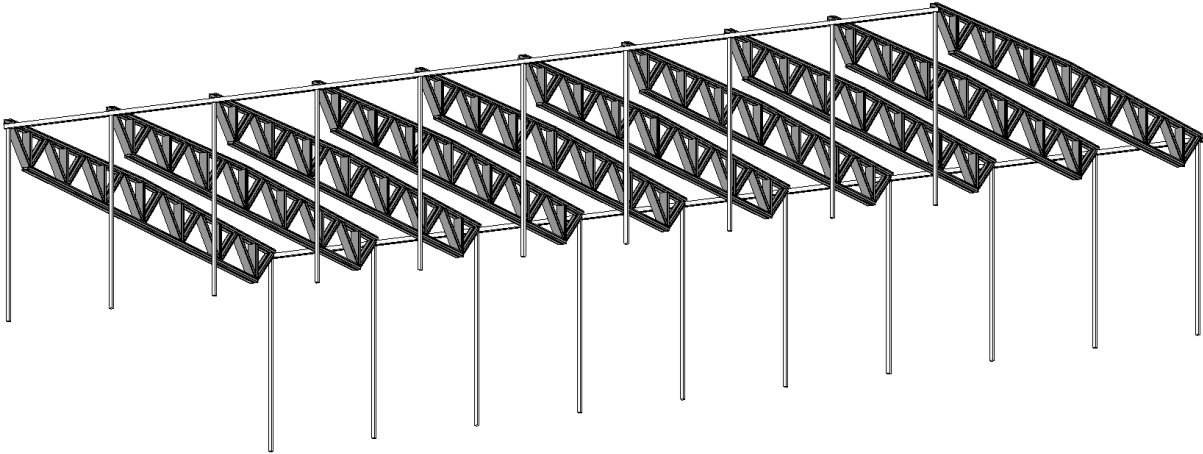
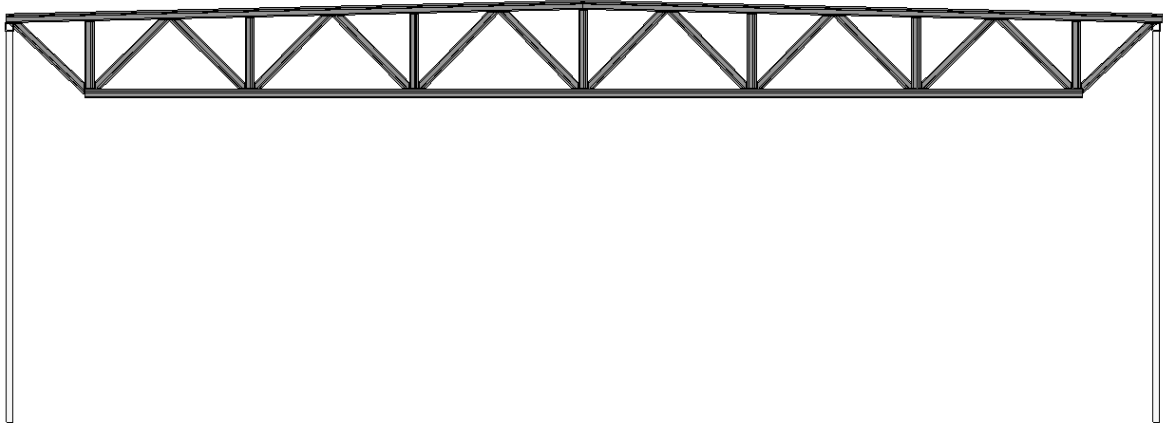
<sup>1)</sup> Med himling av profilerte stålplater eller profilsystem for feste av himlingsisolasjon

<sup>2)</sup> Rockwool steinull med densitet minst 110 kg/m<sup>3</sup>

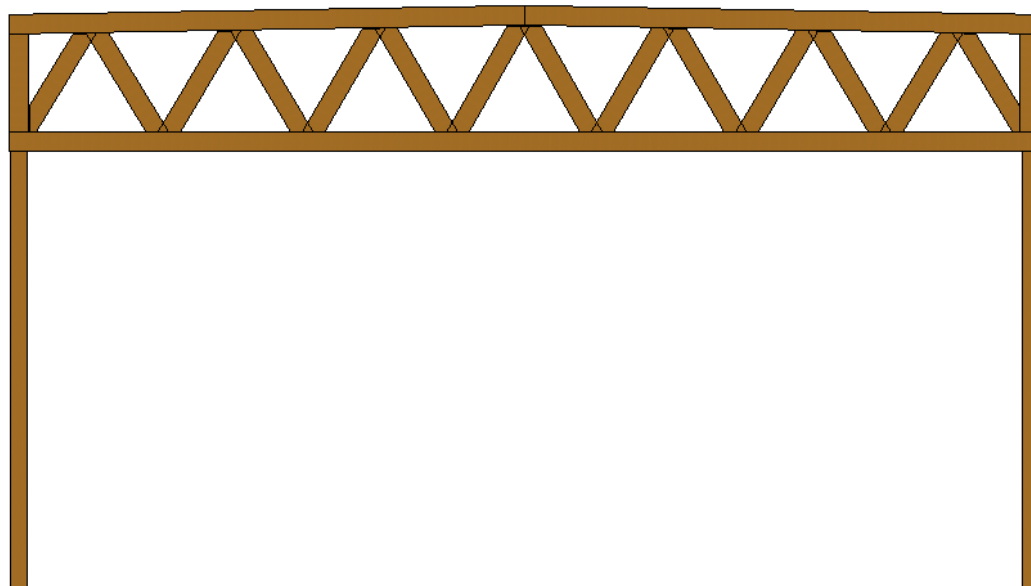
<sup>3)</sup> Rockwool steinull med densitet minst 90 kg/m<sup>3</sup>

Vedlegg 22: Revit-tegninger for stål

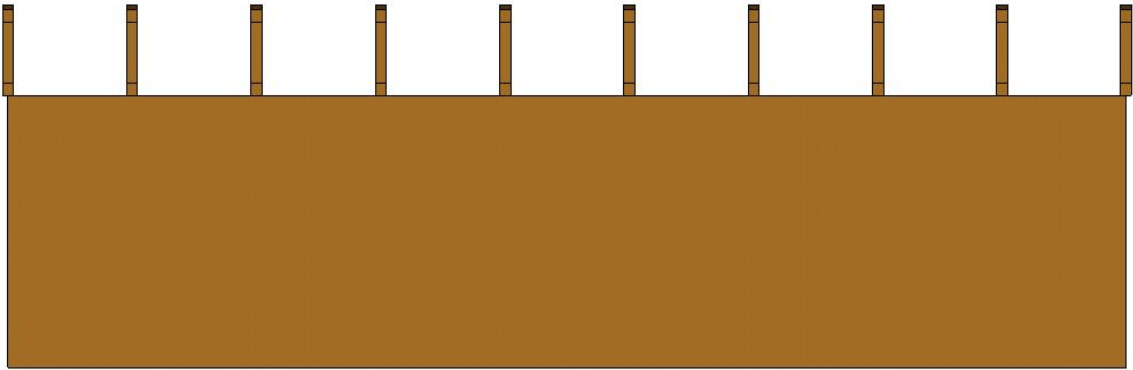
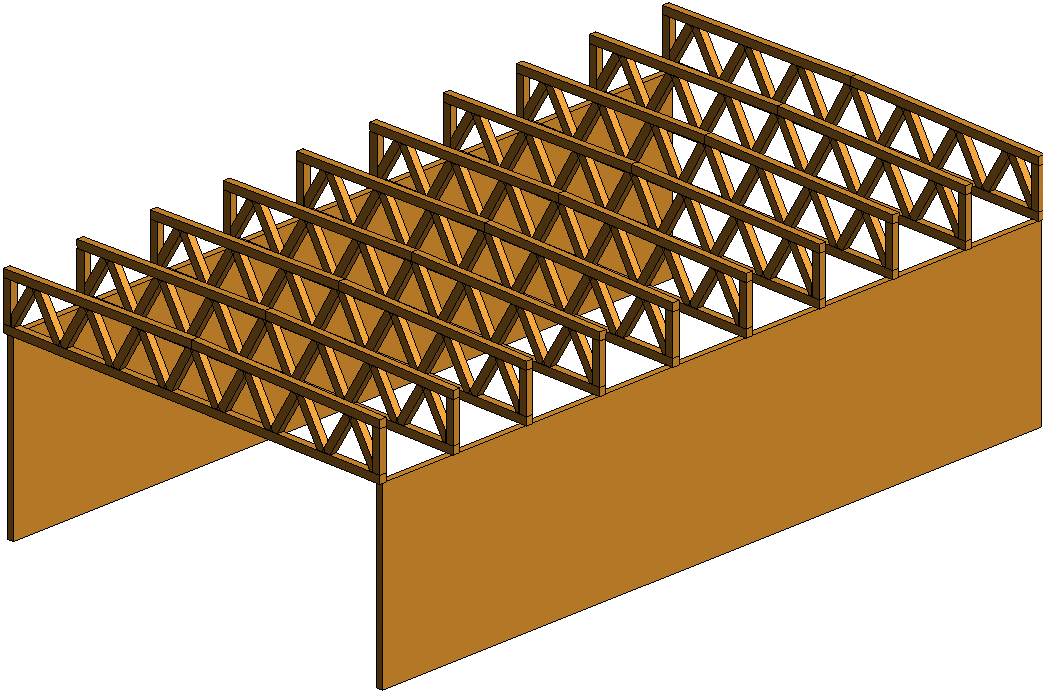




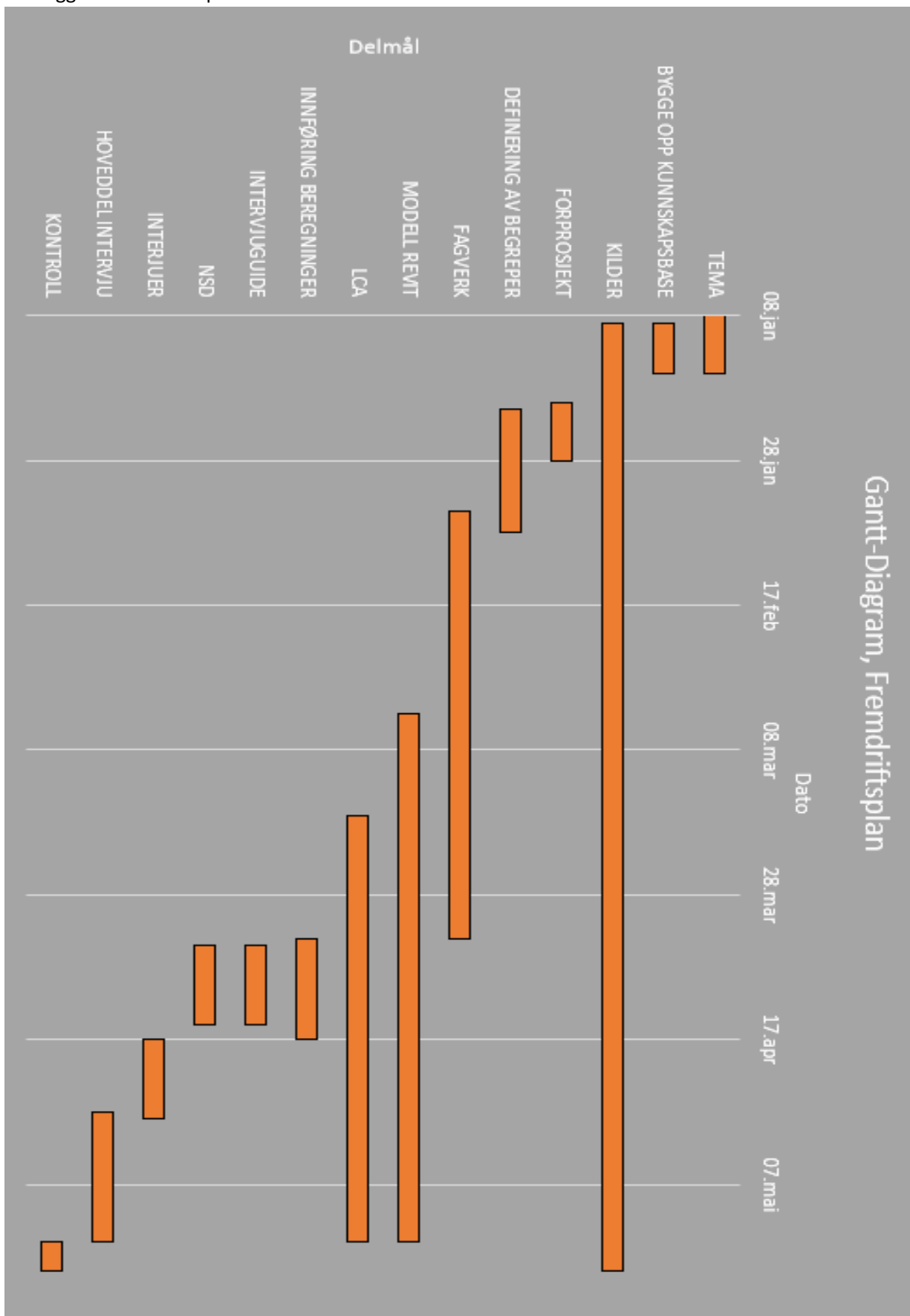
Vedlegg 23: Revit-tegninger for massivtre







Vedlegg 23: Framdriftsplan





Vedlegg 24: Timefordeling innad i gruppen

UKE	Abby	Sara	Sander	TOT
2	3	7	5	15
3	22	20,5	21,5	64
4	27,5	24,5	28,5	80,5
5	18,5	18,5	18,5	55,5
6	15,5	16,5	18	50
7	10,5	9,5	12	32
8	18,5	15	17,5	51
9	6,5	6	15,5	28
10	11	11,5	11	33,5
11	0	0	0	0
12	11,5	7	11,5	30
13	23,5	16	34,5	74
14	31	32	25	88
15	25	26	29	80
16	33,5	33,5	39	106
17	34	35	36	105
18	55	55	48	158
19	55	64	55	174
20	72	72	72	216
21	28	34	28	90
SUM	501,5	503,5	525,5	1530,5

Vedlegg 25: Graf som timefordeling innad i gruppen



Vedlegg 26: Forprosjekt

**FORPROSJEKT - RAPPORT**  
FOR BACHELOROPPGAVE



TITTEL:

**Sammenligning av tradisjonelt bæresystem og bæresystem av massivtre/limtre.**

KANDIDATNUMMER(E):

10023  
10035  
10045

DATO: <b>06.02.20</b>  <b>Revidert</b> <b>06.05.20</b>	EMNEKODE: *  <b>IB303312</b>	EMNE:  <b>Bacheloroppgave (Bygg)</b>	DOKUMENT TILGANG:  - Åpen (delvis lukket)
STUDIUM:  <b>BACHELOR INGENIØR - BYGG</b>	ANT SIDER/VEDLEGG:  /	BIBL. NR:  - Ikke i bruk -	

OPPDRAKSGIVER(E)/VEILEDER(E):

Åsen og Øvreid Nordvest AS, Tor Laxaa  
NTNU, Kristian Normann

**Postadresse**  
NTNU i Ålesund  
Postboks 1517  
N-6025 Ålesund

**Besøksadresse**  
Larsgårdsvegen 2  
**Internett**  
[www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)

**Telefon**  
70 16 12 00  
**Epostadresse**  
[postmottak@ntnu.no](mailto:postmottak@ntnu.no)

**Telefax**  
70 16 13 00

**Bankkonto**  
7694 05 00636  
**Foretaksregisteret**  
NO 947 767 880

OPPGAVE/SAMMENDRAG:

Vi skal gjøre en sammenligning mellom tradisjonelt bæresystem og bæresystem i massivtre/limtre med Kollvikbakken ungdomsskole som utgangspunkt. Hovedtema vil være konstruksjonsteknikk, miljøaspektet og intervjuer hvor vi spør om erfaringer bedrifter har gjort seg med de forskjellige byggematerialene.

Motivasjonen bak problemstillingen er å ta i bruk kunnskap fra tidligere fag og kombinere dette med ny kunnskap. Vi ønsker i dette prosjektet å finne ut hva som er utfordringer og fordeler knyttet til de forskjellige bæresystemene samt å se på miljøutslipp.

*Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av student(er) ved NTNU i Ålesund.*

**INNHold**

<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>4</b>
<b>2 BEGREPER.....</b>	<b>4</b>
<b>3 PROSJEKTORGANISASJON .....</b>	<b>4</b>
3.1 PROSJEKTGRUPPE.....	4
3.2 STYRINGSGRUPPE (VEILEDER OG KONTAKTPERSON OPPDRAGSGIVER) .....	5
<b>4 AVTALER.....</b>	<b>5</b>
4.1 AVTALE MED OPPDRAGSGIVER .....	5
4.2 ARBEIDSSTED OG RESSURSER .....	5
4.3 GRUPPENORMER – SAMARBEIDSREGLER – HOLDNINGER.....	5
<b>5 PROSJEKTBESKRIVELSE .....</b>	<b>6</b>
5.1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING - HENSIKT .....	6
5.2 KRAV TIL LØSNING ELLER PROSJEKTRESULTAT – SPESIFIKASJON .....	6
5.3 PLANLAGT FRAMGANGSMÅTE(R) FOR UTVIKLINGSARBEIDET – METODE(R).....	7
5.4 INFORMASJONSINNSAMLING – UTFØRT OG PLANLAGT .....	7
5.5 VURDERING – ANALYSE AV RISIKO .....	7
5.6 HOVEDAKTIVITETER I VIDERE ARBEID .....	8
5.7 FRAMDRIFTSPLAN – STYRING AV PROSJEKTET .....	9
5.8 BESLUTNINGER – BESLUTNINGSPROSESS .....	11
<b>6 DOKUMENTASJON.....</b>	<b>11</b>
6.1 RAPPORTER OG TEKNISKE DOKUMENTER .....	11
<b>7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER.....</b>	<b>11</b>
7.1 MØTER .....	11
7.2 PERIODISKE RAPPORTER.....	12
<b>8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING .....</b>	<b>12</b>
<b>9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING.....</b>	<b>12</b>

## 1 INNLEDNING

I november 2019 hadde vi et møte med Åsen og Øvreid Nordvest AS (Å&Ø) sammen med veileder Kristian Normann hvor vi diskuterte hvorvidt vi kunne skrive en oppgave for bedriften og hva denne oppgaven kunne innebære. Vi, studentene, var innstilt på at vi ville gjøre en konstruksjonsteknikkoppgave, men var åpne for flere innslag. Prosjektet bedriften tilbydde var Kolvikbakken Ungdomsskole. Å&Ø har kontrakten for samspillsfasen for Kolvikbakken. I november var det enda ikke bestemt hvilke bæresystem skolen skulle bygges i, om det skulle være massivtre eller tradisjonelt, og det ble foreslått at vi kanskje kunne gjøre en sammenligning av disse to bæresystemene. Vi diskuterte så noen hovedtema vi kunne sette søkelys på og ble enige om miljøaspektet, økonomi (senere byttet ut med intervju) og konstruksjonsteknikk (avgrenset til spenn over gymsalen). Formålet med oppgaven ble å se på hvilke ulike egenskaper de to bæresystemene har innen de forskjellige temaene vi valgte ut.

Etter at prosjektet var påbegynt bestemte vi oss for å erstatte kostnadsberegningene av de forskjellige byggematerialene med intervjuer som fokuserer på arbeidsomfang, tid og kostnader. Intervjuene ble gjennomført med ansatte i bedrifter som har gjennomført større prosjekter med både betong og massivtre/limtre som byggemateriale.

## 2 BEGREPER

- LCA (life cycle assessment)- "fra vugge til grav" - fra råvare til avfallshåndtering (helhetstenking)
- Miljøvurdering
- CO2-lagring <https://www.tu.no/artikler/industri-dette-kan-endre-klimaregnskapet/247430>
- EPD (Environmental Product Declaration) - miljødeklarasjon
- Grønt stål vs generisk stål

## 3 PROSJEKTORGANISASJON

### 3.1 Prosjektgruppe

Studentnummer(e)
748170 – Sara Åsnes Sagild 476492- Aparna Jeyendran 476138 – Sander H. Garberg

Tabell: Studentnummer for alle i gruppa som leverer oppgaven for bedømmelse

### **3.1.1 Oppgaver for prosjektgruppen - organisering**

Gruppen har tidligere jobbet sammen på andre skoleprosjekter og har god erfaring med å jobbe sammen i samme rom. Innstillingen er at vi samler oss og jobber kontinuerlig sammen. Dette har vært til hjelp for oss når vi har stått fast og må ta avgjørelser som påvirker hele prosjektet. Vi er enige om å ha rullende ansvar på å skrive logg, rapporter og referat fra møter, og vi velger at dette skal rullere på alle tre i en 14-dager-periode.

### **3.1.2 Oppgaver for prosjektleder**

Prosjektlederen skal ha hovedansvaret for prosjektets fremgang, at det er røde tråder og hvordan disse henger sammen, loggføring og rapportskrivning samt referatskriving etter møter.

### **3.2 Styringsgruppe (veileder og kontaktperson oppdragsgiver)**

Veiledere er Tor Laxaa (Åsen og Øvreid Nordvest AS) og Kristian Normann (NTNU). Vi sitter på kontoret til Åsen og Øvreid Nordvest AS to til tre ganger i uken. Vi har muligheten til å komme med konkrete spørsmål når det er noe vi lurer på med prosjektet. Kristian Normann har vi kontakt med når vi vil. Kristian stiller seg selv disponibel for at vi kan komme innom når vi har mindre spørsmål, og vi avtaler møter når vi lurer på noe som tar lenger tid å løse.

## **4 AVTALER**

### **4.1 Avtale med oppdragsgiver**

Noe av informasjonen vi får til å løse oppgaven fra oppdragsgiver er lukket informasjon og kan derfor ikke vises offentlig/må holdes utenfor denne oppgaven. Avtalen mellom NTNU og bedrift er signert av alle parter og levert til både bedriften og studieleder.

### **4.2 Arbeidssted og ressurser**

Vi sitter på kontor med bedrift to til tre ganger i uken (tirsdag, torsdag og av og til fredager). Der har vi tilgang til alle som jobber i bedriften og mulighet til å spørre eksterne veiledere når det er noe vi lurer på.

I prosjektet har vi ikke behov for reise eller befaring, og derfor heller ikke behov for økonomiske ressurser.

Av dataprogrammer så får vi enten tilgang til programmene via NTNU eller så tar vi selv kontakt med de konkrete programleverandørene og spør om tilgang til programvaren i et begrenset tidsrom. Utenom dette benytter vi oss av de ressursene som bedriften tilbyr.

### **4.3 Gruppenormer – samarbeidsregler – holdninger**

Gruppen er enige i å innarbeide gode normer fra tidlig tidspunkt. Normene vi er blitt enige om å følge er:

- Oppmøteskikk, det å komme til møter og avtaler til rett tid.
- Realistiske forventninger til hverandre, og oss selv, når det kommer til arbeidsomfang og utførelse
- At vi tar tiden til bruk, lytter til utfordringer og finner løsninger sammen.
- Avtale på forhand når man reiser vekk.

Holdninger til profesjon:

- Finne gode løsninger - kvalitet
- Vise respekt
- Samarbeide og vise god kommunikasjon

## 5 PROSJEKTBEKRIVELSE

### 5.1 Problemstilling - målsetting - hensikt

Hovedmålet/formålet med oppgaven er å gjøre en komparativ analyse (sammenligning) av to forskjellige bæresystemer: tradisjonelt bæresystem, hvor man bruker betong og stål, og bæresystem i massivtre. Når vi ser på disse to bæresystemene vil vi ta for oss tre hovedtema som vi sammenligner: miljøaspekt, økonomi intervju og en konkret del av konstruksjonen (bjelke over gymsal) hvor vi sammenligner disse tema opp mot hverandre og ser på hvilke som er mer/mindre gunstige.

Miljøaspektet vil belage seg på CO<sub>2</sub>-avtrykket (klimagasser) til konstruksjonen, hvor vi vil se på miljøutslipp fra utvinning av råvarer frem til konstruksjonen er i bruk. Det økonomiske tema vil være hva vi anslår at å bygge i tradisjonelt vs. massivtre vil koste. Her ser vi på kostnad av materiell, frakt og timer det vil ta å montere selve bygningene. Hensikten bak intervjuene er å sanke erfaringer fra bransjen om bruken av de forskjellige materialene med fokus på arbeidsomfang, tid og økonomi. Konstruksjonsteknikkdelen av oppgaven vil ta for seg et bæresystem i et stort spenn over gymsal. Her må vi se på en løsning for betong og stål og en løsning for massivtre (om det lar seg gjøre). Vi har valgt ut denne delen av konstruksjonen fordi spennet over gymsalen er veldig stort og vi vet at det vil være utfordrerne.

### 5.2 Krav til løsning eller prosjektresultat – spesifikasjon

I dette prosjektet skal vi forholde oss til:

- TEK17 (byggeteknisk forskrift)
  - o Forskriften omfatter minimumskravene et bygg må oppnå for å kunne lovlig oppføres i Norge
- EPD (Environmental Product Declaration)
  - o Et dokument som blant annet sier noe om et produkts klimagassutslipp
- Visualisering av prosjektet i dataprogram
- NS – Norsk standard



- Byggeforskeren – eies og driftes/utvikles av SINTEF
- NSD – norsk senter for forskningsdata, for godkjenning av intervjugjennomføring

### **5.3 Planlagt framgangsmåte(r) for utviklingsarbeidet – metode(r)**

Det første vi gjør er å samle inn informasjon i vår egen "kunnskapsbase" som vi deler med hverandre. Her passer vi på å skrive ned viktig informasjon, med kilder, og skiller ut det som vi mener ikke er relevant for oppgaven.

I selve prosessen planlegger vi å jobbe parallelt med de forskjellige tema og bæresystemer. Når vi for eksempel tar for oss tema miljø, så vil vi forsøke å gjøre både tradisjonelt- og massivtre regnestykkene om hverandre. Det samme gjør vi når vi regner på konstruksjonsteknikken og økonomien intervjuene. På denne måten kan vi kjapt gjøre sammenligninger/analysere dataen vi har samlet. Når vi gjør det på denne måten vil vi raskt se hva som skiller det ene bæresystemet fra det andre og gjøre en vurdering på hva som er å foretrekke.

En ganske stor del av utfordringen på oppgaven vil være å finne/utvikle den rette informasjonen om mengder materiale som brukes i byggverket. Her er utfordringen spesielt rettet mot den delen av konstruksjonen som vi selv skal utvikle. For å kunne gjennomføre både den økonomiske delen og CO2-regnskapet må vi vite både volum og størrelser på de viktigste elementene. Noe avvik vil det være fra virkeligheten da vi ikke kan mikrokontrollere alt ned til antall skruer, spikrer osv. som blir brukt i monteringen av skolen.

### **5.4 Informasjonsinnsamling – utført og planlagt**

Da vi begynte å undersøke hvordan vi skulle løse oppgaven var det noen punkter vi ikke hadde så mye kjennskap til. For eksempel har vi ikke gjort et miljøregnestykke for et bygg i løpet av utdanningen. Vi trengte derfor å lese oss opp for å få noe mer forståelse for hva vi bruker fokusere på og ikke. Det var til stor hjelp å lese noen tidligere bacheloroppgaver som har løst lignende problemstillinger. Vi så at det ikke ville være mulig for oss å gjøre et fullverdig bærekraftig regnestykke ved siden av både konstruksjonsteknikk og økonomi, og valgte derfor å bare se på CO2-utslipp og eventuelt andre klimagasser som vi vil regne om til CO2-ekvivalenter.

Konstruksjonsteknikk-delen har vi i utdanningen, så her handler det først og fremst å finne ut hvordan vi vil løse utfordringen over gymsalen.

Det siste vi vil gjøre er nok økonomidelen intervjuene, da dette er et supplement for av erfaringer fra bransjen.

### **5.5 Vurdering – analyse av risiko**

Vi vurderer risikoen for å ikke levere en oppgave som lav, men risikoen for at utførelsen avviker og av det oppstår problemer underveis med dataprogrammer o.l. som høy. Oppgaven i seg selv lar seg gjennomføre, men spørsmålet er om vi klarer

å komme i mål innen tidsrammene som er gitt. Vi har også mangel på/ redusert kompetanse innen CO2-regnskap og økonomi, så vi må finne stien mens vi går.

For at prosjektet skal lykkes må vi følge planene vi lager oss nøye og ikke spore av på hva som er relevant og ikke relevant for å løse oppgaven. Dersom vi blir for breie i tankegangen kan dette føre til at vi ender opp med et annet resultat enn det som var intensjonen.

### 5.6 Hovedaktiviteter i videre arbeid

I første omgang gjør vi grundig arbeid på å samle informasjon som er relevant for prosjektet. Dette samler vi i en "kunnskapsbase" som vi drar nytte av når vi skal vurdere forskjellige løsninger.

Hovedaktivitet:

Siden vi har tre tema som vi skal analysere og sammenligne av de to forskjellige bæresystemene, er det viktig at vi starter med "rett" tema, slik at tiden disponeres på rett måte. Vi vet at for å kunne gjennomføre CO2-regnestykket og økonomien må vi ha et estimat av material og mengde materiale som blir brukt. Det er derfor naturlig å først ta fatt i konstruksjonsteknikkdelen, hvor dette avgjøres.

Videre er det naturlig å jobbe med både økonomi og CO2-regnestykket parallelt da vi må hente informasjon om råvarer, transport og montering av bygget for å gjennomføre begge tema.

Vi har brukt januar på å samle informasjon til kunnskapsbasen vår og er nå klar for å ta fatt i regnestykkene. Vi legger av februar til å gjennomføre beregningene i taket over gymsal. I denne delen av oppgaven vil vi også gjennomføre modelleringen av skolen. De første to ukene av mars blir faget ingeniørfaglig systemteknikk og systemutvikling prioritert, men vi forsetter på konstruksjonsteknikk dersom dette ikke er ferdigstilt til da.

Videre legger vi av 4 uker, mars-april til å gjøre de to siste temaene: økonomi intervju og CO2-regnskap. Totalt har vi altså litt over 3 uker med slindring (tar vekk påskeferien), hvor vi skal ferdigstille prosjektet.

Nr.	Hovedaktivitet	Ansvar	Kostnad	Tid og omfang
A1	Samle inn kunnskap	Aparna, Sander, Sara		Januar
A2	Gjennomføre beregning av bæring; takkonstruksjon over gymsal	Aparna, Sander, Sara		Februar
A21	Gjennomføre sammenligning/analyse av de forskjellige bæresystemene koblet til A2	Aparna, Sander, Sara		Februar – Mars
A3	Samle inn nødvendig informasjon fra modellen til å gjennomføre CO2- regnskap	Aparna, Sander, Sara		Mars- April

A31	Gjennomføre CO2-regnskap	Aparna, Sander, Sara		Mar- April
A32	Sammenligne/analyse data fra Co2-regnskap	Aparna, Sander, Sara		April
A4	<del>Samle inn data nødvendig for å gjennomføre økonomiregnskap/gjennomføre regnskapet</del> Lage intervjuguide og søke om godkjenning av prosjekt hos NSD	Aparna, Sander, Sara		Mar- April
A41	<del>Analysere/sammenligne resultat fra økonomiregnskapet</del> Skrive metode, resultat og drøfting for intervjuene	Aparna, Sander, Sara		April
A6	Finskrive og levere inn bacheloroppgaven	Aparna, Sander, Sara		Mai

## 5.7 Framdriftsplan – styring av prosjektet

### 5.7.1 Hovedplan

#### Hovedtrekk

- Konstruksjonsteknikk:  
Skal se på bæresystem i tak over gymsal. Spennet over gymsalen er så stort at det trengs ekstra forsterking for å holde elementene oppe. Vi planlegger å utarbeide og beregne en drager som går på kortsiden av gymsalen som elementene så kan hvile på. Denne delen av oppgaven planlegges å være ferdig til begynnelsen av mars.  
Etter at selve utregningene er ferdigstilt skal resultatene sammenlignes og analyseres opp mot hverandre. Dette gjøres forløpende etter at delen er ferdig.
- CO2-regnskap:  
For å gjennomføre CO2-regnskapet må vi ha tilstrekkelig informasjon om klimautslipp når råvarene til materialet i bygget blir fremstilt. Vi kommer kun til å se på råvarer relatert til stål, betong og massivtre, da mikrokontroll blir så snever at oppgaven blir for stor. Regnstykket blir derfor et overslag hvor klimagasser som ikke er CO2, regnes om til CO2-ekvivalenter og summeres opp. Vi legger av mars og deler av april til denne delen av oppgaven.
- ~~Økonomiregnskap:~~  
Her skal vi se på kostnader relatert til utvinning av råmaterialer, produksjon, transport, arbeidskraft på byggeplassen samt montering. Et godt hjelpemiddel vil være å lage et GANT-diagram i Synchro 4D, hvor faktorer som tid, økonomi, arbeidsmengde/kraft tydeligere kommer frem enn i ren tekst. Dette gjøres dersom det er tid og ressurser til å gjennomføre. I første omgang vil det være å sette opp en ren utregning av kostnadspostene og summere dette. Denne delen av oppgaven kjører vi parallelt med CO2-regnskapet da mye av

~~informasjonen vi trenger for å gjennomføre begge tema hentes fra samme kilde. Når vi henter informasjon om hvor langt det er å kjøre mellom fabrikk og leveransested, henter vi også informasjon om hva transport av varene koster.~~

- Intervju:  
Hensikten med å gjennomføre intervju er å sanke erfaringer fra bransjen ved bruken av de to bæresystemene. Fra ingeniørfaglig systemteknikk og systemutvikling har vi lært at arbeidsomfang, tid og økonomi er avgjørende for suksessen av prosjekter. Vi har derfor valgt å vektlegge dette på intervjuguiden. Det er også spesielt interessant med økonomi, ettersom dette er noe av det vi i utgangspunktet ville ta med i sammenligningen vår, men fant ut at ble for arbeidskrevende.

Ferdigskrivning av oppgaven og innlevering:

Fristen for å levere selve oppgaven/prosjektet er 20.mai. Før denne tid skal det lages plakater og selve teksten skal finskrives og ferdigstilles. Dette legger vi av to-tre uker på å gjøre.

### 5.7.2 Styringshjelpemidler

Hjelpemiddel for prosjektsamarbeid:

- Vi bruker Microsoft Teams når vi skriver dokumentene og/eller slår de sammen. I Microsoft Teams kan alle være inne på samme dokument samtidig med både lesing og redigering.
- Vi leverer 14-dagers logg til veileder på NTNU, hvor vi fører timer og hva som er blitt gjort i løpet av de timene.

### 5.7.3 Utviklingshjelpemidler

Vi planlegger å bruke følgende programvarer:

*Skriveprogram:*

- Microsoft Word
- Microsoft Teams
- EndNote

*Beregningsprogram:*

- EUROCODEexpress
- ~~FEM-Design~~
- Excell
- MathCAD
- Microsoft Project
- ~~ISY-Calculus~~
- ~~SeemaPre~~

*Visualisering- og modelleringsprogram:*

- Revit Structure
- AutoCAD
- ~~Synchro 4D~~
- Lumion

#### 5.7.4 Intern kontroll – evaluering

Vi planlegger å evaluere hvordan vi ligger an i forhold til oppsatt plan når vi er ferdige med hvert av temaene. Dette gjøres internt i gruppen, med veileder på NTNU eller med veileder fra bedriften. Siden vi for det meste sitter sammen og jobber med oppgaven, skjer mye av evalueringen forløpende.

#### 5.8 Beslutninger – beslutningsprosess

Vi begrenser oppgaven sammen og med veileder internt på NTNU. Når vi havner i situasjoner hvor vi ikke kan bli enige tar vi kontakt med veileder for å vekte beslutningen.

## 6 DOKUMENTASJON

### 6.1 Rapporter og tekniske dokumenter

Dokument lagres lokalt og på en sky, i vårt tilfelle lagres det på Microsoft Teams, når vi har tilgang til internett.

Vi skriver 14-dagers logger hvor timer og arbeid som er blitt gjort loggføres.

Alle kilder blir registrert med en gang de blir tatt i bruk. Vi benytter oss av EndNote til føring av kilde og referanser. Her lages det en sikkerhetskopi av selve biblioteket. Alle dokument blir lest av alle i gruppen, og skal dermed tilfredsstillende alle i gruppen.

## 7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER

### 7.1 Møter

#### 7.1.1 Møter med styringsgruppen

Avtaler møter med veiledere ved behov. Prosjektleder skriver møtereferat

#### 7.1.2 Prosjektmøter

Når vi jobber sammen med oppgaven begynner vi dagen med å diskutere hva hver enkel skal ta for seg og hvilke utfordringer vi kan møte på og hvordan løse disse utfordringene. Siden vi hovedsakelig jobber sammen, skjer disse møtene svært ofte. Det hjelper oss i å holde på den røde tråden og se hvordan hva hver enkelt av oss gjør henger sammen med hva de andre gjør.

## **7.2 Periodiske rapporter**

### **7.2.1 Framdriftsrapporter (inkl. milepæl)**

Vi lager fremdriftsplaner annenhver uke, hvor vi først vurderer hva som har blitt gjort og hvor vi må legge fokus de nesten to ukene.

## **8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING**

Dersom prosjektet stagnerer og vi får avvik i forhold til det vi har planlagt, så må vi finne årsaken. At det kommer et avvik vil ikke være vanskelig å oppdage, siden vi fører kontinuerlig logg, men for å løse utfordringen må vi nok ha hjelp fra eksterne. Da er det naturlig å be veileder om veiledning til å løse utfordringen. Som en gruppe har vi likt ansvar for at prosjektet skal gå fremover og påse at det vi gjør er innenfor fornuftens rammer. Vi har alle ansvar for å melde av avvik dersom dette oppstår

## **9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING**

SeemaPro—en programvare som vi bare har 30 dager prøvetid på, kan være utfordrende. Vi har fått en av tre lisenser til FEM design, men mangler fremdeles lisens til EUROCODEexpress. Selv om vi ikke får til eller får tilstrekkelig tilgang til SeemaPro kan vi gjøre et overslag på CO2-utgifter til ferdig produkt.