

Arslan Mohammad Irshad
Ali Afaq Mehmood

Prosjektering av bærekonstruksjon i limtre for næringsbygg

*Design of Support Structure in
Glulam for Commercial Buildings*

Hovedrapport
Prosjektnr.: 38 - 2019

Bacheloroppgave i byggingeniør
Veileder: Per Otto Yttervoll og Joakim Dørum
Mai 2019

TBYG3016

Bacheloroppgaven bygg

Besvarelsen består av:
Hoved- og vedleggsrapport

Gradering:
Åpen

Problemdefinering:

Prosjektet går ut på å prosjektere ulike bærekonstruksjoner for et næringsbygg i Bodø kommune (fiktiv plassering). Oppdragsgiveren Green Advisers AS ønsker en økonomisk gunstig løsning for bærekonstruksjonen. Det er i tillegg forespurt at utnyttelsesgraden av materialene skal være så høy som mulig. Bygget har et mål på 30x50 m (BxL) med en innvendig fri høyde på minimum 7 m. Bygget skal ha en fri høyde langs hele lengden og langs hele bredden. Dette medfører en spennvidde på 30 meter. Taket vil ha en vinkel på 15°. Det skal ikke foretas seismiske vurderinger. Grunn- og fundamenteringsvurderinger skal heller ikke ses på i prosjektet.

Prosjektfase 1:

Under denne fasen skal først de opptredende lastene og kreftene bestemmes. Det mest ugunstigste lasttilfellet legger et grunnlag for analysen. To ulike bærekonstruksjoner skal videre sammenliknes i en alternativanalyse. Analysen skal foregå ved overslagsberegninger med hensyn til økonomi og utnyttelsesgrad av kapasitet. Alternativ A består av en WW-takstol i limtre. Alternativ B består av overgurter i limtre og en undergurt bestående av strekkstag i stål. Begge alternativene er understøttet med limtresøyler ved endene som er fritt opplagt. Arbeid gjort ved prosjektfase 1 skal dokumenteres ved utarbeiding av tegninger som viser dimensjonerende krefter og utnyttelsesgrader ved begge alternativer.

Prosjektfase 2:

Det mest optimale alternativsystemet skal bearbeides videre på og detaljprosjekteres. Detaljprosjekteringen omfatter nøyaktigere beregninger med hensyn til kapasitet, stivhet og stabilitet.

Dimensjonering av bærekonstruksjonen skal foregå i denne rekkefølgen:

1. Ramme (søyle, takstoler, gurter, strekkstag o.l.)
2. Knutepunkt/forbindelser.

Arbeid gjort ved prosjektfase 2 skal helt til slutt dokumenteres i form av arbeidstegninger. Arbeidstegninger omfatter plantegninger, snittegninger og detaljtegninger.

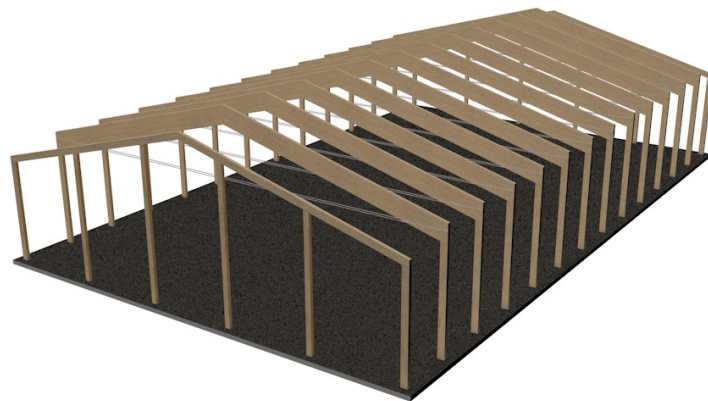
Nøkkelord:

Dimensjonering, prosjektering, alternativanalyse, detaljprosjektering, knutepunkt/forbindelser, limtrekonstruksjon, næringsbygg.

Keywords:

Dimensioning, design process, alternative analysis, detailed design, connections/joints, glulam construction, commercial building.

Hovedrapport



Bachelor

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Arslan Mohammad Irshad og Ali Afaq Mehmood. Denne prosjektrapporten er utarbeidet i forbindelse med avsluttende bachelorutdanning for studieretningen ingeniør i bygg (konstruksjonsteknikk) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim, fakultet for ingeniørvitenskap, institutt for bygg- og miljøteknikk. Denne oppgaven er skrevet på en slik måte at den skal være egnet for personer med relevant faglig kompetanse.

Vi vil først rette en stor takk til våre veiledere som har hjulpet oss gjennom denne oppgaven. Vår eksterne veileder Joakim Dørum fra Green Advisers AS, har med sin kompetanse bidratt med spennende utfordringer og løst opp i uklarheter. Dørum har alltid vært tilgjengelig ved behov og gitt oss fine retningslinjer for vår oppgave. Vi vil også nevne Gudmundur Fridriksson (Green Advisers AS) for hjelpen med knutepunktsløsningene.

Vi vil også takke vår interne veileder Per Otto Yttervoll fra NTNU. Yttervoll har bidratt med sin kompetanse innen statikk og trekonstruksjoner. I tillegg har Yttervoll alltid vært tilgjengelig, og gitt oss god veiledning med gode råd og tips.

Å skrive denne bacheloroppgaven har bydd på utfordringer, men har samtidig vært veldig lærerikt og gitt oss en stor innsikt innenfor trekonstruksjoner. Kunnskapen vi har tilegnet oss under dette halvåret kommer vi definitivt til å ta med oss videre. Vi vil derfor rette ut en stor takk til alle involverte som har hjulpet oss med denne bacheloroppgaven.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Trondheim, mai 2019

Arslan Mohammad Irshad

Ali Afaq Mehmood

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven er å prosjektere en limtreramme som innfrir kravene om fri høyde på 7 m og et fritt spenn på 30 m. Takvinkel fastsettes til 15 grader. Rapporten deles videre inn i to prosjektfaser.

I første prosjektfase ble to ulike bærekonstruksjoner sammenliknet i en alternativanalyse. Alternativ A er en WW-takstol i limtre. Alternativ B er en ramme med overgurt i limtre og en undergurt bestående av strekkstag i stål. Det mest gunstigste alternativet, med hensyn til økonomi og utnyttelsesgrad, ble detaljdimensjonert videre i neste prosjektfase.

I prosjektfase 2 ble det mest optimale systemet bearbeidet videre. Detaljprosjekteringen omfatter nøyaktigere beregninger med hensyn til kapasitet, stivhet og stabilitet. Rammen optimaliseres ytterligere ved at senteravstand og tverrsnittsprfiler justeres for å oppnå en høyere utnyttelsesgrad av materialene. Knutepunktsløsningene ble utført slik at samme type løsning er benyttet på de fleste knutepunkt. Dette reduserer sannsynligheten for misforståelser og reduserer monteringsiden. Bygget vindavstives ved bruk av massivtreskiver i taket, gavl- og langveggen. Vindavstivningen ble dimensjonert med fokus på prinsipp.

Analyseprogrammet Focus Konstruksjon ble benyttet for analyse av de ulike bærekonstruksjonene. Rammene ble modellert i 2D og 3D med opptredende laster. I første prosjektfase ble analysen utført i bruddgrensetilstand og i andre prosjektfase ble analysen utført i både brudd- og bruksgrensetilstand. I tillegg ble manuelle kontroller utført med valg gjort på den konservative siden.

Helt til slutt ble arbeidstegninger utarbeidet for å dokumentere løsningene. Arbeidstegninger omfatter plantegninger, snittegninger og detaljtegninger. Alternativ B var den mest gunstigste ved første prosjektfase og ble detaljdimensjonert videre i andre prosjektfase.

Abstract

The purpose of the task is to design a glulam construction that fulfils the requirements for a span of 30 m and a clearance of 7 m. The roof pitch is set to 15 degrees. The thesis report will further be divided into two phases.

The first part of this report will describe and compare two disparate structural systems. Alternative A is a double fink (WW) truss system. Alternative B is a system with a rafter in glulam and a steel tie rod for the rafter tie. The best roof frame option with regards to economy and utilization, will be designed in detail in the next phase.

In the second part, the most optimal roof system was further processed. The design in detail is comprised of more accurate calculations with regards to capacity, rigidity and stability. The frame is even further optimized by adjusting centre-to-centre distance and cross-sectional profiles for the better utilization rate. The joint connections were made so that the same solutions are used for most of the other joints. This solution will reduce both the probability of misunderstandings and assembly time. The building is braced by solid wood panels in the roof, long side wall and gable wall. The wind bracing is designed with focus on principles.

The analysis software Focus Konstruksjon was used for structural analysis for the two separate systems mentioned. The roof was designed in 2D and 3D-models with acting loads. The first phase of the project was completed in Ultimate Limit State (ULS) and the second phase was completed in both Ultimate Limit and Serviceability Limit State (SLS). In addition, manual control was carried out with conservative choices.

Finally, working drawings were made with the purpose of documentation of the solutions. Working drawings consists of roof plan drawing, sectional drawings and detail drawings. Alternative B came out as the better optimized option.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Tabelliste	viii
Likningsliste	ix
1 Symboler	1
2 Innledning	6
3 Programvare/dataverktøy	8
3.1 Mathcad Prime 3.1	8
3.2 Ove sletten	8
3.3 Focus Konstruksjon 2019	8
3.4 ARCHICAD 22	8
3.5 Microsoft Office	9
3.6 LaTeX/Overleaf	9
4 Grunnlagsdata	10
4.1 Data for næringsbygget	10
4.2 Aksesystem	11
4.3 Snittkrefter	11
5 Dimensjoneringsgrunnlag	12
5.1 Limtre	12
5.2 Stål	13
5.3 Sikkerhetsfaktorer	13
Prosjektfase 1	14
6 Prosjekteringsgrunnlag - Fase 1	15
6.1 Bruddgrensetilstanden	15
6.2 Bruksgrensetilstanden	15
6.3 Ulykkesgrensetilstand	16

6.4	Takkonstruksjon	16
6.5	Økonomi	16
7	Dimensjonerende laster	17
7.1	Egenlast	17
7.2	Snølast	17
7.3	Vindlast	18
7.4	Lastkombinasjon	18
8	Alternative rammer	20
8.1	Alternativ A	20
8.2	Alternativ B	22
9	Diagrammer	24
9.1	Bøyemomenter	24
9.2	Skjærkrefter	25
9.3	Aksialkrefter	26
9.4	Utnyttelsesgrad	27
9.5	Resultatkrefter	28
10	Økonomi - Fase 1	29
11	Diskusjon - Fase 1	30
12	Konklusjon - Fase 1	32
	Prosjektfase 2	33
13	Prosjekteringsgrunnlag - Fase 2	34
13.1	Bruddgrensetilstand	34
13.2	Bruksgrensetilstand	34
13.3	Knutepunkt/forbindelser	34
13.4	Vindavstivning	34
13.5	Økonomi	35
13.6	Transport og montering	35
14	Bruddgrensetilstand	36
14.1	Dimensjonerende laster/krefter	36
14.2	Overgurt	37

14.3 Søyler	37
14.4 Strekkstag	37
14.5 Utnyttelsesgrad	38
15 Bruksgrensetilstand	39
15.1 Nedbøyning	39
15.2 Dimensjonerende laster/krefter	39
15.3 Takkonstruksjon	40
15.4 Søyler	41
16 Knutepunkt/forbindelser	42
16.1 Møner	42
16.2 Raft	43
16.2.1 Anleggsplate	43
16.2.2 Oppleggsplate	43
16.2.3 Strekkstagforankring	44
17 Vindavstivning	45
17.1 Tak	45
17.2 Langvegg	45
17.3 Gavlvegg	46
18 Endelig løsning	47
19 Økonomi - Fase 2	48
20 Transport og montering	49
21 Diskusjon - Fase 2	51
22 Konklusjon - Fase 2	53
23 Forskning, utvikling og innovasjon	54
Referanser	55
Vedleggsliste	57

Figurliste

2.1	Oversikt over byggets situasjon	6
2.2	Alternative rammer	6
4.1	Aksesystem	11
4.2	Positive snittkrefter	11
8.1	Alternativ A - WW takstol	20
8.2	Alternativ B - Ramme med strekkstag	22
9.1	Alternativ A - Bøyemomenter	24
9.2	Alternativ B - Bøyemomenter	24
9.3	Alternativ A - Skjærkrefter	25
9.4	Alternativ B - Skjærkrefter	25
9.5	Alternativ A - Aksialkrefter	26
9.6	Alternativ B - Aksialkrefter	26
9.7	Alternativ A - Utnyttelsesgrad	27
9.8	Alternativ B - Utnyttelsesgrad	27
14.1	Utnyttelsesgrad - Fase 2	38
15.1	Rammens forskyvninger	39
20.1	Hengestag	49
20.2	Monteringsbjelke	50

Tabelliste

5.1	Fasthetsverdier - Limtre GL30c	12
7.1	Snølastdata	17
7.2	Vindlastdata	18
7.3	Dimensjonerende verdier for laster for brudd	19
7.4	Lastkombinasjoner i brudd	19
8.1	Alternativ A - Tverrsnitt og lengder	20
8.2	Alternativ B - Tverrsnitt og lengder	22
9.1	Alternativ A - Resultatkrefter	28
9.2	Alternativ B - Resultatkrefter	28
10.1	Kostnadsoverslag - Fase 1	29
14.1	Resultatkrefter	36
15.1	Dimensjonerende verdier for laster i bruksgrensetilstand	40
15.2	Lastkombinasjoner i bruksgrensetilstand	40
18.1	Endelig tverrsnittsdata	47

Likningsliste

8.1 Sikkerhet mot løfting	23
14.1 Anbefalt tverrsnittsareal for strekkstag	38
15.1 Nedbøyning ved møne	41
15.2 Søylens utbøyning	41

1 Symboler

Store latinske bokstaver

A	Tverrsnittsareal
A_{ef}	Effektiv kontaktflate
A_{net}	Nettoareal
A_s	Spenningsareal
A_v	Skjærareal
B	Bredde
C_e	Eksponeringsfaktor
C_t	Termisk faktor
D	Diameter
E	Elastisitetsmodulen
$E_{0.05}$	5 % - fraktilen av elastisitetsmodulen
E_{mean}	Midlere elastisitetsmodul
$F_{ax.rk}$	Karakteristisk uttrekkskapasitet
F_{ed}	Dimensjonerende kraft
F_{rd}	Dimensjonerende kapasitet
F_{rk}	Karakteristisk kapasitet
H	Høyde
I_y	Arealtreghetsmoment om y-aksen
L	Lengde
L_{ky}	Knekk lengde om y-aksen (sterk akse)
L_{kz}	Knekk lengde om z-aksen (svak akse)
L_w	Lengde sveis
M_{ed}	Dimensjonerende bøyemoment
$M_{y.rk}$	Karakteristisk flytemoment
N_{cr}	Eulers knekklast
$N_{c.ed}$	Dimensjonerende aksialkraft (trykk)
$N_{t.ed}$	Dimensjonerende aksialkraft (strekk)
$N_{pl.rd}$	Dimensjonerende plastiske aksialkraftkapasitet

V_{ed}	Dimensjonerende skjærkraft
$V_{pl.rd}$	Dimensjonerende plastiske skjærkraftkapasitet
W	Plastisk motstandmoment
W_y	Motstandsmoment om y-aksen

Små latinske bokstaver

a	Effektiv halsmål (a-mål)
a_1	Avstand mellom forbindelser i fiberretningen
a_2	Avstand mellom forbindelser på tvers av fiberretningen
$a_{3.c}$	Avstand mellom forbindelse og ubelastet ende
$a_{3.t}$	Avstand forbindelse og belastet ende
$a_{4.c}$	Avstand mellom forbindelse og ubelastet kant
$a_{4.t}$	Avstand mellom forbindelse og belastet kant
b_{ef}	Effektiv bredde
c_0	Terrengformfaktor
c_{dir}	Retningsfaktor
c_e	Eksponeringsfaktor
c_r	Terrengruhetsfaktor
c_{season}	Årstidsfaktor
d	Diameter (spiker)
d_0	Hulldiameter (strekkestag)
d_h	Diameter (spikerhode)
e_1	Avstand mellom forbindelse og ende i kraftretning
e_2	Avstand mellom forbindelse og ende på tvers av kraftretning
f	Takhøyde
$f_{ax.rk}$	Karakteristisk uttrekksmotstand
f_{c0d}	Dimensjonerende trykkfasthet i fiberretningen
f_{c0k}	Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning
f_{c90d}	Dimensjonerende trykkfasthet vinkelrett på fiberretningen
f_{c90k}	Karakteristisk trykkfasthet vinkelrett på fiberretning
$f_{c\alpha k}$	Dimensjonerende trykkfasthet i vinkel α på fiberretningen

$f_{h,k}$	Karakteristisk hullkantfasthet i tredelen
f_{mk}	Karakteristisk bøyefasthet
f_{myd}	Dimensjonerende bøyefasthet om y-aksen
f_{mzd}	Dimensjonerende bøyefasthet om z-aksen
f_{t0d}	Dimensjonerende strekkfasthet i fiberretningen
f_{t0k}	Karakteristisk strekkfasthet i fiberretning
f_{t90d}	Dimensjonerende strekkfasthet vinkelrett på fiberretningen
f_{t90k}	Karakteristisk strekkfasthet vinkelrett på fiberretningen
f_u	Strekkfasthet
f_{ub}	Bruddfasthet
f_{vd}	Dimensjonerende skjærfasthet
f_{vk}	Karakteristisk skjærfasthet
f_y	Flytespenning
f_{yb}	Flytespenning for forbindelse
g_k	Karakteristisk egenlast
h	Vegghøyde
h_m	Mønehøyde (strekkstag)
k_2	Strekkfaktor
$k_{c,90}$	Lastkonfigurasjonsfaktor
k_{cr}	Oppsprekningsfaktor
k_{crit}	Reduseringsfaktor som følge av sideveis utknekking
$k_{cy,cz}$	Instabilitetsfaktor
k_{def}	Deformasjonsfaktor
k_h	Høydefaktor
k_m	Omfordelingsfaktor for bøyepenninger
k_{mod}	Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse
$k_{y,z}$	Instabilitetsfaktor
l	Lengde (spiker)
l_{ef}	Effektiv berøringslengde; effektiv lengde
l_s	Sperrelengde (overgurt)
n	Antall

p_1	Avstand mellom forbindelse i en rad i kraftretningen
q_b	Basisvindhastighet
q_{ed}	Dimensjonerende last
q_k	Karakteristisk last
q_p	Vindkasthastighetstrykk
s	Senteravstand
s_k	Karakteristisk snølast på tak
$s_{k,0}$	Karakteristisk snølast på mark på byggeplass
t	Tykkelse
t_1	Tykkelse på tredel som er i kontakt med spikerhodet
t_{pen}	Inntrengningsdybde
v_b	Basisvindhastighet
$v_{b,0}$	Referansevindhastighet
v_m	Stedsvindhastighet
w	Nedbøyning
w_{fin}	Endelig nedbøyning
w_{inst}	Umiddelbar nedbøyning
w_k	Karakteristisk vindtrykk
z	Høyde over terreng
z_0	Ruhetslengde
z_{min}	Minimumshøyde

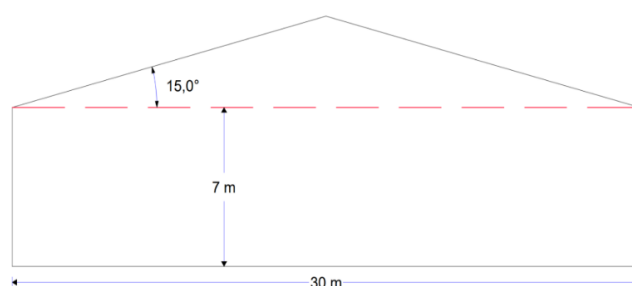
Små greske bokstaver

α	Takvinkel
β_c	Retthetsfaktor
β_w	Korrelasjonsfaktor
γ	Partialfaktor for materialeegenskaper (sikkerhetsfaktor)
δ	Utbøyning
$\lambda_{rel.m}$	Relativ slankhet
$\lambda_{rel.y}$	Relativ slankhet om y-aksen
$\lambda_{rel.z}$	Relativ slankhet om z-aksen

λ_y	Slankhet om y-aksen
λ_z	Slankhet om z-aksen
μ	Formfaktor for snølast
ξ	Reduksjonsfaktor
ρ	Lufttetthet
ρ_k	Karakteristisk densitet
σ_{c0d}	Dimensjonerende trykkspenning i fiberretningen
σ_{c90d}	Dimensjonerende trykkspenning vinkelrett på fiberretningen
$\sigma_{c\alpha d}$	Dimensjonerende trykkspenning i en vinkel α på fiberretningen
$\sigma_{m.crit}$	Kritisk bøyespenning
σ_{myd}	Dimensjonerende bøyespenning om y-aksen
σ_{mzd}	Dimensjonerende bøyespenning om z-aksen
σ_N	Aksialspenning
σ_{t0d}	Dimensjonerende strekkspenning i fiberretningen
τ_d	Dimensjonerende skjærspenning
ψ_0	Kombinasjonsfaktor for en variabel påkjenning
ψ_1	Kombinasjonsfaktor for en ofte forekommende verdi for en variabel påkjenning
ψ_2	Kombinasjonsfaktor for en kvasi-permanent verdi for en variabel påkjenning

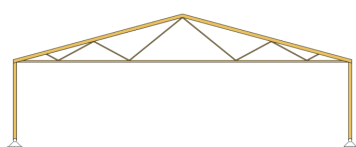
2 Innledning

Prosjektets hensikt er å se på ulike alternativer for et konstruksjonssystem for et næringsbygg i limtre. Bygget plasseres fiktivt på Stormyrveien i bydel Østbyen som ligger i Bodø kommune. Konstruksjonssystemet skal utføres slik at prosjektet blir mest mulig økonomisk gunstig for oppdragsgiver Green Advisers AS. Oppdragsgiver har også forespurt at utnyttelsesgraden av materialene skal være så høy som mulig og at dimensjoneringen skal være i samsvar med Norsk Standard.

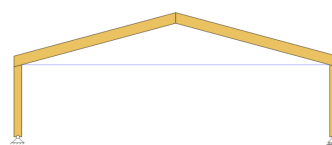


Figur 2.1: Oversikt over byggets situasjon

Figur 2.1 viser en oversikt over byggets situasjonen. Oppdragsgiver har gitt et krav om at næringsbygget skal ha et fritt innvendig spenn på 30 m, og en minste frihøyde på 7 m langs byggets lengde og bredde. Takvinkelen fastsettes til 15°.



(a) Skisse av alternativ A



(b) Skisse av alternativ B

Figur 2.2: Alternative rammer

De alternative løsningene (figur 2.2) for bærekonstruksjonen skal videre sammenliknes i en alternativanalyse, hvorav den mest optimale løsningen bearbeides videre i en detaljprosjektering.

Hele prosjektet vil deles inn i to faser:

1. Prosjektfase 1
2. Prosjektfase 2

Prosjektfase 1

I den første fasen av prosjekt skal de opptredende lastene og kreftene som virker på systemet bestemmes. Videre grunnlag for prosjekteringen bestemmes ved det mest ugunstigste lasttilfellet for konstruksjonen.

Deretter skal de to ulike rammealternativene sammenliknes i en alternativanalyse. Dette foregår ved bruk av forskjellige analyse- og beregningsprogrammer. Analysen suppleres i tillegg med manuelle kontroller i form av håndberegninger.

Ved prosjektfasens slutt skal det mest optimale og gunstigste alternativet velges og bearbeides videre i en detaljprosjektering.

Prosjektfase 2

I den andre fasen skal den valgte løsningen bearbeides videre og detaljprojekteres.

Dette går ut på at nye tverrsnitt og senteravstander velges slik at man får en optimal løsning med hensyn til utnyttelsesgrad og økonomi. I tillegg skal alle knutepunktforbindelsene også dimensjoneres.

Detaljprosjekteringen ser nøyaktigere på beregninger av rammen og knutepunktene. Prinsipielle forutsetninger legges til for vindavstivning, transport, montering og økonomi.

Arbeid gjort ved prosjektfase 2 skal helt til slutt dokumenteres i form av arbeidstegninger og håndberegninger (manuelle kontroller). Arbeidstegninger omfatter plantegninger, snittegninger og detaljtegninger.

3 Programvare/dataverktøy

Under prosjektet ble det brukt en del programvarer til både analyser, beregninger og tegninger. Lisens som kreves for noen av enkeltprogrammene gis fra enten NTNU eller fra programvareaktøren til det programmet det gjelder.

3.1 Mathcad Prime 3.1

Beregningsprogram av matematiske regnestykker som har blitt brukt til håndberegningsskontroll av analyseresultater.

3.2 Ove sletten

Lastberegningsprogram som har blitt brukt til å finne de ulike lastene. Dette gjelder i all hovedsak vind- og snølast.

3.3 Focus Konstruksjon 2019

Analyseprogram som er brukt til å bestemme snittkreftene (moment-, skjær- og aksialkraft). Programmet ble også brukt til å finne nedbøyninger og andre viktige dimensjoneringsforutsetninger.

3.4 ARCHICAD 22

Tegneprogram for byggesystemer som har blitt brukt til å utarbeide arbeidstegninger for konstruksjonen.

3.5 Microsoft Office

Microsoft Word er et tekstbehandlingsprogram som ble benyttet til generelle notater. Microsoft Office Excel ble brukt til numeriske analyser som for eksempel økonomi. OneDrive og SharePoint ble benyttet for felles skylagring.

3.6 LaTeX/Overleaf

Tekstbehandlingsprogram som har blitt brukt for bearbeidelse av hovedrapporten. Programmet tillater at flere personer arbeider samtidig på et dokument.

4 Grunnlagsdata

Under følger grunnlagsdata som gjelder for hele prosjektet. I tillegg fastsettes de positive retningene for det globale og lokale aksesystemet. De positive snittkreftene er også fastsatt.

4.1 Data for næringsbygget

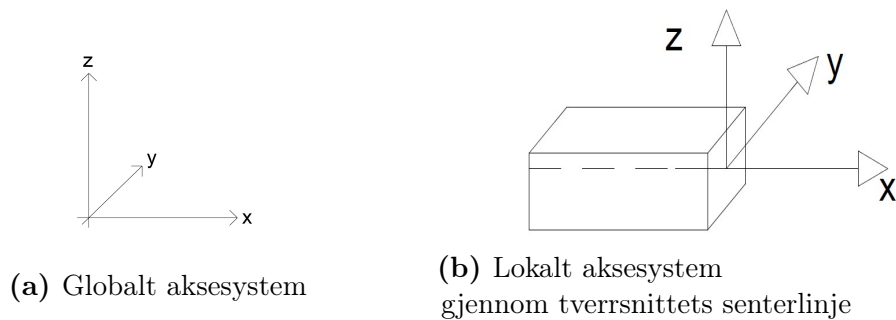
Relevant data tilknyttet næringsbygget som er benyttet videre i oppgaven. Se også figur 2.1 for en oversikt over byggets mål.

- Sted - Stormyrveien
- Mål - 30x50 meter
- Takvinkel - 15°
- Søylehøyde - 7 meter
- Mønehøyde - 11.019 meter
- Høyde over havnivå - 15 meter
- Klimaklasse - 2
- Pålitelighetsklasse - 2
- k_{mod} - 0.9
- k_{def} - 0.8

Pålitelighetsklassen er valgt etter NS-EN 1990: Tabell NA.A1(901). (8)

4.2 Aksestystem

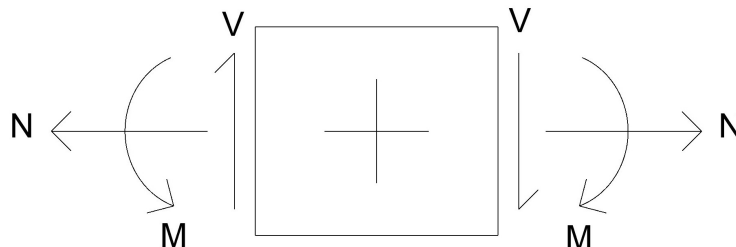
Figur 4.1 viser hvilken retninger det globale og lokale aksestystemet peker mot.



Figur 4.1: Aksestystem

4.3 Snittkrefter

Figur 4.2 viser snittkreftenes positive retninger sett fra høyre og venstre bjelkehalvdel.



Figur 4.2: Positive snittkrefter

5 Dimensjoneringsgrunnlag

Verdier og andre faktorer som omhandler materialene, og som er de samme under hele prosjektet er fastsatt i dette kapitlet. Dette omhandler egenskaper som gjelder for materialens styrke, stivhet og andre sikkerhetsfaktorer.

5.1 Limtre

Det er benyttet limtre av fasthetsklasse GL30c og Tabell 5.1 viser oversikt over limtreets egenskaper og tilhørende fasthetsverdier. Verdiene er hentet fra NS-EN 14080: Tabell 4.

Egenskap	Symbol	Fasthetsverdier
Bøyefasthet	f_{mk}	30
Strekfasthet (i fiberretning)	f_{t0k}	19.5
Strekfasthet (normalt på fiberretning)	f_{t90k}	0.5
Trykkfasthet (i fiberretning)	f_{c0k}	24.5
Trykkfasthet (normalt på fiberretning)	f_{c90k}	2.5
Skjærfasthet	f_{vk}	3.5
Elastisitetsmodul (midlere)	$E_{0.mean}$	13000
Elastisitetsmodul (5 % - fraktil)	$E_{0.05}$	10800
Densitet	ρ_{mean}	430
Densitet (Karakteristisk)	ρ_k	390

Tabell 5.1: Fasthetsverdier - Limtre GL30c

5.2 Stål

Det er benyttet konstruksjonsstål S355 i de ulike stålkomponentene med unntak av strekkstaget som er av stålqualität 540-S.

Verdier for flytespenning og strekkfasthet hentet fra NS-EN 1993-1-1: Tabell 3.1 (12) for stålqualität S355:

- Flytespenning: $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Strekkfasthet: $f_u = 490 \text{ N/mm}^2$
- Elastisitetsmodul: $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

5.3 Sikkerhetsfaktorer

Følgende partialfaktorer for materialegenskaper (sikkerhetsfaktorer) er benyttet videre i oppgaven:

- Limtre: $\gamma = 1.15$
- Forbindelser: $\gamma_M = 1.3$
- Stål: $\gamma_{M0} = 1.05$
- Sveis: $\gamma_{M2} = 1.25$

Verdiene er hentet fra hhv. NS-EN 1995-1-1: Tabell NA.2.3 (14) og NS-EN 1993-1-1: NA.6.1 (12).

Prosjektfase 1

6 Prosjekteringsgrunnlag - Fase 1

Det skal tas for seg ulike grunnlagsprosjektering i den første fasen av prosjektet. Alternativene skal analyseres med hensyn til bærekonstruksjonen ved gitte forutsetninger. Ved alternativsanalysen vil bare takkonstruksjonen legges til grunn når det mest optimale systemet velges. Søylenes dimensjoneres i prosjektfase 2.

Laster, dimensjoneringsgrunnlag og -regler for bærekonstruksjonsystemer er angitt i Eurokodene. Nedenfor angis grunnlagsdokumentene for første fase.

- NS-EN 1990
- NS-EN 1991
- NS-EN 1993
- NS-EN 1995

6.1 Bruddgrensetilstanden

Bruddgrensetilstanden defineres ved kapasitet til bærekonstruksjonen før konstruksjonen går til brudd. Ved første prosjektfase skal det sees på moment-, skjærkraft- og aksialkraftkapasitet. Maksimale tillatte krefter skal være mindre enn dimensjonerende krefter med gitte krav i NS-EN 1995. Det sees også på utnyttelsesgrad av de ulike rammene.

6.2 Bruksgrensetilstanden

Dimensjoneringsmessige hensyn til bruksgrensetilstanden er når konstruksjonen ikke lenger oppnår gitte funksjonskrav ved bruk. Denne tilstanden tar for seg i all hovedsak nedbøyninger og andre forskyvninger. I den første delen av prosjektet tas ikke dette hensyn til ved alternativsanalysen.

6.3 Ulykkesgrensetilstand

Prosjektet ser ikke på dimensjonering av ulykkeslaster som en del av hovedoppgaven. Dermed vil det bli sett bort fra denne tilstanden i denne delen.

6.4 Takkonstruksjon

Taket vil også bestå av rigler, tekning, isolasjon og andre nødvendige elementer. Antar lasten fra takkonstruksjon som en jevnt fordelt permanent last med verdi gitt av ekstern veileder. Det sees kun på bæringen av systemet i prosjektet. Det sees ikke på takkonstruksjonens bidrag med avstivning i fase 1.

6.5 Økonomi

Et enkelt kostnadsoverslag av de ulike alternativene skal utarbeides. Det er bare materialkostnadene som er tatt med i betraktning ved utarbeiding av kostnadsoverslaget. Benyttede priser fremkommer av ekstern veileder og aktører.

7 Dimensjonerende laster

Det virker ulike laster på rammesystemene. Disse beregnes hver for seg og kombineres deretter etter Eurokoden.

7.1 Egenlast

Egenlasten inkluderer egenvekten til treet og last fra takkonstruksjonen. Egenvekten til treet er satt opp som 430 kg/m^3 . Eksterne aktører utnevner takkonstruksjons last på grunn av rigler, taktekning og andre faktorer til 1 kN/m^2 .

Siden egenlasten varierer med mengde limtre (på grunn av egenvekten) så er den ikke lik for de ulike alternativene. Egenlasten, inkludert last fra takkonstruksjonen, fastsettes ved hjelp av Focus konstruksjon for hver av de ulike rammesystemene.

7.2 Snølast

Lastberegningsprogrammet Ove sletten brukes for å bestemme snølasten. Se vedlegg C1. Det utføres også en kontroll med håndberegning etter NS-EN 1991-1-3. Se vedlegg D1 for manuell kontroll. Den karakteristiske snølasten beregnes til **3.20 kN/m²**.

Snølasten blir sett på som en variabel korttidslast. Tabell 7.1 viser relevant informasjon som benyttes som grunnlag for å bestemme snølasten.

Kommune	Bodø
Byggets høyde	15 meter over havet
Eksponeeringskoeffisient C_e	1
Termisk koeffisient C_t	1
Formfaktor μ	0.8
Karakteristisk snølast på tak s_k	3.2 kN/m²

Tabell 7.1: Snølastdata

7.3 Vindlast

Lastberegningsprogrammet Ove sletten brukes for å bestemme vindlasten. Se vedlegg C2. Det utføres også en kontroll med håndberegning etter NS-EN 1991-1-4. Se vedlegg D2 for manuell kontroll. Den karakteristiske vindlasten beregnes til **0.32 kN/m²** (vindtrykk). Vindlasten blir sett på som en variabel øyeblikkslast. Tabell 7.2 viser relevant informasjon benyttet som grunnlag for å bestemme vindlastene.

Kommune	Bodø
Byggets høyde over terreng z	11.019 meter
Terrengruhetskategori	I
Retningsfaktor c_{dir}	1
Årstidsfaktor c_{season}	1
Ruhetsfaktor k_r	0.17
Ruhetslengde z_0	0.01 meter
Terrengruhetsfaktor c_r	1.191
Eksponeringsfaktor c_r	2.83
Basisvindhastighet v_b	30 m/s
Stedsvindhastighet v_m	35.7 m/s
Vindhastighetstrykk q_p	1.59 kN/m ²

Tabell 7.2: Vindlastdata

Sug på tak er tatt med i betraktning ved dimensjonering av knutepunktene i prosjektfase 2, men tas ikke hensyn til ved dimensjonering i prosjektfase 1.

7.4 Lastkombinasjon

NS-EN 1990 er benyttet for å kombinere de ulike lastene. Følgende faktorer er benyttet ved lastkombinasjonene (hentet fra NS-EN 1990: tillegg A1 (8)):

Formfaktor

- Snø: $\psi_{0,1} = \psi_{0,i} = 0.7$
- Vind: $\psi_{0,1} = \psi_{0,i} = 0.6$

Lastfaktor

- $\xi = 0.89$
- $\gamma_{Gj,sup} = 1.35$
- $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1.50$

Tabell 7.3 viser til to likninger som brukes videre som grunnlag for å bestemme de dimensjonerende lastkombinasjonene.

Likning	Permanent last	Dominerende last	Øvrig last
6.10 a	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
6.10 b	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Tabell 7.3: Dimensjonerende verdier for laster for brudd

De dimensjonerende verdiene for egen-, snø- og vindlasten(e) benyttes sammen med likningene i tabell 7.3 for bearbeidelse av ulike kombinasjoner. Tabell 7.4 viser en oversikt over de relevante lastkombinasjonene. Det ble foretatt en kontroll med analyseprogrammet Focus Konstruksjon, som også ga ut 8 relevante kombinasjoner.

Den dimensjonerende lastkombinasjonen fra tabell 7.4 er likningskombinasjon 6. Denne lastkombinasjonen benyttes videre ved dimensjonering av rammekonstruksjonen.

Lastkombinasjon	Permanent last	Dominerende last	Øvrig last	Likning
1	g	s		6.10 a
2	g	s		6.10 b
3	g	w		6.10 a
4	g	w		6.10 b
5*	g	s	w	6.10 a
6	g	s	w	6.10 b
7*	g	w	s	6.10 a
8	g	w	s	6.10 b

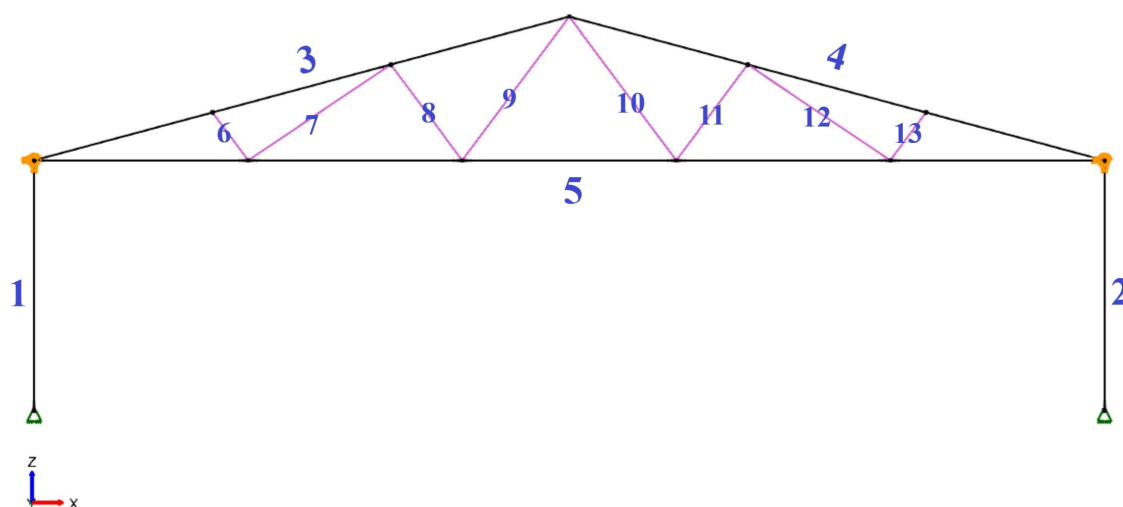
**Kombinasjonslikning 5 og 7 blir like på grunn av lik last- og formfaktor for vind/snø i dominerende/øvrig last i likning 6.10 a.*

Tabell 7.4: Lastkombinasjoner i brudd

8 Alternative rammer

8.1 Alternativ A

Figur 8.1 viser utformingen til WW-takstolen for alternativ A, og nummereringen av de ulike elementene som utgjør takstolen. Tabell 8.1 viser en oversikt over elementenes tverrsnittsdata og tilhørende lengder.



Figur 8.1: Alternativ A - WW takstol

Element	Lengde	Tverrsnitt BxH
<u>1</u>	7000 mm	160x280 mm
<u>2</u>	7000 mm	160x280 mm
<u>3</u>	15529 mm	280x720 mm
<u>4</u>	15529 mm	280x720 mm
<u>5</u>	30000 mm	160x280 mm
<u>6</u>	1672 mm	160x200 mm
<u>7</u>	4815 mm	160x80 mm
<u>8</u>	3344 mm	160x200 mm
<u>9</u>	5015 mm	160x80 mm
<u>10</u>	5015 mm	160x80 mm
<u>11</u>	3344 mm	160x200 mm
<u>12</u>	4815 mm	160x80 mm
<u>13</u>	1672 mm	160x200 mm

Tabell 8.1: Alternativ A - Tverrsnitt og lengder

Alternativ A består av en WW-takstol i limtre. Takrammen er understøttet med fritt opplagte limtresøyler. I tillegg er rammen leddet på toppen, ved søyleoppleggene og ved knutepunktene til diagonalstavene. I tillegg virker stavene som avstivere for overgurtene. Tversnittet er bygd opp av lameller på 40mm.

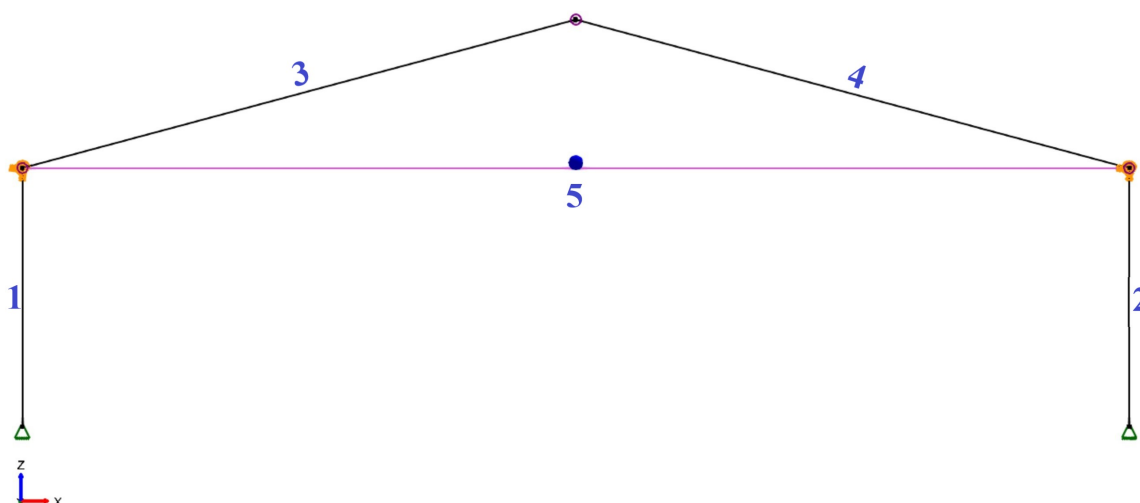
- Element 1 og 2 er søylene.
- Element 3 og 4 er overgurtene.
- Element 5 er undergurten.
- Element 6, 8, 11 og 13 er trykkstaver.
- Element 7, 9, 10 og 12 er strekkstaver.

Valgt senteravstand er på 1250 mm og er valgt på bakgrunn av dimensjonerende lastsituasjoner og utnyttelsesgrad av materialene.

Det er valgt å lime sammen to tverrsnitt med standard bredder for å oppnå de breddene som er nødvendige. To stk. 80 mm danner bredde lik 160 mm og to stk. 140 mm danner bredde lik 280 mm. Valget om å lime sammen to tverrsnitt til et større ett er gjort på bakgrunn av at tilgjengeligheten for større bredder, for et limtretverrsnitt, er liten og veldig dyrt. Ved bruk av større og spesiallagde tverrsnitt ville også leveringstiden ha vært betraktelig større.

8.2 Alternativ B

Figur 8.2 viser utformingen til rammekonstruksjonen for alternativ B, og nummereringen av de ulike elementene som utgjør rammen. Tabell 8.2 viser en oversikt over elementenes tverrsnittsdata og tilhørende lengder.



Figur 8.2: Alternativ B - Ramme med strekkstag

Element	Lengde	Tverrsnitt BxH
<u>1</u>	7000 mm	280x360 mm
<u>2</u>	7000 mm	280x360 mm
<u>3</u>	15529 mm	280x1485 mm
<u>4</u>	15529 mm	280x1485 mm
<u>5</u>	30000 mm	Diameter = 2*36 mm

Tabell 8.2: Alternativ B - Tverrsnitt og lengder

Alternativ B består av to overgurter i limtre og en undergurt bestående av strekkstag i stål. Takrammen er understøttet med fritt opplagte limtresøyler. I tillegg er rammen leddet på toppen og ved søyleoppleggene. Tverrsnittet er bygd opp av lameller på 45mm.

- Element 1 og 2 er søylene.
- Element 3 og 4 er overgurtene.
- Element 5 er strekkstaget.

Valgt senteravstand er på 3125 mm og er valgt på bakgrunn av dimensjonerende lastsituasjoner og utnyttelsesgrad av materialene.

Strekkestaget kan bare ta opp horisontale strekkrefter. Med andre ord så er det viktig å forsikre seg om at de opp tredende kreftene ikke skaper trykk i staget. Så lenge likning 8.1 er oppfylt så vil stålstaget være i strekk og man har da en sikkerhet mot løfting som ellers ville ha skapt trykk i staget. (18)

$$-\left[\frac{w_{sug}}{2} \cdot \frac{l^2}{8 \cdot f} \cdot (1 - \tan^2 \alpha)\right] + \left[\frac{g \cdot l^2}{8 \cdot f}\right] \geq 0 \quad (8.1)$$

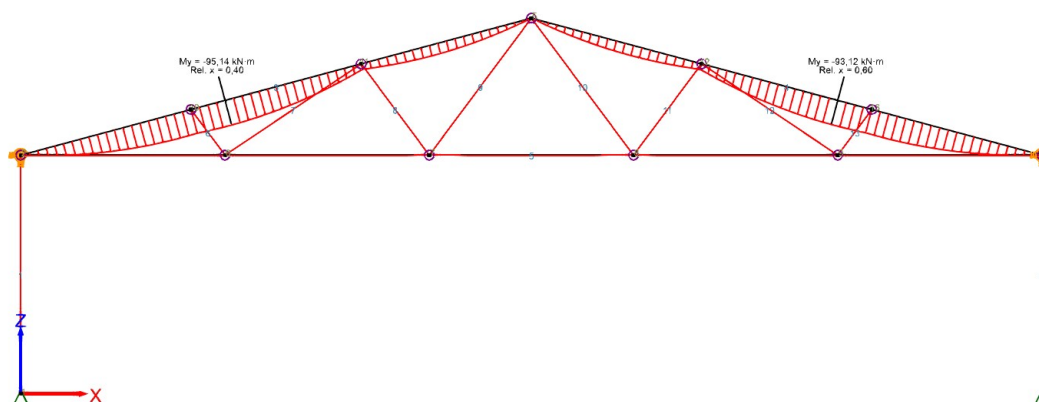
I tillegg til å ta opp horisontale strekkrefter så bidrar også strekkstaget med på å redusere nedbøyningen ved møne.

9 Diagrammer

9.1 Bøyemomenter

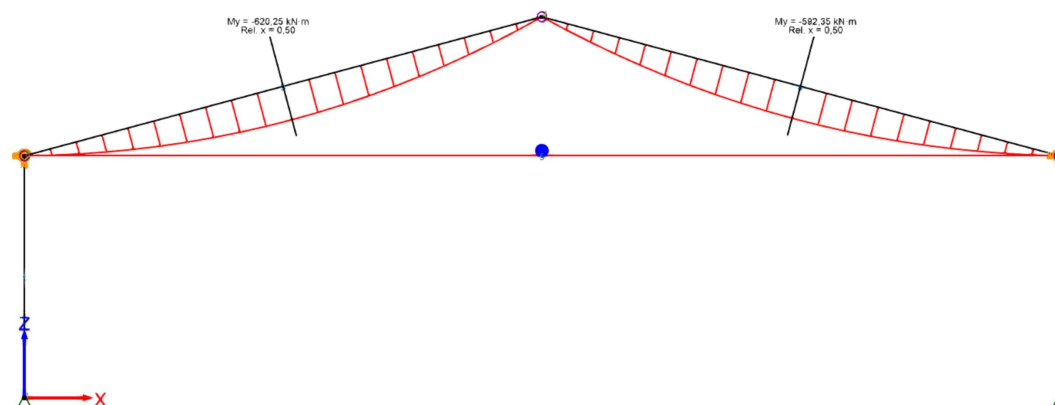
Dimensjonerende bøyemomenter for hhv. alternativ A og B er vist på figur 9.1 og 9.2.

Alternativ A



Figur 9.1: Alternativ A - Bøyemomenter

Alternativ B

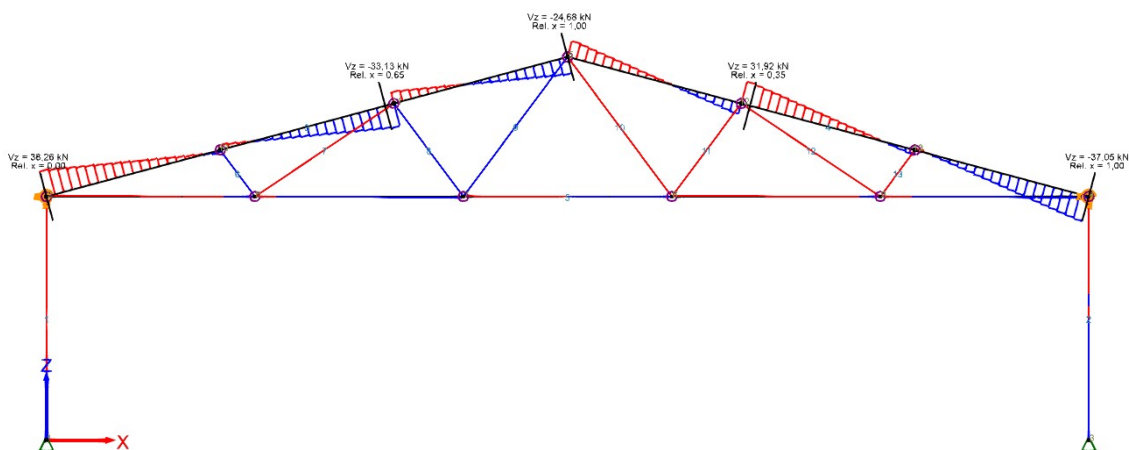


Figur 9.2: Alternativ B - Bøyemomenter

9.2 Skjærkrefter

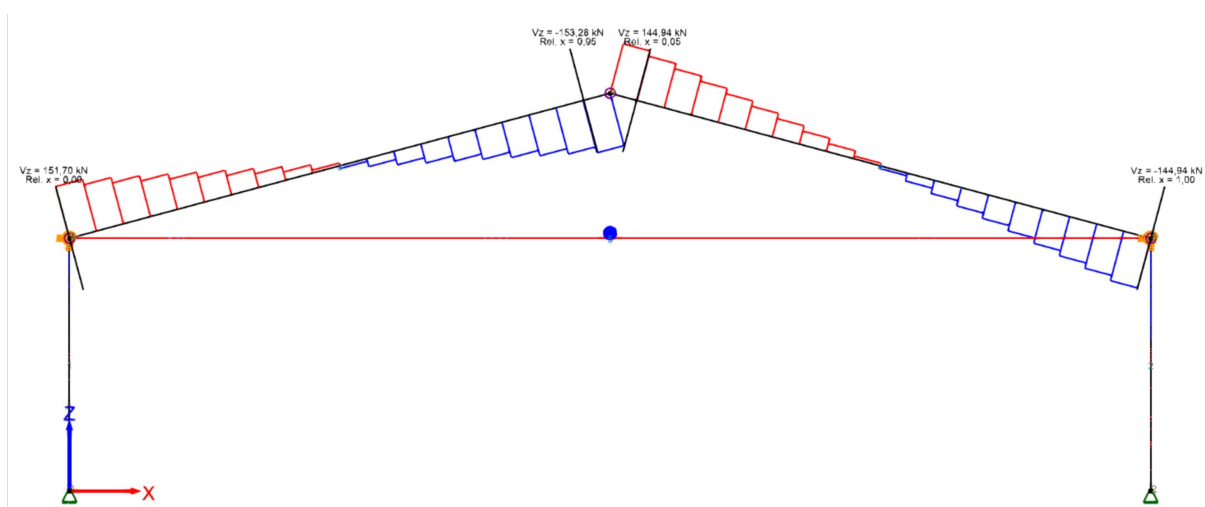
Dimensjonerende skjærkrefter for hhv. alternativ A og B er vist på figur 9.3 og 9.4.

Alternativ A



Figur 9.3: Alternativ A - Skjærkrefter

Alternativ B

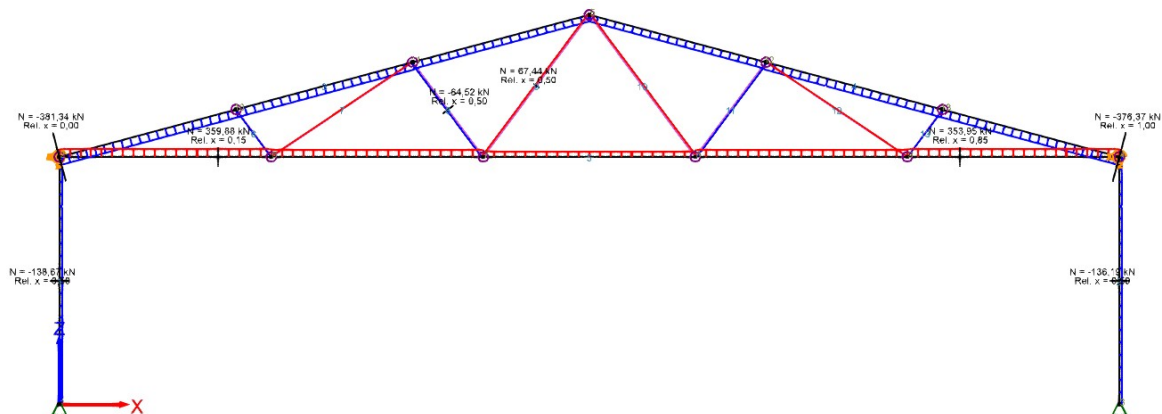


Figur 9.4: Alternativ B - Skjærkrefter

9.3 Aksialkrefter

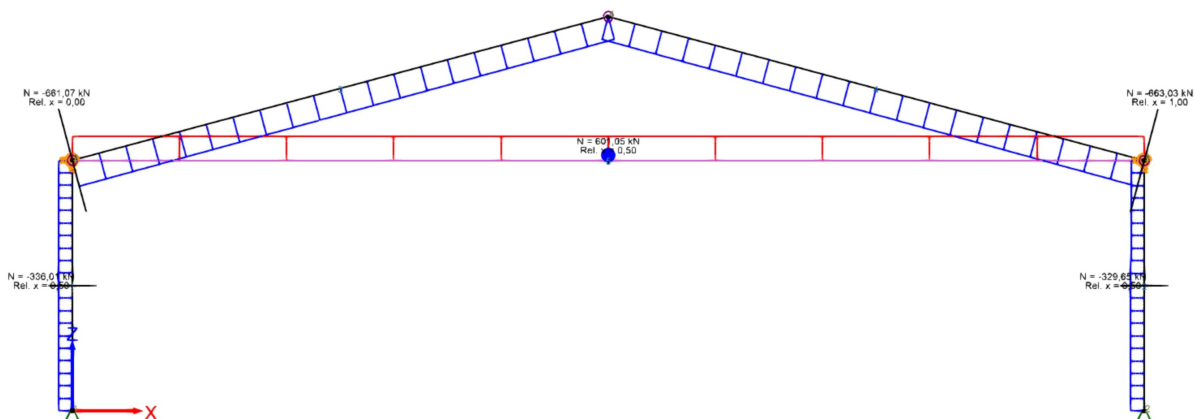
Dimensjonerende aksialkrefter for hhv. alternativ A og B er vist på figur 9.5 og 9.6.

Alternativ A



Figur 9.5: Alternativ A - Aksialkrefter

Alternativ B

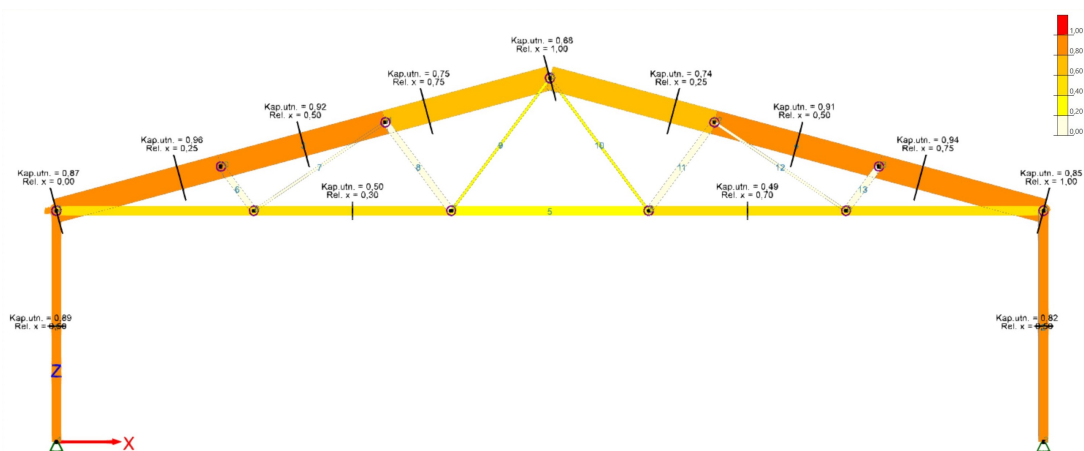


Figur 9.6: Alternativ B - Aksialkrefter

9.4 Utnyttelsesgrad

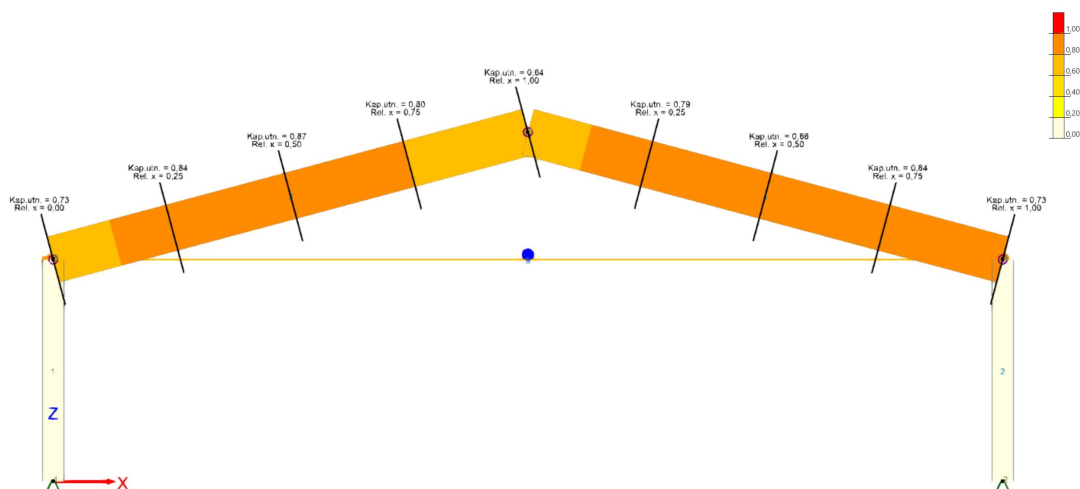
Utnyttelsesgrader for hhv. alternativ A og B er vist på figur 9.7 og 9.8. Focus Konstruksjon har beregnet utnyttelsesgradene basert på Eurokodene. Skjevfordeling av grader skyldes at vinden bare virker på den ene siden av taket.

Alternativ A



Figur 9.7: Alternativ A - Utnyttelsesgrad

Alternativ B



Figur 9.8: Alternativ B - Utnyttelsesgrad

9.5 Resultatkrefter

Tabell 9.1 og 9.2 viser en oversikt over de største kreftene på hvert enkelt segment. De største kreftene (uthevet) for hvert alternativ er benyttet ved videre dimensjonering.

Alternativ A

Element	Bøyemoment	Skjærkraft	Aksialkraft
<u>1</u>	-	-	-
<u>2</u>	-	-	-
<u>3</u>	95.14 kNm	38.26 kN	-381.34 kN
<u>4</u>	92.12 kNm	37.05 kN	-376.36 kN
<u>5</u>	3.03 kNm	1.19 kN	359.88 kN
<u>6</u>	-	-	-13.32 kN
<u>7</u>	-	-	20.28 kN
<u>8</u>	-	-	-64.52 kN
<u>9</u>	-	-	67.44 kN
<u>10</u>	-	-	64.35 kN
<u>11</u>	-	-	-61.44 kN
<u>12</u>	-	-	18.51 kN
<u>13</u>	-	-	-12.06 kN

Tabell 9.1: Alternativ A - Resultatkrefter

Alternativ B

Element	Bøyemoment	Skjærkraft	Aksialkraft
<u>1</u>	-	-	-
<u>2</u>	-	-	-
<u>3</u>	620.22 kNm	153.26 kN	-660.97 kN
<u>4</u>	592.34 kNm	144.95 kN	-662.99 kN
<u>5</u>	-	-	600.96 kN

Tabell 9.2: Alternativ B - Resultatkrefter

10 Økonomi - Fase 1

Under følger en oversikt over materialkostnadene for hver ramme ved alternativ A og B, samt totalkostnadene ved bruk av de ulike alternativene. Se tabell 10.1 for oversikt over kostnader. Se vedlegg E1 for en mer detaljert oversikt over kostnadsberegningene.

	Alternativ A	Alternativ B
Antall rammer	41	17
Rammekostnad	96 432 kr	191 865 kr
Totalkostnad	3 953 715 kr	3 261 697 kr

Tabell 10.1: Kostnadsoverslag - Fase 1

I følge tabell 10.1 så vil alternativ A være den mest gunstige per ramme, men ser man på totalkostnadene så vil alternativ B være den mest gunstige. Dette kommer av at antall rammebruk ved alternativ A er langt høyere enn ved alternativ B.

Dette gir med andre ord en total besparelse på **692 018 kr** ved bruk av alternativ B.

11 Diskusjon - Fase 1

Hittil i første prosjektfase har det blitt sett på hvordan ulike laster virker på rammesystemene. Det har også blitt utført analyser av de to ulike rammene. De største utfordringene har ligget i å prosjektere takrammen slik at den innfrir kravene om fri høyde på 7 m og et fritt spenn på 30 m.

For det første alternativet benyttes det en tradisjonell WW-takstol. Dette er et kjent rammesystem som en del fagfolk har lang erfaring med. Fordelen med å bygge en slik ramme er nettopp denne erfaringen. I tillegg fordeles kreftene jevnt over rammen i forhold til alternativ B. Rammens elementer har tverrsnitt som består av to limte lagerførte standardstørrelser. Dette vil gi en raskere levering av blant annet bjelkene som skal limes sammen og utgjøre over- og undergurt, samt diagonalstavene. Det er derimot en ulempe ved å lage et tverrsnitt på følgende måte; bjelkene må limes på fabrikk og dette vil føre til ekstra kostnader og lengre leveringstid.

Utformingen til takrammen av alternativ A gjør det mulig med et innvendig flatt tak bestående av eksempel himlingsplater. På denne måten kan innredning utføres slik at alt av tekniske- og andre installasjoner kan skjules over himlingsplatene. Det vil da konstant være 7 meter opp til himlingen langs hele byggets lengde.

For det andre alternativet vil det benyttes en takramme med overgurter i limtre og en strekkstag av stål. Dette er ikke et like kjent rammesystem som i alternativ A og er av den grunn ikke like mye brukt. En av fordelene ved alternativ B er det vesentlige mindre materialbruket ved større bygg. Materialforbruket per ramme er større ved alternativ B enn ved alternativ A, men ser man bygget i sin helhet så vil forbruket reduseres en god del. Det kommer av at det tillates større laster på rammen i alternativ B og en kan da benytte større senteravstander. Med andre ord vil en få færre rammer totalt, og dermed et mindre materialforbruk. Antall rammer blir omtrent halvert ved bruk av rammetypen i alternativ B sammenliknet med alternativ A. På den andre siden vil kreftene for dette systemet være høyere enn ved det andre alternativet, og tverrsnittsprofilene vil derfor også være en del større.

Ved alternativ B vil man få en mye større høyde under taket. Bygget vil oppleves som større og mer romslig, og det gir også et mer moderne utseende. Siden tverrsnittet ved alternativ B ikke trenger å limes så vil leveringstiden være mindre. Standardbredder har blitt benyttet ved hvert element og det vil være til fordel for tilgjengeligheten og leveringstiden. Det er også færre knutepunkter å forholde seg til ved alternativ B. Det vil med andre ord være mindre sannsynlig med menneskelig feil på byggeplass, og tidsforbruket ved konstruksjonssinstallasjonen vil være mindre sammenliknet med alternativ A.

På grunnlag av det økonomiske aspektet så har rammen ved alternativ A en mindre kostnad enn rammen ved alternativ B. Dette kommer av et høyere limtreforbruk og bruk av stål ved alternativ B. Antall rammer er derimot mye høyere ved alternativ A og dette er den utgjørende faktoren som gjør at alternativ B er rimeligere enn alternativ A, selv med en høyere rammekostnad.

12 Konklusjon - Fase 1

Den mest optimale og gunstigste takrammekonstruksjonen skal velges og bearbeides videre i detalj. Det er lagt mest vekt på utnyttelsegrad og økonomi ved valg av ramme fra første fase.

Utnyttelsesgradene ved begge alternativer er omtrent like store, men materialforbruket er mindre ved alternativ B. Antall rammer er også færre og totalkostnadene er også mindre sammenliknet ved alternativ A. Løsningen er også mer innovativ og bygget gir en mer romslig følelse. Utførelse på byggeplass er i tillegg mindre kompleks og vil derfor ta mindre tid å gjennomføre.

På bakgrunn av dette velges det å bearbeide alternativ B videre i detalj. Dvs. rammen med overgurter i limtre og strekkstag i stål.

Prosjektfase 2

13 Prosjekteringsgrunnlag - Fase 2

Som i prosjektfase 1 sees det bort fra ulykkeslaster (branndimensjonering) og det vil ikke bli foretatt noen seismiske vurderinger. Det vil heller ikke bli foretatt noen grunn- og fundamenteringsvurderinger.

13.1 Bruddgrensetilstand

Det skal dimensjoneres etter NS-EN 1995 og NS-EN 1993 i bruddgrensetilstanden. Alle gitte krav i Norsk Standard skal oppfylles med hensyn til styrke, stivhet og stabilitet.

13.2 Bruksgrensetilstand

I bruksgrensetilstanden skal det sees på forskyvninger og nedbøyninger som følge av kriterier gitt fra Eurokode 5. Alle krav som oppgis i denne grensetilstanden skal oppfylles.

13.3 Knutepunkt/forbindelser

Det skal velges riktige festemidler ved alle forbindelsespunkter slik at konstruksjonssystemet opprettholder alle krav i henhold NS-EN 1993-1-1, 1993-1-8 og 1995-1-1.

13.4 Vindavstivning

Den globale avstivningen tas opp i byggesystemet. På bakgrunn av dette skal det utføres prinsipielle beregninger for vindavstivning for både vegg og tak. Dette gjøres i henhold til NS-EN 1995.

13.5 Økonomi

I fase 2 skal det også enkelt beregnes med priser gitt fra oppdragsgiver Green Advisers AS og andre benyttende aktører. Endelig kostnadsestimat fastsettes for valgt alternativ B.

13.6 Transport og montering

Det skal sees på viktige forutsetninger for transport av varer til byggeplass. Videre skal det også sees på nødvendige forutsetninger og prinsipper for å utføre montering av konstruksjonssystemet på byggeplass.

14 Bruddgrensetilstand

I fase 2 er det kommet fram til nye tverrsnitt på grunn av nøyaktigere beregninger av hvert element. Nye senteravstander bestemmes også på bakgrunn av nye beregninger. De nye dimensjonerende kreftene for hvert element legges til grunn og deretter dimensjoneres tverrsnittene til hvert enkelt element. Tverrsnittet reduseres en del fra fase 1. Dette skyldes i all hovedsak at taket nå betraktes som avstivet av skivene ut av planet (se kapittel 17).

14.1 Dimensjonerende laster/krefter

På grunn av nøyaktigere beregninger har man fått et bedre materialforbruk og en høyere senteravstand (lastbredde). Man vil da få nye krefter som følge av at linjelastene som vind, snø og egenlast får nye verdier. Disse nye verdiene er lagt til grunn for videre dimensjonering. Tabell 14.1 viser en oversikt over de nye og endelige kreftene. Kreftene er hentet ut fra Focus Konstruksjon. Se figur 8.2 for elementinndelingen av systemet.

Element	Bøyemoment	Skjærkraft	Aksialkraft
<u>1</u>	38.9 kNm	21.1 kN	-391.5 kN
<u>2</u>	0 kNm	0 kN	-383.72 kN
<u>3</u>	725.6 kNm	179.4 kN	-772.4 kN
<u>4</u>	691.3 kNm	169.2 kN	-774.6 kN
<u>5</u>	-	-	695.6 kN

Tabell 14.1: Resultatkrefter

På grunn av bedre optimalisering tillates det å øke senteravstanden fra 3125 mm til 3850 mm. De samme lastkombinasjonene som ble brukt i fase 1 (tabell 7.4) gjelder fortsatt. I denne delen av prosjektet blir også vind på søylen tatt i betraktning. Det karakteristiske vindsuget på taket er på 1.59 kN/m^2 og benyttes ved dimensjonering av knutepunktet der søylen og overgurten møtes. Se også kapittel 18 for de nye og endelige tverrsnittsprofilene til de ulike rammeelementene.

14.2 Overgurt

Siden overgurten sin trykksone nå betraktes som fastholdt inn i planet av taket så kan tversnittet reduseres. Det er valgt å redusere både bredden og høyden. Høyden ble redusert fra 1485 mm til 1170 mm. Bredden ble redusert fra 280 mm til 215 mm. Det er også til fordel at det nå kan benyttes bransjestandard for limtrebredden.

Se vedlegg D3 for manuell kontroll av overgurten.

14.3 Søyale

Søyalebredden er valgt slik at den er like bred som overgurten og søylehøyden er valgt på grunnlag av anleggsflaten til overgurten.

I tillegg til det opptredende bøyemomentet om den sterke aksene, som følge av tverrlasten (vindlasten), har man også en samtidig fungerende trykkraft på søylen. Denne trykkraften bidrar med et tilleggsmoment gjennom nedbøyning som må tas med i betraktning ved kontroll av søylen.

Se vedlegg D4 for manuelle beregninger av søylen.

14.4 Strekkstag

Strekkstagsystemet leveres av Pretec. Strekkstagsystemet består av to stager med en diameter på 42 mm og er plassert på hver sin side av overgurten. Hvert stag leveres i 4 deler; hvorav hver del er på 8 m. Disse delene skjøtes sammen med skjøthylser. Pretec leverer skjøthylsene slik at de er overdimensjonert (20). På denne måten sikrer man at det er staget som er den dimensjonerende delen av systemet og ikke forbindelsesmiddelet. Det er valgt å plassere en stang på hver side av bjelken for en enklere montering på byggeplass og fordi det gir bedre fordeling av krefter. Det nødvendige anbefalte strekkstagarealet ble

bestemt ved å ta utgangspunkt i likning 14.1. (18, s. 159)

$$A \simeq \frac{q_d \cdot L}{8 \cdot f} \cdot \frac{1.4}{f_{ub}} \quad (14.1)$$

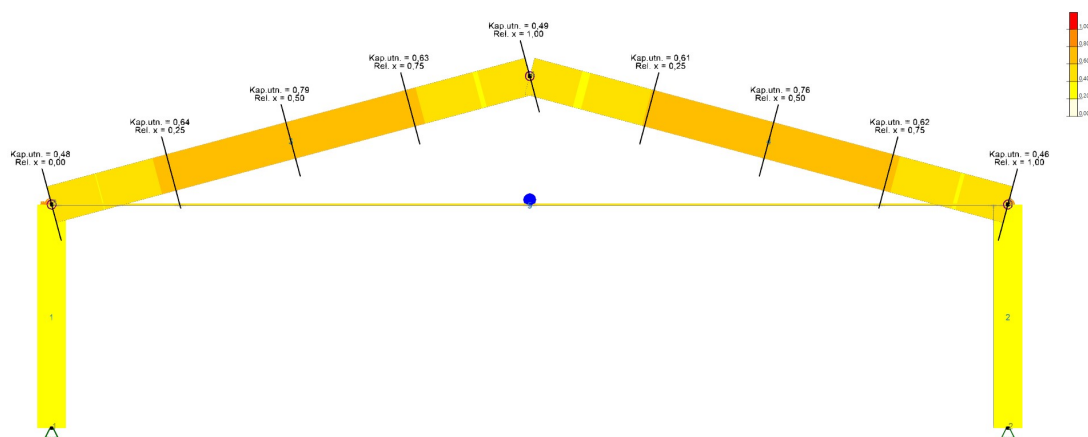
Strekkestagene har som funksjon å ta opp de horisontale strekkreftene og virker også på konstruksjonen på en slik måte at den bidrar med å redusere nedbøyningen ved møne. Det er derfor valgt å overdimensjonere strekkstagsystemet da dette vil føre til bedre utnyttelse av limtrematerialet og dermed en bedre økonomi.

Som nevnt ovenfor kan staget bare ta opp strekkrefter og det er viktig å forsikre seg om at det ikke oppstår trykk og dermed løfting. Se kapittel 8.2 for en beskrivelse av sikkerhet mot løfting.

Se vedlegg D5 for manuell kontroll av strekkstag, og vedlegg F8 for plantegninger av strekkstagforbindelsen.

14.5 Utnyttelsesgrad

De nye dimensjonene for bærekonstruksjonen utgir disse utnyttelsesgradene vist ved figur 14.1.



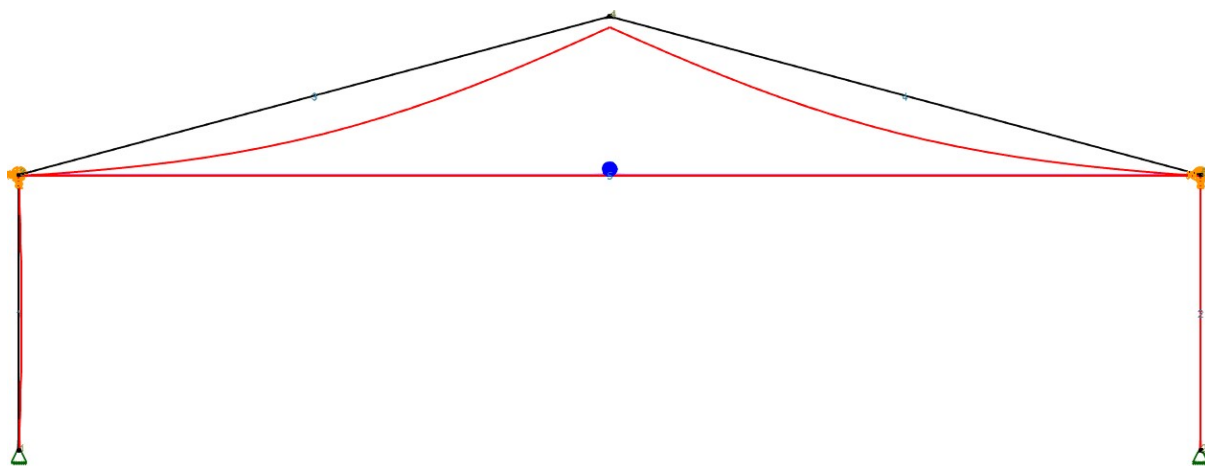
Figur 14.1: Utnyttelsesgrad - Fase 2

15 Bruksgrensetilstand

I bruksgrensetilstand skal forskyvninger på rammen kontrolleres opp mot kravene i Eurokodene. De gitte kravene dokumenteres, og forskyvninger som beregnes kontrolleres manuelt. Analyseprogrammet Focus Konstruksjon har blitt brukt aktivt ved analyse av forskyvningene. Under analysen vil tilleggsnedbøyninger, som følge av langtidseffekter (kryp), tas med i betraktning. Krypeffekten påvirkes av fukt og variasjon i fuktinnholdet (18, s. 99). Det er ved bruk av faktor k_{def} at langtidseffekter tas hensyn til ved beregninger av forskyvninger. (14)

15.1 Nedbøyning

Figur 15.1 gir et omtrentlig deformasjonsbilde av rammen (sterkt overdrevet). De neste underkapitler tar for seg beregninger og nedbøyningsverdier for hvert element.



Figur 15.1: Rammens forskyvninger

15.2 Dimensjonerende laster/krefter

I bruksgrensetilstanden benyttes det andre faktorer for laster enn i tabell 7.3. Faktor 1.0 benyttes for karakteristiske og ofte forekommende kombinasjoner, i tillegg til at den i

enkelte tilfeller benyttes sammen med faktor ψ . Se tabell 15.1 for en oversikt over de ulike likningskombinasjonene av de karakteristiske lastene benyttet i bruksgrensetilstanden.

Kombinasjon	Permanent last	Dominerende last	Øvrig last
Karakteristisk	$G_{k,j,sup}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Ofte forekommende	$G_{k,j,sup}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Tabell 15.1: Dimensjonerende verdier for laster i bruksgrensetilstand

På bakgrunn av de nye kombinasjonslikningene i bruksgrensetilstanden vil det nå hentes ut nye lastkombinasjoner. De lastkombinasjonene som gir de mest ugunstige verdiene for ned-/utbøyninger vil benyttes videre. Tabell 15.2 viser en oversikt over de ulike lastkombinasjonene; hvorav kombinasjon 2 er den mest ugunstige.

Lastkombinasjon	Permanent last	Dominerende last	Øvrig last
<u>1</u>	g	s	
<u>2</u>	g	s	w
<u>3</u>	g	w	
<u>4</u>	g	w	s

Tabell 15.2: Lastkombinasjoner i bruksgrensetilstand

Lastfaktorer til bruk ved beregninger av nedbøyninger gis som følgende nedenfor for egen-, vind- og snølast. Disse faktorene avhenger av hvor ofte lastene forekommer. Dette avleses i tabell gitt i Eurokoden. (8)

Egenlast

- $\psi_{0,i} = 1.0$
- $\psi_{1,1} = 1.0$
- $\psi_{2,i} = 1.0$

Snø

- $\psi_{0,i} = 0.7$
- $\psi_{1,1} = 0.5$
- $\psi_{2,i} = 0.2$

Vind

- $\psi_{0,1} = 0.6$
- $\psi_{1,1} = 0.2$
- $\psi_{2,i} = 0$

15.3 Takkonstruksjon

Ved takkonstruksjonen skal nedbøyninger ved møne og i kritiske snitt langs overgurtene kontrolleres.

Nedbøyninger langs overgurten hentes ut fra Focus konstruksjon. Den gis ut til å være på maksimalt 60.0 mm i overgurten, i en avstand på 8.5 m fra opplegget. Forskyvningskravet til den endelige nedbøyningen settes lik $w_{fin} \leq \frac{L}{250}$ langs overgurten (14).

Videre skal også nedbøyninger ved møne kontrolleres. Nedbøyningen ved møne kan beregnes etter likning 15.1 (18, s. 157):

$$w = \frac{(q_1 + q_2) \cdot L^2}{8 \cdot \tan^2 \alpha \cdot (EA)_{bjelke}} \cdot \left(\frac{1}{\cos^3 \alpha} + \frac{(EA)_{bjelke}}{(EA)_{strekkbnd}} \right) \quad (15.1)$$

Nedbøyningsverdien ved mønet kommer ut på ca. 59 mm. Forskyvningskravet ved mønet settes som $w_{fin} \leq \frac{L}{350}$.

Se også vedlegg D6 for manuell kontroll av forskyvninger på både overgurt og møne.

15.4 Søyle

I prosjektfase 1 ble ikke vindtrykk på søylen tatt hensyn til ved prosjekteringen av rammen. Men siden vindtrykket nå tas med i betrakning fører det til en utbøyning av søylen. Utbøyningen beregnes etter likning 15.2:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{qH^4}{EI} \quad (15.2)$$

Utbøyningsverdien for søyla kommer ut på ca. 6.5 mm. Utbøyningskravet settes lik $\delta \leq \frac{L}{300}$.

Se vedlegg D7 for manuell kontroll av forskyvinger på søylen.

16 Knutepunkt/forbindelser

Ettersom tversnitt for elementene er bestemt på bakgrunn av dimensjonering i kapittel 14 og 15, skal også knutepunktene dimensjoneres etter krav fra Eurokodene. Siden knutepunktforbindelsen skal utføres på byggeplass har fokuset ligget på å velge løsninger som gir en enkel montering så langt det lar seg gjøre. I tillegg skal knutepunktsløsningene optimaliseres. De fleste enkeltelementer for knutepunktene bestilles fra samme leverandør, med unntak av noen få elementer.

16.1 Møne

Hullplaten og spikrene leveres av leverandøren Simpson Strong Tie (4). Det er valgt å benytte hullplater på hver side av overgurten med kamspiker som forbindelsesmiddel for å overføre kreftene ved møne. Det oppstår et bøyemoment som følge av en eksentrisitet til forbindergruppens tyngdepunkt. Dette bøyemomentet skal fordeles som en tilleggs kraft over forbinderne.

Valget om å benytte kamspiker i stede for en vanlig spiker er gjort på bakgrunn av at kamspikrene gir et betydelig mer bidrag til forbindelsens styrke på grunn av tau-effekten.

Se vedlegg F10 for dimensjonene for møneplaten og kamspikrene.

16.2 Raft

Ved raft forbindes elementene ved bruken av anleggsplater, hullplater og spiker for opplegg og forankring av strekkstaget.

16.2.1 Anleggsplate

Det er valgt å benytte en stålplate på anleggsflaten mellom undersiden av overgurten og oversiden av søylen. Anleggsplaten vil føre de vertikale kreftene fra overgurten og ned i søylen. Hensikten med en slik plate er å fordele kreftene over en større flate. Platen har en tykkelse på 20 mm og leveres av Simpson Strong Tie.

16.2.2 Oppleggsplate

På hver sin side av raften skal det benyttes hullplater, med kamspiker som forbindelsesmiddel. Oppleggsplaten overfører bare de vertikale løftekreftene og ingen horisontale krefter fra overgurten da strekkstaget tar opp disse. Løftekraften går gjennom tyngdepunktets senterlinje og det vil derfor ikke oppstå tilleggskrefter pga. denne løftekraften. I tillegg skal oppleggsplaten overføre horisontale vindkrefter fra søylen, gjennom overgurten og til takskiven. Det vil oppstå et eksentrisitetsmoment som følge av en avstand e fra toppen av søylen til fobindergruppens tyngdepunkt. Hullplaten og kamspikrene leveres av Simpson Strong Tie.

Se vedlegg F10 for dimensjonene for oppleggsplaten og kamspikrene.

16.2.3 Strekkstagforankring

Strekkstagene forankres på enden av overgurten ved hjelp av et forankringsselement som består av en kontakt- og ankerplate. Strekkstagene blir festet til ankerplaten ved hjelp av muttere og underlagsskiver (19). Elementets oppgave er å overføre horisontale krefter mellom overgurten og strekkstagene.

Ankerplaten har som oppgave å overføre strekkraftene mellom strekkstagene og kontaktplaten. Anker- og kontaktplaten skal sveises sammen. Hensikten med kontaktplaten er å få kreftene fra ankerplaten overført over en større flate på enden av overgurten. På denne måten får man et mindre kontaktrykk (aksialspenning) som virker på overgurten. Denne spenningen vil ha en vinkel med overgurtens fiberretning og dette er tatt med i betraktning ved dimensjoneringen av overgurten.

Forankringsselementet skal produseres på en prefabrikasjonshall slik at det bare er nødvendig med montering på byggeplass. Det er også til fordel at man unngår sveising på byggeplassen da det er mye større risiko for menneskelig feil ved ukontrollerte omgivelser.

Se vedlegg D10 for dimensjonering av forankringsselementet.

17 Vindavstivning

For å sikre den globale stabiliteten til næringsbygget må det avstives mot vindkreftene som virker på bygget. Det er valgt å benytte skiver i massivtre i både taket, gavlveggene og langveggene. Massivtreskivene har en tykkelse på 70 mm, som fremkommer av ekstern oppdragsgiver Green Advisers AS.

Det er blitt benyttet en forenklet konstruksjonsanalyse ved dimensjoneringen av byggets vindavstivning fordi det er valgt å fokusere på en prinsippbasert løsning. I følge den forenklete analysen er det forbindelsesmidlene som er den dimensjonerende og avgjørende faktoren, og ikke massivtreskivene.

Karakteristisk vindlast som virker på gavlveggen: 1.12 kN/m^2 .

Karakteristisk vindland som virker på langveggen: 1.14 kN/m^2 .

17.1 Tak

Takskivene legges mellom overgurtene og ikke oppå dem, slik at overgurtens trykksone fastholdes. På denne måten forhindrer man at overgurten kan knekke ut av planet og forhindrer samtidig vipping. Takskivene plasseres på en slik måte at en skive dekker ett felt, der et felt utgjør området mellom rammene (takbjelker).

På grunn av at rammen er leddlagret i bunn så er det viktig at takskivene kan føre de horisontale kreftene ned i fundamentet gjennom veggavstivningene. (18, s. 227)

Se vedlegg D11 for dimensjonering av vindavstivning for taket.

17.2 Langvegg

Veggskivene på langveggene plasseres mellom søylene i byggets lengderetning. Disse skivene vil redusere og forhindre de horisontale forskyvningene av bygget ut av planet. I tillegg vil veggskivene redusere søylenes knekkfare om svak akse (ut av planet). Veggskivene av

massivtre plasseres på en slik måte at de dekker ett felt, der et felt utgjør området mellom søylene. Dette gir et antall på 13 veggskiver av massivtre mellom hver ramme per langside av bygget.

Det er vindkreftene fra gavlveggen som avstivningen i langveggen må ta opp. Dette skjer ved at kreftene føres fra gavlveggen, gjennom takskiven, over til veggskiven i langveggen og til slutt ned i fundamentet.

Årsaken til at bygget må suppleres med et avstivningssystem er fordi leddlagrede rammer ikke kan redusere/hindre horisontale forskyvninger alene. Dette kommer av at rammer som er leddlagret i bunn ikke er stabile i sitt eget plan. Med andre ord så vil ikke den sideveise stivheten være tilstrekkelig nok til å redusere forskyvingene uten massivtreskivene. (18, s. 215)

Se i vedlegg D11 for dimensjonering av vindavstivning for langveggen.

17.3 Gavlvegg

Veggskivene på gavlveggen plasseres mellom søylene på tvers av byggets lengderetning. Disse veggskivene vil hindre horisontale forskyvninger av bygget i planet. De vil også redusere knekkfaren for søylene i gavlveggen.

Det er vindkreftene på langveggen som avstivningen i gavlveggen må ta opp. Dette skjer ved at kreftene føres fra langveggene, gjennom takskiven, over til veggskiven i gavlveggen og tilslutt ned i fundamentet.

Gavlveggen er ikke utformet på samme måte som de sentrale rammene da det eksempelvis ikke er behov for et like stort spenn ved endene. Det er valgt å plassere fire stendere (i tillegg til endesøyler) som understøtter en mindre overgurt. Skivene plasseres mellom disse fire stenderne og det gir da totalt 5 skiver per gavlvegg.

Se i vedlegg F5 for utforming av gavlveggen.

18 Endelig løsning

Etter nærmere detaljberegninger, i både brudd- og bruuksgrensetilstand i prosjektfase 2 er følgende løsning kommet frem til. Det har vist seg at det var nedbøyningskravet som var den avgjørende og dimensjonerende faktoren for overgurtens tverrsnittsprofil, og anleggsflaten for søylens tverrsnittsprofil. Videre, for strekkstaget er likning 14.1 avgjørende for tverrsnittdiameteren til stålstaget. De endelige tverrsnittsprofilene for rammen er vist ved tabell 18.1.

Element	Lengde	Tverrsnitt BxH
1	7000 mm	215x450 mm
2	7000 mm	215x450 mm
3	15529 mm	215x1170 mm
4	15529 mm	215x1170 mm
5	30000 mm	Diameter = 2*42 mm

Tabell 18.1: Endelig tverrsnittsdata

Som nevnt tidligere settes senteravstand til 3850 mm. Dette på grunn av bedre optimalisering av materialbruk, samt gunstigere fordeling av krefter på hver enkeltramme.

På bakgrunn av de prinsipielle beregningene på vindavstivning for gavlveggen, se kapittel 17.3, settes senteravstand mellom stendere på gavlveggen til 6000 mm. Tverrsnittene ved gavlveggen settes lik:

- Overgurt - 215x450 mm
- Stender/søylar - 215x360 mm

Se kapittel 16 for endelig løsning av forbindelsene i knutepunktene. For utforming av skivelementer i gavlvegg, langvegg og taket henvises det til kapittel 17.

Se vedlagte arbeidstegninger i vedlegg F for dokumentasjon på endelig løsning.

19 Økonomi - Fase 2

Endelig estimert kostnad for det valgte alternativ ligger på totalt **1 757 780 kr**. Dette er basert på at det benyttes 14 rammer, med en kostnad per ramme på 125 556 kr. På grunn av ytterligere forbedringer fra den første fase har man nå fått en total besparelse på **1 503 917 kr** for alternativ B.

I tidligere faser ble kiloprisen for stål benyttet for å estimere materialkostnadene for stålet. For å få en mer nøyaktig pris på stålstagsystemet ble leverandøren Pretec kontaktet den 8. april 2019. De oppga en pris på 15 550 kr for stålstagsystemet for en ramme. Dette gir en rimeligere estimert pris enn ved bruk av kiloprisen. Får en besparelse på ca. 1 700 kr per ramme for stålet.

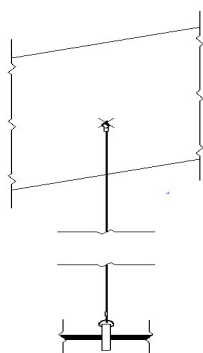
Se vedlegg E2 for en mer detaljert kostnadsberegning.

20 Transport og montering

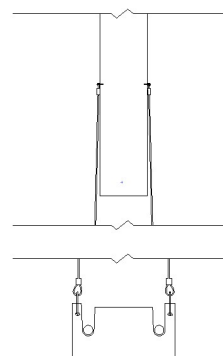
På byggeplassen utgjør transporten og monteringen av limtrekonstruksjonen den siste arbeidsoperasjonen. Det er viktig med en bra gjennomføring av transport og montering på grunn av en stor innvirkning på økonomien. I vårt prosjekt skal det monteres på byggeplass der enkeltelementer transporteres fra fabrikk.

Limtreet bør både under transport og montering være beskyttet mot nedbør og fukt. Limtrebjelkene kan lagres under telt på byggeplass og luftingen bør være god.

Montering



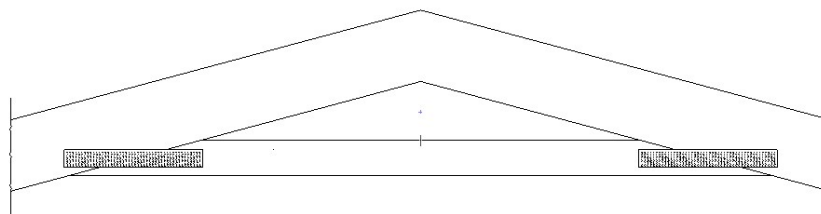
(a) Hengestag fra framsiden



(b) Hengestag sett fra siden

Figur 20.1: Hengestag

På en del av de lange strekkstagene vil man i praksis se en del svingninger på stagene. For å minske disse svingningene settes det opp enkle hengestag med omtrent 7-10 meters avstand mellom dem. De enkle hengestagene utføres i stål med som regel liten diameter. Disse hengestagene skal ikke være bærende, men er der kun for å unngå at stålstaget ikke henger. Figur 20.1 viser et typisk system med enkle hengestag. (18, s. 162)



Figur 20.2: Monteringsbjelke

På byggeplass vil det være en del utfordringer med å løfte takrammene på plass. Det settes opp av den grunn en horisontal bjelke rett nedenfor mønet, slik at mobil-/heisekraner har mulighet til å løfte takrammen ved der den horisontale bjelken er montert på overgurtene. Se figur 20.2 for prinsippskisse.

Disse monteringsbjelkene blir som regel ikke demontert etter at rammene er satt på plass. Dette vil videre bety for konstruksjonen at disse bjelkene minsker nedbøyninger på systemet, ettersom det virker som opplegg på overgurtene. Siden monteringsbjelken er montert på for monteringen sin skyld vil bidraget til redusering av nedbøyning neglisjeres.

Transport

Normalt vil transporten av limtreet foregå på landveg ved bruk av lastebil. En sedvanlig lastebil kan transportere lengder på opptil 10 meter uten uttrekkbar henger. Med uttrekkbar henger kan det transporteres lengder på opp til 35 meter, men ved lengder lengre enn 20 meter kreves det i tillegg en særskilt tillatelse. Spesialtillatelse kreves også ved overskriding av lastbredde på 3 meter og totalhøyde på 4.5 meter. (18, s. 22)

For dette prosjektet skal transportereringen i utgangspunktet skje smertefritt ut i fra kriteriene nevnt ovenfor.

21 Diskusjon - Fase 2

Ved start av prosjektfase 2 ble sammenheng mellom senteravstand og tverrsnittsprofiler vurdert på nytt for å sjekke om ytterligere optimalisering var mulig. En økende senteravstand gir et større tverrsnitt, men færre rammer. Vurderingen gikk med andre ord ut på å finne den mest gunstigste senteravstand i forhold til tverrsnittsstørrelsen med hensyn til utnyttelsesgrad og økonomi.

Det var knekkfaren om den svak akselen som bestemte tverrsnittsstørrelsen i prosjektfase 1. Valget falt derfor på å plassere taket mellom overgurtene og ikke på dem slik at taket kan fungere som en avstiver. Taket plasseres slik at den holder på plass overgurtens trykksone. På denne måten vil ikke vipping være et problem, og en kan redusere tverrsnittet vesentlig siden det ikke lenger er like stor fare for knekking. Tverrsnittsredueringen gir også en fordel ved at egenvekten minskes og dermed også egenlasten på bygget. En kombinasjon av faktorene nevnt ovenfor tillot det å derfor bruke færre rammer ved å øke senteravstanden fra tidligere prosjektfase. Færre rammer gir også da naturligvis en bedre økonomi.

Det var til slutt nedbøyningskravet for rammen som var avgjørende for tverrsnittsprofilene for overgurtene. For å unngå at tverrsnittsstørrelsen måtte økes for å innfri nedbøyningskravet ble strekkstaget overdimensjonert. Et sterkere strekkstag minsker nedbøyningene ved møne og tillatter da bedre utnyttelse av limtreet. Det ble også foretatt analyser om det hadde vært lønnsomt å øke limtreetverrsnittet eller ståltverrsnittet, og det ble konkludert med at en økning i stålstagets tverrsnittareal er gunstigere for økonomien.

Løsningene som ble benyttet ved de ulike knutepunktene ble valgt slik at montering på byggeplass skulle bli så enkel som mulig. De ulike knutepunktene ble deretter optimalisert ved å bestemme antall og type forbindere. Valget falt på å bruke hullplate med kamspikre ved de fleste knutepunkt. Bruk av spikerplate i stede for hullplater ble vurdert, men det ble konkludert med at styrken ikke var tilstrekkelig. Innpressing av spikerplater på byggeplass ville også vært en stor utfordring. Løsning på endeforankring av strekkstaget ble bestemt på bakgrunn av fordeling av krefter, montasje og anbefalinger fra Pretec og Limtreboken. For å minske sannsynligheten for feil ved både produksjon og montering har vi valgt å bruke samme type forbindere ved alle knutepunkt. Endeforankringen for

strekstaget skal også sammensettes på en prefabrikasjonshall for å unngå feil ved sveisen. På denne måten vil den eneste nødvendige arbeidsoppgaven på byggeplass være å spikre fast endeforankringen på overgurten, og forankre strekkstaget med muttere.

22 Konklusjon - Fase 2

Det mest gunstigste alternativet ble valgt fra prosjektfase 1 med hensyn til utnyttelsesgrader ved hjelp av Focus Konstruksjon. Basert på de oppgitte dimensjonerende lastene ble kapasitetskontroller utført etter Norsk Standard.

Tverrsnittsprofilene for de ulike elementene ble deretter dimensjonert og ytterligere optimalisert basert på detaljberegninger. All dimensjonering er kontrollert i form av håndberegninger etter Eurokodene. Dersom det har vært nødvendig, har det blitt foretatt konservative valg slik at man alltid er på en sikker side. Relevante krav i både brudd- og bruksgrensetilstand er innfridd for alle elementer og knutepunkt. I tillegg har man valgt løsninger som virker gunstig på økonomien. Detaljprosjekteringen i denne prosjektfasen har ytterligere redusert materialkostnadene sammenliknet med tidligere prosjektfase 1.

Vindavstivningen for bygget ble valgt med fokus på prinsipp og ikke utførelse. Horisontale forskyvninger og knekkbetingelser er brukt som grunnlag for å bestemme den globale avstivningen i form av massivtreskiver.

Til slutt ble arbeidstegninger utarbeidet for å dokumentere arbeidet gjort i denne prosjektfasen. Fokuset har ligget på å holde tegningene enkle å forholde seg til. Detaljtegninger er også laget slik at misforståelser og uklarheter unngås.

Det er også viktig å presisere at ytterligere beregninger må til hvis oppføring av dette næringsbygget skal være mulig. Grunn- og fundamenteringsvurderinger må gjøres. I tillegg må ulykkeslaster og vindavstivningen detaljkontrolleres i en neste fase.

23 Forskning, utvikling og innovasjon

En av hovedårsakene til at vi valgte å bruke limtre som konstruksjonsmateriale i stedet for konstruksjonsstål er blant annet fordi limtre er et mer miljøvennlig byggemateriale. Ved produksjon av limtre er CO_2 -utslippene minimale og gir ofte en positiv sum. Dette kommer av at energibruken ved produksjonen ofte er basert på klimanøytral bioenergi. I tillegg har tre som materiale en evne til å ta opp og lagre CO_2 . (15)

Vi har derfor valgt å undersøke muligheten for å finne et estimat på hvor mange CO_2 -ekvivalenter som miljøet kan bespares for ved å bygge rammen i limtre i stedet for stål. En tilsvarende konstruksjon i stål har blitt fremstilt ved hjelp av Focus Konstruksjon og denne er ekvivalent med limtrekonstruksjonen med tanke på funksjon. Klimaregnskapet utføres for en ramme og det er valgt å bare fokusere på utslipp ved følgende faser: produksjon, transport og konstruksjonsinstallasjon. I tillegg er biogent karbon tatt hensyn til.

Den ekvivalente funksjonelle løsningen som ble fremstilt gir et stålforbruk på 8985 kg. I følge EPD-en for konstruksjonsstål så ligger utslippet på 2.4 kg CO_2 -ekvivalenter per kg stål. Dette gir et totalt utslipp på $8985 \cdot 2.4 = 21564$ kg CO_2 -ekvivalenter per ramme. (6)

Materialforbruk for alternativ B ligger på $9.2 m^3$ limtre og 691 kg stål (pga. stålstag) per ramme. I følge EPD-en for prosjektlimtre så ligger utslippet på 78.6 kg CO_2 -ekvivalenter per m^3 limtre. Dette gir et utslipp på $9.2 \cdot 78.6 = 723$ kg CO_2 -ekvivalenter for limtreet og $691 \cdot 2.4 = 1658$ kg CO_2 -ekvivalenter for stålet. Får da et totalt utslipp på $723 + 1658 = 2381$ kg CO_2 -ekvivalenter. (7)

Med andre ord så kan det spares $21564 - 2381 = 19183$ CO_2 -ekvivalenter per ramme ved å bygge konstruksjonen i limtre i forholdt til stål hvis en kun ser på produksjonsprosessen av materialene.

Referanser

- [1] 520.238 Skivekonstruksjoner av tre. SINTEF Byggforsk; 2011.
- [2] 520.243 Vindforankring og vindavstivning av lette trebygninger. SINTEF Byggforsk; 2011.
- [3] Bell K. Dimensjonering av trekonstruksjoner. Bergen: Fagbokforl; 2017.
- [4] CNA Connector nails. Simpson StrongTie; 2016. Hentet 04.04.2019 fra https://medias.pim.simpson.fr/files/gallery_pdf/e/eta-04-0013/eta-04-0013.pdf.
- [5] Eie J. Trekonstruksjoner : beregning og dimensjonering. Bekkestua: NKI; 2012.
- [6] EPD Konstruksjonsstål. EPD-Norge; 2018. Hentet 30.04.2019 fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/139294-1551176313/EPDer/Byggevarer/St%C3%A4lkonstruksjoner/NEPD-1630-643_steel-structures.pdf.
- [7] EPD Prosjektlimtre. EPD-Norge; 2018. Hentet 30.04.2019 fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/139072-1530529273/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1577-605_Projektlimtre.pdf.
- [8] Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. Standard Norge; 2016.
- [9] Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger. Standard Norge; 2009.
- [10] Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-3: Allmenne laster - Snølaster. Standard Norge; 2009.
- [11] Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster. Standard Norge; 2009.
- [12] Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Standard Norge; 2010.
- [13] Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 1-8: Knutepunkter. Standard Norge; 2009.
- [14] Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Standard Norge; 2010.

- [15] Hvorfor er tre et miljøvennlig byggemateriale? TreFokus;. Hentet 30.04.2019 fra <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/miljo-og-berekraft/hvorfor-er-tre-et-miljovennlig-byggemateriale->.
- [16] Larsen PK. Konstruksjonsteknikk : laster og bæresystemer. Trondheim: Tapir akademisk forl; 2008.
- [17] Larsen PK. Dimensjonering av stålkonstruksjoner. Trondheim: Tapir akademisk forl; 2010.
- [18] Limtreboka. Moelv: Norske limprodusenters forening; 2015.
- [19] Muttere 6kt. klasse 8 - VF. Pretec AS; 2019. Hentet 29.03.2019 fra <https://pretec.no/wp-content/uploads/2016/05/Pretec-brosjyre-ASDO.pdf>.
- [20] Nye Dimensjoner ASDO-Strekkstagsystem M12 - M160. Sarpsborg: Pretec AS; 2019. Hentet 28.03.2019 fra <https://pretec.no/wp-content/uploads/2016/05/Pretec-brosjyre-ASDO.pdf>.

Vedleggsliste

A Artikkel

B Plakat

C Ove Sletten

C1 Snølast

C2 Vindlast

D Håndberegninger

D1 Snølast

D2 Vindlast

D3 Overgurt - Bruddgrense

D4 Søyler - Bruddgrense

D5 Strekkstag - Bruddgrense

D6 Overgurt - Bruksgrense

D7 Søyler - Bruksgrense

D8 Møneforbindelse

D9 Raftforbindelse

D10 Strekkstagforbindelse

D11 Vindavstivning

E Økonomi

E1 Kostnadsestimat - Fase 1

E2 Kostnadsestimat - Fase 2

F Arbeidstegninger

F1 Aksonometrisk framstilling

F2 Plantegning

F3 Takramme

F4 Veggsøyle

F5 Gavl

F6 Møneforbindelse

F7 Raftforbindelse

F8 Strekkbåndforbindelse

F9 Skjøthylse

F10 Hullplater og spiker

F11 Strekkstagforankring

