

Aleksander H. Figenschou
Sigurd Bjerkeland

Dimensjonering av stålkonstruksjon i Verdal

Dimensioning of steel structure in Verdal

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag, bygg

Veileder: Arne Mathias Selberg

Medveileder: Eirik Nordvik

Mai 2023

Aleksander H. Figenschou
Sigurd Bjerkeland

Dimensjonering av stålkonstruksjon i Verdal

Dimensioning of steel structure in Verdal

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag, bygg
Veileder: Arne Mathias Selberg
Medveileder: Eirik Nordvik
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for konstruksjonsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Dimensjonering av stålkonstruksjon i Verdal

Dimensioning of steel structure in Verdal

Trondheim Mai 2023

Aleksander H. Figenschou
Sigurd Bjerkeland

Intern veileder:
Arne Mathias Selberg

Ekstern veileder:
Eirik Nordvik

Prosjektnr:
37-2023

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for konstruksjonsteknikk

Rapporten er ÅPEN

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

Det skal dimensjoneres en lagerbygning i stål med utgangspunkt i et eksisterende og påbegynt prosjekt fra bedriften Norsk Konstruksjonsrådgivning AS. Både bedriften og prosjektet er lokalisert i Verdal, lokalisert nesten 7 mil nord-øst for Trondheim.

Prosjektet vil i virkeligheten ende opp som både lagerbygning og en butikk for kunden Montér. Gruppen har valgt å fokusere på lagerbygningen, som har et mål på 36x36x8 meter (BxLxH). Konstruksjonen består av en etasje og vil ha tilgjengelighet for kjøretøy.

Gruppen er motivert til å få mest mulig kunnskap rundt aktuelle tema innen dimensjonering, men ønsker samtidig å være realistisk i tilnærmingen til oppgaven.

Det er planlagt å finne opptredende laster og snittkrefter, gjøre egne valg og antakelser til en statisk modell og andre løsninger og til slutt dimensjonere utvalgte elementer i henhold til Norsk Standard.

Figur 1: Viser en grafisk beskrivelse av prosjektet.

Stikkord til oppgaven:

- Stålkonstruksjon
- Dimensjonerende laster
- Dimensjonering
- Vindkryss
- Søyle
- Bjelke
- Fagverk
- Knutepunkt
- Focus Konstruksjon



Forord

Denne oppgaven konstaterer avslutningen på en 3-årig bachelorutdanning i bygg og miljøteknikk, ved instituttet for konstruksjonsteknikk på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Vår interne veileder, Arne Mathias Selberg, tipset oss om en mulig ekstern veileder i Eirik Nordvik fra bedriften NOKR. Etter kontakt gjennom mail og et besøk til Verdal, ble det etablert et samarbeid. Et pågående prosjekt i området ble valgt som utgangspunkt og grunnlag for denne oppgaven.

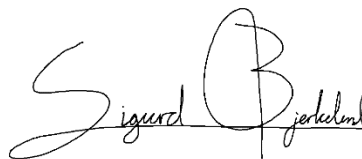
Etter diskusjoner og løsninger på problemer underveis, sitter vi igjen med verdifull kunnskap, erfaring og innsikt i hva som venter av ulike arbeidsoppgaver i yrkeslivet. Utfordringene tilknyttet oppgaven har gjort oss bedre egnet til å gjøre selvstendige valg og begrunne de, og det har resultert i en oppgave vi kan være stolt av.

Vi har lyst å rette en stor takk til både til Eirik Nordvik ved Norsk Konstruksjonsrådgivning AS for et godt samarbeid og nyttige tips, og til vår veileder ved NTNU, Arne Mathias Selberg, for oppfølging og gode råd under prosessen.

20. mai 2023, Trondheim

Aleksander H. Figenschou

Aleksander H. Figenschou

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'S' followed by 'igurd' and a large, stylized 'B' followed by 'jerkeland'.

Sigurd Bjerkeland

Sammendrag

Formålet med bacheloroppgaven er at gruppen skal dimensjonere en større stålkonstruksjon. Basert på tidligere prosjekt, emner og kunnskap ble det satt opp en plan for hvilke tema og enkeltelelementer som skulle undersøkes. Prosjektets tiltakshaver er Montér, og konsulentfirma er Norsk Konstruksjonsrådgivning AS.

Etter diskusjoner rundt aktuelle tema til oppgaven, begynte arbeidet med å finne vertikale og horisontale dimensjonerende laster i form av snø-, vind-, egen- og nyttelast. Videre ble det etablert en statisk modell med momentfrie søyler og vindkryss som skal stive av konstruksjonen. Noen av avgrensningene til oppgaven, som betongdekke, fundament og geotekniske undersøkelser ble gjort underveis på grunn av undervurdert omfang av prosjektet.

Deretter begynte dimensjoneringen som hoveddelen av denne oppgaven. Det ble laget en liste over aktuelle elementer som skulle kontrolleres og dimensjoneres. Denne inkluderer fire ulike søyler, bjelke, vindkryss, fagverk og et knutepunkt. Elementene ble dimensjonert i henhold til eurokoder og standarder, og kontrollregnet ved hjelp av programmer som Focus Konstruksjon, Excel og STRIAN.

Det forventes at leser er kjent med relevant fagterminologi og har kunnskap innen konstruksjonsteknikk for å forstå valgene og beregningene som gjøres i oppgaven.

Abstract

The purpose of the bachelor thesis is for the group to dimension a larger steel structure. Based on previous projects, subjects and knowledge, a plan was established for the topics and which individual elements to be analysed. The project owner is Montér, and the consulting firm is Norsk Konstruksjonsrådgivning AS.

After discussions regarding relevant topics for the project, the study started with finding vertical and horizontal loads such as snow-, wind-, dead- and live loads. Furthermore, a static model was established with moment-free columns and wind braces to strengthen the structure. Some of the delimitations of the task, such as concrete slab, foundation and geotechnical examinations were made during the process due to the underestimated size of the project.

Then the dimensioning began as the main part of this thesis. A list of relevant components to be checked and dimensioned was made. This includes four different columns, beam, wind brace, truss and a connection point. The elements were dimensioned according to Eurocodes and standards, and verified using programmes such as Focus Konstruksjon, Excel and STRIAN.

The reader is expected to be familiar with the relevant subject terminology and have knowledge of structural engineering in order to understand the choices and calculations made in the thesis.

Innhold

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål	i
Forord.....	ii
Sammendrag	iii
Abstract.....	iv
Figurliste.....	vii
Tabelliste	viii
Symboler	ix
Latinske bokstaver	ix
Greske bokstaver	xi
1 Introduksjon.....	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Avgrensninger	1
1.3 Rapportens oppbygning.....	2
2 Metode.....	3
2.1 Arbeidssteg	3
2.2 Baseringsgrunnlag.....	3
2.3 Dokumentasjon av arbeid	3
2.4 Programvarer	4
3 Teori	5
3.1 Stål	5
3.1.1 Produksjon, bruk og gjenbruk.....	5
3.1.2 Fordel og ulempe med å bruke stål som konstruksjonsmateriale.....	6
3.2 Norsk standard.....	6
4 Beregningsgrunnlag	7
4.1 Standarder for beregningsgrunnlag.....	7
4.2 Dimensjonerende laster.....	7
4.2.1 Snølast.....	7
4.2.2 Vindlast	9
4.2.3 Egenlast.....	11
4.2.4 Nyttelast.....	12
4.3 Statisk modell.....	12
4.3.1 Yttervegg.....	12

4.3.2 Bæresystem på innsiden	13
4.3.3 3D-modell.....	13
4.4 Utvalgte elementer	14
5 Resultat	15
5.1 Avstivning.....	15
5.2 Søyle.....	16
5.2.1 Søyle i yttervegg uten fagverkstilknytning.....	16
5.2.2 Søyle i yttervegg med fagverkstilknytning.....	16
5.2.3 Søyle i hjørne av yttervegg.....	17
5.2.4 Søyle mellom fagverk.....	19
5.3 Bjelke.....	19
5.4 Fagverk.....	20
5.5 Knuteforbindelse.....	22
5.5.1 Knutepunkt	22
5.5.2 Skurforbindelse	23
5.5.3 Sveiseforbindelser.....	25
6 Diskusjon	26
6.1 Avstiving.....	26
6.2 Søyler	26
6.3 Bjelke.....	27
6.4 Fagverk.....	27
6.5 Knutepunkt	28
6.5.1 Skrue	28
6.5.2 Sveis	28
6.6 Generell diskusjon.....	29
7 Konklusjon.....	30
8 Litteraturliste	31
9 Figurer	33
10 Vedlegg.....	33

Figurliste

Figur 1: Viser en grafisk beskrivelse av prosjektet.

Figur 2: Logo av Focus Konstruksjon

Figur 3: Logo av Microsoft Teams

Figur 4: Bilde fra STRIAN

Figur 5: Logo av Revit

Figur 6: Vindlast

Figur 7: Statisk modell av ytterveggen

Figur 8: Statisk modell av bæresystem på innsiden

Figur 9: Modell av bæresystem i stål

Figur 10: Viser utvalgte elementer (unntatt vindkryss) som ble dimensjonert.

Figur 11: Vindkryss i ytterveggene

Figur 12: Momentdiagram til søyle i hjørne av yttervegg

Figur 13: Modell av valgt fagverk

Figur 14: Nedbøyningen til fagverket.

Figur 15: Modell av knutepunkt

Figur 16: Snitt av knutepunkt

Figur 17: Kilsveisfigur

Tabelliste

Tabell 1: Rapportens oppbygging

Tabell 2. Karakteristiske snølastverdier for Verdal.

Tabell 3. Faktorer som påvirker snølasten.

Tabell 4. Faktorer som påvirker vindlasten.

Tabell 5: Resultat vindlast

Tabell 6: Egenlaster

Tabell 7: Kapasiteter til dimensjoner av vindkryss

Tabell 8: Kapasiteter til dimensjoner av søyle uten fagverkstilknytning.

Tabell 9: Kapasiteter til dimensjoner av søyle med fagverkstilknytning.

Tabell 10: Sammenlikning av snittkreftene til søyle i hjørne av yttervegg.

Tabell 11: Kapasitetene til dimensjonene på søylene i hjørnet av ytterveggene.

Tabell 12: Kapasitetene til dimensjonene på søylene mellom fagverkene.

Tabell 13: Kapasiteter til dimensjoner av bjelken.

Tabell 14: Sammenlikning av aksialkrefter i fagverket gjort for hånd og fra Focus.

Tabell 15: Avskjæringskapasitet for skrue

Tabell 16: Hullkantkapasitet med minimal skrueplassering

Tabell 17: Hullkantkapasitet med optimal skrueplassering

Symboler

Latinske bokstaver

Symbol:	Beskrivelse:
A	Areal
A_{min}	Minimum areal
A_s	Tverrsnittareal for en skrue med gjenger
A_v	Skjærareal
B	Bredde
c_{dir}	Retningsfaktor
c_o	Terrengformfaktor
c_{pe}	Utvendig formfaktor
c_{pi}	Innvendig formfaktor
c_r	Ruhetsfaktor
c_{season}	Årstidsfaktor
C_e	Eksponeringskoeffisient
C_t	Termisk koeffisient
d_0	Skruehullets diameter
e_1	Endeavstand
e_2	Kantavstand
E	Elastisitetsmodul
f_u	Grunnmaterialets bruddspenning
f_{ub}	Strekfasthet for en skrue
f_y	Flytespenning
$F_{b.RD}$	Dimensjonerende hullkanttrykkapasitet
$F_{v.ED}$	Dimensjonerende skjærkrefter på en skrue
$F_{v.RD}$	Dimensjonerende avskjæringskapasitet
G	Skjærmodul
G_k	Egenlast
h_w	Stegets høyde
H	Høyde
H_g	Høydegrense
i	Tregghetsmoment
I_v	Turbulensintensitet
k_I	Turbulensfaktor
k_r	Terrengruhetsfaktor
k_{yy}	Interaksjonsfaktor
k_1	Kraftfaktor for en skrue (Normalt på kraftretning)
L	Lengde

L_{cr}	Knekk lengde
M_{Ed}	Dimensjonerende moment
$M_{pl,Rd}$	Plastisk momentkapasitet
N_{cr}	Knekklast
N_{Ed}	Dimensjonerende aksiallast
$N_{pl,Rd}$	Plastisk strekk eller trykkapasitet
N_{RK}	Karakteristisk normalkraftkapasitet
q_k	Nyttelast
q_p	Vindkasthastighetstrykk
s	Dimensjonerende snølast
s_k	Karakteristisk snølast på mark
$s_{k,0}$	Karakteristisk grunnverdi av snølast
t	Tykkelse
t_w	Stegets tykkelse
v_b	Basisvindhastighet
$v_{b,0}$	Referansevindhastighet
v_m	Stedsvindhastighet
V_{Ed}	Dimensjonerende skjærkraft
$V_{pl,Rd}$	Plastisk skjærkapasitet
w_e	Vindtrykk på utvendig overflate
W_{pl}	Plastisk motstandsmoment
z_e	Referanse høyde
z_{max}	Maksimum høyde
z_{min}	Minimum høyde
z_0	Ruhetslengde

Greske bokstaver

Symbol:	Uttalelse:	Beskrivelse:
α	Alfa	Imperfeksjonsfaktor (knekking)
α	Alfa	Nominell rotmål (sveis)
α_b	Alfa	Hullkantrykksfaktor
α_d	Alfa	Kraftfaktor for en skrue (Langs kraftretning)
α_v	Alfa	Avskjæringsfaktor
β_w	Beta	Korrelasjonsfaktor
γ	Gamma	Tyngdetetthet
γ_m	Gamma	Partialfaktor
δ	Delta	Nedbøyning
Δs_k	Delta	Snølastendring
$\tilde{\lambda}$	Lambda	Relativ slankhet
λ_1	Lambda	Flyteslankhet
μ_i	My	Formfaktor
ρ	Rho	Tetthet
σ_N	Sigma	Aksialspenning
σ_{\perp}	Sigma	Normalspenning i sveissnitt (normalt på sveisens lengderetning)
τ_{\perp}	Tau	Skjærspenning i sveissnitt (normalt på sveisens lengderetning)
τ_{\parallel}	Tau	Skjærspenning i sveissnitt (Parallelt med sveisens lengderetning)
χ	Chi	Reduksjonsfaktor
χ_{LT}	Chi	Reduksjonsfaktor for vipning
π	Pi	Forholdet mellom omkretsen og diameteren til en sirkel

1 Introduksjon

1.1 Problemstilling

Hovedoppgaven i prosjektet er å dimensjonere konstruksjonen i bruddgrensetilstand. For bjelker og andre langsgående elementer som fagverk skal det kontrolleres for nedbøying i bruksgrensetilstanden.

En oppgavetekst ble formulert tidlig i prosessen og går som følger:

"Dimensjonere løsninger for enkeltelementer til en stålkonstruksjon i Verdal, med utgangspunkt i et eksisterende prosjekt. Krav og reglement skal opprettholdes i henhold til eurokoder og standarder."

1.2 Avgrensninger

Noen tema er blitt bestemt å ikke tas med, for å ta hensyn til omfanget til prosjektet.

- Fundament
- Betongdekke
- Geoteknisk undersøkelse
- Ulykkeslaster (påkjørrel, brann og jordskjelv)
- Butikken vegg i vegg med stålhallen
- Torsjon
- Nyttelast på tak

1.3 Rapportens oppbygning

Rapportens oppbygging er inspirert av IMRoD-modell, med få modifikasjoner [1]. Modellen deler opp en rapport i fire deler, introduksjon, metode, resultat og diskusjon. I tabell 1 er det tydeligere beskrevet hvordan denne rapporten er bygget opp, og hva temaene skal inneholde.

Tabell 1: Rapportens oppbygging

Introduksjon	Introduksjonen gir en beskrivelse av prosjektet. Her skal alt av underordnede informasjon om bygget, området, problemstillingen og avgrensinger gjennomgås.
Metode	Metode skal gi et innblikk på hvordan arbeidet har blitt gjennomført. Her beskrives det hvordan informasjonsinnhenting er blitt gjennomført, hva slags type litteratur som er blitt brukt, og hvilke dataprogrammer som er brukt gjennom prosjektperioden.
Teori	Teori skal inneholde relevant tilleggsinformasjon for prosjektarbeidet. I prosjektet inkluderer dette teori innen stål og Norsk Standard.
Beregningsgrunnlag	Segment inneholder grunnlaget som trengs for å kunne dimensjonere bygget. Dette inkluderer relevant regelverk, inkluderende laster, og den statiske modellen som er blitt brukt.
Resultat	Resultatene fra dimensjoneringen av alle enkeltelementene vil bli notert ned under dette avsnittet. Punktet forklarer også avgjørelsene i prosessen.
Diskusjon	Diskusjonen går i dybden på løsningene som er valgt, ulike problemer som oppstod eller eventuelle feilkilder.
Vedlegg	All utregning som resultatet og diskusjonen baserer seg på er lagt til som et vedlegg. I tillegg blir det vedlagt en plakat og en fagartikkel.

2 Metode

2.1 Arbeidssteg

Arbeidet startet med å forstå omfanget av oppgaven. Det innebar å diskutere hvilke forutsetninger, begrensninger og temaer som var ønskelige, neglisjerbare eller nødvendige å ha med. Deretter kom fasen for innhenting av informasjon. Tidligere forelesninger og notater ble repetert, i tillegg ble aktuelle standarder knyttet til dimensjonerende laster gjennomgått. Den opparbeidete kunnskapen gjennom tidligere emner ble så brukt til å gjøre antakelser og valg til en statisk modell, finne dimensjonerende laster og beregne snittkrefter. Regninger for hånd ble underveis sammenliknet med krefter fra Focus Konstruksjon [2]. Videre begynte prosessen med å kontrollere, dimensjonere og å oppfylle kravene stilt av Norsk Standard.

2.2 Baseringsgrunnlag

Rapporten har et baseringsgrunnlag fra relevant faglitteratur og pensum tilknyttet tidligere emner fra det 3-årige studieløpet ved NTNU. Antakelser, valg og beslutninger er blitt gjort på bakgrunn av opparbeidet kunnskap og erfaringer, i samspill med rådgivning fra veiledere og diskusjon med medstudenter. Valgte programmer, hjelpemidler og veiledere har også fungert som en kontroll til løsninger funnet underveis i beregning- og dimensjoneringsprosessen.

2.3 Dokumentasjon av arbeid

For å sikre framdrift, ble det laget en framdriftsplan tidlig i prosjektet. Dette var en overordnet plan der semestret ble delt opp i perioder. Hver periode hadde et eget tema som gruppen skulle jobbe gjennom. For hver ny periode ble det holdt et møte for å lage en tydeligere plan på hva som skulle gjøres av gruppemedlemmene.

Det ble holdt regelmessige møter med intern veileder for å kontrollere om gruppen var i riktig retning gjennom hele prosjektperioden. Noe av arbeidet ble kvalitetssjekket gjennom kontakt med ekstern veileder.

Det ble skrevet en timelogg som oppdateres etter hvert gruppemøte. Det var også mulighet å sjekke løpende om arbeid ble gjennomført. Gruppen hadde mulighet å sjekke hverandres arbeid gjennom plattformen Microsoft Teams [3].

2.4 Programvarer

Focus Konstruksjon



Focus Konstruksjon er et FEM-program som beregner krefter og kapasiteter i konstruksjoner ved hjelp av elementmetoden. Man kan både beregne i 2D og 3D. I 2D ble programmet brukt til å sjekke håndberegningsresultater til enkeltelementer i konstruksjonen. I 3D fikk man et visuelt bilde av bæresystemet og konstruksjonen som helhet [2].

Figur 2: Logo av Focus Konstruksjon

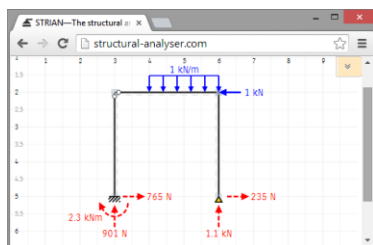
Microsoft Teams

Microsoft Teams er et verktøy som gjør det mulig å jobbe og kommunisere i gruppen over distanser. Man har muligheten til å jobbe sammen i programmer som Microsoft Word, Microsoft Excel og Microsoft Powerpoint. Man kan også ha digitale møter om nødvendig. I dette prosjektet ble alt nevnt over tatt i bruk [3].



Figur 3: Logo av Microsoft teams

STRAN - Structural-Analyser



Figur 4: Bilde fra STRAN

STRAN - Structural-Analyser er også et FEM-program som kan beregne krefter i konstruksjoner i 2D. I dette prosjektet ble programmet kun brukt til å illustrere statiske modeller, og til dels beregne krefter på enklere elementer [4].

Autodesk Revit

Revit er en av de mest populære BIM-programmene som brukes i byggebransjen i dag, og det er stadig i utvikling for å gjøre det enklere og mer effektivt å designe og konstruere bygg og konstruksjoner. Programmet kan brukes til å modellere i 3D, finne detaljløsninger, analysere og sette sammen ulike komponenter fra en rekke fagfelt. I dette prosjektet fikk gruppen tilsendt en Revit-fil fra bedriften NOKR, som ble utgangspunktet for prosjektet og stadig brukt til visualisering videre i prosessen [5].



Figur 5: Logo av Revit

3 Teori

3.1 Stål

3.1.1 Produksjon, bruk og gjenbruk

Det benyttes i dag to hovedmåter å produsere materiale stål på. Om man bruker en masovn med oksygenkonverter, baserer bruken seg mest på malm, kalk og kull. En elektrisk lysbueovn derimot utnytter skrap gjennom elektrisitet.

Verdens behov for stål har økt betydelig siden andre verdenskrig, og det ser heller ikke ut til at utviklingen vil sakke ned i og med at infrastrukturen, boligfasiliteter og transportmidler rundt om i verden får høyere og høyere krav. I dag snitter europeisk stål på rundt 1,4 tonn utslipp med CO₂ per tonn med råstål, men innen fire år vil stål fra hydrogenreduert jernmalm bli lettere tilgjengelig [6]. Denne produksjonsformen slipper ikke ut noe CO₂, så lenge hydrogenet kommer fra såkalt grønn kraft. En av hovedgrunnene til at materialet stål har blitt en såpass viktig del av byggebransjen er resirkulerbarheten. Hver eneste dag resirkuleres omtrentlig 1,7 millioner tonn med skrapstål [7]. I perspektiv tilsvarer dette vekten av 3 stykker Burj Khalifa i tillegg til omtrent 1000 fullastede passasjerfly i normal størrelse.

3.1.2 Fordel og ulempe med å bruke stål som konstruksjonsmateriale

Stål er ansett som det mest allsidige konstruksjonsmaterialet på grunn av sine gode egenskaper som formbarhet og styrke. Disse egenskapene oppnås ved en kombinasjon av sammensetning, varmebehandling og formgivningsprosess. Stål brukes vanligvis som bæresystem eller som sekundære elementer, og den viktigste grunnen til å bruke stål er den høye bæreevnen i forhold til egenvekt. Stål sammenliknet med betong kan ha mye større og friere spenn. Den lave egenvekten gjør stål også mye bedre egnet på plasser med dårlige grunnforhold. Elementene kommer også som oftest prefabrikkert på byggeplassen, som betyr at monteringen og prosessen blir mer effektiv og det blir mindre lyd og forstyrrelser for et eventuelt nabolag.

På den andre siden er stål utsatt for korrosjon. Om lufta og omgivelsene rundt skulle være fuktig vil jernet omdannes til jerndioksidhydrater, som på folkemunn kalles rust. Når rusten først er blitt dannet på overflaten, kan jernet fort få større skade. De vanligste metodene for å unngå at dette skjer er å bruke maling, plastbelegg eller rustfritt stål. Valgene blir tatt med hensyn på pris, tilgjengelighet, estetikk og byggherres ønsker. En annen ulempe er stålets beskyttelse mot brann. Materialet mister nesten halvparten av fastheten sin om temperaturen skulle overstige 500 celsius grader. Dette gjør at stål som er ubeskyttet bare oppnår en brannmotstand på mellom 10 og 15 minutter. Heldigvis kan brannisolering benyttes og øke motstandstiden fra 10 til ca 90 minutter [8].

3.2 Norsk standard

Norsk Standard (NS) er en serie med standarder som brukes i byggebransjen i Norge for å sikre kvalitet, sikkerhet og miljøvennlighet i bygg og konstruksjoner. Byggeteknisk forskrift §10-2.(3) sier at en konstruksjons krav for stabilitet og stivhet skal tilfredsstilles [9], og disse kravene ansees som oppfylt om man følger reglene gitt i Norsk Standard, som bygger på europeisk standard, Eurokode. Disse standardene gir retningslinjer og krav til alt fra konstruksjonsteknikker og prosjektering til detaljerte løsninger og kontroller. I Norge benyttes det også et nasjonalt tillegg for å sørge for at aktuelle og gjeldene lovverk følges og opprettholdes.

4 Beregningsgrunnlag

4.1 Standarder for beregningsgrunnlag

NS-EN-1990	Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS-EN-1991-1-1	Allmenne laster Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger
NS-EN-1991-1-3	Laster på konstruksjoner - Snølaster
NS-EN-1991-1-4	Laster på konstruksjoner - Vindlaster
NS-EN-1993-1-1	Prosjektering av stålkonstruksjoner
NS-EN-1993-1-8	Prosjektering av stålkonstruksjoner - Knutepunkter

4.2 Dimensjonerende laster

4.2.1 Snølast

Basis for beregning:

For beregning av dimensjonerende snølast på konstruksjonen er “NS-EN 1991-1-3:2003: Allmenne laster: Snølaster” benyttet. Formen på taket er flat med en vinkel på 0 grader. Karakteristiske faktorer for Verdalen finner man i tabell 2. Andre faktorer som kan påvirke snølasten blir sett mer tydelig på i tabell 3.

Tabell 2. Karakteristiske snølastverdier for Verdal.

Kommune:	$s_{k,0}$ [kN/m ²]	H [m.o.h.]	H_g [m.o.h.]	Δs_k [kN/m ²]
Verdal	3.5	6	150	1

Tabell 3. Faktorer som påvirker snølasten.

Faktorer som påvirker snølasten:	Beskrivelse:	Punkt i standard: [10]
Eksepsjonelle forhold av snøfall og snødrivere.	Dette er valgt å se bort ifra, og da vil snølasten baseres på formelen i tilfelle A.	Tabell A.1
Topografi.	Normal topografi. Vind og terreng vil ikke påvirke snøfallet på taket.	5.2 (7)
Termisk gjennomgang.	Er valgt å ikke beregne med snøsmelting på grunn av varmegjennomgang i taket.	NA.5.2(8)
Snø som henger over kanten.	Ikke nødvendig for bygg under 800m.	6.3 (1)
Framspring/hindringer.	Ingen hindringer på tak som kan skape snøopphoping.	6.2 (1)

Resultat:

Basert på Tabell 3 er det ikke nødvendig med tilleggslast på grunn av den geografiske høyden, og karakteristisk grunnverdi blir da lik den karakteristiske lasten. Med tanke på at topografisk og termisk faktor heller ikke er tatt med i betraktning, vil det ikke bli nødvendig med disse i beregningene. Derfor vil bare vinkelen på taket påvirke den resulterende lasten, med en reduksjon på 20% fra tabell 5.2 [10]. Den dimensjonerende snølasten på taket resulteres derfor til 2.8kN/m^2 , basert på utregningene i vedlegg A.

4.2.2 Vindlast

Basis for beregning:

For beregning av dimensjonerende vindlast er “NS-EN 1991-1-4:2005: Allmenne laster: Vindlaster” benyttet. Ved hjelp av tabell NA.4(901.1) kan man finne referansevindhastighet til Verdal på 26m/s. Det legges også til grunn at lufttettheten i området er 1.25kg/m, som er en anbefalt verdi fra merknad 2, i punkt 4.5. Andre faktorer som påvirker beregningene, vises i tabell 4.

Tabell 4: Faktorer som påvirker vindlasten.

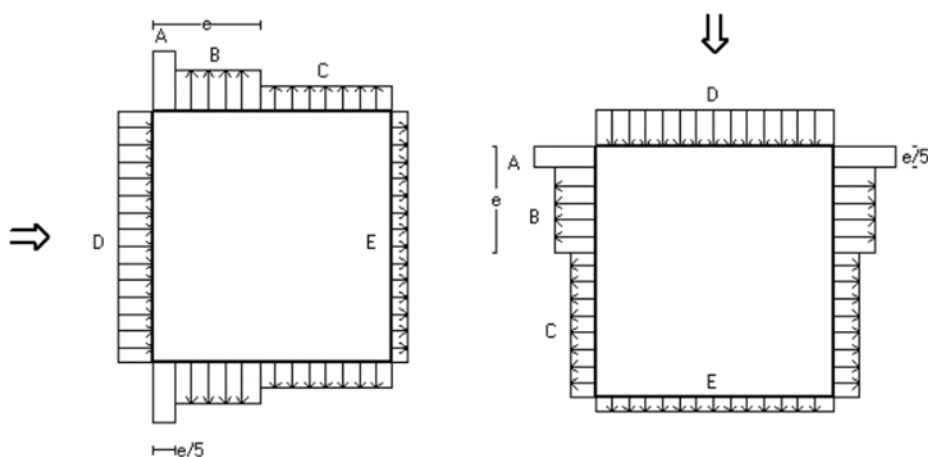
Faktorer som påvirker vindlasten:	Beskrivelse:	Punkt i standard: [11]
Terreng	Bygget skal bygges litt utenfor sentrum av Verdal, med relativ lave bygg rundt seg (under 15m).	Tabell 4.1
Byggegrunn	Bygget vil ligge på flatt terreng.	4.3.3 (2)
Vindretning	Tar i betraktning at vindstyrken kommer i samme styrke på alle ytterveggene.	NA.4.2(2)P(901.2)
Konstruksjonens varighet	Konstruksjonen skal stå over lengere tid, og blir ikke definert som midlertidig.	4.2 (3)

Resultat:

Alle sidene på konstruksjonen er like, og vil derfor bli beregnet likt uansett vindretning. Bygget blir bestemt å være i terrengkategori 3, ettersom det er den som beskriver området best i tabell 4.1 [11]. Ved hjelp av Verdal kommunes reguleringsplan, kan man se i punkt 9 at høyden i sentrum har en høydeanbefaling på maksimum 15m [12]. Det aktuelle bygget ligger noe utenfor sentrum, og vil derfor ha lavere bygg rundt seg. Konstruksjonen vil derfor ikke kvalifisere under terrengkategori 4. Det flate terrenget rundt gir også ingen reduksjon i vindlasten, og man kan derfor se bort ifra terreng og turbulensfaktoren. Siden bygget ligger åpent på alle sider, med et formål om å ligge over lang tid, vil retningsfaktor og årstidsfaktorer settes lik 1. Derfor vil basisvindhastigheten bli lik referansevindhastigheten i Verdal.

Vindkasthastighetstrykket vil da få en hastighet på 0.66m/s. Med hjelp av utvendig formfaktor kan man regne ut hvilket krefter som oppstår på alle sidene av veggene. Fordelingen av vindkreftene på bygget vil fordele seg som vist på figur 6. For å finne den mest ugunstige vindlasten på veggene må også innvendig formfaktor adderes på veggene. Dette gjøres i tilfelle om vinden skulle komme seg gjennom dører, vinduer eller lignende, og vil produsere ekstra last på veggene. Resultatet vises i tabell 5.

Figur 6: Vindlast



Tabell 5: Resultat vindlast

Sone [i]	A	B	C	D	E
w_e [kN/m ²]	-0.924	-0.66	-0.462	0.66	-0.33

4.2.3 Egenlast

Beregningene til egenlastene baserer seg på standarden “NS-EN-1991-1-1 Allmenne laster Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger”. Det ble konservativt antatt større dimensjoner enn forventet resultat for å være på den trygge siden og sikre at egenlasten ikke ble for liten i dimensjoneringsberegningene. Tyngdetettheten til stål kan leses av i tabell A.4 og ble satt til 78.5kN/m³. Tettheten ble multiplisert med tverrsnittsarealet på antatte dimensjoner og lengden til aktuelle elementer. Dette resulterte i egenlasten vist i tabell 6. Egenlasten ble inkludert i håndberegningene av opprettede snittkrefter i de respektive elementene. Der beregningene for hånd ikke samstemte med kreftene oppgitt av Focus Konstruksjon, ble kreftene fra Focus valgt som dimensjonerende i og med at programmet regner mer nøyaktig og presis egenlast.

Tabell 6: Egenlaster

Element	Antatt dimensjon [mm]	Lengde [mm]	Egenlast [kN]
Søyle	VHUP 250x250x10	8000	4.81
Vindavstivningsstav	VHUP 120x120x10	10000	2.79
Bjelke	HEB 240	36000	30.24
Fagverk	Overgurt: VHUP 250x250x10 Undergurt VHUP 120x120x10 Stav: VHUP 80x80x8	18000 16000 1803	23.47

4.2.4 Nyttelast

I betraktningen av nyttelaster ble standarden “NS-EN-1991-1-1 Allmenne laster Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger” brukt som grunnlag. Tabellene NA.6.1 og NA.6.2 sier at varehus er i kategori D2 under nyttelast på gulv, balkonger og trapper i bygninger som tilsvarer 5kN/m^2 . Hallen skal også ha tilkomst for middels store kjøretøy med tanke på frakt og levering. I henhold til tabell 6.7 vil kategorien for trafikk- og parkeringsarealer i bygninger være G. Nyttelasten fra kjøretøy kan dermed leses av i Tabell NA. 6.8 til 5kN/m^2 . I dette tilfellet vil kombinasjonen av nyttelastene ikke være mulig, som gjør at nyttelasten med høyest verdi velges.

Denne oppgaven har ikke tatt hensyn til konstruksjonens eventuelle horisontale nyttelaster eller nyttelast på taket. Dermed er eneste opptredende nyttelast den som fungerer på gulvet i bygningen. Da verken gulv, betongdekke eller fundament og geoteknikk er tatt i betraktning i denne oppgaven ble heller ikke nyttelasten tatt i bruk.

4.3 Statisk modell

4.3.1 Yttervegg

Konstruksjonen bygges opp av en ramme bestående av søyler og bjelker på toppen. Bygget vil være kvadratisk med 36×36 meter som lengde og bredde, og vil ha en senteravstand mellom søylene på 6 meter. Søylene er 8m høy, og har momentfrie randbetingelser både i topp og bunn. Bjelkene er lange kontinuerlige bjelker uten ledd. Konstruksjonen vil da være ustabil, og trenger avstivning. I dette tilfellet er vindkryss brukt som løsning. Statiskmodell av yttervegg i 2D er vist i figur 7.

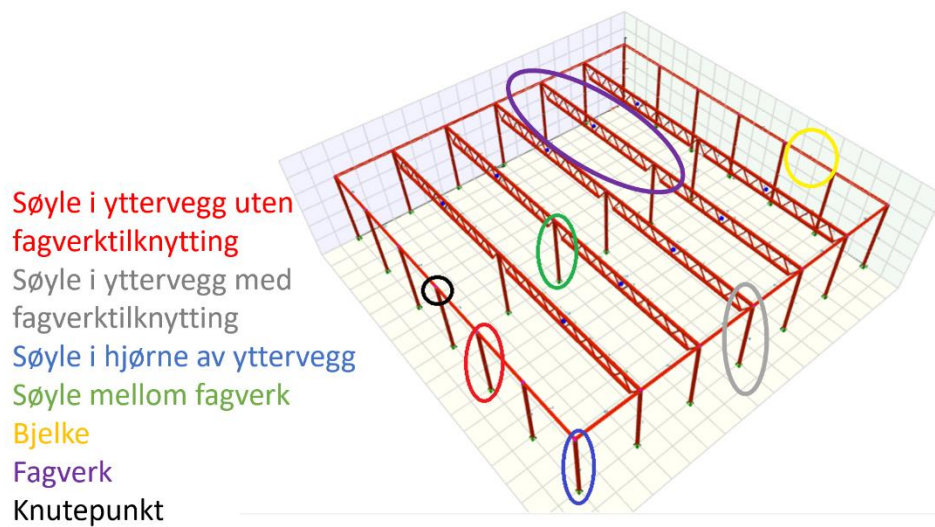
Figur 7: Statisk modell av ytterveggen



4.4 Utvalgte elementer

Det ble valgt ut 8 enkeltelementer fra konstruksjonen som har blitt dimensjonert, se figur 10. De utvalgte elementene ble ansett som sentrale for konstruksjonen, og vil ha ulike roller og funksjoner i bæresystemet. Beregningsprosessen har gått ut på å finne dimensjonerende laster og opptredende krefter i tverrsnittene til elementene. Deretter begynte kontrollene og sjekkene med tanke på kapasiteter av ulike krefter, interaksjoner, eventuelle reduksjoner, knekking eller andre kritiske situasjoner.

Figur 10: Viser utvalgte elementer (unntatt vindkryss) som ble dimensjonert.

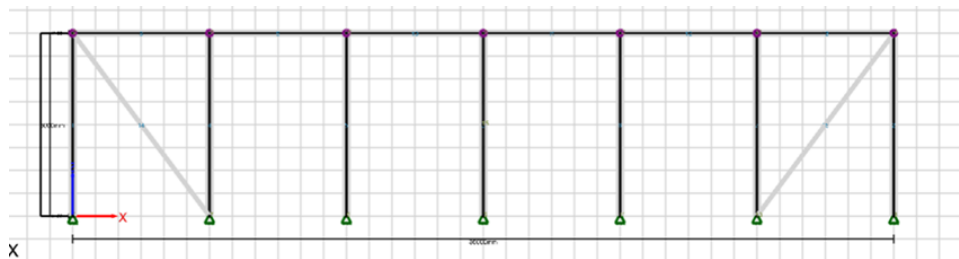


5 Resultat

5.1 Avstivning

I denne oppgaven endte valget opp med vindkryss som avstivende element. Figur 11 viser plasseringen til stavene, i alle fire yttervegger, som er dimensjonert for å både ta trykk og strekk. Dette valget ble tatt med tanke på to ulike tilfeller. Tilfelle 1 vil være når vinden blåser rett på veggene og skaper sug ut på sideveggene, slik at stavene må ta opp strekkrefter med en størrelse på omtrent 77kN. Det andre tilfellet vil være om det blåser fra en av sidene. Her ble det gjort et konservativt valg om at den første staven vil ta opp alle kreftene i form av trykkrefter på ca 79kN, selv om i realiteten vil den andre staven hjelpe til og ta strekk. Trykkstaven måtte da både sjekkes for trykkkapasitet og knekking. Valgte dimensjoner på vindstavene endte på VHUP 100x100x5 basert på kapasitetskontrollene i tabell 7.

Figur 11: Vindkryss i ytterveggene



Tabell 7: Kapasiteter til dimensjoner av vindkryss

Dimensjon:	Kapasitet (strekk/trykk) [kN]	Kapasitet (strekk)	Kapasitet (trykk)	Knekkapasitet [kN]	Knekkapasitet
80x80x6.3	622,0952	OK	OK	47,9482	IKKE OK
100x100x4	517,2857	OK	OK	66,6213	IKKE OK
100x100x5	639	OK	OK	80,6501	OK
100x100x6.3	791,1429	OK	OK	97,2979	OK

5.2 Søyle

5.2.1 Søyle i yttervegg uten fagverkstilknytning

Gruppen har valgt å bruke kvadratiske og varmformede hulprofiler som søyler i hele konstruksjonen. I tillegg til å være dobbelsymmetrisk slik at begge aksene er sterke, vil også både transport og montering forenkles. Søylen vil være 8 meter med ledd i topp og bunn, som også gir en knekk lengde på 8 meter.

Søylen i ytterveggene som ikke har tilknytning til fagverket vil få påkjenning i form av egenlasten og snølast, altså er det kun aksialkrefter som opptrer. Aktuelle tverrsnitt måtte først sjekkes opp mot kravet til plastisk dimensjonering. Deretter kunne trykk- og knekkkapasiteter kontrolleres i henhold til standard NS-EN 1993-1-1. Denne type søyle viste seg å få en dimensjonerende trykkraft på 60.31 kN. Valgt tverrsnitt endte på 100x100x4 basert på tabell 8

Tabell 8: Kapasiteter til dimensjoner av søyle uten fagverkstilknytning.

Dimensjon (VFHUP):	[kN]	[kN]	Aksialkapasitet (trykk)	[Mpa]	[Mpa]	Kapasitet mot knekking
80x80x5	60.31	503	OK	40.48	28.42	IKKE OK
80x80x6.3	60.31	622	OK	32.78	27.36	IKKE OK
100x100x4	60.31	517	OK	39.42	45.72	OK
100x100x5	60.31	639	OK	31.92	44.80	OK

5.2.2 Søyle i yttervegg med fagverkstilknytning

Søylen i ytterveggene med tilknytning til fagverket vil bli belastet med egenlasten fra både 6 meter med bjelke, et halvt fagverk, snølast fra et område på 6x9 meter i tillegg til sin egen vekt. Dette resulterer i en aksialkraft på nesten 213 kN som må kontrolleres med tanke på knekk- og aksialkapasitet. Profil på søyler med fagverkstilknytning ble valgt til VHUP 120x120x6.3 på grunn av et mindre tverrsnittareal og større knekkkapasitet, se tabell 9

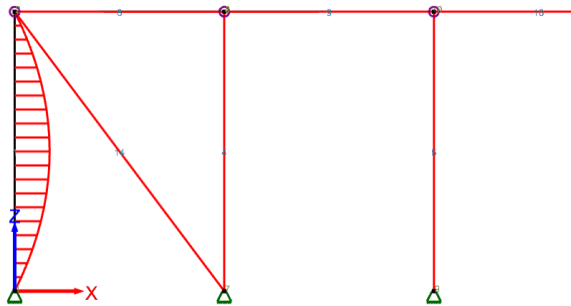
Tabell 9: Kapasiteter til dimensjoner av søyle med fagverkstilknytning.

Dimensjon (VFHUP):	Trykkkapasitet [kN]	Trykkkapasitet	Knekkapasitet [kN]	Knekkapasitet
100x100x10	1200,2381	OK	212,8138	OK
120x120x5	774,2381	OK	209,2826	IKKE OK
120x120x6.3	963,5714	OK	256,6662	OK
120x120x8	1200,2381	OK	314,2865	OK
120x120x10	1470,7143	OK	374,8997	OK

5.2.3 Søyle i hjørne av yttervegg

Søylene i hvert av de fire hjørnene på konstruksjonen kan potensielt bli påkjent både strekk, skjær og moment på grunn av vindlasten. Snittkreftene beregnet for hånd og oppgitt fra Focus ble sammenliknet i tabell 10.

Figur 12: Momentdiagram til søyle i hjørne av yttervegg



Tabell 10: Sammenlikning av snittkreftene til søyle i hjørne av yttervegg.

Snittkrefter	Beregninger for hånd	Focus Konstruksjon
Moment	95.04 kNm	95.04 kNm
Skjær	47.52 kN	45.14 kN
Strekk	63.36 kN	63.33 kN

De oppgitte kreftene fra Focus velges som dimensjonerende i dette tilfellet. Deretter måtte kapasiteter sjekkes i henhold til standard NS-EN-1993-1-1. På grunn av interaksjonen mellom bøyning, skjær og aksialkraft måtte det også undersøkes om momentkapasitet skulle reduseres. Både skjærkontrollen fra 6.2.10 (2) og aksialkontrollene fra (6.33) og (6.34) tilsier at kreftene kunne neglisjeres, og momentkapasiteten forble uendret for aktuelle dimensjoner i tabell 11. Her ble VHUP 180x180x8 valgt som profil til søylene i hjørnet av ytterveggene, da den har større momentkapasitet og et mindre tverrsnittsareal.

Tabell 11: Kapasitetene til dimensjonene på søyle i hjørnet av yttervegg.

Dimensjon:	Kapasitet (moment) [kNm]	Kapasitet (moment)	Kapasitet (skjær) [kN]	Kapasitet (skjær)	Kapasitet (strekk) [kN]	Kapasitet (strekk)
160x160x8	90,948	IKKE OK	458,7185	OK	1589,048	OK
160x160x10	109,881	OK	570,9582	OK	1977,857	OK
180x180x6.3	94,667	IKKE OK	421,6307	OK	1460,571	OK
180x180x8	116,981	OK	528,0143	OK	1829,095	OK

5.2.4 Søyلة mellom fagverk

Søylene som er plassert inni bygget mellom fagverkene er de som er mest utsatt for knekking på grunn av at de får størst areal med snølast, i tillegg til egenlasten av seg selv og to halve fagverk. Den dimensjonerende aksialkraften ble beregnet til omtrent 330 kN, og måtte sjekkes opp mot trykk- og knekkkapasitet. Ut ifra tabell 12 velges dimensjoner til VHUP 140x140x6.3 på grunn av større knekkkapasitet, i og med at knekking er mer kritisk, og mindre tverrsnittsareal sammenliknet med 120x120x10.

Tabell 12: Kapasitetene til dimensjonene på søylene mellom fagverkene.

Dimensjon (VFHUP):	Trykkkapasitet [kN]	Trykkkapasitet	Knekkkapasitet [kN]	Knekkkapasitet
120x120x6.3	963,5714	OK	256,6662	IKKE OK
120x120x8	1200,2381	OK	314,2865	IKKE OK
120x120x10	1470,7143	OK	374,8997	OK
140x140x5	899,3333	OK	324,7846	IKKE OK
140x140x6.3	1119,0952	OK	402,9350	OK

5.3 Bjelke

Under dimensjoneringen av bjelken ble opptredende snittkrefter fra Focus valgt som dimensjonerende. Både moment på nesten 32 kNm og skjærkraft på omtrent 30 kN oppstår på grunn av snølasten. På grunn av interaksjonen mellom skjær og moment måtte det gjøres en skjærkontroll for å sjekke om momentkapasiteten eventuelt skulle reduseres. De aktuelle profilene viste seg å ha tilstrekkelig nok kapasitet til at skjærkraften kunne neglisjeres i interaksjonen. Valgt profil til bjelken på toppen av søylene endte på varmvalsede HE-B 120 basert på tabell 13. Det ble også gitt en maksimal nedbøyning fra Focus på nesten 3mm, som var godt innenfor kravet med $L/200$ i bruksgrensetilstanden i henhold til standard NS-EN-1993-1-1.

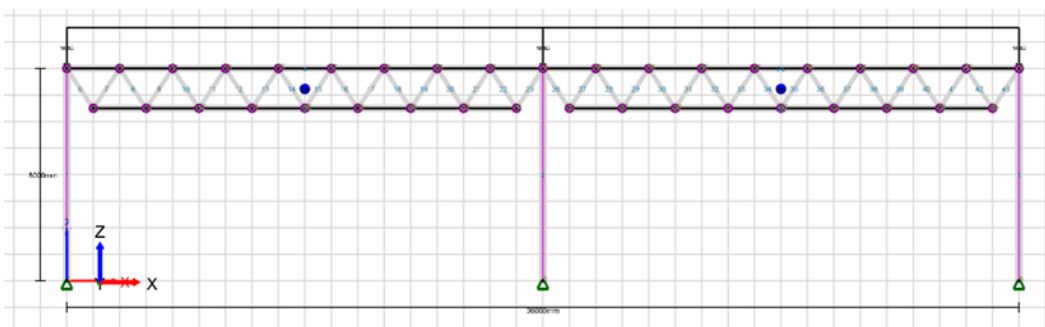
Tabell 13: Kapasiteter til dimensjoner av bjelken.

Dimensjon:	Kapasitet (skjær)	Kapasitet (skjær)	Skjærkontroll	Kan neglisjere skjær?	Kapasitet (moment) [kNm]	Kapasitet (moment)
HE-B 100	253,7592	OK	0,1165	JA	30,0567	IKKE OK
HE-B 120	331,8389	OK	0,0891	JA	48,6857	OK
HE-B 140	419,6787	OK	0,0705	JA	73,0286	OK
HE-B 160	529,9663	OK	0,0558	JA	105,1476	OK

5.4 Fagverk

Konstruksjonens fagverk er valgt til å ha ledd i alle knutepunkt, en høyde på 1.5 meter, senteravstand på seks meter og totalt 36 staver som fordeler seg utover de to fagverkene med en spennvidde på 18 meter hver. Figuren viser en av de fem innersøylene med tilknytning til fagverkene. Opptredende krefter og dermed også dimensjonene vil da bli like for alle fagverkene.

Figur 13: Modell av valgt fagverk.

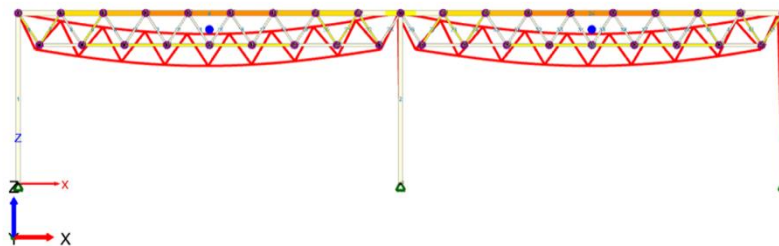


Dimensjonene til fagverket ble antatt på forhånd til å være VHUP 250x250x10 i overgurt, 120x120x10 i undergurt og 80x80x8 til stavelementene. Profilene viste seg å bestå alle kapasitetskontrollene. Overgurtens momentkapasitet ble ikke redusert til tross for både opptredende skjær og aksialkrefter. Tverrsnittkreftene beregnet i Focus ble satt som dimensjonerende etter sammenlikning med beregningene gjort for hånd, se tabell 14. Focus ga også en maksimal nedbøyning på 22mm, som også viste seg å være innenfor kravet $L/200$ i bruksgrensetilstand.

Tabell 14: Sammenlikning av aksialkrefter gjort for hånd og fra Focus

Element	Krefter etter beregning for hånd [kN]	Krefter oppgitt fra Focus [kN]
Overgurt	453.6 (trykk)	446.39 (trykk)
Undergurt	453.6 (strekk)	449.79 (strekk)
Staver	168.0 (strekk)	168.62 (strekk)
	168.0 (trykk)	167.47 (trykk)

Figur 14: Nedbøyningen til fagverket.

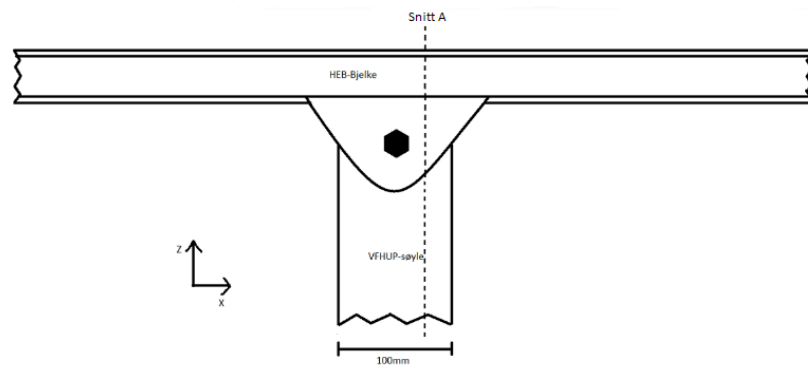


5.5 Knuteforbindelse

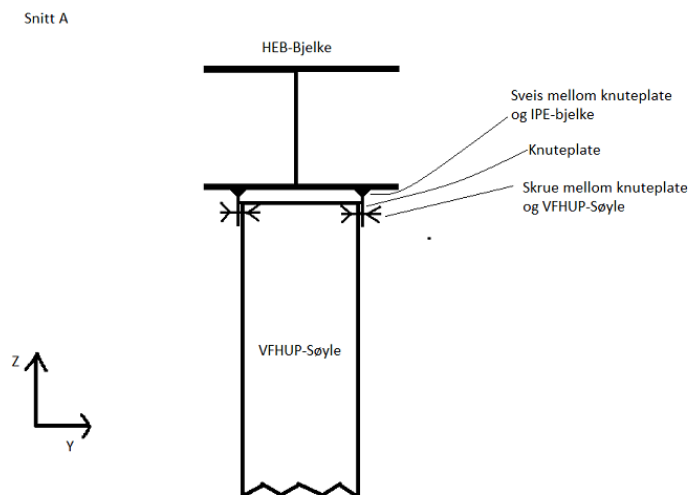
5.5.1 Knutepunkt

Konstruksjonen inneholder mange knutepunkt. Med de valgene som ble gjort under den statiske modellen, er de aller fleste momentfrie ledd. For å avgrense oppgaven er en av disse knutepunktene valgt å dimensjoneres. Dette punktet er leddet mellom bjelke og søyle i yttervegg. Leddet er momentfritt, og består både av skruer og svies. Som et mellomledd fra søyle til bjelke er det lagt inn to knuteplater. Figur 15 gir en mer detaljert tegning på hvordan dette vil se ut, hvor figur 16 gir et bedre innblikk på hvordan leddmekanismen er bygget opp i snittet.

Figur 15: Modell av knutepunkt



Figur 16: Snitt av knutepunkt



5.5.2 Skurforbindelse

For å skape en momentfri forbindelse mellom knuteplaten og søylen er det brukt to knuteplater festet med hver sin skrue til søylen som vist i figur 16. Skruen som ble valgt har en kvalitetsklasse på 8.8, og er ikke forspent [15]. Ved hjelp av 3.4.1 (1) i knutepunktstandarden ser man at kategori A passer best til dimensjoneringen av skruene [16]. Kreftene som angriper skruene kommer fra snølasten på taket, og egenlasten til bjelken som søylen bærer på.

Før man kunne se på skruene måtte man sjekke minimum tverrsnittsareal for knuteplata. Ved hjelp av formel 6.9 og 6.10 kunne man bruke tverrsnittets aksialkapasitet for å finne det nødvendige arealet [13]. Formelen resulterte i at platens tverrsnittsareal måtte minimum være 100mm^2 . For å gi en praktisk løsning med søyle og bjelken, ble det valgt at platen skulle være like bred som søylen (100mm), og tykkelsen lik 10mm^2 . Den totale kapasiteten vil da ende opp som 339Mpa.

Avskjæringskapasiteten til skruen er sjekket ved hjelp av tabell 3.4 i knutepunktstandarden [16]. I samme tabell kan man finne avskjæringsfaktoren, denne er valgt etter kvalitetsklassen på skruen, og kan settes lik 0.6. Ved hjelp av skrueregenskapene til skruemodellene gitt i tabell 6.1 i profilboken, kan man finne kapasiteten til de forskjellige skruene [14]. Resultatet av utregningene kan man se i tabell 15. Her konkluderes det med at minimum nominell skruediameter på 12mm må velges, for å unngå at skjærkreftene på skruene blir så store at de avskjæres.

Tabell 15: Avskjæringskapasitet for skrue

Dimensjon på skruen:	A_s [mm ²]	$F_{v,ED}$ [kN]	$F_{v,RD}$ [kN]	Kapasitet
M12	84	27.72	32.2	OK
M14	115	27.72	44.1	OK
M16	157	27.72	60.2	OK
M18	192	27.72	73.7	OK

For å sjekke kapasitet mot hullkantrykk er tabell 3.4 i knutepunktstandarden brukt [16]. Det er sett på to forskjellige tilfeller. Det første tilfellet går ut på at skruene ligger i en minimal avstand fra ytterlaget av knuteplaten, mens den andre går ut på den optimale avstanden. I tabell 16 og 17 kan man se resultatet av hullkantkapasiteten til begge tilfellene. I begge tilfeller kan det brukes en skrue med nominell skruediameter på 12mm, selv om kapasiteten øker betraktelig med god skrueplassering.

Tabell 16: Hullkantkapasitet med minimal skrueplassering

Dimensjon på skruen	k_1	α_d	α_b	$F_{v,ED}$ [kN]	$F_{b,RD}$ [kN]	Kapasitet
M12	2.5	0.4	0.4	27.72	34	OK
M14	2.5	0.4	0.4	27.72	39	OK
M16	2.5	0.4	0.4	27.72	45	OK
M18	2.5	0.4	0.4	27.72	51	OK

Tabell 17: Hullkantkapasitet med optimal skrueplassering

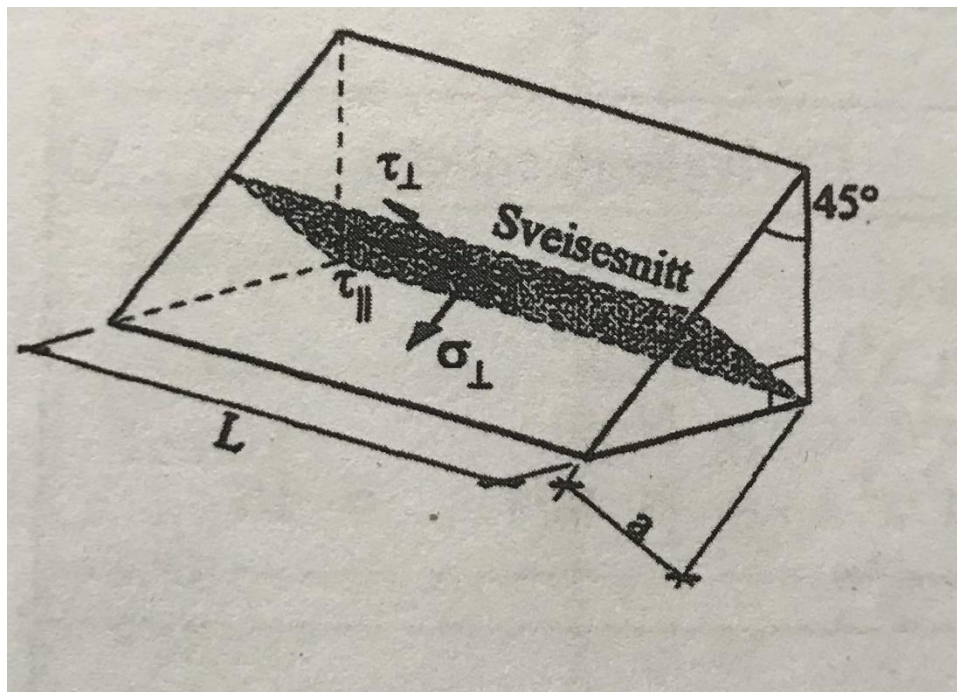
Dimensjon på skruen	k_1	α_d	α_b	$F_{v,ED}$ [kN]	$F_{b,RD}$ [kN]	Kapasitet
M12	2.5	1	1	27.72	85	OK
M14	2.5	1	1	27.72	99	OK
M16	2.5	1	1	27.72	113	OK
M18	2.5	1	1	27.72	127	OK

Ved å sammenligne de forskjellige kapasitetene kan man analysere at avskjæringen av skruen har den minste kapasiteten på 32.2kN når man bruker M12 i en fasthetsklasse 8.8, som er omtrent 4kN over den dimensjonerende aksialkraften.

5.5.3 Sveiseforbindelser

For å feste knuteplaten mot bjelken er det valgt å bruke kilsveis. Det er to momentstive sveiser på hver knuteplate. Kraftene som går gjennom sveisen, er videreførte krefter fra skruene og knutepunktplatene. Ved hjelp av figuren 17 kan man bruke retningsmetoden for å regne på kapasiteten på sveisen. Som resultat måtte sveisen nominelle rotmål være minimum 0.32mm.

Figur 17: Kilsveisfigur



6 Diskusjon

6.1 Avstiving

Det finnes flere valg for å stive av en konstruksjon. Momentstive hjørner, vindkryss, skiver og heissjakter er noen av dem. Valget med vindkryss som avstivende element ble tatt med hensyn til økonomi, utførelse og montering.

Under dimensjoneringen og valg av plasseringen til vindkryssene ble ikke faktorer som hvor inngang, porter eller vinduer skulle stå tatt i betraktning. I det eksisterende eller i andre reelle prosjekter, vil byggherre eller kunden komme med forslag, innspill, ønsker eller krav som kan føre til at valgte løsninger ikke fungerer.

Det konservative valget om å la den ene staven ta alle krefter i form av trykk, gjør at vindkrysset blir noe overdimensjonert. Ut ifra tabell 7, gir valgt dimensjon på 100x100x5 en knekkapasitet som akkurat er tilstrekkelig nok, men på grunn av at den andre staven egentlig hjelper til og tar strekk, vil den dimensjonerende trykkraften i tilfelle 2 ikke være like stor og dermed knekkingen ikke like kritisk. Snølasten ble ikke benyttet under kapasitetskontrollene til vindkryssene. Med en større dimensjonerende knekklast, kunne også dimensjonene på staven blitt større.

6.2 Søyler

Dimensjonene og egenlasten til søylene og bjelkene var antatt mye større enn faktisk resultat. Om dimensjoneringsprosessen skulle blitt gjentatt med bruk av korrekt egenlast ville ikke resultatet endret seg i særlig stor grad, i og med at egenlasten er relativt mye mindre enn opptredende aksialkraft fra snølasten. Med alt tatt i betraktning er egenlasten fra antatte profiler konservativ og forsvarlig.

Søylen i hjørnet av ytterveggen vil også være utsatt for knekking om det skulle oppstå snølast og ingen vindlast. I og med at denne søylen har den største dimensjonen blant søylene og minst påkjent snølast vil ikke knekking være et problem, selv med egenlasten inkludert.

Kombinasjoner av snø- og vindlast vil også gi en mindre strekkraft som resultant og dermed er ikke aksialkapasiteten i andre tilfellet et problem.

Under kontrollering av knekkapasiteten til søylene har faktorer som formfeil, støt og påkjørsellast blitt sett bort ifra. Med flere laster som fungerer, sikkerhetsfaktorer og formfeil som reduserer kapasiteten mot knekking, ville nok dimensjonene i virkeligheten blitt større.

I og med at de ulike søylene har ulike påkjenninger av laster, har dermed også dimensjonene blitt forskjellige fra søyle til søyle. I teorien er dette er optimalisering på grunn av mindre materialbruk, men om det lønner seg totalt sett er en annen sak. Ulike dimensjonerte søyler krever flere produkt, som betyr mer arbeid og eventuelle kostnader i produksjon. I tillegg vil det også gi rom for flere eventuelle feilplasseringer. Dessuten vil monteringen og prosessen på byggeplassen potensielt ta lengre tid. Ulik størrelse på søylene kan også lage problematikk med tanke på ønsker relatert til estetikk, utseende og funksjon fra byggherre.

6.3 Bjelke

I beregningsprosessen av bjelkene ble ikke vindlast eller andre eventuelle horisontale krefter tatt i betraktning. Om disse kreftene hadde blitt vurdert, ville det oppstått normalkrefter i bjelken og enda en kapasitet måtte da ha blitt sjekket. Vipping og torsjon ble heller ikke vurdert. Om nevnte faktorer hadde spilt inn kunne det ha påvirket resultatet og dimensjonene. Profilet til bjelkene ble valgt til å være enkelsymmetrisk gjennom et varmvalsede HE- B tverrsnitt, i og med at skjærkraften og momentet oppstår om sterk akse.

6.4 Fagverk

Under beregningsprosessen merket gruppen at en av de største faktorene som spilte inn var fagverkets høyde. Jo større avstand mellom over- og undergurt, jo mindre ble aksialkreftene, i og med at momentet blir tatt opp som et kraftpar mellom gurtene. Det ble også lagt merke til at aksialkreftene i stavelementene ble gradvis lavere inn mot midten av fagverket. Dette betyr at om man skulle optimalisert bare med tanke på tverrsnittstørrelser og pris på materialet, burde stavelementene blitt slankere inn mot midten. På den andre siden kan dette bety flere kostnader tilknyttet produksjon og flere element som kan bli plassert feil på byggeplassen.

Vindlasten ble ikke tatt med i dimensjoneringsprosessen, ettersom det tidligere i oppgaven ble valgt at vindkryssene tok alle de horisontale kreftene.

6.5 Knutepunkt

6.5.1 Skrue

Rangbetingelsene har vært en viktig faktor for bestemmelse av hvordan knutepunktet skulle se ut. Ettersom det ble valgt å ha et momentfritt punkt måtte man designe punktet slik at dette lot seg gjøre. Derfor er det festet inn en skrue som bjelken kunne rotere rundt på. Dette gir begrensinger på antall skruer, som igjen kan påvirke hvor stor kapasitet knutepunktet kan ha. For å kompensere er det festet til en knuteplate på andre siden også, som vist i figur 16. Med store laster kan denne løsningen være begrenset, men ettersom lastene i denne oppgaven ble lave, holdt 2 skruer svært godt mot den påkjente lasten.

Det er mulighet å gå ned på fasthetsklasse med større dimensjon, men fra de tabellene som var tilgjengelig så var dette den beste løsningen [14]. Større dimensjoner vil redusere kapasiteten til skruene, men kan kompenseres på andre områder. Avskjæringskapasiteten vil reduseres på grunn av fastheten, men økes igjen på grunn av de større dimensjonene. For hullkantkapasiteten vil større dimensjoner redusere kapasiteten. Her vil det være en fordel å bare ha en skrue, ettersom det vil oppstå en lang kant og endeavstand, som gjennom kapasitetsformelene vil øke kapasiteten for hullkantrykk. Denne effekten kan man se med å sammenligne minimal og optimal ende og kantlengder i tabell 16 og 17, hvor kapasiteten kan tredobles med store nok avstander.

I realiteten kan det også oppstå moment og strekk i skruene fra snittet som er vist i figur 16. Steget vil trykke på nedre flens slik at begge sidene av flensen blir bøyd oppover. Dette vil da strekke skruene og også gi dem et moment. Skruenes kapasitet kan dermed bli betydelig redusert, og burde ideelt sett undersøkes.

6.5.2 Sveis

Sveisens rolle er å gi en momentstiv forbindelse mellom bjelke og knuteplate, som vil si at den roterer med bjelken. Kreftene vil gå vinkelrett på sveisesnittet, som betyr at det oppstår null skjærspenninger langs sveisesnittet. For å yte størst mulig kapasitet er det brukt en kilsveis langs hele knuteplaten, på begge sider.

Et moment kan også oppstå i sveisen på samme måte som forklart under diskusjonen av skrue, og burde derfor også ideelt sett undersøkes nærmere.

6.6 Generell diskusjon

Noe som raskt ble lagt merke til under prosjektet var de usedvanlig små dimensjonene som noen av elementene fikk. For flere elementer ble de laveste dimensjonene valgt, noe som var overaskende mindre enn forventet. Mistanken ble rettet mot lastene som ikke ble tatt med i starten av prosjektet. Ulykkelastene og nyttelast på tak var noen av lastene som ikke ble inkludert. Hallens egenlast er dessuten svært lav, og vil derfor ikke bidra stort med vekten heller.

Som nevnt tidligere i oppgaven ble enkeltelementer undersøkt hver for seg. For å redusere kompleksiteten til noe av utregningene ble det gjort et valg om at vindkryssene tar alt av vindkrefter. I realiteten vil både bjelkene og fagverket bidra med å ta opp aksialkrefter, noe som ble bekreftet gjennom Focus. I en global analyse burde dette tas hensyn til.

7 Konklusjon

Denne rapporten hadde som hensikt å dimensjonere en større stålkonstruksjon, og gruppen føler selv at problemstillingen ble besvart på en god måte. Det ble valgt ut åtte forskjellige enkeltelementer i konstruksjonen som ble dimensjonert og kontrollert i henhold til Norsk Standard.

En av de mer interessante prosessene var utarbeidelsen av en statisk modell. En rekke statiske modeller og avstivende elementer ble diskutert og gjennomgått. Den endelige modellen med momentfrie søyler og vindkryss fanget størst interesse, med både valg angående plassering av vindkryss og funksjonene til randbetingelsene.

Valgte dimensjoner ble tidvis en del mindre enn forventet. Gruppen konkluderer med at for få laster ble betraktet i beregningsprosessen, og om oppgaven skulle blitt arbeidet videre med ville det vært naturlig og inkludert flere laster.

I de ulike prosessene av oppgaven førte diskusjoner til både utfordringer og forslag til endringer underveis. Forslagene var mangfoldige og det ville vært interessant og undersøkt mer i dybden på flere av temaene, men med begrenset kunnskap og tid ble det gjort nødvendige prioriteringer for å kunne fullføre valgt oppgave.

Læringsutbytte har vist seg å være over all forventning, etter å ha støtt på problemer underveis i prosessen og håndteringen av dem. Bruken av valgt programvare og aktuelle arbeidsmetoder har gitt erfaring og motivasjon inn til eventuelle videre studier og arbeidslivet.

8 Litteraturliste

- [1] NTNU Universitetsbibliotek (2023) *IMRoD-struktur på vitenskapelige tekster*. Tilgjengelig fra: <https://i.ntnu.no/oppgaveskriving/imrod-struktur>.
- [2] Focus Software (2023) Fokus Konstruksjon 3D [Internett] Tilgjengelig fra: <https://www.focus.no/en/products/focus-konstruksjon-3d/>.
- [3] Microsoft Teams (2023) Microsoft Teams [Internett] Tilgjengelig fra: <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-teams/log-in>.
- [4] STRIAN (2023) Structural-Analyser [Internett] Tilgjengelig fra: https://structural-analyser.com/#tab_load_uniform.
- [5] Autodesk (2023) Revit [Internett] Tilgjengelig fra: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [6] Norsk Stål AS (2023) *Stålproduksjon i dag* Tilgjengelig fra: <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/staalproduksjon-i-dag>
- [7] Tata steel (2020) *Stål og de fire r-er* Tilgjengelig fra: <https://www.tatasteeleurope.com/no/byggesystemer/blogg-nyheter/blogg/-st%C3%A5l-og-de-fire-r-er>
- [8] Byggforskserien, 2004. *Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner*. Tilgjengelig fra: [520.315 Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner - Byggforskserien](#)
- [9] Direktoratet for byggkvalitet (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, Kapittel 10 Konstruksjonssikkerhet*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/10/10-2>
- [10] Standard Norge (2018). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-3: Allmenne laster – Snølaster. NS-EN 1991-1-3:2003+A1:2015+NA:2018*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991-1-3:2003%2bA1:2015%2bNA:2018>.
- [11] Standard Norge (2009). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1.4: Allmenne laster – Vindlaster. NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991-1-4%3a2005%2bNA%3a2009>.

[12] Verdal kommune (2017). *Kommunedelplan Verdal by 2017-2030*. Tilgjengelig fra: <http://kart.verdal.kommune.no/dokument/reguleringsplan/GjeldendeBestemmelser/2013011-B.pdf>.

[13] Standard Norge (2015). *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1.1: Allmenne regler og regler for bygninger. NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1993-1-1%3a2005%2bA1%3a2014%2bNA%3a2015&subscr=1>.

[14] NTNU (2003). *Stålkonstruksjoner - Profiler og formler*. Utgave 3. Sted: Trondheim: Fagbokforlaget.

[15] Molde jarnvareforretning (2015). *Stålkvaliteter og styrkeklasser – Hva betyr 8.8 egentlig*. Tilgjengelig fra: <https://static1.squarespace.com/static/5e1c7960ca124e6013aa0ff3/t/5eeaa514630d927e466e5c8b/1592435991663/Sta%CC%8Aalkvaliteter.pdf>.

[16] Standard Norge (2009). *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1.8: Knutepunkter og forbindelser. NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1993-1-8%3a2005%2bNA%3a2009&subscr=1>.

9 Figurer

Figur 1: *Montèr Verdøl* (2023) [Internett]. Tilgjengelig fra:

<https://www.innherred.no/naeringsliv/mn24/i/8Q4jnx/her-bygger-den-store-kjeden-sitt-nye-varehus>

Figur 2: *Focus Konstruksjon* (2020) [Internett] Tilgjengelig fra:

<https://www.facebook.com/focussoftware/photos/a.380290152038/10157666986777039/?type=3>

Figur 3: *Microsoft Teams* (2023) [Internett] Tilgjengelig fra:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.microsoft.teams&hl=no&pli=1>

Figur 4: *STRIAN—Structural analysis, free & online* (2022) [Internett] Tilgjengelig fra:

<https://www.facebook.com/photo/?fbid=544180947505179&set=a.544180904171850>

Figur 5: *Autodesk Revit* (2022) [Internett] Tilgjengelig fra:

<https://www.nti.biz/no/produkter/autodesk-software/revit/>

Figur 6: Nordvik, E. *Vindlast* (2023) [Rapport]. Tilgjengelig fra: Ikke tilgjengelig URL

Figur 17: NTNU (2003). *Stålkonstruksjoner - Profiler og formler*. Utgave 3. Sted: Trondheim: Fagbokforlaget.

10 Vedlegg

- A. Utregninger
- B. Fagartikkel
- C. Plakat

