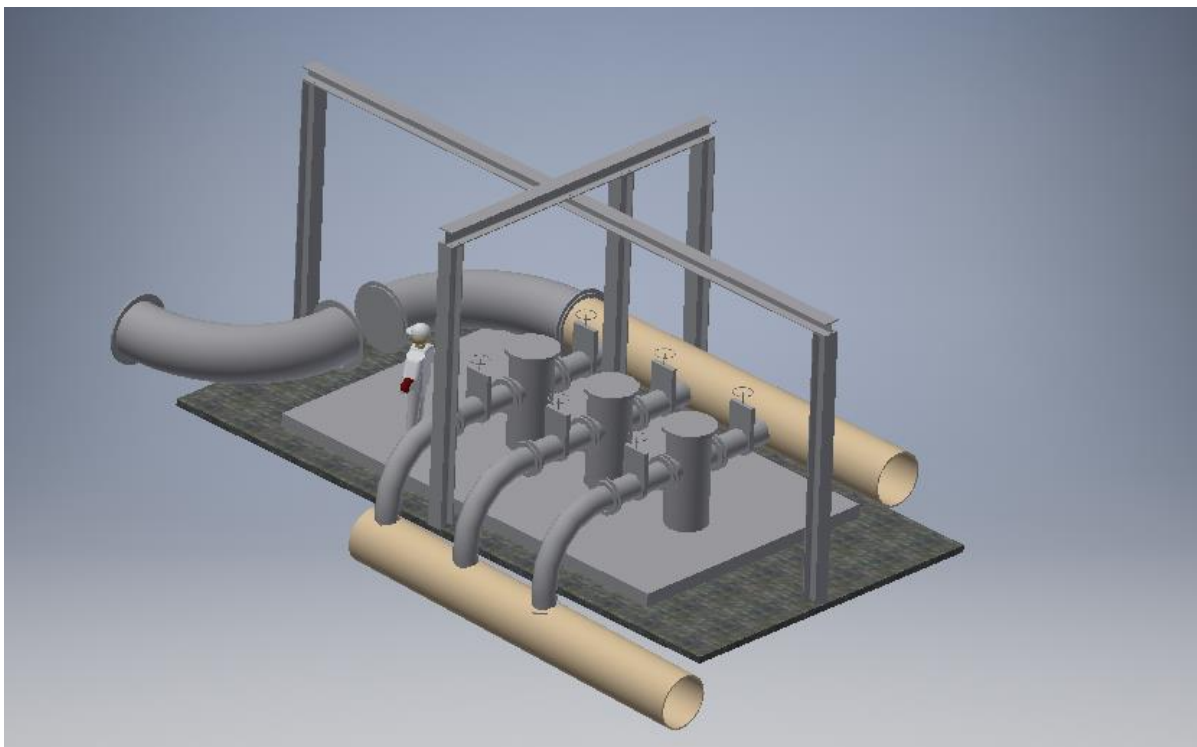


Design av heisarrangement for vedlikehold av vannfilter



**Hovedprosjekt utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag**

Maskin, Marin Konstruksjonsteknikk

Av:

*Sverre Ingvald Grunnaleite
Daniel Blom*

*Kand.nr. 7
Kand.nr. 19*

Haugesund

Våren 2016

BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Daniel Blom
Sverre Ingvald S. Grunnaleite

Linje & studieretning Maskin, marinkonstruksjonsteknikk

Oppgavens tittel: Design av heisarrangement for vedlikehold av vannfilter

Oppgavetekst:

Oppgaven omhandler heising av vannrensfilter for vedlikehold og eventuell utskiftning. Oppgaven vår er å designe et løftearrangement som skal brukes for å løfte ut vannrensfilter for innløpsvann til produksjon. I dag står rensesystemet uten noen form for hjelpemiddel med tanke på vedlikehold. Det må tas hensyn til sikkerhet rundt arbeidsområde.

Gjeldende standarder og ønsker fra bedriften må innhentes og tas høyde for under utvikling av produktet. Det skal settes opp aktuelle beregningsmodeller for løfteoperasjon og styrkeberegninger av konstruksjonen. Produktet skal beskrives ved hjelp av tegninger, skisser og tekst.

Endelig oppgave gitt: Tirsdag 1. mars 2016

Innleveringsfrist: Onsdag 4.mai 2016 kl. 12.00

Intern veileder Helen Sæverud – HSH, tlf.: 52 70 26 77

Ekstern veileder Terje Kolbeinsen – FMC Biopolymer AS
tlf.: +47 971 45 102

Godkjent av studieansvarlig:
Dato:

J. C. Lundgren
25/4-16

Forord

Denne oppgaven er en del av det avsluttende arbeidet som gjennomføres under ingeniørstudiet ved Høgskolen Stord/Haugesund. Gjennomføringen av dette prosjektet er gjort i samarbeid med FMC Biopolymer AS, avdeling Vormedal.

Det utrettes en takk til ekstern veileder Terje Kolbeinsen ved FMC Biopolymer, for hjelp vedrørende oppgaven som er gjennomført.

Vil utrette en takk til vår interne veileder Helen Sæverud for hjelp underveis, samt Runald Meyer for veiledning angående håndberegninger og datamodelleringen som er gjennomført i Sap2000.

INNHold

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING	1
1.1. OM BEDRIFTEN	1
1.2. BAKGRUNN FOR OPPGAVEN	1
1.3. PROBLEMSTILLING	2
1.4. BEGRENSNINGER	2
2. FORSKRIFTER OG METODER	3
2.1. FORSKRIFTER OG STANDARDER	3
2.1.1. FORSKRIFT OM MASKINER	3
2.1.2. GENERELT OM EUROKODE	4
2.1.3. EUROKODE 3 PROSJEKTERING AV STÅLKONSTRUKSJONER DEL 1-8: KNOTEPUNKTER OG FORBINDELSER	4
2.1.4. EUROKODE 3 PROSJEKTERING AV STÅLKONSTRUKSJONER DEL 1-1: ALLMENNE REGLER OG REGLER FOR BYGNINGER	4
2.1.5. NORSOK R-002	5
2.1.6. SAMMENLIGNING TRADISJONELL BEREKNINGSMÅTE KONTRA UTREGNING ETTER STANDARDER	5
2.2. PLANLEGGING	5
2.2.1. NYTTELAST	6
2.2.2. LEVETID	6
2.2.3. EGENVEKT	6
2.3. DATAPROGRAMVARE	7
2.3.1. INVENTOR	7
2.3.2. ANSYS WORKBENCH	7
2.3.3. SAP2000	7
3. GJENNOMFØRELSE AV OPPGAVEN	8
3.1. DESIGN	8
3.2. SIKKERHETSFAKTOR	8
3.3. MATERIALVALG	9

3.4. BEREGNINGER	9
3.4.1. BEREGNING AV FASTHETSKLASSE TIL SKRUER	10
3.4.2. MINSTE KANTAVSTAND FOR HULL I FLENS	12
3.4.3. BEREGNING AV TVERRSNITTKAPASITET TIL HE240B BJELKE	13
3.4.4. KRITERIER FOR TVERRSNITTKLASSE AV BJELKEN	18
3.4.5. BEREGNINGER LASTEBJELKE:	20
3.4.6. BEREGNINGER FOR AVLASTNINGSBJELKE:	25
3.4.7. FORENKLET PÅVISNING FOR STAVER FASTHOLDT MOT VIPPING I BYGNINGSKONSTRUKSJONER	27
3.4.8. KRITISK VIPPEMOMENT:	29
3.5. KAPASITETSKONTROLL	32
<u>4. RESULTATER FRA DATAPROGRAM</u>	<u>33</u>
4.1. DESIGN I INVENTOR	33
4.2. LASTESITUASJONER	33
4.2.1. LASTESITUASJON 1	34
4.2.2. LASTESITUASJON 2	37
4.3. RESULTATER FRA SAP2000	40
<u>5. DISKUSJON</u>	<u>42</u>
<u>6. KONKLUSJON</u>	<u>45</u>
<u>7. ØKONOMI</u>	<u>46</u>
<u>8. VEDLEGG</u>	<u>I</u>

TABELLER

Tabell 1: Tverrsnittklasser for bjelker	16
Tabell 2: Tverrsnittklasser for bjelker	17
Tabell 3: Anbefalt korreksjonsfaktor.....	28
Tabell 4: Korreksjonsfaktorer.....	29
Tabell 5: Grunnlag for valg av knekkurve	30
Tabell 6: Anbefalte imperfeksjonsfaktorer for knekkurver for vipping	31
Tabell 7: Reaksjonskrefter lastesituasjon 1, punkt 1	34
Tabell 8: Reaksjonskrefter lastesituasjon 1, punkt 2	35
Tabell 9: Reaksjonskrefter for lastesituasjon 1, punkt 3.....	35
Tabell 10: Reaksjonskrefter lastesituasjon 1, punkt 4.....	36
Tabell 11: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 1	37
Tabell 12: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 2	38
Tabell 13: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 3.....	38
Tabell 14: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 4.....	39

FIGURLISTE

Figur 1: Skrueforbindelse.....	11
Figur 2: Kantavstand hull.....	12
Figur 3: HE240B bjelke.....	13
Figur 4: Påkjent kraft lastebjelke	20
Figur 5: Skjærkraftdiagram for lastebjelke	21
Figur 6: Momentdiagram for lastebjelke.....	21
Figur 7: Lastesituasjon for løftebjelke	22
Figur 8: Lastesituasjon avlastningsbjelke	25
Figur 9: Skjærkraftdiagram avlastningsbjelke.....	25
Figur 10: Momentdiagram avlastningsbjelke	25
Figur 11: Lagerkrefter avlastningsbjelke	26
Figur 12: Heisarrangement.....	33
Figur 13: Skisse lastesituasjon 1, punkt 1	34
Figur 14: skisse lastesituasjon 1, punkt 2	35
Figur 15: Lastesituasjon 1, punkt 3	36
Figur 16: Lastesituasjon 1, punkt 4	36
Figur 17: Lastesituasjon 2, punkt 1	37
Figur 18: Lastesituasjon 2, punkt 2	38
Figur 19: Lastesituasjon 2, punkt 3	39
Figur 20: Lastesituasjon 2, punkt 4	39
Figur 21: Kapasitetskontroll situasjon 1	40
Figur 22: Skjær, moment og nedbøyingsdiagram for lastebjelke, sitasjon 1.....	41
Figur 23: Skjær, moment og nedbøyingsdiagram for lastebjelke, sitasjon 2.....	41

Symbol	Betydning	Benevning
$f_{ub,nom}$	Nominell strekkfasthet, skrue	MPa
$f_{yb,nom}$	Nominell flytespenning, skrue	MPa
A_s	Spenningsareal, skrue	mm^2
A_{skaft}	Skaftearealet, skrue	mm^2
γ_{u2}	Materialfaktor	-
kN	Kilo newton	N
F_i	Forspenningskraften, skrue	N
k	Faktor for forspenning, skrue	-
F_1	Beregnet last, skrue	N
F_a	Totallast, skrue	N
F_{tot}	Totallast, system	N
σ_n	Strekkspenning, skrue	MPa
γ_M	Sikkerhetsfaktor	-
R_e	Flytespenning, skrue	MPa
W_{el}	Elastisk spenningsmodul	mm^3
W_{pl}	Plastisk spenningsmodul	mm^3
f_y	Flytegrense, material	MPa
f_u	Strekfasthet, material	MPa
γ_{m0}	Materialfaktor	-
γ_{M2}	Materialfaktor	-
ϵ_y	Flytetøyning	-
N_{ed}	Dimensjonerende trykkraft	N
$N_{c,Rd}$	Trykkapasitet	N
A	Tverrsnitts areal	mm^2
V_{ed}	Skjærkraft	N
$V_{c,Rd}$	Skjærkraftkapasitet	N
$V_{pl,Rd}$	Plastisk skjærkraftkapasitet	N
A_v	Skjærareal	mm^2
M_{ed}	Bøyemoment	kNm

$M_{c,Rd}$	Momentkapasitet	Nm
$M_{pl,Rd}$	Plastisk momentkapasitet	Nm
t_w	Tykkelse steg	mm
t_f	Tykkelse flens	mm
r	Radius	mm
h	Høyde	mm
b	Bredde	mm
C_f	Bredde flens, uten radius	mm
λ_f	Flensens slankhet	-
C_w	Høyde steg, uten radius	mm
λ_w	Stegets slankhet	-
k_w	Interaksjonsfaktor	-
k_z	Interaksjonsfaktor	-
C_1	Lastfaktor	-
μ_{cr}	Momentfaktor	-
k_{wt}	Torsjonsparameter	-
M_{cr}	Bøyemomentkapasitet	kNm
$\bar{\lambda}$	Relativ slankhet	-
χ_{LT}	Reduksjonsfaktor	-
φ_{LT}	Faktor for å beregne Reduksjonsfaktor	-
$M_{b,Rd}$	Momentkapasitet	kNm
F_{ED}	Ekstern last	N
W	Motstandsmoment	Nm
σ_b	Bøyespennning, mest kritisk	MPa
M_{b1}	Bøyemoment	kNm
F_{ay}	Krefter som tas opp i opplagring a	N
F_{by}	Krefter som tas opp i opplagring b	N
l_a	Halve avstanden mellom opplagring og kraft	mm
l	Total lengde bjelke	mm
δ_b	Bøyespennning	MPa

I	Arealtreghetsmoment	mm^4
τ	Skjærspenning	MPa
P	Total lasten	N
E	Elastisitetsmodul	MPa
δ	Nedbøyning	mm
a	avstanden til $\frac{\text{lasten}}{\text{totallengden}}$	-

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven omhandler designing samt beregning av et heisarrangement for vedlikehold vannfilter. Oppgaven er gitt av FMC Biopolymer AS sin avdeling på Vormedal. Heisarrangementet skal benyttes av bedriften internt under vedlikehold og eventuell utskifting av vannfiltrene. Løftekapasiteten er satt til å være 1,5 tonn, og løftehøyde skal være 4 meter. Konstruksjonen skal være tilvirket i galvanisert stål av kvalitet S355, ettersom det er ønsket å unngå korrosjon under de omstendigheter at den er plassert nær sjø. Dimensjoneringsberegningen gjennomføres etter standarder utgitt av Norsok og Eurokode 3. Konstruksjonen består av H-bjelker av profilen HE240B som er sammenkoblet ved hjelp av skrudde forbindelser. Grunnen for valget av skrudde forbindelser istedenfor sveiste forbindelser var krav fra bedriften. H-bjelken fungerer som en bane for løpekatten som skal foreta løftearbeidet. Løpekatten benyttes ved elektrisk drift, da systemer med andre energikilder er ønskelig å unngå. Beregningsprogrammene som er benyttet under løsningsprosessen er Autodesk Inventor, Ansys Workbench og Sap2000. Resultatene fra beregningsprogrammene har bidratt til å kvalitetssikre resultatene av håndberegningene som har blitt gjennomført, samt indikere hvilke faktorer som er de mest kritiske for konstruksjonen. Sikkerhetsfaktoren som er benyttet gjennom oppgaven er satt til å være 3. Denne er basert på Norsok standardens beregningsmetode.

1. Innledning

1.1. Om bedriften

FMC er en global leverandør av naturlige ingredienser som brukes i mat, farmasøytiske produkter og biomedisin. I Norge har FMC drevet forskning og utvikling av produkter fra stortare på internasjonalt nivå i over 65 år.

FMC i Norge er en del av FMC Corporation som leverer produkter til aktører innen landbruks-, industri-, miljø- og forbrukermarkedet. I 2011 hadde FMC en omsetning på ca 3,4 milliarder dollar. Selskapet har 5 500 ansatte over hele verden, og opererer innen tre segmenter: landbruksprodukter, spesialkjemikalier og industrikjemikalier.

FMC har to avdelinger i Norge:

Fabrikken på Vormedal i Karmøy kommune utenfor Haugesund produserer alginat fra tang og tare. Fabrikken sysselsetter ca. 120 personer og er en hjørnestensbedrift i området.

NovaMatrix er en egen forretningsenhet under FMC og holder til i Sandvika vest for Oslo. Her utvikles og produseres biomedisinske produkter basert på alginat og andre biopolymerer.

1.2. Bakgrunn for oppgaven

Som en avsluttende del av ingeniørstudiet ved HSH, er denne oppgaven basert på den teori og kunnskap gruppen har tilegnet seg gjennom studiet. Det ble opprettet kontakt med FMC Biopolymer A/S (avdeling Vormedal) angående bacheloroppgave, grunnet deres virksomhet virket interessant.

I løpet av studiet har det blitt fokusert på å beregne krefter og spenninger i konstruksjoner, designe elementer ved hjelp av Inventor, sette disse sammen og simulere situasjoner med spenninger og stress for å se om disse er tilstrekkelig dimensjonert i henhold til Eurokode 3. Med denne kunnskapen skal vi nå være i stand til å løse denne oppgaven.

1.3. Problemstilling

Oppgaven går ut på å konstruere og designe et heisarrangement.

Vi har fått oppgitt følgende spesifikasjoner om heisarrangementet:

- SWL (Safe Working Load): 1,5 tonn
- Galvanisert material skal benyttes
- Skrudde forbindelser
- Løftehøyde: 4 meter

Heisarrangementet vil bestå av en løftebjelke som er en del av en bjelkekonstruksjon. Det skal føres en løpekatt med elektrisk drift på løftebjelken, og løftekapasiteten skal være på 1,5 tonn samt en løftehøyde på 4 meter. Denne skal brukes til å heise ut vannfiltrene for vedlikehold og rengjøring, eventuell utskiftning av filter.

1.4. Begrensninger

Begrensingene i denne oppgaven utspiller seg til støttefundamentene, som er valgt til å være søyler. Disse er det ikke blitt beregnet krefter for gjennom oppgaven, men ut fra hvilke krefter som opererer i systemet er det fornuftig å anta de tåler påkjenningen. En analyse gjennomført i Sap2000 av lastesituasjonen med fire søyler for å oppta kreftene bekrefter antagelsen om tilstrekkelig støtte for systemet.

2. Forskrifter og metoder

I dette kapitlet vil det bli gjort rede for de forskjellige standardene og forskriftene som er benyttet. Det vil også belyses hvilke hjelpemidler og dataprogrammer som er blitt benyttet for å designe heisarrangementet.

2.1. Forskrifter og standarder

I de følgende kapitlene vil de ulike forskriftene og standardene det er blitt tatt hensyn til beskrives. Dette er dokumenter som er tilpasset løftesituasjonen som omhandles, og hvordan dimensjoneringen og beregningen skal gjennomføres.

2.1.1. Forskrift om maskiner

Oppgaven omhandler å designe samt beregne et heisarrangement som skal brukes til løft ved en arbeidsplass. Dette medfører at det må tas hensyn til forskrift om maskiner. Her følger direkte sitert tekst fra lovdata: (*referanse finnes på bunn*).

«Kapittel I. Innledende bestemmelser

§ 1. Virkeområde

1. Denne forskriften gjelder ved konstruksjon, bygging og omsetning av følgende produkter:

a) maskiner

§ 2. Definisjoner

I denne forskriften er de produktene som er listet opp i § 1 første ledd, bokstav a til f, å betrakte som maskiner.

a) Med maskin menes:

- en enhet som er utstyrt med eller beregnet til å utstyres med et drivsystem, som ikke kommer fra direkte drivkraft fra mennesker eller dyr, og som består av sammensatte deler eller komponenter, hvor minst en del er bevegelig og som er sammensatt for et bestemt bruk,
- en enhet som beskrevet i første strekpunkt, men uten elementer for å koble komponentene til bruksstedet eller til energikilder og drivkraft,
- en enhet som beskrevet i første og andre strekpunkt, som er installasjonsklar, men som først er funksjonsklar etter montering på et transportmiddel eller installasjon i en bygning eller en konstruksjon,
- en samling av maskiner som beskrevet i første, andre og tredje strekpunkt, eller delvis ferdigstilte maskiner jf. bokstav g, som er satt opp og styrt slik at de virker som en enhet, for å oppnå et bestemt resultat,
- en enhet bestående av en rekke deler eller komponenter, hvor minst en del er bevegelig, og som er satt sammen for løfting av last, og som utelukkende drives ved menneskelig kraft.»

Denne forskriften tar for seg all lov og godkjenning som trengs når det skal tas i bruk en kran eller et heisarrangement. Man kan også finne informasjon angående erklæringer, CE-merking og teknisk dokumentasjon.

2.1.2. Generelt om Eurokode

De forskjellige Eurokodene er utarbeidet for å bidra til at alle skal kunne danne seg en felles forståelse for styrkeberegning og fremgangsmetoder for de forskjellige konstruksjoner og prosjekter som skal beregnes. Disse er utarbeidet for å bidra slik at forskjellige leverandører skal være sikre på at de trygt skal kunne samarbeide om komponenter til et felles prosjekt, der alle parter har styrkeberegnet etter samme standarder og faktorer.

2.1.3. Eurokode 3 Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser

Denne delen av Eurokode 3 omhandler metoder for prosjektering av knutepunkter i stål av kvalitetene S235, S275, S355, S420, S450 og S460 som hovedsakelig er påkjent av statiske laster.

2.1.4. Eurokode 3 Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger

Denne delen av Eurokode 3 omhandler prosjektering av stålkonstruksjoner, allmenne regler og regler for bygninger. Denne tar for seg grunnlaget for konstruksjonsberegninger, valg av materialer og egenskapene de har, bestandigheten for konstruksjonen, konstruksjonsanalyser, bruddgrensetilstander og bruksgrensetilstander. Disse benyttes for å dimensjonere konstruksjonen gruppen har designet tilstrekkelig med tanke på ivaretagelse av sikkerhet.

2.1.5. Norsok R-002

Norsok standardene kan ikke relateres direkte til de mer tradisjonelle fremgangsmåtene som blir brukt i forelesninger og undervisninger i dagens opplæring. Men ettersom standarder gir en felles og lik oppfatning av dimensjonering og beregninger for dagens arbeidsliv var det mer naturlig for gruppen å jobbe opp mot disse. Dette for å få bedre oversikt over hvilke beregningsmetoder og tolkninger som vil benyttes i senere arbeidssituasjoner, og for selv å bli bedre kjent med standardene samt bruken av disse.

Angående hull til festemidler, som i dette tilfellet er satt til å være bolter, er det teoretisk sett likegyldig hvor hullene maskineres ut grunnet små skjærkrefter. Likevel anbefales det å maskinere hullene i en posisjon der det beholdes gods på utsiden av hullet. Dette for å ivareta sikkerhetsbarrieren om at bjelken ikke skal kunne forflytte seg sideveis.

2.1.6. Sammenligning tradisjonell beregningsmåte kontra utregning etter standarder

Gjennom oppgaven har det blitt benyttet formler og beregningsmetoder som foreskrevet etter Eurokode 3, del 1-1. Grunnen til at gruppen har valgt å følge denne standarden istedenfor de mer tradisjonelle beregningsmetodene som blir forelest, er at dagens arbeidsliv konstruerer opp mot standarder. Dette var et godt argument i drøftingen som konkluderte med at gruppen gikk for å beregne etter Eurokode 3, del 1-1.

Den tradisjonelle fremgangsmetoden som har blitt benyttet i kursene gjennom utdanningen har lagt spenninger som oppstår i konstruksjoner som grunnlag for dimensjonering. Hovedforskjellen ved å benytte Eurokode 3, del 1-1 istedenfor er at denne baserer seg på beregninger oppimot kapasiteten til en konstruksjon.

2.2. Planlegging

Heisarrangementet som skal designes har blitt oppgitt til at skal kunne løfte 1,5 tonn. Lasten vil bli fordelt over en avstand gitt av plasseringen av vannfiltrene. Dette vil gi forskjellige last og- spenningssituasjoner. For å sikre at heisarrangementet er sikkert i bruk vil det bli gjort håndberegninger samt gjennomført en analyse av spenninger og krefter ved hjelp av datasimulering. Fra oppdragsgiver er det blitt opplyst at løfteanordningen vil plasseres i et område der saltvann vil drive inn mot produktet. Derfor må det tas hensyn til at korrosjon kan forekomme på et tidligere tidspunkt enn ved for eksempel ett innendørs avgrenset miljø.

Det som vektlegges er at produktet skal være levedyktig, ha god styrke, pris, holdbarhet og være sikkert i bruk.

2.2.1. Nyttelast

I oppgaven vil beregningene foretas med nyttelast på 4.5 tonn (inkludert sikkerhetsfaktor) da dette er den maksimale påkjenningen i form av last systemet skal utsettes for i form av ytre påvirkning. Massen til løpekatten er neglisjert under beregningsdelen. I NS 5514 (s.11) blir det beskrevet at nyttelast er: massen av last som løftes, pluss massen av hjelpeutstyr som f.eks. blokk, krok, løfteåk, grabb etc.

2.2.2. Levetid

Introduksjonen til ISO 12482: 2014 sier hva levetiden til en kran er: Kraner er designet for begrenset levetid, som er spesifisert i lastsykluser og lastspektrum, og er ikke relatert til levetid på kalendernivå. Typisk brukstid for industrielle kraner er fra 10 til 20 år. Uansett kan klassifisering av kraner, avhengig av utstyr og løsnings, være begrenset til 5-10 år eller 40 år for langsiktige investeringer. Overvåkning av kranens bruk endrer ikke kravet til at kranen skal underlegges periodisk kontroll og regelmessig vedlikehold. Design arbeidsperiode (DWP) gitt av kran- og maskingrupper kan ikke garantere en sikker driftsperiode for kranen. Med bakgrunn i utmatting og andre påvirkende faktorer, kan ikke tidlig opptredende feil under DWP listes opp. Uansett, DWP representerer et pålitelig estimat på en sikker arbeidsperiode for kranen, med hensyn til design standarder og standardiserte design sikkerhets faktorer.

Levetiden her er oppgitt til å ligge mellom 10 til 20 år. Men dette vil gjelde for selve strukturen. Levetiden for noen av komponentene som vil være montert på kranen, f.eks. wire, løftemotor vil ha kortere levetid og vil kreve mer vedlikehold.

Siden heisarrangementet står nære sjø, vil sjøsprøyt og salt drive inn over konstruksjonen. Derfor vil materialvalget være stål som er galvanisert for å beskytte best mulig mot korrosjon.

Periodisk vedlikehold bør gjøres for å sjekke om det har oppstått sprekke-dannelser i konstruksjonen. Hvor ofte man bør gjøre vedlikehold av heisarrangementet avhenger av hvor ofte det brukes.

2.2.3. Egenvekt

Egenvekt er massen til selve konstruksjonen når den ikke har belastning. Hva som avgjør hvor mye denne vil være, avhenger av hvilket material som blir brukt. I NS 5514 (s.11) står det hva egenvekten er: massen av konstruksjonsdeler som virker på et gitt konstruksjonselement, unntatt nyttelast.

2.3. Dataprogramvare

For å løse denne oppgaven vil det bli benyttet dataprogramvare for å kunne tegne opp konstruksjonen, måle spenninger og krefter som vil virke på konstruksjonen.

2.3.1. Inventor

Autodesk Inventor vil bli benyttet til å modellere og skissere opp konstruksjonen i 3D og 2D tegninger. Tegningene vil kunne benyttes som et hjelpemiddel når det skal gjennomføres beregninger på konstruksjonen, og når det eventuelt skal settes sammen og monteres.

2.3.2. Ansys Workbench

Ansys er et generelt beregningsprogram for «multifysikk» og benytter elementmetoden. Dette vil bli brukt for å kunne visualisere krefter som oppstår i de forskjellige elementene og beregne de spenningene som oppstår i forskjellige lastesituasjoner. Programmet gir en god tolkning av hvordan krefter forplanter seg gjennom konstruksjonen, og gir ut verdier som kan sammenlignes med gruppens håndberegninger.

2.3.3. Sap2000

Sap2000 er et analyseringsprogram som blir benyttet til styrkeberegning av konstruksjoner. Programmet har integrert programvare for strukturell analyse og design, og beregner etter forskjellige standarder. Eurokode 3 er et av alternativene, og det var derfor fornuftig for gruppen å benytte dette programmet for kontrollering av resultater.

3. Gjennomførelse av oppgaven

I dette kapitlet blir det gjennomgang av løsningsprosessen fra presentasjon av problemstilling til ferdig produkt. Det vil bli tatt med beregninger som er blitt gjort, design som er valgt og styrkeberegninger som viser at konstruksjonen tåler den belastningen som er oppgitt.

3.1. Design

Når et produkt skal designes er det flere faktorer som må tas høyde for. De tre viktigste faktorene er:

- Brukervennlighet (designet må tillate oppgaven som produktet er tiltenkt)
- Sikkerhet (sikkerhetsfaktorer og grenser må ivaretas)
- Brukerens/kjøperens ønsker blir fulgt så langt som forsvarlig og praktisk mulig

Design faktorene er de faktorene som er med og skaper et grunnleggende minimum som må tas høyde for når sikkerhetsfaktoren skal velges. En sikkerhetsfaktor må alltid være høyere enn en konstruksjonsfaktor slik at belastningsproblemer unngås. Vi fikk opplyst maksimal systemlast, løftehøyde, miljøet produktet skulle plasseres i, temperaturforhold og andre tekniske opplysninger slik at utarbeidingen av design kunne påbegynnes. Design faktorene etableres ut fra disse opplysningene og skal tilfredsstillende ønskene til kunden samt representere toleransene prosjektet skal oppfylle. Ved hjelp av disse faktorene kan en vurdere sikkerhetsfaktor slik at en sikkerhetsmargin for feil blir opprettet. Dette sikrer konstruksjonen mot kollaps eller andre uønskede situasjoner som kan oppstå, dersom bæreevnen til produktet overstiges.

I tillegg til de fysiske begrensingene prosjektet vil ha, kan også tilgang på materialer, kostnad, miljøhensyn og samfunnsmessige faktorer også være med på å påvirke designet.

Samlet danner alle design faktorene et minimumskrav til hvordan det endelige produktet vil se ut. Om en av faktorene blir oversett kan dette være med på å skape en ringvirkning som tar prosjektet fra suksess til fiasko.

3.2. Sikkerhetsfaktor

Under briefing av oppgaven ble det oppgitt fra vår eksterne veileder at konstruksjonen skulle ha en sikkerhetsfaktor på 1,5. Dette ble diskutert på et senere tidspunkt med ekstern veileder, og endringer ble foretatt. Siden det er personell til stede under løft, ville gruppen forholde seg til styringsdokumenter fra Norsok. Det ble under samtale med ekstern veileder bestemt at sikkerhetsfaktoren skulle oppjusteres til 3 for å tilfredsstillende standarden angående løft som foretas med personells nærvær.

3.3. Materialvalg

Det finnes mange materialer og velge mellom når en konstruksjon, ettersom denne oppgaven inneholder krav om å kunne motstå store nedbøyinger selv under påvirkning av ytre krefter ble stål et godt alternativ. Stål finnes i flere aktuelle legeringer, og er et gunstig materiale prismessig.

Stål ble valgt, og neste drøftingstema var hvilken legering som passet oppgaven. Valgene stod mellom S275 stål og S355 stål, ettersom bruken av disse er mest utbredt. Det ble iverksatt en rask håndberegning for hvert av alternativene for å undersøke hvilket av de to som var best egnet for kravene som stilles til både sikkerhetsfaktor og nedbøyning. Ut ifra beregningene ble det konkludert med at S355 var det mest gunstige valget for denne oppgaven, og dermed ble materialet satt til å være galvanisert S355 stål.

3.4. Beregninger

I dette kapitlet blir det gjennomgått beregninger for H-bjelken som skal være den bærende bjelken under løfteoperasjonene. Det er i tillegg lagt opp en H-bjelke på tvers av lengderetningen til hovedbjelken som skal forsterke løftebjelken. Disse to bjelkene blir sammenkoblet ved hjelp av bolter i en skrudd forbindelse. For beregning av krefter og spenninger som oppstår ved løfteoperasjoner er Eurokode 3 samt Norsok forskrifter, og læremateriell fra tidligere relevante fag som er blitt undervist ved Høgskolen Stord/Haugesund benyttet aktivt.

3.4.1. Beregning av fasthetsklasse til skruer

Det vil bli benyttet skruer for holde støttebjelken sammenkoblet med løftebjelken. For dimensjonering av disse skruene blir disse beregningene gjort.

Fasthetsklasse til skruer → for eksempel 8.8

$$\text{første siffer} = \frac{f_{ub,nom}}{100} \text{ (N/mm}^2\text{) eller (MPa)}$$

$$\text{andre siffer} = \frac{f_{yb,nom}}{10} \cdot f_{u,nom}$$

f_{ub} og f_{yb} er henholdsvis nominell spenning og strekkfasthet. Disse blir vanligvis omtalt som flytespenning og bruddspenning. Produktet av disse to sifrene tilsvarer 10 % av nominell flytespenning $f_{yb,nom}$

$$f_{ub} = 8 \cdot 100 = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = \frac{8}{10} \cdot 800 = 640 \text{ MPa}$$

I en rekke skrueforbindelser blir skruer utsatt for strekkbelastning. Som regel når en skrue strammes, blir den trukket så hardt til at noen ganger vil skruen nærme seg flytegrensen. Skruen vil da få en forspenning. Visst skruen er riktig dimensjonert og forspent, vil skruen sannsynligvis ikke rykke under bruk når den ikke har blitt ødelagt under montering. For kontroll av skrueforbindelsen regnes forspenningskraften ut, deretter strekkapasiteten for å se at skruen er tilstrekkelig dimensjonert:

$$F_i = k \cdot F_1$$

der

$$F_i = \text{forspenningskraften}$$

$$F_1 = \text{beregnet last på skruen}$$

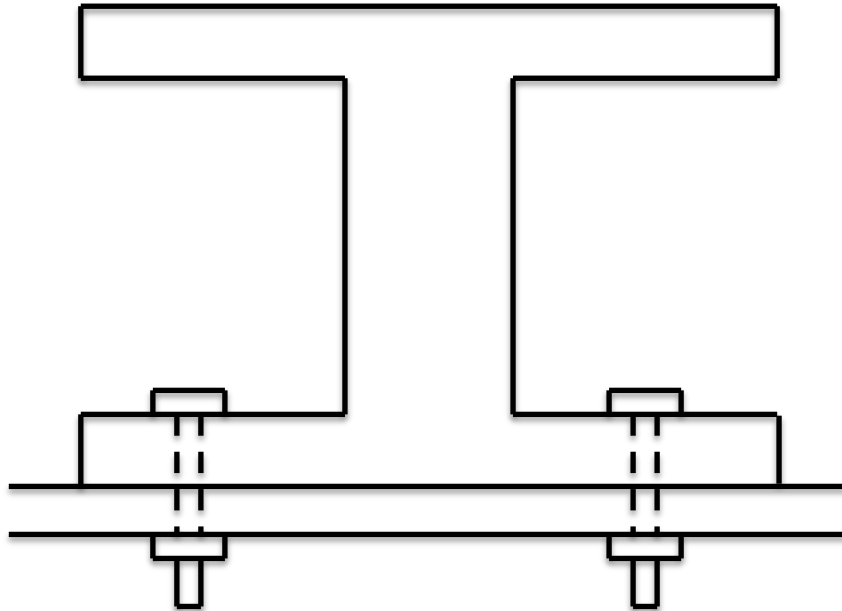
$$k = \text{faktor for forspenning}$$

For dynamisk belastede skruer settes $k = 2,0$. Total-lasten på skruen blir mindre enn summen av forspenningen og beregnet last. Formelen blir:

$$F_a \approx 1,8 \cdot F_1$$

der

$$F_a = \text{totallast på skruen}$$



Figur 1: Skruforbindelse

Løftebjelken vil bli holdt oppe av fire M16x70 skruer av klassen 8.8 som figur 1 viser. Total-lasten $F_{tot} = 44145 \text{ N}$. Siden bjelken vil bli holdt oppe av fire skruer blir total-lasten delt på fire når utregninger av forspenning blir gjort.

$$F_1 = \frac{F_{tot}}{4} = \frac{44145 \text{ N}}{4} = 11036,25 \text{ N}$$

$$F_i = 2.0 F_1 = 2.0 \cdot 11036.25 \text{ N} = 22072.25 \text{ N}$$

$$F_a \approx 1.8 \cdot F_1 = 1.8 \cdot 19865,25 \text{ N}$$

For å finne ut om skruen er tilstrekkelig dimensjonert, beregnes strekkapasiteten til skruene på følgende måte:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

der

$$k_2 = 0,9$$

f_{ub} = strekkfastheten til skruen

A_s = spenningsareal

γ_{M2} = materialfaktor

Materialfaktoren her er hentet fra Norsok R-002. Den sier at for skrudde forbindelser så kan γ_{M2} settes til $\gamma_{Rm} = 1,3$.
Strekkapasiteten til skruen blir da:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 157 \text{ mm}^2}{1,3}$$

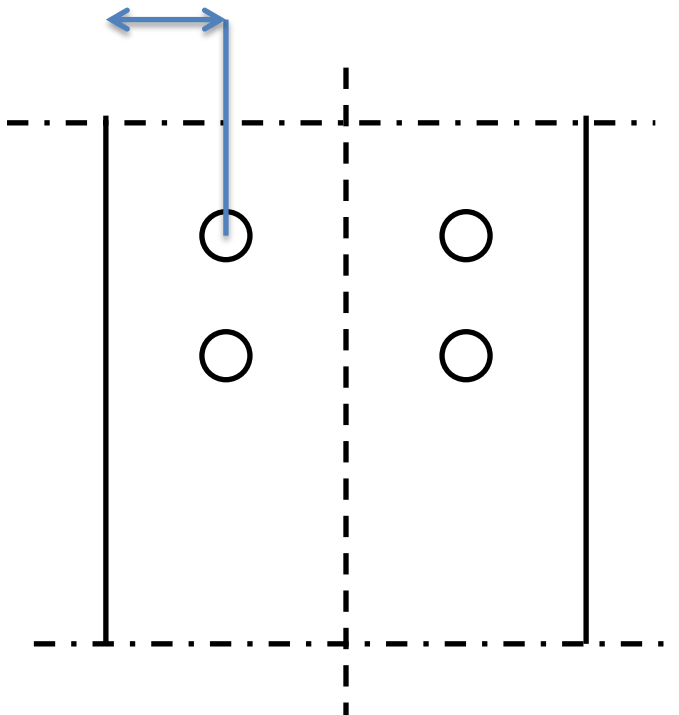
$$F_{t,Rd} = 86,9 \text{ kN}$$

Beregningen viser at strekkapasiteten er større enn den totale belastningen skruen blir utsatt for. Skruen er da tilstrekkelig dimensjonert.

3.4.2. Minste kantavstand for hull i flens

I Eurokode 3 Del 1-8 står det hva den minste avstanden fra senter av hullet til kanten av flensen. Figur 2 viser hva den minste avstanden fra kanten av flensen til senter av hullet. Borehullet er valgt til 18 mm for å kunne entre skruen visst det skulle være noe avvik under montering.

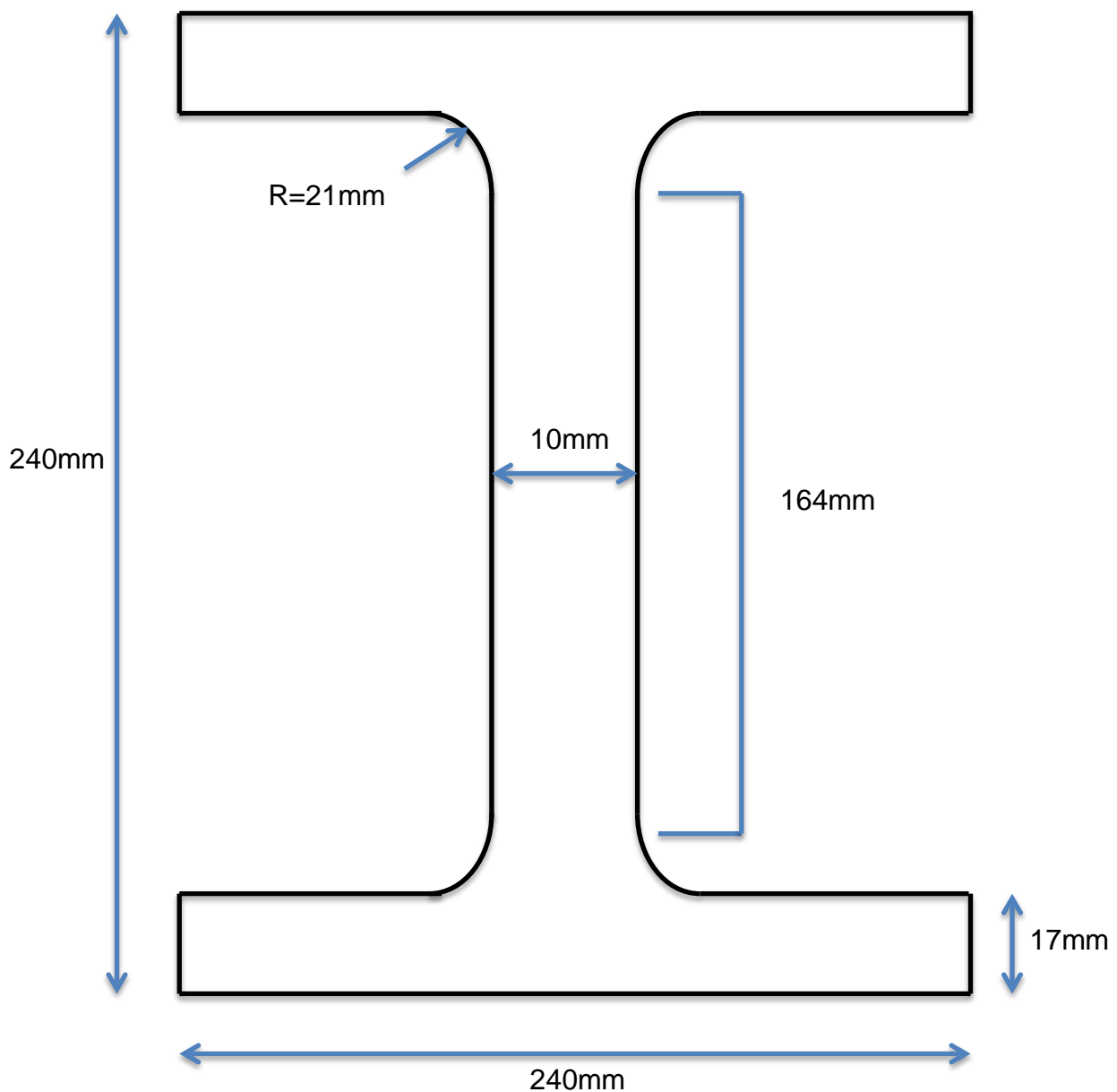
$$1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$$



Figur 2: Kantavstand hull

3.4.3. Beregning av tverrsnittkapasitet til HE240B bjelke

Ettersom konstruksjonen gruppen skulle designe inneholdt et langt spenn var det nødvendig å velge et bjelketverrsnitt med høyt motstandsmoment for å kunne takle påkjenningene den kommer til å bli utsatt for, samt ivareta sikkerheten. Det ble vurdert forskjellige bjelketverrsnitt, men etter grovberegninger og drøfting internt i gruppen falt valget på et bjelketverrsnitt av typen HE 240 B. Skissen viser dimensjonene til bjelken som er blitt valgt til oppgaven.



Figur 3: HE240B bjelke

Dimensjoner av HE240B-bjelke:

h =	240 mm
b =	240 mm
Tverrsnittareal =	10600 mm ²
t _f =	17 mm
t _w =	10 mm
r =	21 mm

t_f er tykkelsen til flensen

t_w er tykkelsen til steget

Elastisk tverrsnitts modul:

$$W_{el,y} = 938 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad (\text{elastisk})$$

Plastisk tverrsnitts modul:

$$W_{pl,y} = 1054 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad (\text{plastisk})$$

Flytegrense $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Strekfasthet $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$

Materialfaktorer som vil bli benyttet:

$$\gamma_{m0} = 1,05$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \sqrt{\frac{235 \text{ N/mm}^2}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ N/mm}^2}{355 \text{ N/mm}^2}} \\ &= 0,814 \end{aligned}$$

ε_y er flytetøyningen til materialet.

Klassifisering tverrsnitt:

Ifølge Eurokode 3 så har klassifiseringen av et tverrsnitt i oppgave å fastlegge hvilken grad tverrsnittenes moment- og rotasjonskapasitet er begrenset til lokal knekking av tverrsnittdeler. Det er fire definerte tverrsnittklasser, hvor tverrsnittklasse 1 er den sterkeste og tverrsnittklasse 4 er den svakeste.

For å finne tverrsnittklasse til bjelken som er blitt benyttet i oppgaven gjøres det følgende beregninger:

Flensens slankhet beregnes slik:

$$\frac{C_f}{t_f \cdot \varepsilon_y} = \frac{94 \text{ mm}}{17 \text{ mm} \cdot 0,814} = 6,79$$

hvor C_f , som er lengden av flensen:

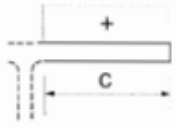
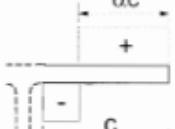
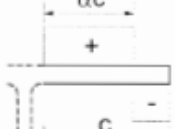
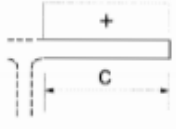
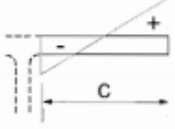
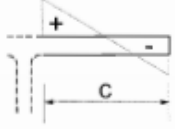
$$C = 120 \text{ mm} - 5 \text{ mm} - 21 \text{ mm} = 94 \text{ mm}$$

t_f = tykkelse av flens

ε_y = materialfaktor

$$\frac{94 \text{ mm}}{17 \text{ mm} \cdot 0.814} = 6,79$$

Fra tabell 1 blir det lest av hvilken tverrsnittklasse flensen hører til:

Outstand flanges						
		Rolled sections		Welded sections		
Class	Part subject to compression	Part subject to bending and compression				
		Tip in compression		Tip in tension		
Stress distribution in parts (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Stress distribution in parts (compression positive)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ For k_σ see EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tabell 1: Tverrsnittklasser for bjelker

(hentet fra Eurokode 3, del 1-1, tabellnummer 5.2)

$$6,79 \leq 9 \Rightarrow \text{Tverrsnittklasse for flens er 1}$$

Stegets slankhet er:

$$\frac{C_w}{t_w \cdot \epsilon_y}$$

der

$$C_w = 240 \text{ mm} - 2 \cdot 17 \text{ mm} - 2 \cdot 21 \text{ mm} = 164 \text{ mm}$$

$t_w = \text{tykkelse av steg}$

$\varepsilon_y = \text{flytetøyning}$

$$\frac{C_w}{t_w \cdot \varepsilon_y} = \frac{164 \text{ mm}}{10 \text{ mm} \cdot 0,814} = 20,15$$

Internal compression parts						
				Axis of bending		
				Axis of bending		
Class	Part subject to bending	Part subject to compression	Part subject to bending and compression			
Stress distribution in parts (compression positive)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	when $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	when $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Stress distribution in parts (compression positive)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ when $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tabell 2: Tverrsnittklasser for bjelker

(hentet fra Eurokode 3, del 1-1, tabellnummer 5.2)

$20,15 < 33 \Rightarrow \text{Tverrsnittklasse steg er 1}$

Tilsvarende gjelder for bøyning:

$$\frac{C}{t \cdot \varepsilon} = 20,15 \leq 72 \Rightarrow \text{Tverrsnittklasse 1}$$

Bjelken kan dimensjoneres med plastisk tverrsnittmodul ettersom både steg og flens oppfyller krav til tverrsnittklasse 1.

3.4.4. Kriterier for tverrsnittklasse av bjelken

Steg:	Tverrsnittklasse 1
Bøyning:	Tverrsnittklasse 1
Flens:	Tverrsnittklasse 1

3.4.4.1. Stegets skjærkraftkapasitet

Dimensjonerende skjærkraft, V_{Ed} , skal i hvert tverrsnitt oppfylle følgende krav:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,rd}} \leq 1$$

$V_{c,rd}$ er dimensjonerende skjærkraft kapasitet. For plastisk dimensjonering er $V_{c,rd}$ dimensjonerende plastisk skjærkraftkapasitet $V_{pl,rd}$.

$$V_{c,rd} = V_{pl,rd}$$

Dette gir:

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{m0}}$$

A_v er skjærareal

$$A_v = 10600 \text{ mm}^2 - 2 \cdot 240 \cdot 17 + (10 + 2 \cdot 21) \cdot 17$$

$$A_v = 2509 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{2509 \text{ mm}^2 \cdot \frac{355 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}}}{1.05}$$
$$V_{pl,Rd} = 489,7 \text{ kN}$$

3.4.4.2. Momentkapasitet for sterk akse

Dimensjonerende moment, M_{ed} , skal i hvert tverrsnitt oppfylle følgende krav

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Kontrollerer om det er nødvendig med fratrekk for hull til festemidler:

Regner først ut A_f , som er flensens tverrsnittareal:

$$17 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm} = 4080 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 4080 \text{ mm}^2$$

Deretter beregnes $A_{f,net}$, som er tverrsnittarealet til flensen med hull:

$$17 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm} - (2 \cdot (18 \text{ mm} \cdot 17 \text{ mm})) = 3468 \text{ mm}^2$$

$$A_{f,net} = 3468 \text{ mm}^2$$

Sammenligner etter kriteriet fra Eurokode 3, del 1-1:

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_a}{\gamma_{m2}} \geq \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_a}{\gamma_{m2}} = \frac{3468\text{mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 800\text{ N/mm}^2}{1,3} = 1920738,4$$

$$\frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{4080\text{mm}^2 \cdot 3,55\text{ N/mm}^2}{1,05} = 1379428,5$$

$$1920738,4 \geq 1379428,5$$

Resultatet er tilfredsstillende i henhold til Eurokode 3, del 1-1's krav, og $M_{c,Rd}$ er dermed bestemt med hensyn til hull for festemidler.

$M_{c,Rd}$ er bestemt slik at den tar hensyn til hull for festemidler

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

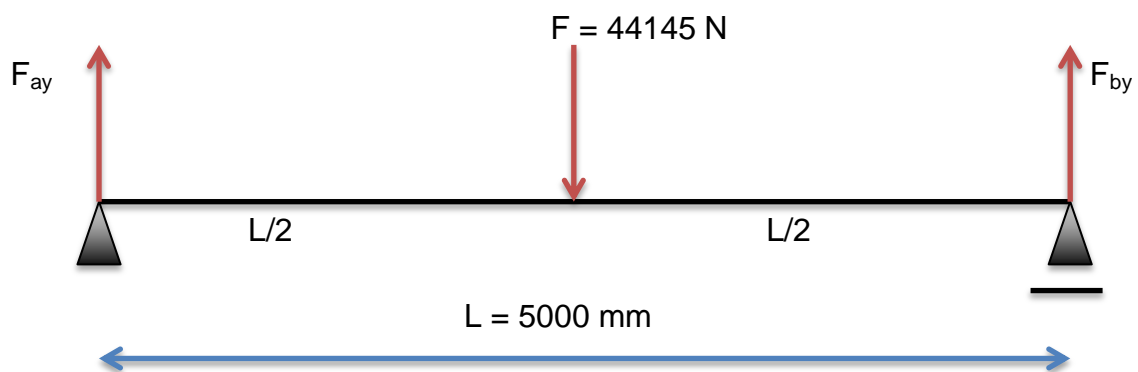
Tverrsnittklasse 1

$$M_{pl,Rd} = \frac{1059 \cdot 10^3\text{mm}^3 \cdot 355\text{ N/mm}^2}{1,05}$$

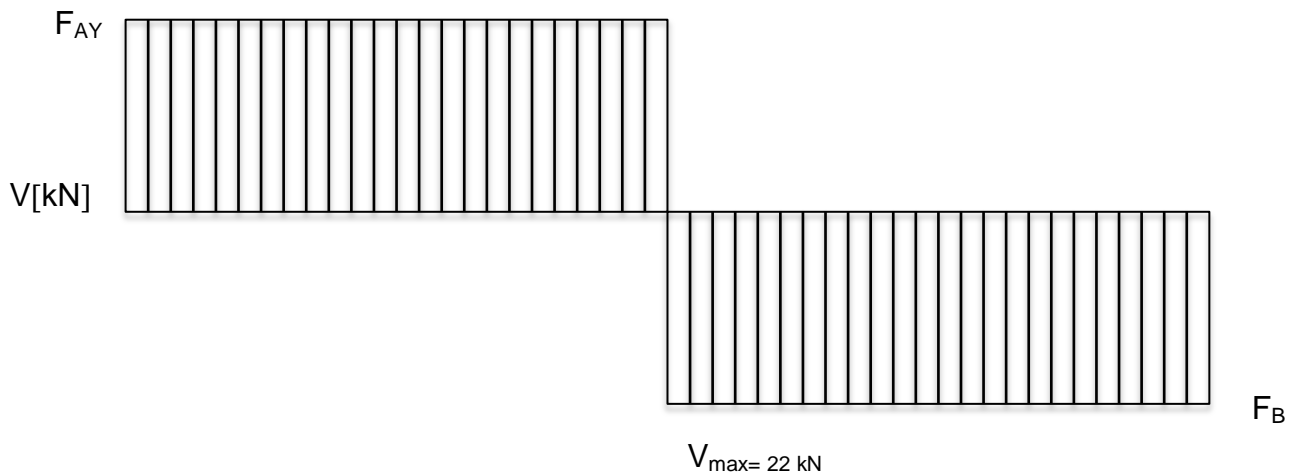
$$M_{pl,Rd} = 358\text{ kNm}$$

3.4.5. Beregninger lastebjelke:

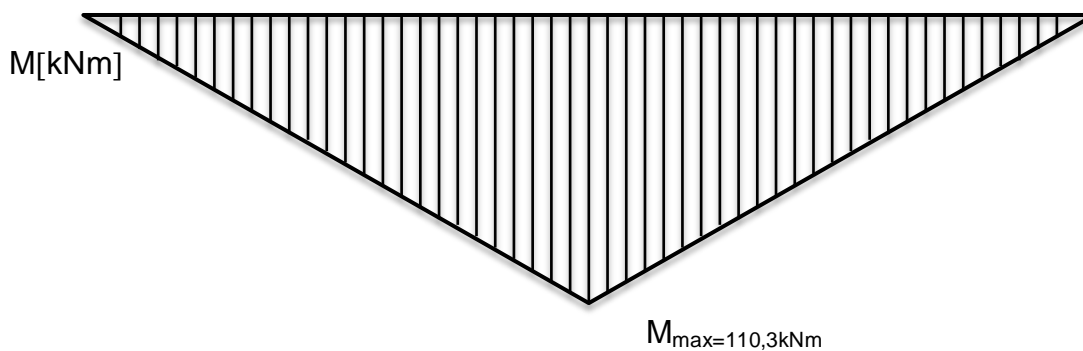
3.4.5.1. Last-, moment- og skjærkraftdiagram:



Figur 4: Påkjent kraft lastebjelke



Figur 5: Skjærkraftdiagram for lastebjelke



Figur 6: Momentdiagram for lastebjelke

Ser i diagrammene over at skjærkraft og momentkraft treffer på samme punkt i tverrsnittet. Eurokode 3 viser at der skjærkraften er mindre enn den halve plastiske skjærkapasiteten, så kan det sees bort fra virkning på den dimensjonerende momentkapasiteten, dvs. $V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd}$.

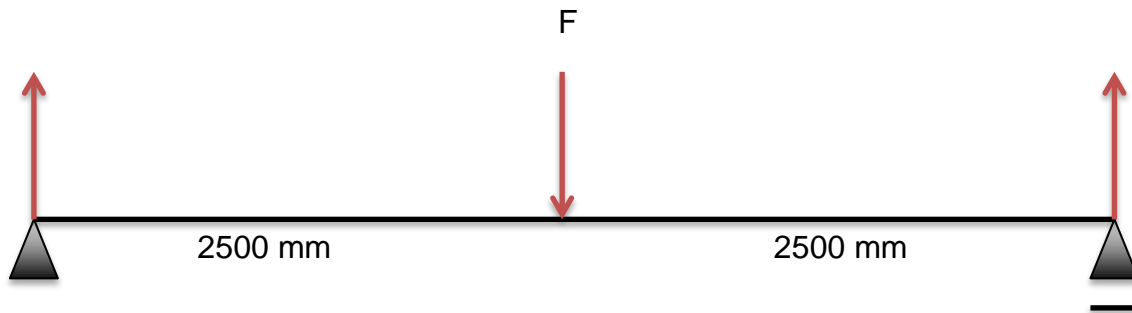
$$V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd}$$

$$22 \text{ kN} < 0,5 \cdot 489,7 \text{ kN}$$

$$22 \text{ kN} < 244,85 \text{ kN}$$

Beregningene viser at $V_{ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd}$ gir et tilfredsstillende resultat.

3.4.5.2. Bøyemoment om et punkt og skjærkraft



Figur 7: Lastesituasjon for løftebjelke

$$F = 44145 \text{ N}$$

$$B_y \text{ og } A_y = 22072,5 \text{ N}$$

For å finne bøyemoment om A benyttes formelen:

$$\begin{aligned} M_b &= F_{ay} \cdot l_a = F_b \cdot (l - l_a) - F \cdot \left(\frac{l}{2} - l_a\right) \\ &= 22072,5 \text{ N} \cdot (5000\text{mm} - 1250\text{mm}) - 22072,5 \text{ N} \cdot (2500\text{mm} - 1250\text{mm}) \\ &= 55,18 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Skjærkraft

$$\begin{aligned} V_{ed} &= F_{ay} = -F_{by} + F \\ &= -22072,5 \text{ N} + 44145 \text{ N} = 22072,5 \text{ N} \end{aligned}$$

3.4.5.3. Nedbøying for lastebjelken

For å finne nedbøyningen for lastebjelken benyttes formelen:

$$\frac{1}{48} \cdot \frac{Pl^3}{EI} \cdot (3a - 4a^3)$$

der

$P = \text{totallasten}$

$l = \text{lengden på bjelken}$

$E = \text{elastisitetsmodul}$

$I = \text{arealtreghetsmoment}$

$a = \text{avstanden til } \frac{\text{lasten}}{\text{totallengden}}$

$$y = \frac{1}{48} \cdot \frac{44145 \text{ N} \cdot (5000 \text{ mm})^3}{210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 112.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \left(3 \cdot \frac{2500 \text{ mm}}{5000 \text{ mm}} - 4 \cdot \left(\frac{2500 \text{ mm}}{5000 \text{ mm}} \right)^3 \right)$$
$$= 4,861 \text{ mm}$$

Det ble ikke funnet noen formel i standarden som sier hvor mye en bjelke tillates å deformere seg med en definert punktlast i tillegg til den jevnt fordelte lasten bjelken i seg selv danner.

Det er i Norsok R-002 definert hvor mye en bjelke kan deformeres, men dette kun med påvirkning fra egenvekt. Denne formelen defineres som:

$$\delta_{pay} \leq \frac{L}{500} = \frac{5000 \text{ mm}}{500} = 10 \text{ mm}$$

I gitt situasjon er det antatt at bjelken er fast innspent ved 5000 mm. For å beregne hvor mye bjelken vil deformeres av sin egen masse, benyttes formelen:

$$y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

der

$q = \text{jevnt fordelt last (egenvekt)}$

$l = \text{lengden på bjelken}$

$E = \text{elastisitetsmodul}$

$I = \text{arealtreghetsmoment}$

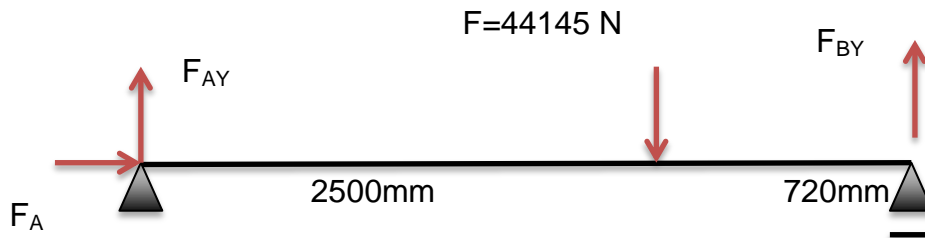
$$y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,81692 \text{ N/mm}^2 \cdot (5000 \text{ mm})^4}{210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 112,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$y = 0,281 \text{ mm}$$

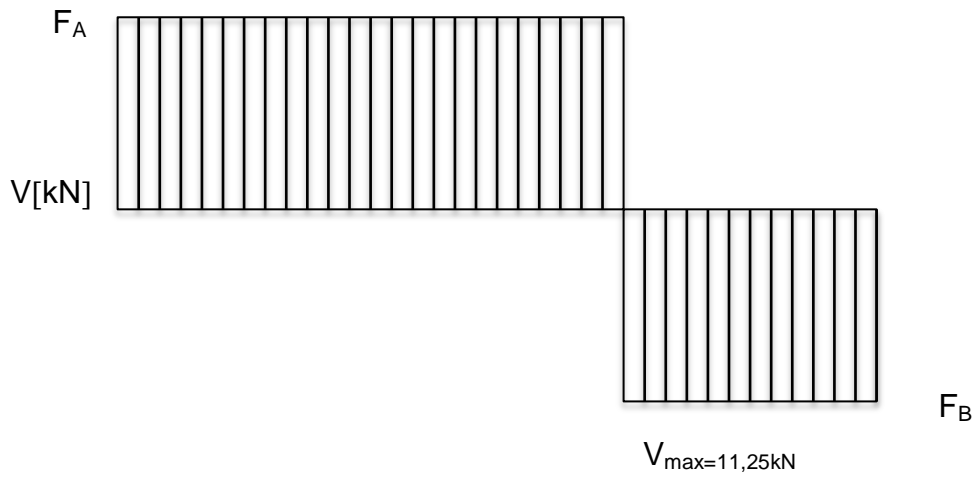
Utfra beregningene vil bjelken deformere seg 0,281 mm på grunn av egenvekt. Formelen fra Norsok tillater en deformasjon inntil 10 mm. Beregningen viser derfor at nedbøyning som forårsakes av egenvekten er innenfor kravet.

3.4.6. Beregninger for avlastningsbjelke:

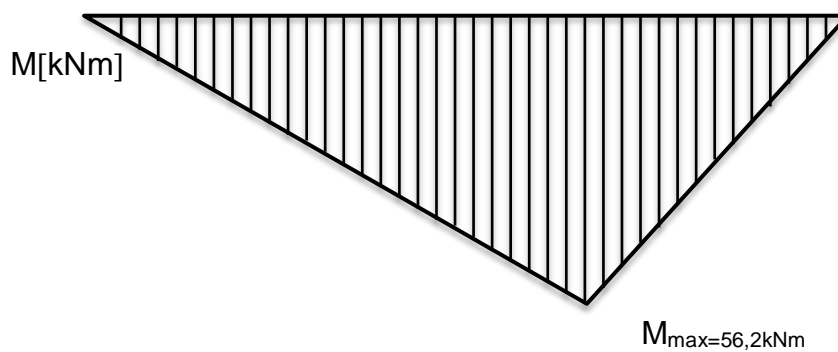
3.4.6.1. Punktlast-, skjærkraft- og momentdiagram



Figur 8: Lastesituasjon avlastningsbjelke

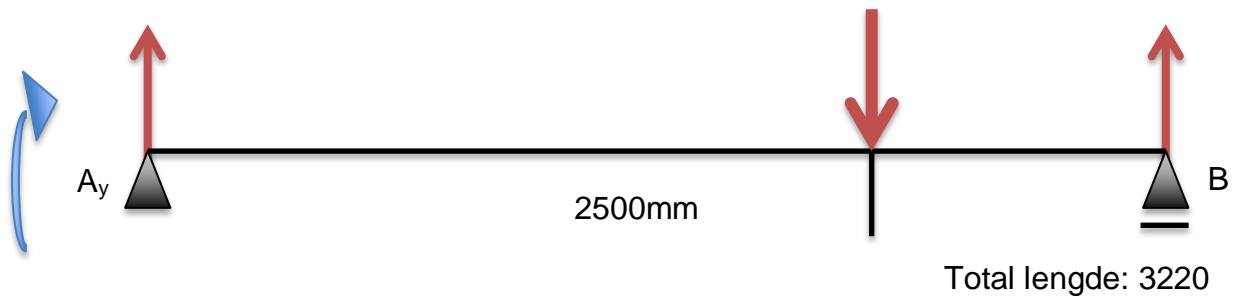


Figur 9: Skjærkraftdiagram avlastningsbjelke



Figur 10: Momentdiagram avlastningsbjelke

3.4.6.2. Bøymoment og skjærkraft



Figur 11: Lagerkrefter avlastningsbjelke

$$A_y \cdot 3220 \text{ mm} - 44145 \text{ N} \cdot 2500 \text{ mm} = 0$$

$$A_y = \frac{44145 \text{ N} \cdot 2500 \text{ mm}}{3,22 \text{ m}} = 34,27 \text{ kN}$$

$$B_y + 3427 \text{ N} - 44145 \text{ N} = 0$$

$$B_y = 44145 \text{ N} - 34270 \text{ N} = 9875 \text{ N}$$

Skjærkraft

$$V_{ed} = F_{ay} = -F_{by} + F$$

$$= -9875 \text{ N} + 44145 \text{ N}$$

$$= 34,27 \text{ kN}$$

3.4.6.4. Nedbøyning avlastningsbjelke:

Benytter samme formel som i punkt 3.4.5.3 for å finne nedbøyningen til avlastningsbjelken grunnet lasten:

$$y = \frac{1}{48} \cdot \frac{44145 \text{ N} \cdot (2500 \text{ mm})^3}{210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 112.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \left(3 \cdot \frac{2500 \text{ mm}}{3220 \text{ mm}} - 4 \cdot \left(\frac{2500 \text{ mm}}{3220 \text{ mm}} \right)^3 \right)$$

$$y = 0,277 \text{ mm}$$

3.4.7. Forenklet påvisning for staver fastholdt mot vipping i bygningskonstruksjoner

Eurokode 3 sier at «staver med punktvis sideveis støtte av trykkflensen kan anses som ikke følsomme for vipping hvis lengden L_c mellom fastholdelse og den tilhørende relative slankhet $\bar{\lambda}_f$ for trykkflensen, oppfyller følgende krav»:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{f,z} \cdot \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c,0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

der

$M_{y,Ed}$ er største dimensjonerende bøyningmoment mellom fastholdelse;

$$M_{c,Rd} = W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

W_y er tilhørende tverrsnittmodul for trykkflensen

k_c er en korreksjonsfaktor for relativ slankhet avhengig av momentfordelingen mellom fastholdelse, se tabell under.

$i_{f,z}$ er treghetsradien for den trykkpåkjente tverrsnittdelen som består av trykkflensen, pluss 1/3 av den trykkpåkjente delen av stegarealet, om tverrsnittets svake akse

$\bar{\lambda}_{c,0} = 0,3$ er relativ grenseslankhet for den trykkpåkjente tverrsnittdelen, som definert for $i_{f,z}$



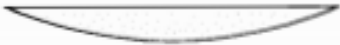





$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{\frac{t_f \cdot b^3}{12} + \frac{(h - 2 \cdot t_f) \cdot \frac{1}{6} \cdot t_w^3}{12}}{b \cdot t_f + \frac{(h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w}{6}}}$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{\frac{17 \text{ mm}(240 \text{ mm})^3}{12} + \frac{(240 \text{ mm} - 2 \cdot 17 \text{ mm}) \cdot \frac{1}{6} \cdot (10 \text{ mm})^3}{12}}{240 \text{ mm} \cdot 17 \text{ mm} + \frac{(240 \text{ mm} - 2 \cdot 17 \text{ mm}) \cdot 10 \text{ mm}}{6}}}$$

$$i_{f,z} = 66,54 \text{ mm}$$

Leser av tabell og finner k_c til å være 0,86.

Moment distribution	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Tabell 3: Anbefalt korreksjonsfaktor

$$\bar{\lambda}_f = \frac{0,86 \cdot 5000 \text{ mm}}{66,54 \text{ mm} \cdot 76,059} \leq \frac{358 \text{ kNm} \cdot 0,3}{55,18 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\lambda}_f = 0,849 \leq 1,94$$

Ettersom kravet fremstilt fra Eurokoden er tilfredsstillt, kan bjelken anses som ikke følsom mot vipping. Dette kravet kan sees på som veldig konservativt, som ikke forteller noe om kapasitet, den forteller kun at bjelken ikke vil vippe ut. Derfor har gruppen valgt også å regne ut dimensjonerende momentkapasitet mot vipping for å kartlegge hvor godt bjelken er dimensjonert.


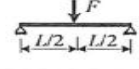
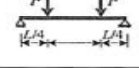
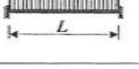
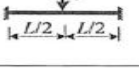
3.4.8. Kritisk vippemoment:

Ulempen med en bjelke som har åpent tverrsnitt i motsetning til et rør eller en hulprofil, er at åpent tverrsnitt vil ha punkter som er svakere og dermed være mer utsatt for deformasjoner. Dette medfører at vipping er en aktuell faktor å ta høyde for i gitt situasjon.

$$k_w = 1$$

$$k_z = 1$$

$$C_1 = 1,35$$

	k_y	k_z	k_w	C_1	C_2	C_3
	1 1	1 0,5	1 0,5	1,12 0,95	0,46 0,31	0,53 0,67
	1 1	1 0,5	1 0,5	1,35 1,03	0,55 0,44	0,41 0,52
	1 1	1 0,5	1 0,5	1,04 0,92	0,43 0,24	0,56 0,77
	0,5 0,5	1 0,5	1 0,5	2,58 1,49	1,56* 0,83*	-0,86* 0,003*
	0,5 0,5	1 0,5	1 0,5	1,68 0,94	1,39* 0,84*	-0,72* -0,07*

* Verdiene gjelder for $-0,5 \leq \psi_f \leq 0,5$

Tabell 4: Korreksjonsfaktorer

(Hentet fra «dimensjonering av stålkonstruksjoner» (Larsen 2010) tabell 6.2)

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

Hvor μ_{cr} (momentfaktoren) for dobbelsymmetrisk tverrsnitt:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right]$$

der k_{wt} (torsjonsparameter) er gitt som:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5000 \text{ mm}} \cdot \sqrt{\frac{210000 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 486,9 \cdot 10^9 \text{ mm}^6}{0,81 \cdot 10^5 \frac{N}{\text{mm}} \cdot 1030 \cdot 10^3 \text{ mm}^4}} = 0,695$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,35}{1} \left[\sqrt{1 + 0,347^2} \right] = 1,428$$

$$M_{cr} = 1,644 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \frac{N}{\text{mm}} \cdot 39,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 0,81 \cdot 10^5 \frac{N}{\text{mm}^3} \cdot 1030 \cdot 10^3 \text{ mm}^4}}{5000} = 856 \text{ kNm}$$

Valg av knekk-kurve for vipping

Cross-section	Limits	Buckling curve
Rolled I-sections	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Welded I-sections	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Other cross-sections	-	d

Tabell 5: Grunnlag for valg av knekkurve

(hentet fra Eurokode 3, del 1-1, tabellnummer 6.4)

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{240} = 1 \leq 2 \Rightarrow \text{kurve a}$$

Buckling curve	a	b	c	d
Imperfection factor α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabell 6: Anbefalte imperfeksjonsfaktorer for knekkurver for vipping
 (hentet fra Eurokode 3, del 1-1, tabellnummer 6.1):

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

Relativ slankhet

$$\bar{\lambda} = \sqrt{f_y \cdot \frac{W_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{355 \text{ N/mm}^2 \cdot 1052 \cdot 10^3}{856 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}} = 0,66$$

Reduksjonsfaktor

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

der

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$= 0,5 [1 + 0,21(0,66 - 0,2) + 0,66^2]$$

$$= 0,7661$$

Setter inn ϕ_{LT} inn i formelen og finner χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,7661 + \sqrt{0,7661^2 - 0,66^2}} = 0,866$$

Momentkapasitet

$$M_{b,rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,866 \cdot 1054 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,05} = 308,6 \text{ kNm}$$

3.5. Kapasitetskontroll

I dette delkapittelet kontrolleres kapasiteter:

Kontroll av momentkapasitet:

$$F_{ED} = 44145N \Rightarrow M_{ed} = \frac{F_{ED} \cdot l}{4} = \frac{44145 N \cdot 5000 mm}{4} = 55,18 kNm$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{55,18 kNm}{308,6 kNm} = 0,18 \leq 1$$

Kontroll av skjærkraftkapasitet:

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{34,27 kN}{648,8 kN} = 0,052$$

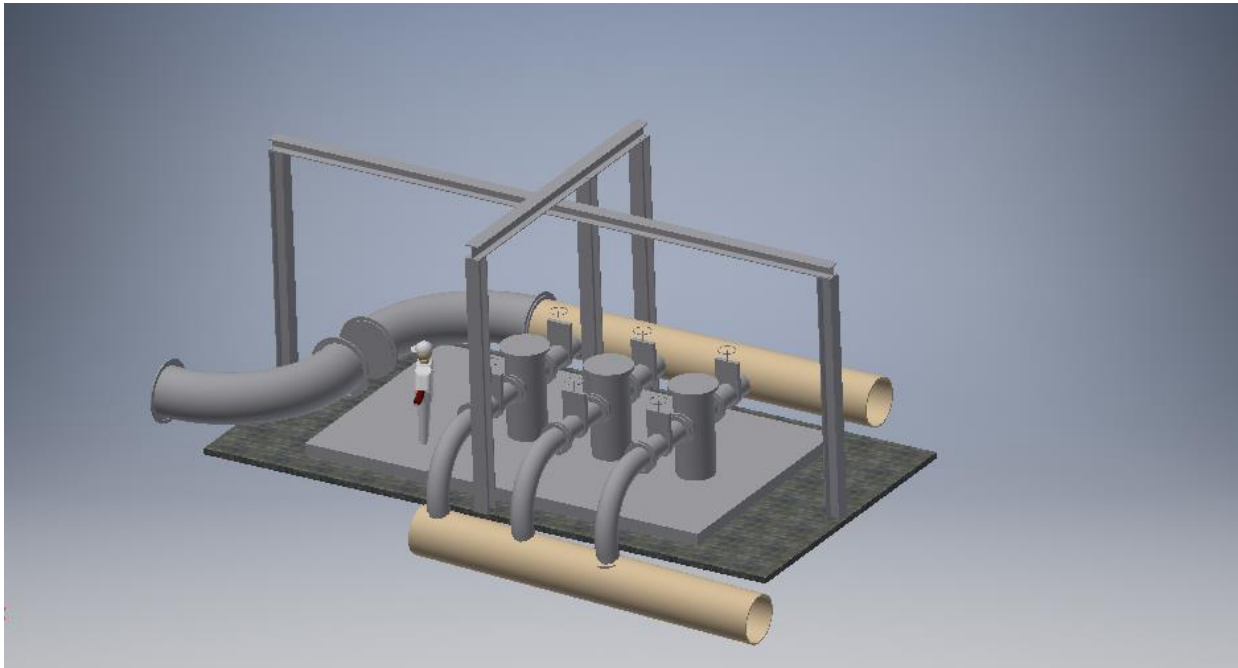
Skjærkraftkapasiteten blir kontrollert mot den skjærkraften som avlastningsbjelken blir påkjent siden den er størst.

Ut fra beregningene som er gjennomført konkluderes det med at bjelken er godt dimensjonert mot vipping, og dermed klassifiserer resultatet som tilfredsstillende.

4. Resultater fra dataprogram

4.1. Design i Inventor

På dette tidspunkt står vannfiltrene åpent, uten noen form for overbygg. Gruppen har i Inventor designet et forslag på hvordan skjelettet til dette bygget kan se ut, for så å modellere inn bjelkene som skal brukes til løftearrangementet.



Figur 12: Heisarrangement

Figuren viser hvordan gruppen har sett for seg et design som vil passe til løftebjelkene som er blitt valgt i oppgaven.

4.2. Lastesituasjoner

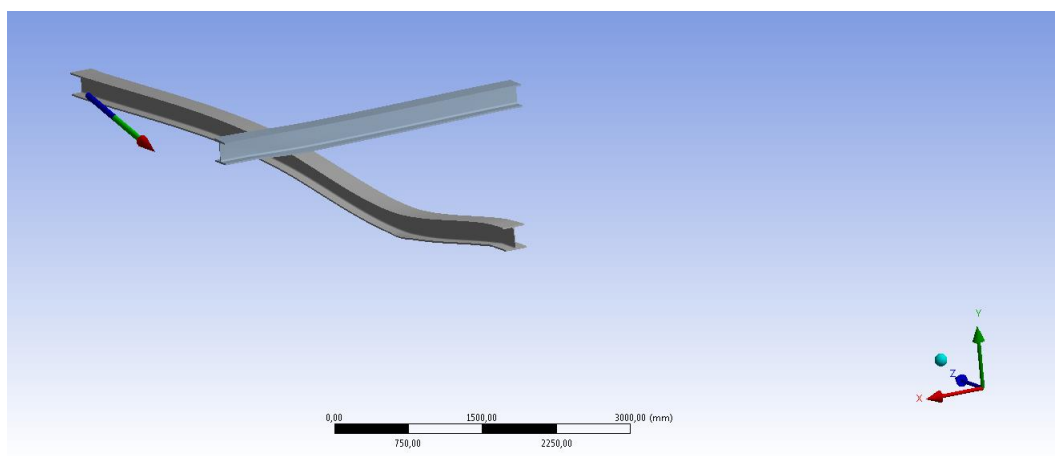
I Ansys har gruppen tegnet inn bjelkene og lagt inn de aktuelle lastesituasjonene. Situasjonene i de neste delkapitlene viser hvordan bjelken vil oppføre seg når de blir utsatt for de forskjellige lastesituasjonene, hvor store opplagringskreftene er og hvor mye bjelkene vil deformere seg.

4.2.1. Lastesituasjon 1

I denne situasjonen vil den eksterne lasten befinne seg 2,5 meter inn på lastebjelken, lengst ifra opplagringspunktene. Denne situasjonen er derfor den mest kritiske for lastebjelken.

Results	
Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	68,377 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	-3635,4 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-15640 N
<input type="checkbox"/> Total	16057 N
Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	68,377 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	-3635,4 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-15640 N
<input type="checkbox"/> Total	16057 N

Tabell 7: Reaksjonskrefter lastesituasjon 1, punkt 1



Figur 13: Skisse lastesituasjon 1, punkt 1

Ut fra tabell 5 kan en lese av de forskjellige reaksjonskreftene som blir påført opplagringen. Den største reaksjonskraften her vil da være 15,6 kN i den horisontale retningen.

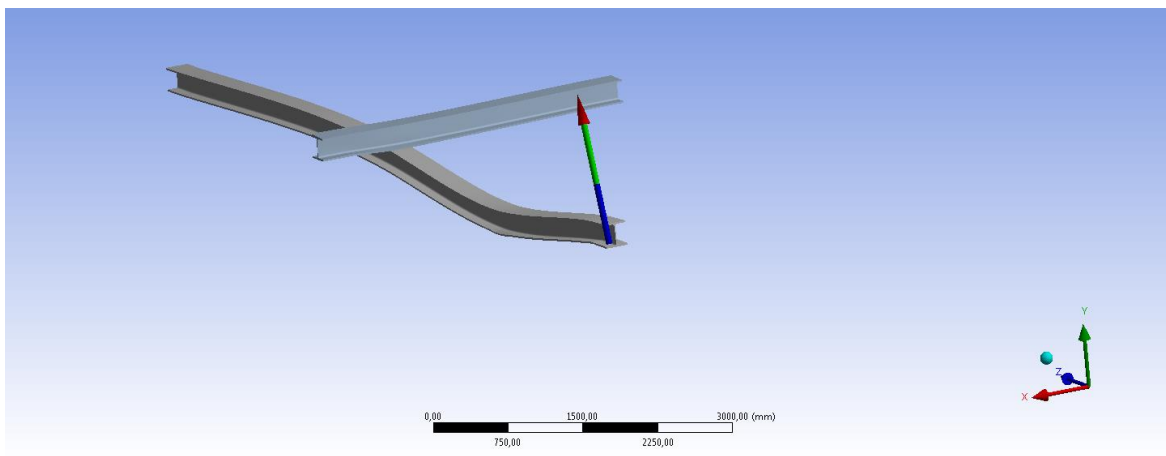
Håndberegningene som er blitt gjennomført i kapittel 3 har ikke tatt for seg skjærkrefter, dette skyldes at gruppens håndberegninger er gjort med antagelsen om at alle krefter vil angripe bjelken på ett og samme sted. Dette er ikke helt reelt, men det gir en større sikkerhet for at konstruksjonen vil tåle de belastningene den er dimensjonert for.

De følgende tabeller og bilder er fra samme situasjon, men viser kreftene i forskjellige punkter. Disse har blitt inkludert for å vise hvor store krefter som opptrer i hvert punkt i gitt lastesituasjon.

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-104,74 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	25229 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	7508,7 N
<input type="checkbox"/> Total	26323 N

Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-104,74 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	25229 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	7508,7 N
<input type="checkbox"/> Total	26323 N

Tabell 8: Reaksjonskrefter lastesituasjon 1, punkt 2

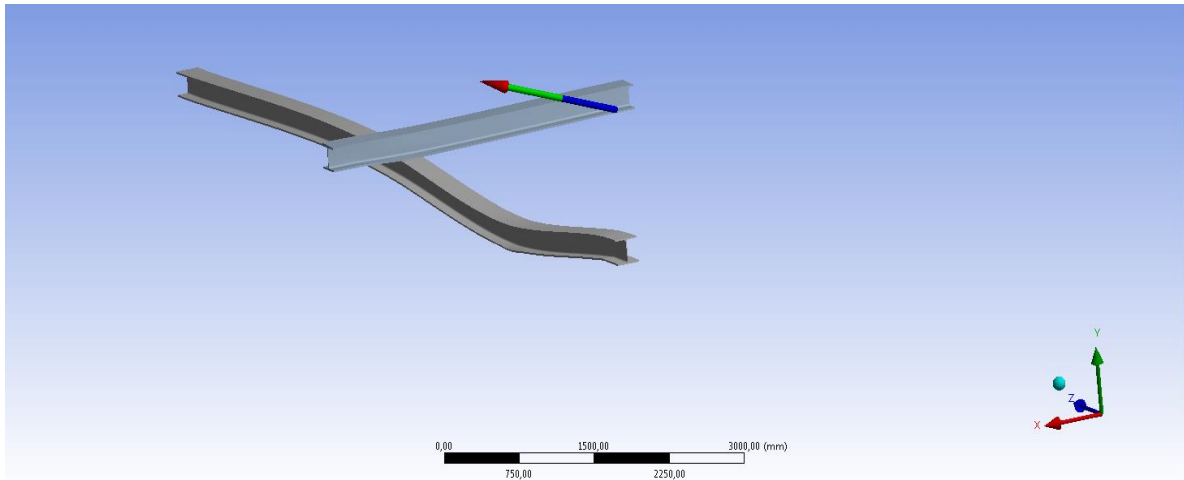


Figur 14: skisse lastesituasjon 1, punkt 2

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	11287 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	4071,3 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	873,81 N
<input type="checkbox"/> Total	12031 N

Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	11287 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	4071,3 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	873,81 N
<input type="checkbox"/> Total	12031 N

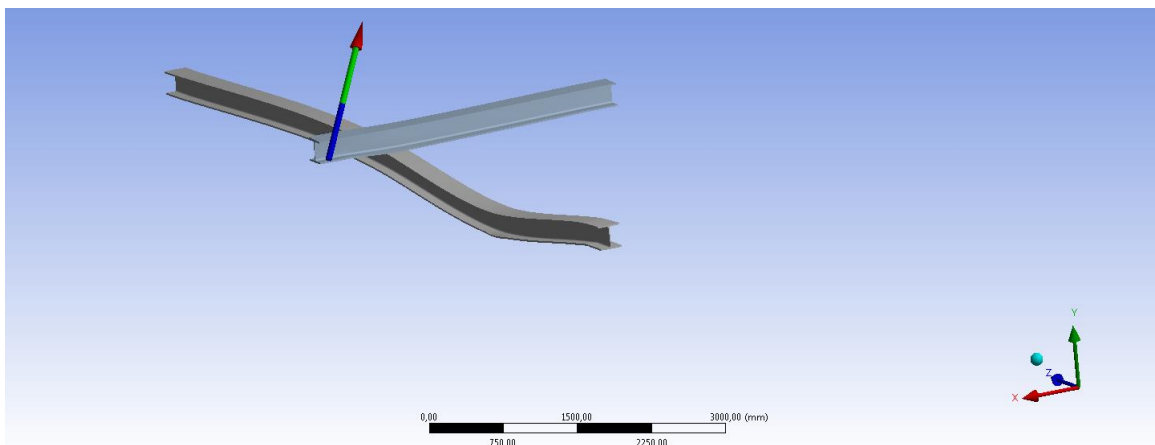
Tabell 9: Reaksjonskrefter for lastesituasjon 1, punkt 3



Figur 15: Lastesituasjon 1, punkt 3

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-11251 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	18480 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	7257,4 N
<input type="checkbox"/> Total	22820 N
Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-11251 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	18480 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	7257,4 N
<input type="checkbox"/> Total	22820 N

Tabell 10: Reaksjonskrefter lastesituasjon 1, punkt 4



Figur 16: Lastesituasjon 1, punkt 4

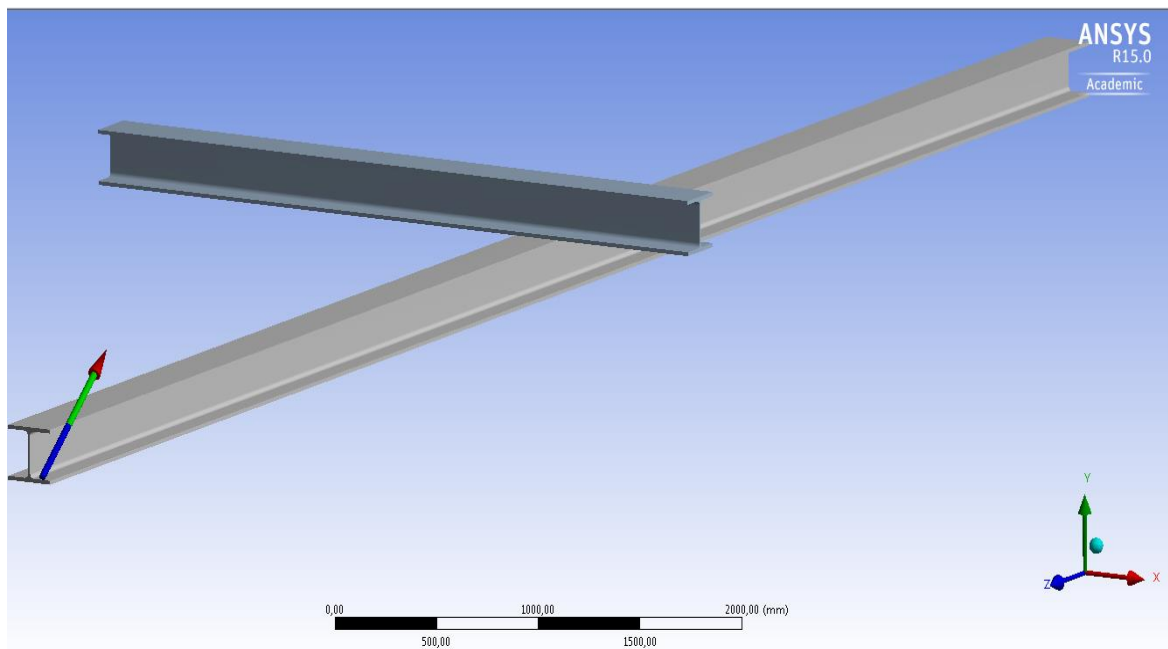
4.2.2. Lastesituasjon 2

I denne situasjonen er den eksterne lasten plassert 5000 mm inn på lastebjelken, i det punktet avlastningsbjelken befinner seg. Dette er den situasjonen som belaster avlastningsbjelken mest kritisk.

Figurene som følger gir et overblikk over opplagingskreftene til begge bjelkene i gitt situasjon. I tabellene kan en lese av hvor store reaksjonskreftene er i de forskjellige punktene og hvilken retning de har.

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-29,735 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	467,6 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-715,3 N
<input type="checkbox"/> Total	855,1 N
Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-29,735 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	467,6 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-715,3 N
<input type="checkbox"/> Total	855,1 N

Tabell 11: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 1

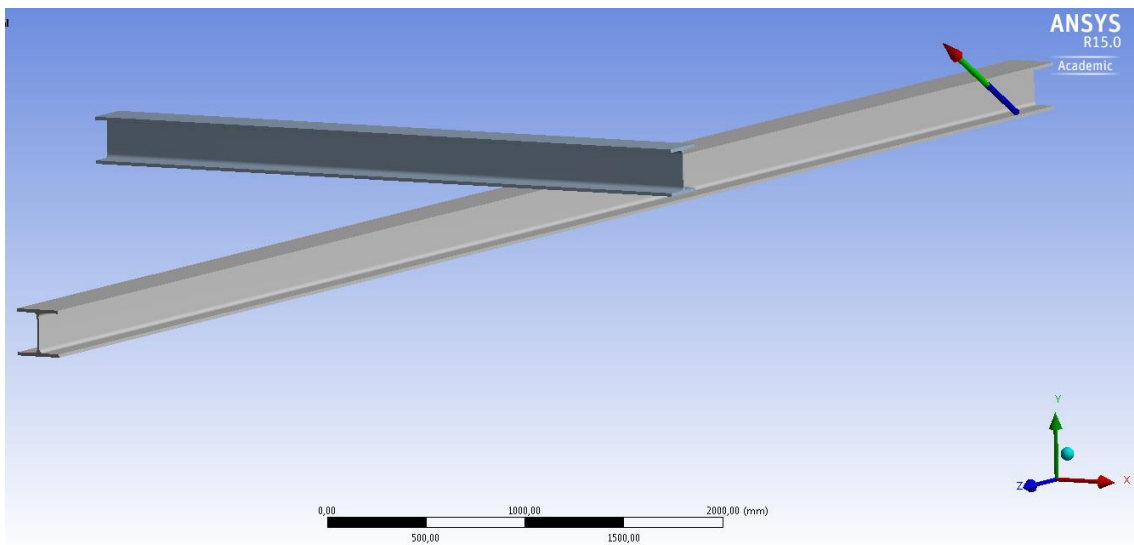


Figur 17: Lastesituasjon 2, punkt 1

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-30,589 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	468,9 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	721,78 N
<input type="checkbox"/> Total	861,26 N

Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-30,589 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	468,9 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	721,78 N
<input type="checkbox"/> Total	861,26 N

Tabell 12: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 2

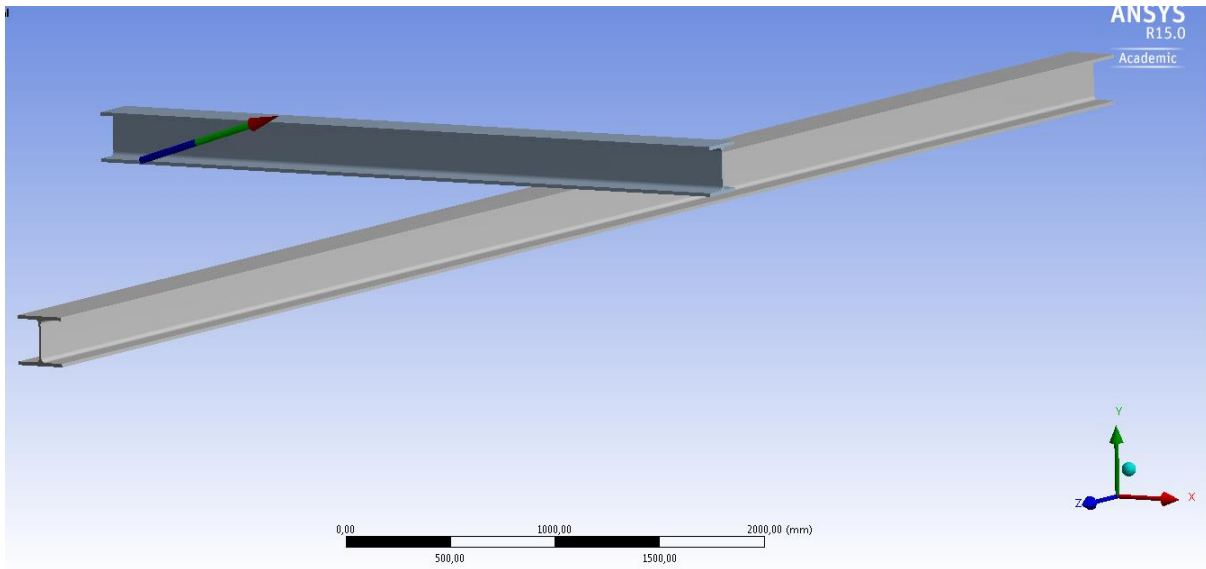


Figur 18: Lastesituasjon 2, punkt 2

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	23450 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	7699,6 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-2,3798 N
<input type="checkbox"/> Total	24682 N

Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	23450 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	7699,6 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-2,3798 N
<input type="checkbox"/> Total	24682 N

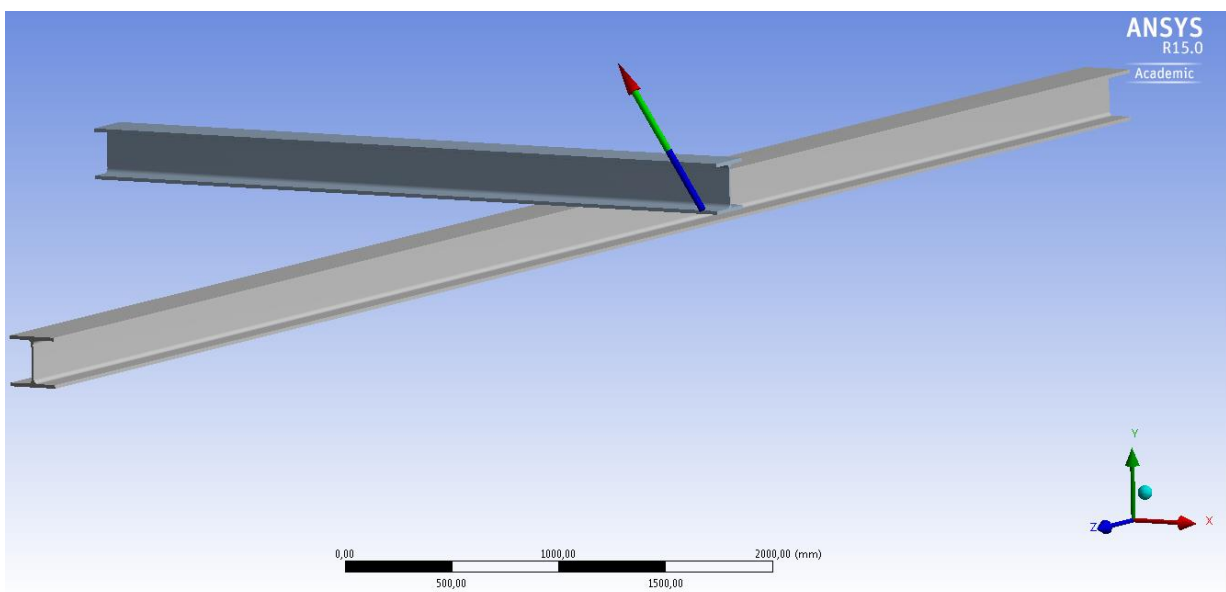
Tabell 13: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 3



Figur 19: Lastesituasjon 2, punkt 3

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-23390 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	35509 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-4,102 N
<input type="checkbox"/> Total	42520 N
Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-23390 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	35509 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-4,102 N
<input type="checkbox"/> Total	42520 N

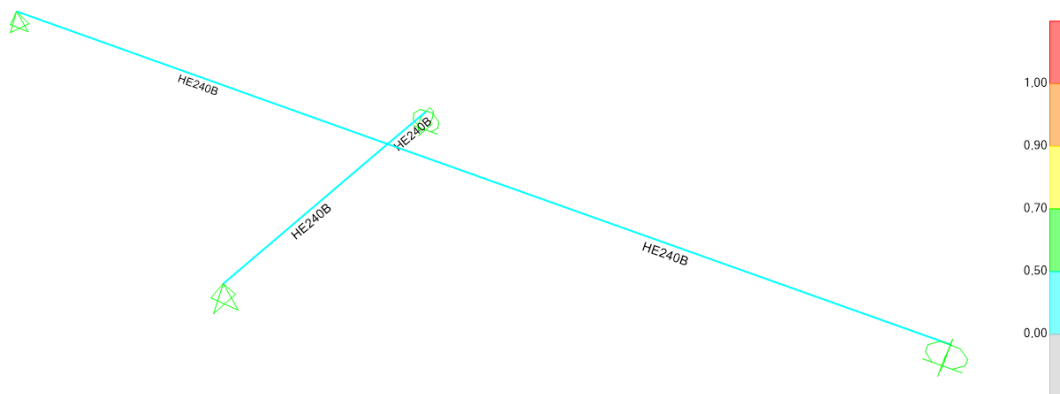
Tabell 14: Reaksjonskrefter lastesituasjon 2, punkt 4



Figur 20: Lastesituasjon 2, punkt 4

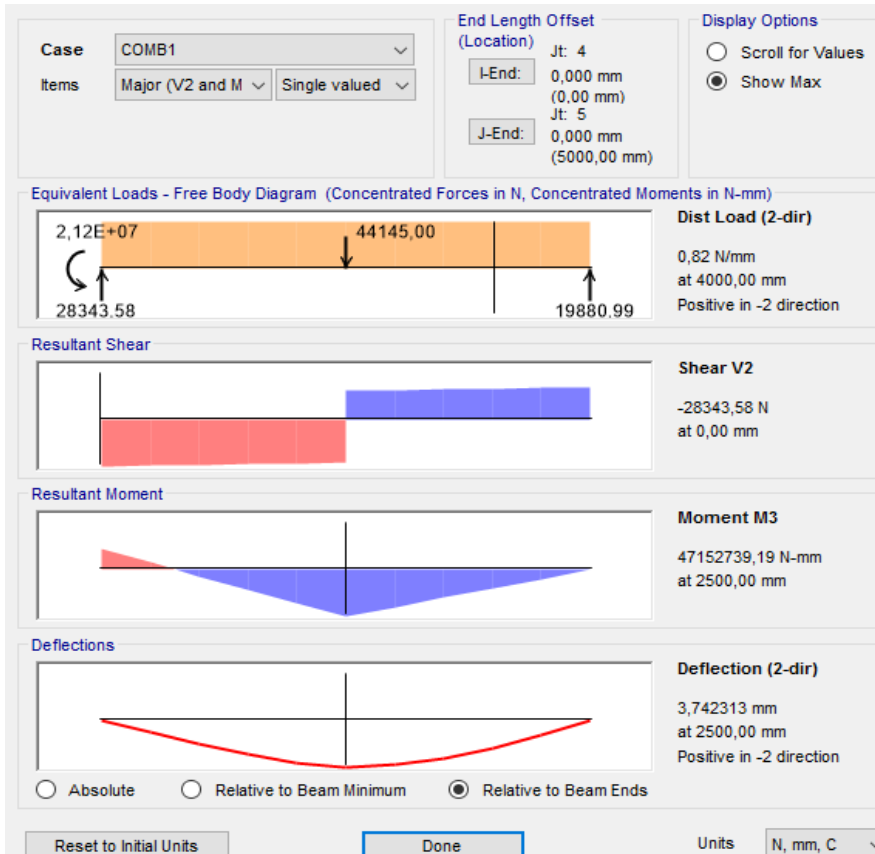
4.3. Resultater fra Sap2000

I Sap2000 er heisarrangementet modellert inn for å kunne kjøre en analyse av situasjonen med gitte laster. Programmet beregner krefter etter Eurokode 3, og er dermed godt tilpasset for å kontrollere beregningene som er gjennomført. Skissene som følger er hentet ut fra Sap2000, og gir sin tolkning av situasjonen.

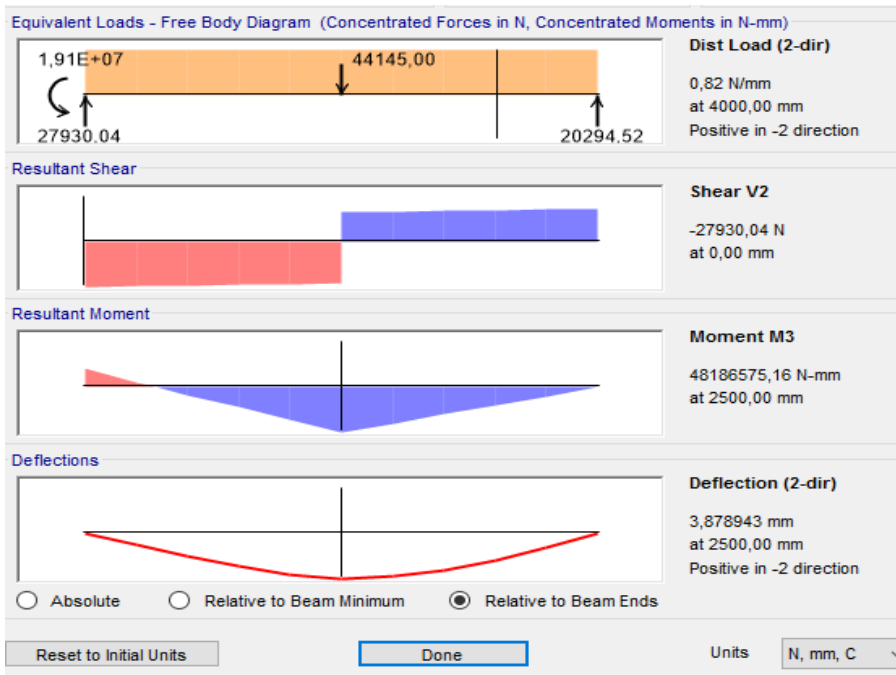


Figur 21: Kapasitetskontroll situasjon 1

Sap2000 indikerer med farger hvordan bjelken tåler lastesituasjonen i forhold til totalkapasitet for systemet. Fargeskalaen på høyre side gir en oversikt over hva fargene beskriver, der lyseblå tilsier god dimensjonering for gitt situasjon og rød indikerer at belastningsgrensen til systemet er nådd.



Figur 22: Skjær, moment og nedbøyingdiagram for lastebjelke, situasjon 1



Figur 23: Skjær, moment og nedbøyingdiagram for lastebjelke, situasjon 2

5. Diskusjon

I oppstartsfasen av prosjektet var det hovedsakelig innhenting av informasjon rundt det aktuelle tema oppgaven omhandlet, for produktet og å få ut ønsker fra bedriften som var målene for gruppen. En tidlig ekskursjon med bedrift ble avtalt sammen med ekstern veileder for å få sett hvordan plassering og område rundt vannfiltrene var. Dette for å kunne avgrense løsningsalternativene våre, og for å få et inntrykk av størrelser og hvordan løsningen skulle designes.

Grunnlag for valg av bjelke type og dimensjonering:

Gruppen har diskutert internt frem og tilbake, men ble til slutt enige om at en bjelke av typen HE 240 B. HE 180 B ble lenge vurdert, men denne oppnådde ikke tilfredsstillende sikkerhetsfaktor etter testberegninger og ble derfor erstattet av en sterkere bjelke. HE 240 B er en sterk bred flenset bjelke som er godt egnet for bruk til løfteoperasjoner med løpekatt som løfteredskap.

Gruppen fikk kjapt skissert opp og sett på alternativet ved å ha en lang bjelke uten opplagring men kun med fast innspente ender. Beregningene viste som antatt alt for store skjærspenninger og momenter. Videre ble det vurdert løsninger med både 1, 2 og 3 opplagringer før en endelig avgjørelse ble tatt.

Den endelige avgjørelsen ble en tverrliggende bjelke midt på lastebjelken slik at løftebjelkens frispenn ble redusert fra ett frispenn 10 meter til to frispenn på 5 meter. Dette var nødvendig for å redusere nedbøyningen lastebjelken ble utsatt for ned til et akseptabelt nivå for å kunne ivareta sikkerheten rundt løfteoperasjonene.

Utforming av lastebjelken:

Lastebjelken ble valgt til å være en rett bjelke av typen HE 240 B. Under planlegging og skissering ønsket gruppen å ha en innlagt sving ved den ene enden. Dette ønsket ble etter hvert skrinlagt grunnet alle utfordringene og komplikasjonene det medførte. Problemer med opplagring/innfestning og hvordan skulle løpekatten komme rundt svingen for å nevne noen. Disse inkludert flere problemer som unngås ved en rett bjelke ble til slutt et seirende argument for å la valget med sving bortfalle.

Valg av design og arbeidsmedium:

Det ble vurdert flere alternativer for å løse problemstillingen. Både hydrauliske og elektriske fastmonterte kraner var aktuelle løsninger i planlegging- og vurderingsfasen. Pneumatisk løsning ble kassert tidlig da markedet for pneumatiske kraner er lite utbredt og komponentene var vanskelige samt kostbare å oppdrive. Dermed ble elektrisitet og hydraulikk de mest aktuelle arbeidsmediene for denne problemstillingen. Løsningsalternativene ble levert inn til ekstern veileder slik at bedriften fikk se gruppens tanker rundt problemstillingen og hvordan den skulle løses. Forslagene ble ansett som gode, men bedriftens ønske inkluderte en takhengt fast bane med løpekatt til å foreta løftene. Ønsket ble tatt høyde for, og gruppen begynte å se på muligheter rundt det aktuelle forslaget. Konklusjonen på valg av løsning ble at gruppen anså dette forslaget med takhengt fast bane som mest aktuell, og valgte derfor å jobbe videre med å utvikle et produkt som i størst mulig grad skulle samsvare med denne.

Sammenkobling av komponenter:

Det finnes mange alternativer på hvordan komponenter kan festes sammen. Etter litt drøfting av emnet under møte med ekstern veileder ble det forespeilet at skrudd forbindelse var ønsket. Dette ønsket ble notert og overholdt gjennom oppgaven slik at kundens ønske rundt produktet skulle bli mest mulig etterkommet.

Rammekonstruksjon og overbygg:

Under ekskursjon hos oppgavegiver ble det også forespeilet et ønske om tak/overbygg for produktet som skulle designes. Gruppens oppgave er avgrenset til selve løftearrangementet, og vil derfor ikke omhandle beregninger av rammeverk eller tak. Det har også blitt designet et forslag til oppsett av bærende grunnramme samt dens funksjon som støtte for løftebjelken. Beregninger på selve grunnrammen vil ikke bli vektlagt av gruppen da dette faller utenfor avgrensningene som ble satt i oppgaveteksten.

Bruk av dataprogrammer og sammenligning av beregninger:

Dataprogrammene som ble benyttet gjennom løsningsprosessen av oppgaven Autodesk Inventor, Ansys Workbench og Sap2000. Dette har vært nyttige verktøy gruppen har benyttet seg av for å få et sammenligningsgrunnlag for situasjonene som har blitt beregnet. I gitte situasjoner finnes det avvik mellom håndberegninger og svarene dataprogrammene gir. Dette skyldes sannsynligvis ulik tolkning av situasjonene mellom dataprogrammer og hvordan gruppen ser situasjonen, og visse antagelser som blir gjort.

Ønsker og krav fra bedrift:

Krav som ble stilt fra bedrift var i henhold til material, forbindelser mellom komponenter og design. Gruppen har etter beste evne etterfulgt de ønsker som ble forespurt av oppdragsgiver. Materialvalget endte med galvanisert stål ettersom forespørsel om korrosjons beskyttet konstruksjon ble lagt frem. Dette grunnet heisarrangementet vil være plassert i nærheten av strandlinje og dermed befinner seg i et korrosivt miljø. Det ble også ønsket mulighet for å konstruere et tak som kunne dekke hele konstruksjonen. Dette har dessverre ikke gruppen hatt tid til å designe eller gjennomføre beregninger for, og har dermed sett oss nødt til å avgrense oppgaven.

Kritiske faktorer og håndteringen av dem:

Den viktigste faktoren å få fastsatt tidlig er sikkerhetsfaktoren. Denne ble først forespeilet til å settes lik 1,5, men ble etter hvert oppjustert til 3. Grunnlaget for endringen kom etter sikkerhetsfaktoren ble beregnet på grunnlag av Norsok standardens fremgangsmåte. Veileder sa seg enig i økningen og beregningen ble på nytt gjennomført med ny sikkerhetsfaktor.

Under beregning kom det frem flere problemer med lengden på bjelken som først var satt i et spenn på 10 000 mm. Dette medførte at nedbøyningen begynte å bli kritisk, sant sannsynligheten for torsjonsknekking ble større en ønsket. Dette medførte at en form for avlastning til lastebjelken måtte designes. Det ble designet en avlastningsbjelke som ble plassert tverrliggende midt på lastebjelkespennet for å skape stabilitet og avlaste lastebjelken. Denne bjelken tok opp nok krefter til at reduksjonen i torsjonskrefter og nedbøyningen ble ansett som tilfredsstillende. Hvordan konstruksjonen sammensatt er også en faktor som må tas høyde for. Det finnes flere alternativer for å holde sammen forskjellige komponenter, men for denne konstruksjonen anses kun sveiste og skrudde forbindelser som tilfredsstillende. Ettersom det forelå ønske om skrudde forbindelser fra oppdragsgiver, ble dette også resultatet. Den dimensjonerende faktoren for valget av bolter var tillatt strekkapasitet, og valget endte da på M16 bolter av fasthetsklasse 8.8.

6. Konklusjon

Det finnes mange forskjellige måter å designe en løsning på for denne problemstillingen. Alternativene finnes i flere varianter av fastmonterte kraner både med svingbar løftebom eller sammenleggbare leddkraner, samt løsninger som er takhengte løftebjelker med løpekatt som går på en fast bane. Gruppen har i samarbeid med ekstern veileder blitt enige om at den sistnevnte løsningen med takhengt system er mest tilfredsstillende for oppgaven.

Heisarrangementet skal benyttes til internt arbeid ved utførelse av vedlikehold/utskiftning av rensfilter for innløpsvann til anlegget. Ved innhenting av krav og ønsker fra bedriften ble det oppgitt at sikkerhetsfaktor skulle være 1,5. Fastsettingen av sikkerhetsfaktor ble sett på som for lav, og ble dermed på et senere tidspunkt tatt opp til diskusjon fra gruppen med ekstern veileder. Kom da frem til enighet sammen med ekstern veileder om at en sikkerhetsfaktor på tre ville være mer tilfredsstillende for oppgaven. (Benyttet Norsok standard for å fastsette denne)

Første steg var å beregne hvilke krefter som oppsto og hvor stor nedbøyning lastebjelken ville bli utsatt for i mest kritiske situasjon om vi valgte den til en HE 180 B profil. Dette ble konkludert som et tilfredsstillende alternativ frem til det ble fastsatt krav om sikkerhetsfaktor på tre. Dette medførte at nedbøyningen lastebjelken ble for stor og dermed ikke lenger opprettholdt tilfredsstillende styrke i den mest kritiske situasjonen den ville være konstruert for. Det ble derfor valgt en sterkere bjelke av typen HE 240 B som lastebjelke. Denne opprettholdt en sikkerhetsfaktor som ønsket og ble dermed konkludert til å være tilfredsstillende.

Tidligere i studiet har undervisningen tatt for seg opplæring i hvordan man skal beregne dimensjonerende kapasiteter etter Eurokode 3. Gruppen har fått mye mer forståelse av både denne og andre forskrifter og standarder gjennom arbeidet med denne oppgaven.

Det har blitt benyttet både dataprogrammer og håndberegninger for å undersøke og kontrollere hvilke krefter, spenninger og hvor stor nedbøyning lastebjelken ville bli utsatt for. Det ble konkludert med at en avlastning midt på bjelken ville være nødvendig slik at nedbøyning ikke skulle bli et problem.

Autodesk Inventor sammen med Ansys Workbench er blitt benyttet for tegninger, beregninger og visualisering av situasjonen. Gruppen valgte dette programmet for sin oppgave da dette var kompatibelt med de situasjonene og funksjonene det var behov for under løsningsprosessen. Det var også Autodesk Inventor gruppen hadde mest erfaring med fra tidligere oppgaver i studiet.

Dersom det hadde vært satt av mer tid til denne oppgaven kunne beregninger for fundament, rammeverk, tak, løpekatt og løfteredskap blitt gjennomført. Dette har ikke gruppen hatt tid til og vil derfor anbefale dette til å være videre arbeid i utviklingen av ferdigstilt konstruksjon.

7. Økonomi

Kostnad er et aktuelt spørsmål i henhold til hvordan oppgaven skal løses. Det finnes mange forskjellige måter å løse en problemstilling på, og det ble derfor ansett fornuftig å undersøke flere alternativer for å få god oversikt før et valg skulle tas. Etter en kjapp analysering av de alternative fastmonterte konstruksjonene, ble det konkludert med et alternativ gruppen synes var den beste i forhold til kostnad og ønsker som ble forespeilet fra bedriften.

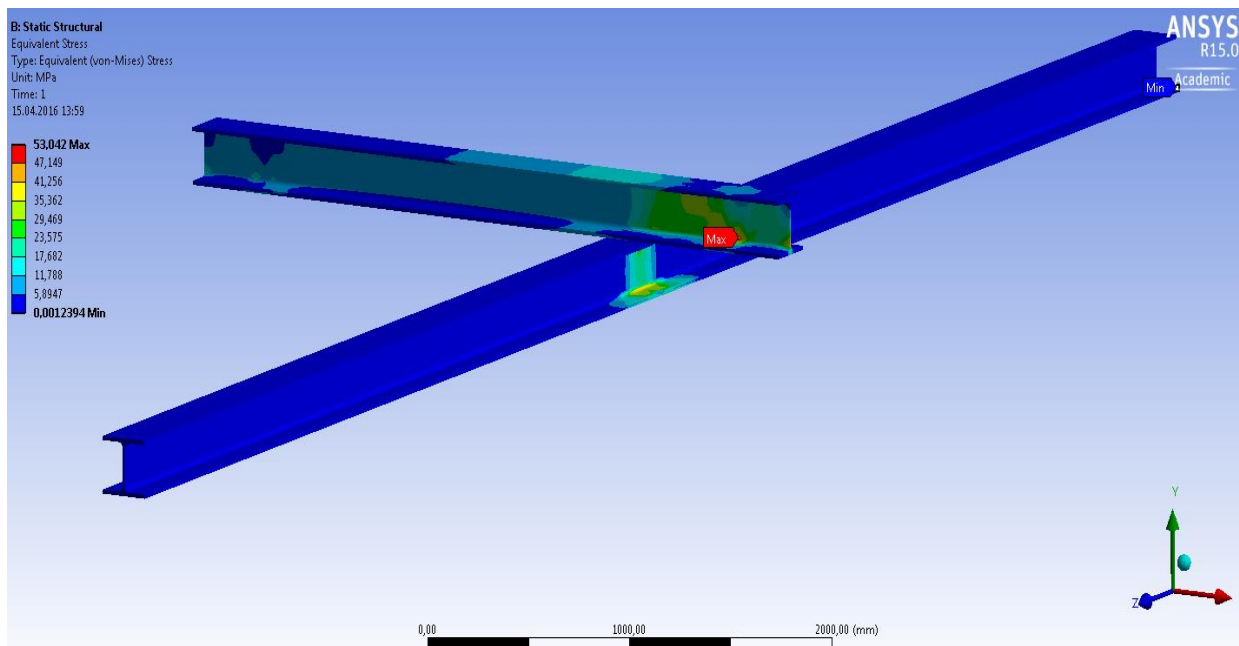
Har også kontaktet Nordic Crane A/S for å undersøke alternativet med å leie kran når vedlikehold skal utføres for å undersøke hvilken kostnad dette ville medføre. Det å få oppdraget gjennomført ved å leie en lastebil utstyrt med kran byr på mange utfordringer, spesielt med tanke på planlegging. Lastebilen blir stående og sperre innfartsvegen til anlegget under arbeidet, dermed blir dette en uaktuell løsning både med tanke på effektivitet og sikkerhet ettersom den sperrer veien inn og ut av anlegget. Dette alternativet ble vurdert som ikke tilfredsstillende i en tidlig fase.

Valg av material er også en faktor som har stor betydning for total kostnad. Material med høyere strekkfasthet og flytegrense er dyrere enn svakere alternativ, men en mindre mengde er nødvendig for å oppnå samme styrke. Dette vil da ofte bli sett på som fordelaktig inntil en viss grad da økningen i pris eskalerer raskere enn fordelene med materialet.

En annen viktig faktor er å holde tegninger på et ukomplisert og lettleselig nivå slik at forståelsen fra alle de involverte parter er den samme, og dermed unngås feil i konstruksjoner eller misforståelser. Dette bidrar til at budsjettet som vanligvis blir satt på forhånd ikke blir overskredet.

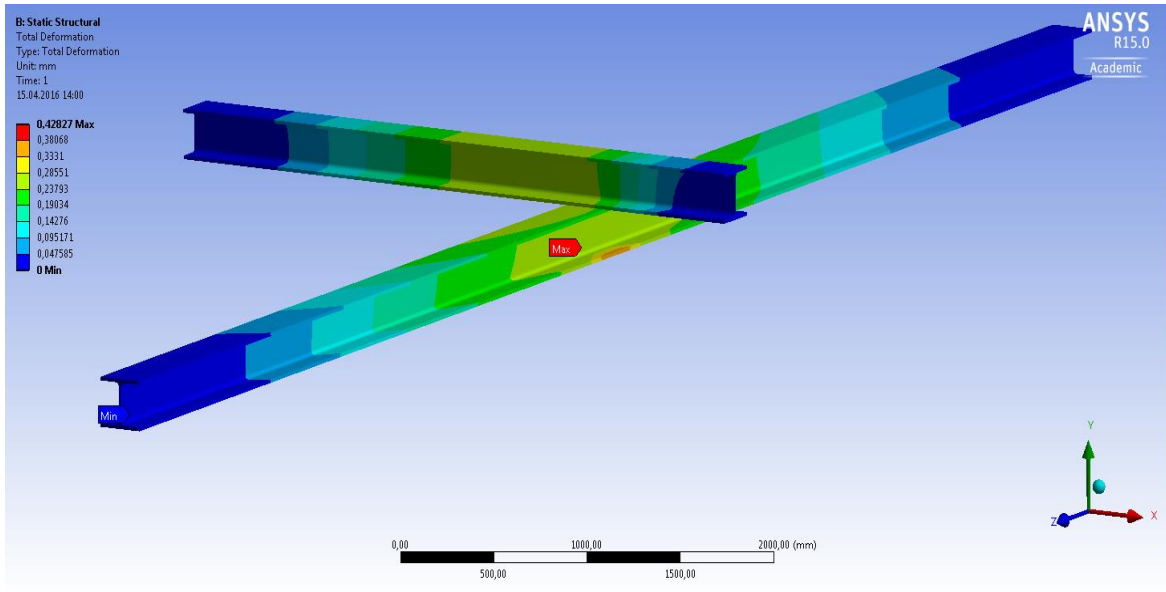
8. Vedlegg

Vedlegg 1 – Simulering av lastesituasjon i Ansys



Visualisert situasjon er den mest kritiske for avlastningsbjelken. Her befinner lasten seg midt under avlastningsbjelken, og dermed vil all kraft måtte tas opp av denne. Illustrasjonen viser hvor i tverrsnittet av bjelken det opptrer størst skjærkraft.

Studentversjonen som er brukt av gruppen i denne simuleringen har en begrensning på hvor mye en kan dele opp bjelken i såkalte «mesh». Ved å velge ett stort «mesh» vil en få flere små overflater som gjør beregningen mer nøyaktig. I en fullversjon av Ansys vil en kunne velge ett større «mesh» som gir større nøyaktighet i simuleringen.



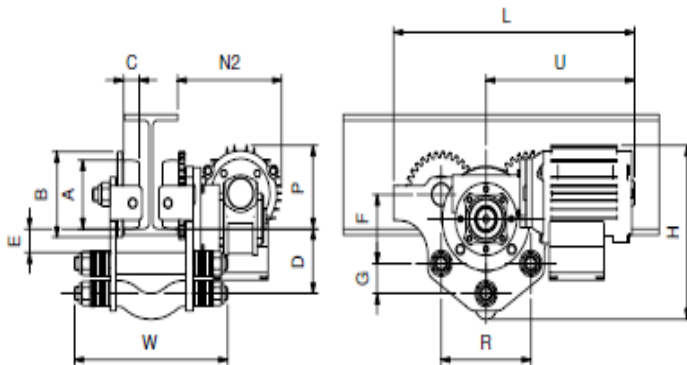
Situasjonen over viser hvor mye deformasjon bjelkene vil bli utsatt for når lasten er plassert midt under avlastningsbjelken. Lest ut fra programmets tolkning og beregninger vil den største deformasjonen her bli 0,428 mm.

A_s kan beregnes eller hentes fra tabell:

Gjenger grov stigning	Spenningsareal A_s [mm ²]	Gjenger fin stigning	Spenningsareal A_s [mm ²]
M1,6	1,3		
M2	2,1		
M2,5	3,4		
M3	5,0		
M4	8,8		
M5	14,2		
M6	20,1		
M8	36,6	M8x1	39,2
M10	58,0	M10x1	64,5
		M10x1,25	61,2
M12	84,3	M12x1,25	92,1
		M12x1,5	88,1
(M14)	115	M14x1,5	125
M16	157	M16x1,5	167
(M18)	192	M18x1,5	210
		M18x2	204
M20	245	M20x1,5	272
		M20x2	258
(M22)	303	M22x1,5	333
		M22x2	318
M24	353	M24x2	384
(M27)	459	M27x2	496
M30	561	M30x2	621
(M33)	694	M33x2	761
M36	817	M36x3	865
(M39)	976	M39x3	1030

(M.): disse diametre bør unngås

Tabell benyttet for å finne spenningsareal A_s . (Norsk stål, Tabeller og standarder)

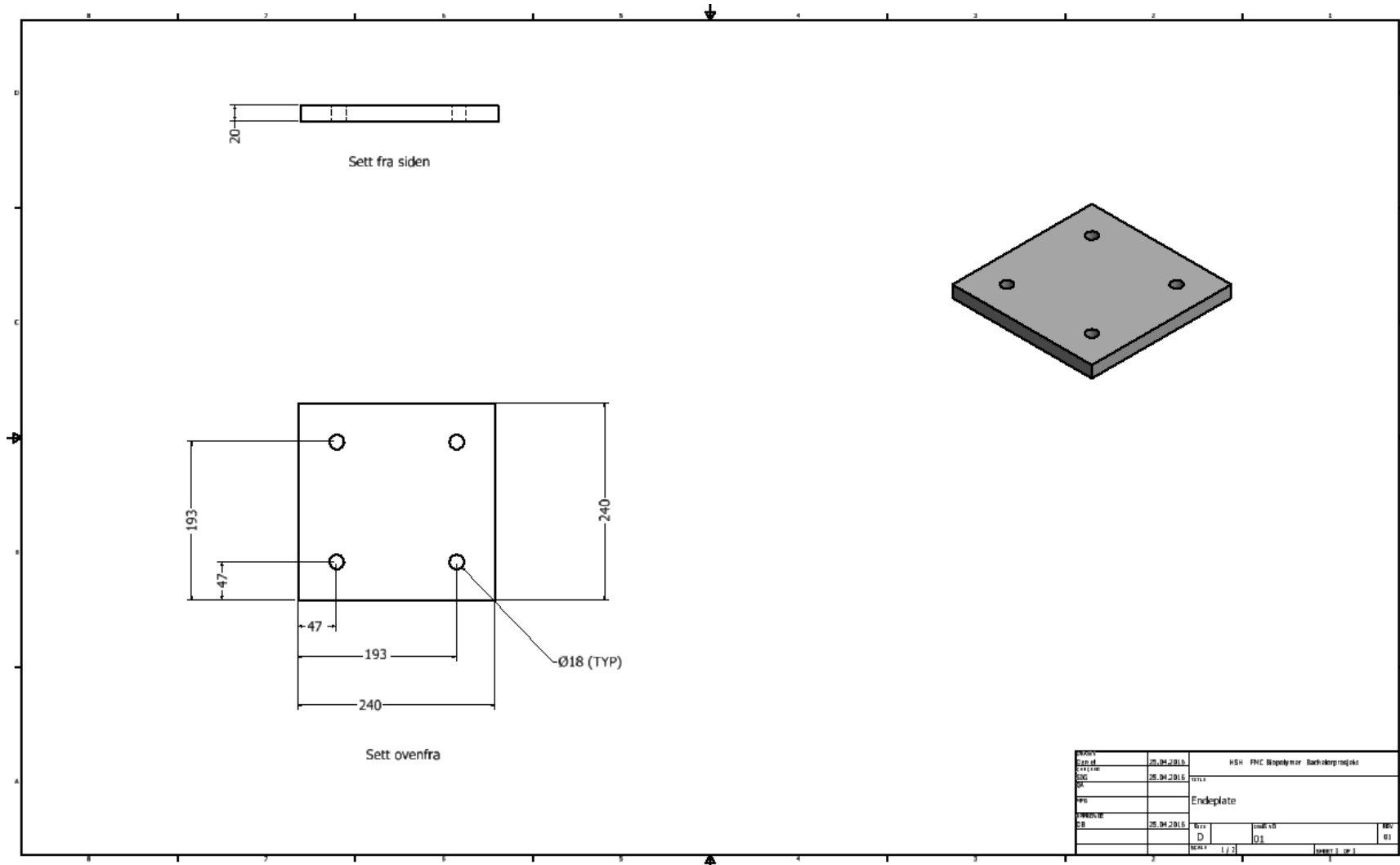

Technical information:

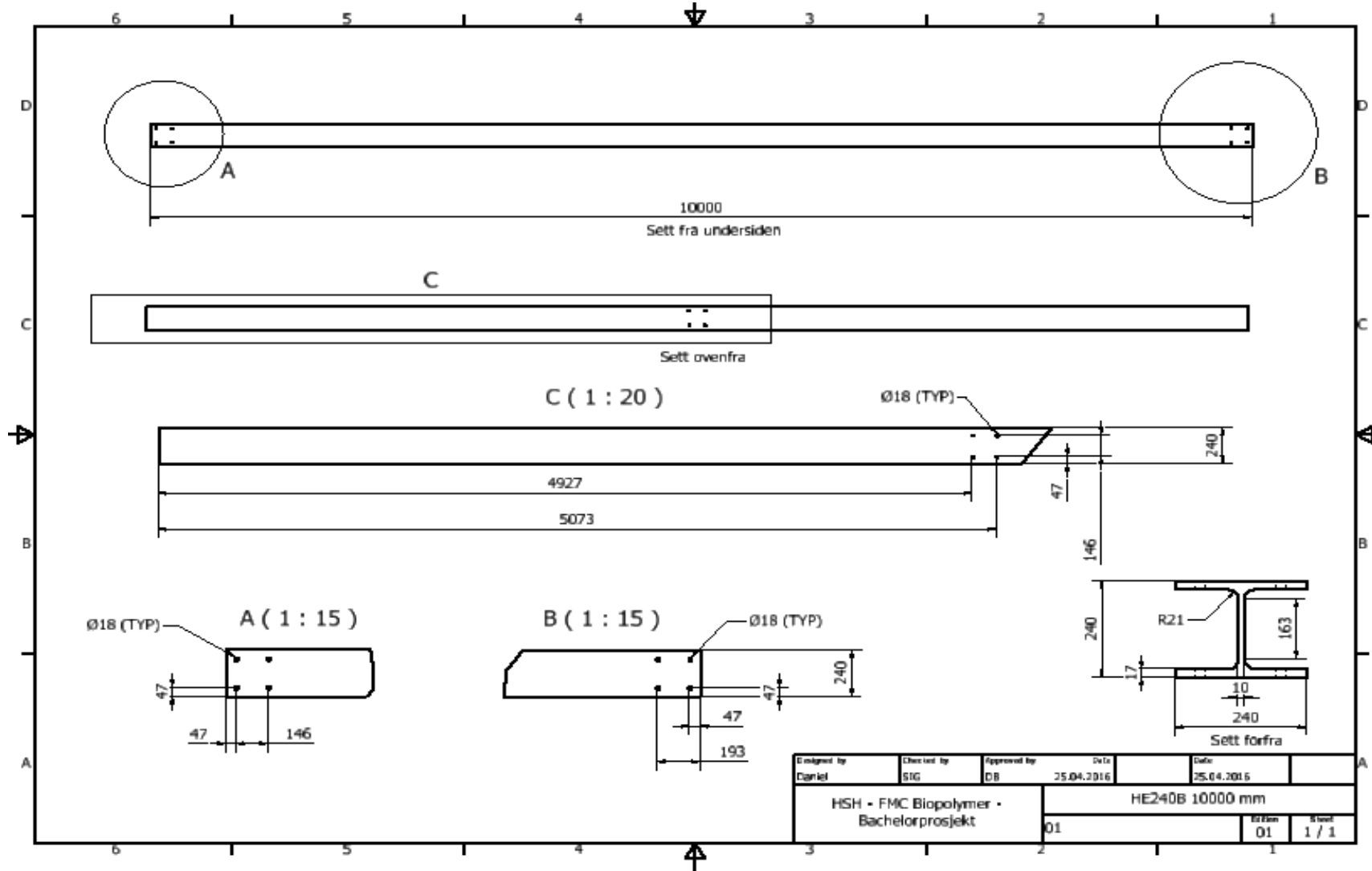
- 1) Excl. additional counterweight (if applicable)
- 2) For curved beams always contact us or your local Agent
 - Trolleys suitable for curved beams are executed with a guide roller set.
 - Details to be provided with order.
- 3) These trolleys are not suitable for manufacturing of cranes or twin driven trolleys.
- 4) Max. INP profile restriction for 22KN – INP300, 33 KN – INP400, 52/64 KN – INP450.

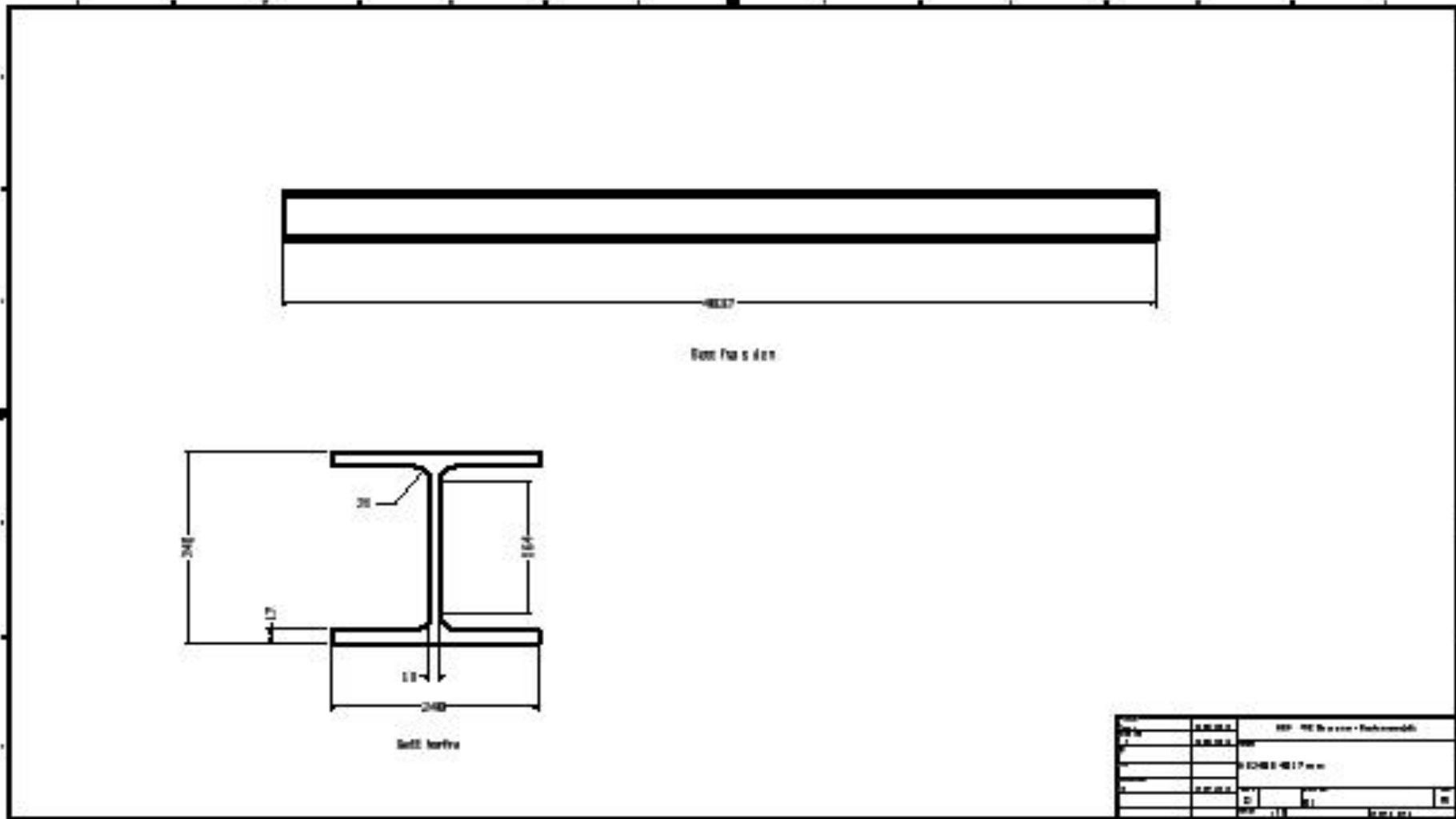
Trolleys / Electrical / Wormgeared motor (Art. group 82400)																								
Capacity Kg.	Hoist Mass Kg.	Chassis Type	Adjustable beam width min-max mm.	R(min). Radius Beam mm 2)	Dimensions										Weight Kg.	Speed m/min	Trolley 82400... Art. No.	Trolley + Motor Price €	Relay Box* 1V Price €	Limit Switches Price €				
					A	B	C	L	H	W	R	D	E	F							G	N2	U	P
1.000	290	22 KN	74-127	1600	80	100	22	360	200	215	123	75	27	80	36	100	236	106	16	10	...01210			
			127-180							270											...01211			
			190-243							330											...01212			
			294-300							390											...01213			
2.000	290	22 KN	74-127	1600	80	100	22	360	200	215	123	75	27	80	36	100	236	106	16	10	...02210			
			127-180							270											...02211			
			190-243							330											...02212			
			294-300							390											...02213			
3.200	190	33 KN	90-143	2000	100	120	25	385	240	250	144	90	36	100	40	171	246	115	23	10	...03310			
			140-203							310											...03311			
			203-254							360											...03312			
			291-300							410											...03313			
5.000	300	02 KN	106-156	2900	125	150	30	435	290	270	174	117	40	120	60	187	276	130	39	10	...05210			
			160-210							325											...05211			
			210-260							375											...05212			
			290-300							420											...05213			
6.300	200	64 KN	106-156	2900	125	150	30	435	290	270	174	117	40	120	60	190	276	130	41	10	...06410			
			160-210							325											...06411			
			210-260							375											...06412			
			290-300							420											...06413			

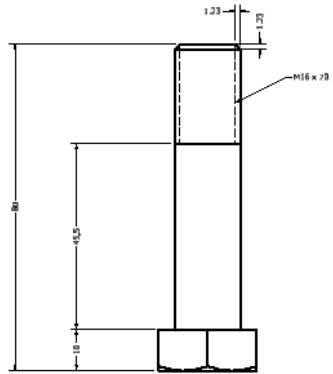
* Relay Box: Terminal box with relay switching set, excl. transformer, excl. terminals, mounted on the trolley. Cable from motor to relaybox included.
Pendant control switch and control cable excluded.
Control voltage 24V or 48V.

Eksempel på dimensjoner og vekt på løpekatt hentet fra Bretteville taljer og maskiner AS.

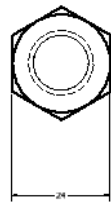




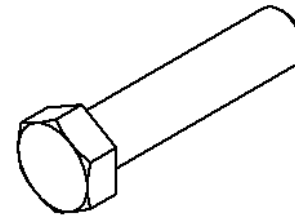




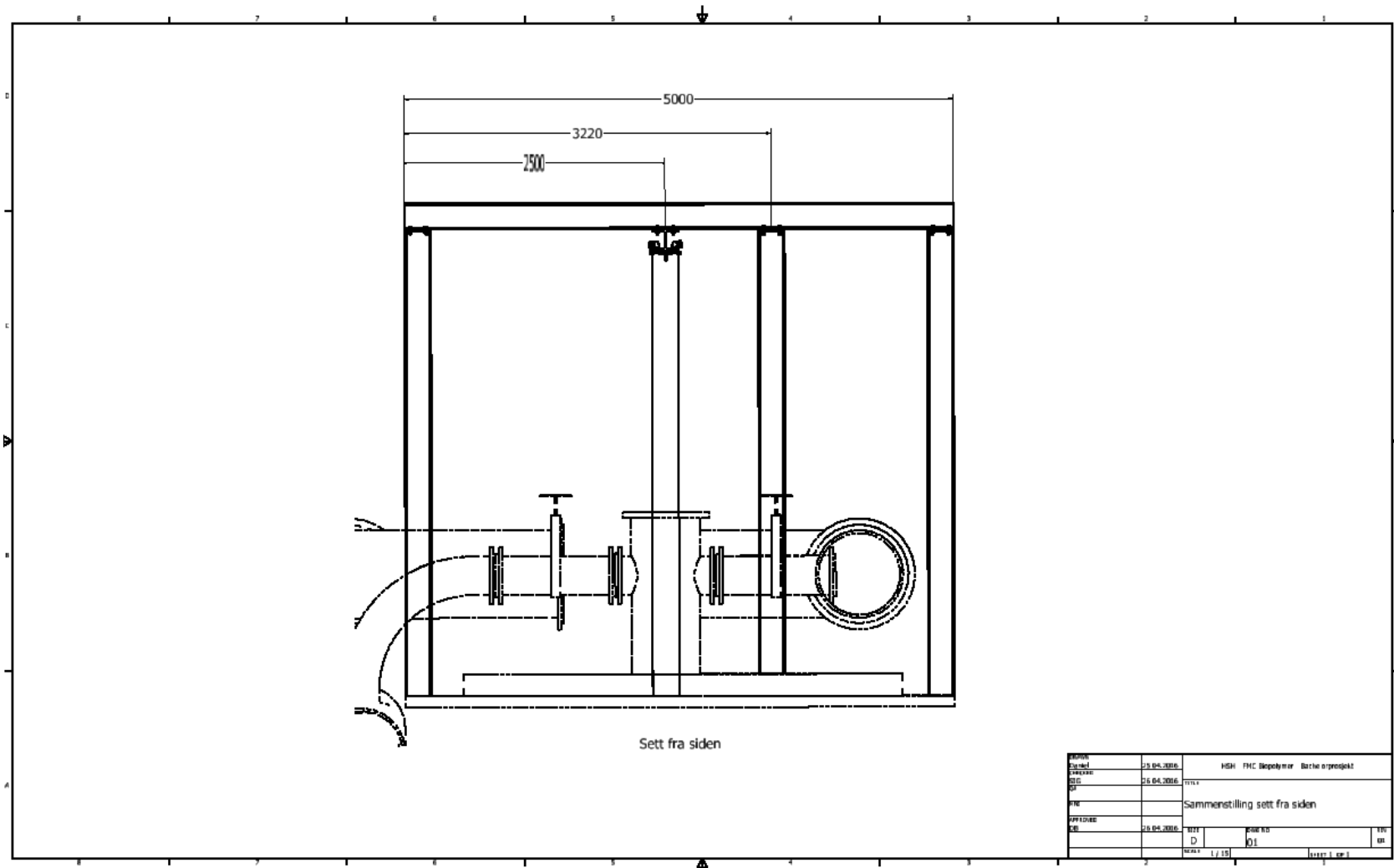
Sett fra siden

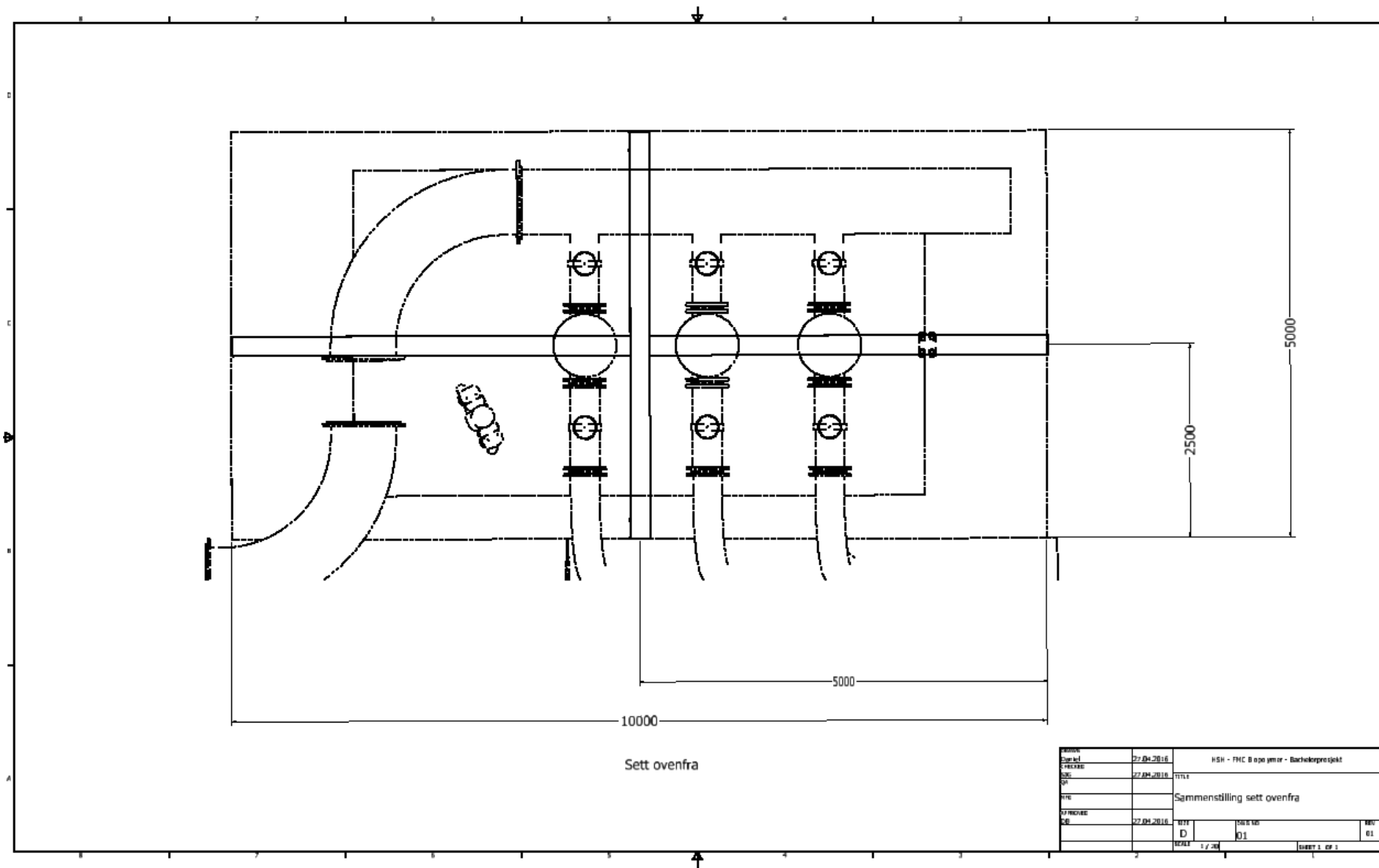


Sett ovenfra



PROSJEKT	02.03.2016	HSH FMC BioPolymer Bachelorprosjekt	
UTARB. SMC	02.03.2016	Tittel	
STUD.	02.03.2016	M16 x 70	
OPPRETTET	02.03.2016	NAV	DESIGN
DB		D	
VERSJON	2.1.1	Blatt 1 av 1	





Referanser:

1. J. Gustavsen, O. Olsen, S. E. Pedersen og S. Kaasa, Teknisk formelsamling med tabeller, Oslo: Universitetsforlaget, 7. utgave 9 opplag 2013.
2. G. H. Svarliaunet, B. Aasen, B. Bringaker, K. Myhre, E. Braathu, Stål håndbok Del 3: 2010 Konstruksjoner av stål, Oslo: Norsk stålforbund, 3 utgave 2010.
3. Ø. Husø, Mekanisk konstruksjon og teknisk design, Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS, 1 utgave 1 opplag 2010.
4. Standard Norge, Kraner og løfteutstyr, Stålkonstruksjoner, Beregninger - NS 5514, Oslo: Standard Norge, 1978.
5. Standard Norge, Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner, Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser – Norsk Standard NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009, 2005.
6. H. Johansen, Styrkeberegning: skrueforbindelser, Kompendium/Høgskolen i Gjøvik, 1 utgave 2 opplag, 2012. (Funnet 2. Mars)
Internett, Tilgjengelig:
[http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/SB_Skrueforbindelser_2012_nr.2_\(endret_2014\).pdf](http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/SB_Skrueforbindelser_2012_nr.2_(endret_2014).pdf)
7. Proffpartner, Tabeller for skruer, gjenger, nøkkelvidder og størrelser samt momenter. (Funnet 4. mars)
Internett, tilgjengelig:
<http://diy-ski.dyrstad.nu/artikler/gjenger.pdf>
8. Standard Norge, Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner, Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger
Norsk standard, NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008, 2005.
9. Lovdata, Forskrift om maskiner, (Funnet 21. januar)
Internett, tilgjengelig:
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544>
10. Norsk standard, Mekaniske egenskaper for festeelementer av karbonstål og stållegeringer - Del 1: Skruer og pineskruer med spesifiserte fasthetsklasser - Grovgjenger og fingjenger
Norsk standard, NS-EN ISO 898-1:2013, 2013.
11. Norsk stål, Tabeller og standarder, (Funnet 12. februar)
Internett, tilgjengelig:
<http://www.ux.uis.no/~hirpa/KdB/ME/SteelTables%20norskstaal.pdf>

12. Bretteville taljer & maskiner AS, Elektriske løpekatter, tabeller
(Funnet 11. april)
Internett, tilgjengelig:
www.brettevilletaljer.no/file/andre/page_16.pdf

13. Per Kristian Larsen, Dimensjonering av stålkonstruksjoner, Tapir Akademisk
FORL, 2 utgave 2010