

OFFSHORE KONTEINER (LØFTEKURV) FOR 10 TONN

OFFSHORE CONTAINER (LIFTING BASKET) FOR 10 TONS

El-aloul Ayman

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2013.



OFFSHORE KONTEINER (LØFTEKURV) FOR 10 TONN

EL-ALOUL AYMAN



Mastergradsoppgave
Maskin- prosess og produktutvikling
IMT/UMB, 2013



FORORD

Prosjektet er en del av masterprogrammet i Maskin-prosess og produktutvikling ved Institutt for matematiske realfag og teknologi ved UMB. Prosjektet er gjennomført i vårsemesteret 2013 med et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven ble gitt av førsteamanuensis Geir Terjesen, og omhandler konstruksjon og design av en løftekurv for offshoreoperasjoner. Kurven har som formål å løfte større stålprofiler ved for eksempel dekomponering av oljeplattformer (rør, pumper, turbiner, motorer osv.)

Min motivasjon for å velge denne oppgaven kommer av min bakgrunn innen teknisk tegning og visualisering og interesse for stålkonstruksjoner og styrkeberegning som er jeg kan tenke meg å jobbe videre med i min karriere.

Offshorekonstruksjoner kan defineres som strukturer som ikke har fast tilgang til tørt land. Slike strukturer er utsatt for sterke miljømessige belastninger, og må derfor konstrueres for å tåle alle typer forhold.

Oppgaven viser steg for steg fremgangsmåten for dimensjonering av en løftekurv med nødvendige beregninger og illustrasjoner.

Rapporten har en introduksjonsdel etterfulgt av grunnlagsberegninger, element- og løsningsvalg, strukturoptimering og presentasjon av løsning og kan således benyttes som en oppskrift på hvordan man kan dimensjonere en løftekurv.

Hovedformålet med strukturanalyser innen offshore er å sikre at alle offshore operasjoner utføres på en sikker måte med hensyn til sikkerhet, miljø og økonomi.

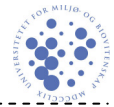
Formålet med denne oppgaven er:

- Lære å bruke FEM- analyser for modulering av primærstrukturen til kurven eller deler av den (f.eks. løfteøret).
- Evaluering og gjennomføring av relevante regler for offshore konstruksjon.
- Optimalisering av hoveddrammens konfigurasjon, og valg av typeprofiler for å oppnå optimal utforming med hensyn til sikkerhet, vekt, og økonomi.
- Lokal utforming av leddene, løftepunkt og løfteører.

Til slutt vil jeg takke veileder Geir Terjesen, og mine foreldre, brødre, søstre og venner for deres støtte og inspirasjon i løpet av studiet mitt.

Ås, 11. Mai. 2013

EL-ALOUL AYMAN



SAMMENDRAG

Instituttet for matematisk realfag og teknologi, IMT ved UMB ønsker å utvide sin kunnskap om offshore løfteoperasjoner. Jeg har derfor fått denne oppgaven fra førsteamanuensis Geir Terjesen. Oppgaven er aktuell fordi det utføres svært mange offshore løfteoperasjoner som krever egnet løfteutstyr. Denne oppgaven presenterer et forslag til en 10 tonn løftekurv til offshore bruk med innvendige dimensjoner 6m x 3m x 2m (Lengde x Bredde x Høyde).

Oppgaven startet med å finne lignende løsninger og kartlegge gjeldende standarder og forskrifter. Så snart dette var klarlagt ble designprosessen igangsatt og forskjellige design ble utviklet og sammenlignet. Valget falt så på en design som tilfredsstillte kravene, men samtidig ikke overdimensjonerer kurven. Valget ble gjort ut fra økonomiske hensyn.

For å komme frem til en løsning er det benyttet litteraturstudier og FEM dataanalyser, og konkret har oppgaven blitt løst ved bruk av følgende metoder: Løftekurven er dimensjonert etter DNV 2.7-1, og sjekket i noen tilfeller etter DNV 2.7-3. Utmattingsanalyse etter DNV-RP-C203 som omfatter utmattingsdesign av offshorekonstruksjoner og sveiseforbindelser er utført og funnet tilfredsstillende. For å utføre knekkanalyser er forenklet interaksjonsformel fra utlevert kompendium i faget TMP301 benyttet. Kapasiteten til sveiseforbindelser er i henhold til Eurocode 3.

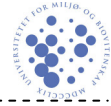
Primærstrukturen er analysert og optimalisert med FEM-analyse ved hjelp av Ansys Classic og kontrollert opp mot håndberegninger. Resultatene er sammenlignbare.

3D- og konstruksjonstegninger er utarbeidet i Autodesk Inventor. Vedlagte konstruksjonstegninger er klargjort for verksted, og inkluderer stykkeliste med nødvendig deler.

Løftekurvens endelige design består av to deler, løfteutstyr og selve kurven. Løfteutstyret består av toppløkke, forløper, løftehode, sling og sjakler, og kan bestilles ferdig tilpasset fra leverandør. Innkjøpt løfteutstyr må være sertifisert i henhold til DNV, EN standard eller andre godkjente standarder.

Løftekurvens hovedramme fabrikeres etter spesifikasjoner gitt i arbeidstegningene og består av kvadratiske hullprofiler, mens tversgående bunnbjelker og gaffellommene består av rektangulære hullprofiler. Alle profilertyper skal være av type stål S355J2H, støtteplatene skal være av type stål S355J2H+Z25 og løfteøret skal være av type stål S420MLH. Den maksimale tillatte lasten er som i oppgavens beskrivelse 10 tonn. Selve kurven er på ca 5000 kg, og løfteutstyr er på ca 200 kg.

Løftekurven er dimensjonert med en lastfaktor på 2,5 og total tillatt nedbøyning er kontrollert $19,33 \text{ mm} < 20,66 \text{ mm}$, begge i henhold til DNV 2.7-1.



ABSTRACT

Institute of Mathematical Sciences and Technology, IMT at UMB want to expand their knowledge of offshore lifting operations. That is why I got this task by Professor Geir Terjesen. The task is relevant because it performed very many offshore lifting operations which require suitable lifting equipments. This thesis present and describe a proposal for a 10 tons lifting basket for offshore operations with internal dimensions of 6m x 3m x 2m (Length x Width x Height).

The tasks started with finding similar solutions, products and identify applicable standards and regulations. Once this was clarified, design process was initiated and various designs were developed and compared. The choice fell in a design that meets the conditions and requirements witches described in the applicable standards and regulations, but in the same time does not oversize the baskets dimensions. The main purpose of designing offshore lifting basket is to ensure that all operations shall be performed in safe manner with respect to safety environment and economical risk.

Lifting basket is designed according to the standard DNV 2.7-1 and checked in some cases by DNV 2.7-3. Fatigue calculations in weld connections are according to the standard DNV-RP-C203. To perform buckling analysis is according to simplified interaction formula which was given in compendium of the subject TMP301. The capacity of welds connections is in accordance to Eurocode 3.

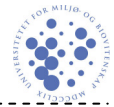
Primary structure is analyzed and optimized with FEM analysis by using of Ansys Classic and checked against hand calculations. The results were comparable.

3D moulding and technical drawings are prepared in Autodesk Inventor. Attached technical drawings are prepared for the workshop, and includes list of the necessary parts.

Lifting basket final design consists of two parts, lifting set components and the main frame. Lifting set components consist of Master link (top link), Fore runner, Quad assembly (Master link + Intermediate), sling legs and shackles. Lifting set components must be certified to DNV, EN standard or other approved standards.

Lifting basket main frame fabricated by the specifications given in the technical drawings. Lifting basket main frame consists of square hollow sections (SHQ), while the transverse floor beams and fork pockets consist of rectangular hollow sections (RHQ). All sections are of regular structural steel S355J2H, support plates are of type steel S355J2H + Z25 and pad eyes are of type steel S420MLH. The maximum permissible mass of cargo as described in the task is 10 tons. The tare mass of the basket is about 5000 kg and lifting set components is about 200 kg.

Lift basket is designed with a load factor of 2.5 and total allowable deformation is controlled 19.33 mm <20.66 mm, both according to DNV 2.7-1.



INNHALDSFORTEGNELSE

Innhold	Side
FORORD	II
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	IV
INNHALDSFORTEGNELSE	V

Kapittel 1

INNLEDNING

1.1. Bakgrunn.....	2
1.2. Problemstillinger.....	3
1.3. Målsettinger og begrensninger.....	3
1.4. Kvalitetssikring (rapport og produkt).....	4
1.5. Definisjoner og forkortelser.....	4
1.6. Symboler og terminologi.....	5
1.7. Formler.....	8

Kapittel 2

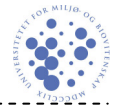
BESKRIVELSER

2.1. Kravspesifikasjoner.....	11
2.2. Forskrifter og standarder.....	12
2.3. Konseptdrøfting.....	13
2.4. Formgivning og design.....	16

Kapittel 3

GRUNNLAGSBEREGNINGER

3.1. Statisk krefter, momenter og sikkerhet mot flyt.....	19
3.1.1 Beregning av kraftkomponenter i wiren.....	21
3.1.2 Beregning av ståltau (slings) lengde og vinkler i løftesettet.....	22
3.1.3 Håndberegningen baseres på resultatene fra FEM analyse.....	23
3.1.4 Dimensjonerende spenninger.....	27
3.2. Beregning av løfteøret og valg av sjakkell.....	28
3.2.1 Design av Løfteøret.....	30
3.2.2 Krav til gaffellommene.....	35
3.3. Sveisforbindelse for primærstrukturen.....	37
3.3.1 Sveisforbindelse mellom løfteøret og støtteplate.....	38
3.3.2 Sveisforbindelse for gaffellommene.....	42
3.4. Dynamiske belastninger og sikkerhet mot utmatning.....	46
3.4.1 Sveisen mellom støtteplate og løfteøret.....	46
3.4.2 Sveisen mellom gaffellommene og langsgående bunnbjelker...	51
3.5. Kneking.....	57



Kapittel 4

ELEMENT- OG LØSNINGSVALG

4.1. Komponenter.....	66
4.1.1 Ferdig fabrikkerte komponenter.....	66
4.1.2 Designede komponenter.....	73
4.2. Hovedelementer.....	77

Kapittel 5

STRUKTUROPTIMERING (ANSYS)

5.1. Generelt.....	81
5.2. Strukturspenninger.....	82
5.2.1 Fire -punkter løft.....	83
5.2.2 To – Punkt løft (Diagonal løft test).....	87
5.2.3 Løfter fra gaffellommene.....	89
5.2.4 FEM analyse av løfteøret.....	91
5.3. Materialvalg.....	94
5.4. Korrosjonsbehandling.....	96
5.5. Bearbeiding og utforming.....	97
5.5.1 Prototype Testing.....	97
5.5.2 Merking.....	100

Kapittel 6

PRESENTASJON AV LØSNING (3D)

6.1. Visualisering.....	103
6.2. Material- (og produksjonskostnader).....	108
6.3. Forbedringer.....	109

Kapittel 7

KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

7.1. Generelt.....	111
7.2. Videre arbeid.....	112

LITTERATURREFERANSER

113

VEDLEGG

115

Kapittel 1

INNLEDNING

- 1.1. Bakgrunn.
- 1.2. Problemstillinger.
- 1.3. Målsettinger og begrensninger.
- 1.4. Kvalitetssikring (rapport og produkt).
- 1.5. Definisjoner og forkortelser.
- 1.6. Symboler og terminologi.



Behov for demontering og riving av offshore installasjoner er blitt stor. (Bildet fra internett: Thunder Horse, oljeplattform, synker, juli 2005 US Coast Guard).



1.1. Bakgrunn

Norge har alltid hatt nær tilknytning til havet, og kysten har i alle år gitt nordmenn et livsgrunnlag. Til alle tider har det vært behov for lossing og flytting av gods fra og til sjøs, det være seg alt fra sild til olje. I de senere år har utviklingen gått fra manuelt til maskinelt arbeid, har behovet for større kapasitet økt.

Løftekurv gjør en fantastisk jobb når det gjelder frakt og transport av store og tunge produkter fra land til sjø og omvendt. Områder hvor man kan ha stor behov for løftekurver er demontering og rivning eller nybygging av offshore installasjoner samt generell transport av utstyr f.eks i forbindelse med oljeboring. Oljeboring krever tunge maskiner til å bore i havbunnen. Maskinene transporteres fra land til borestedet i høy sjø. Disse maskinene blir transportert inn i deler ved bruk av løftekurver.

Kurver kan være spesialet ved at de kan være åpnet fra siden. Med andre ord kan kurvene ha sideåpning i vegger som gjør at de kan frakte maskinen og komponenter ganske lett. Kurvene kommer i forskjellige lengde, bredde og høyde for å dekke individuelle behov. Man kan finne alt fra 18 meter lange containere med sideåpning i vegger til 2 meter lange kurver for mindre verktøy. Det finnes produsenter som kan tilpasse en container etter spesielle behov.

Dimensjonering av offshore containere (løftekurver) kan følge DNV2.7-1/EN12079 standard og man bør sørge for at innkjøpte kurver følger disse standardene da denne ansees som standard for best kvalitet og kan benyttes i hele verden.

AF Decom Offshore er markedsleder innen fjerning, rivning og gjenvinning av offshoreinstallasjoner i Nordsjøen og således en stor kunde hos bedrifter som leverer løftekurver.

Sett i lys av nyere tids skatteregler kan det tenkes at økt fokus på investeringer kan øke behovet for kostnadseffektive og spesialtilpassede løsninger innen offshorenæringen.



1.2. Problemstillinger

Oppgaven skal gi et forslag til konstruksjon av en offshore løftekurv. Løftekurvens innvendige mål skal være 6 m x 3 m x 2 m, den skal ha en kapasitet på 10 tonn og dimensjoneres etter gjeldende lover og standarder.

Momenter som blir gjennomgått i denne oppgaven er som følger:

- Valg av design.
- Valg av materiale og profiltyper.
- Styrkeberegning.
- Utmattingsberegning.
- Dimensjonering av profiler og løfteører.
- Valg/dimensjonering av løfteører og tilbehør.
- Sveiseforbindelser.
- Hvilke standarder gjelder.

1.3. Målsettinger og begrensninger

Hovedmål:

Dimensjonere en offshore konteiner av typen løftekurv med åpen topp. Kurven skal løfte 10 tonn og være anvendelig for offshore operasjoner. Innvendige mål er 6 m x 3 m x 2 m (lengde x bredde x høyde). Kurven skal ha gode kraftoverføringsegenskaper, enkle produksjonsegenskaper og lav total kostnad. Løftekurven skal være dimensjonert og designet i henhold til gjeldende forskrifter og standarder.

Delmål:

- Få oversikt over ulike standarder og forskrifter.
- Se på liknende produkter.
- Sette opp en god grunnmodell i Ansys Classic for styrkeberegninger og spenningsanalyser.
- Utfører håndberegninger for verifisering av modell i Ansys Classic.
- Valg av utstyr som skal sertifiseres (toppløkke, forløper, løftehode, ståltau og sjakler).
- Design og dimensjonering av støtteplate og løfteøret.
- Utføre beregninger for sveiseforbindelser, utmatting og knekking.
- Optimalisere løftekurvens struktur ved ulike profilstørrelser ved bruk av Ansys Classic.
- Tegne løftekurven i 3D-programmet Autodesk Inventor for å lage konstruksjonstegninger.
- Finne material og produksjonskostnadene.

Begrensninger:

- Det er i oppgaven ikke tatt hensyn til støtbelastninger, pkt 4.2.4 [4].
- Det er i oppgaven ikke tatt hensyn til stabilitet mot velting, pkt. 4.1.2 [4]
- Det er i oppgaven ikke tatt hensyn til nedre beskyttelsesbjelkers design.
- Det er ikke tatt hensyn til valg av korrosjonsbehandling ut over å konstatere at det er nødvendig.



1.4. Kvalitetssikring

Kvalitetssikring rapport: Jeg har gått gjennom rapporten og språkvasket den, sjekket referanser, tabellnummerering, figurnummer, formelnummer og sidetall er sjekket to ganger. Jeg har også brukt malen fra oppdragsgiver. Kontrollert utregningene to ganger og kontrollert at alle symboler er kommet med i symbollisten.

Kvalitetssikring produkt: Kravspesifikasjonene er diskutert/tolket i samråd med oppdragsgiver. Jeg har brukt sikkerhetsfaktorene gitt av standarder, og har kontrollert FEM-beregninger mot håndberegninger. De foreslåtte innkjøp av materialer/deler har alle nødvendige godkjenninger. Prototype skal testes før den settes i produksjon.

1.5. Definisjoner og forkortelser:

Begrep	Definisjon
DNV	Det Norske Veritas.
EC3	Eurokode 3.
RSL	Resulting Sling Load = resultantkraft fra ståltau på løfteøret [N].
WLL	Working Load Limit = tillatt arbeidslast på løfteutstyr [tonn].
T	Tare mass = egenvekt av løftekurv inkludert permanent utstyr, men uten last og løfteutstyr [kg].
P	Payload = Maksimale tillatt last [kg].
MGW	Maxiumim Gross Weight [kg].
R	Rating = maksimalt brutto last av løftekurv inkludert permanent utstyr og last, eksklusivt løftutstyr. ($R = P + T$) [kg].
Primærstrukturen	Består av hovedramme, støtteplate, løfteører, gaffellommer og forsterkningsplater. Løfteutstyr, og ettermonterbare elementer er ikke inkludert, etter pkt 1.4.5 [4].
Offshore konteiner	Mobil komponent, som ikke overstiger 25 tonn, til transport av varer og/eller utstyr til og fra offshore installasjoner, etter pkt 1.4.1 [4]
Sling	Konsekvent benyttet for ståltau.



1.6. Symboler og terminologi

Tabell 1-1 Viser symboler og enheter som er brukt i oppgaven

Jeg vil presisere at jeg benytter benevningene f_y for flytespenning istedenfor R_e , f_u for strekkfasthet istedenfor R_m og MPa istedenfor N/mm^2 for spenninger. Symbolene er listet alfabetisk.

Note: Tall i [] referere til referanse nummer.

Følgende symboler benyttes i denne oppgaven:

Tabell 1-1: Symboler.

Symbol	Betydning	Enhet
A	Areal.	mm^2
A_{sveis}	Sveisens areal.	mm^2
a	a-målet av kilsveis.	mm
b	Bredde.	mm
CL	Containers Lengde.	mm
CB	Containers Bredde.	mm
CH	Containers Høyde.	mm
d	Sjakkell boltdiameter iht. DNV 2.7-1.	mm
DF	Design faktor.	-
D_H	Bolthulldiameter.	mm
D_{pin}	Sjakkell boltdiameter iht. DNV 2.7-3.	mm
E	Elastisitetsmodul.	MPa
F	Kraft.	N
F_{Air}	Design last.	N
F_F	Design last for gaffellommene.	N
F_K	Knekkraft.	N
$F_{K, tillat}$	Tillatt knekkraft.	N
F_P	Total vertikal design last på løfteører.	N
F_H	Kraft i horisontal plan.	N
F_x	Kraft i x-retning.	N
F_y	Kraft i y-retning.	N
F_z	Kraft i z-retning.	N
$F_{w,Rd}$	Dimensjonerende kapasitet til sveisen pr. lengdeenhet.	N
f_u	Strekkfasthet.	MPa
$f_{vw,d}$	Sveisens dimensjonerende skjærfasthet.	MPa
f_y	Flytegrensen.	MPa
g	Gravitasjon.	m/s^2
h	Høyde.	mm



H	Minimum løfteøretradius.	mm
$H_{\text{løftehode}}$	Avstanden fra løftehode til den nederste kanten av kurven.	mm
I	Annet arealmoment.	mm ⁴
I_{yy}	Annet arealmoment om y-y akse.	mm ⁴
i	Treghetsradius.	mm
i_x	Treghetsradius om svak akse.	mm
i_z	Treghetsradius om sterk akse.	mm
L	Avstand.	mm
l	Lengde.	mm
l_k	Knekk lengde.	mm
M_b	Bøyemoment.	Nmm
$M_{b,maks}$	Maks. bøyemoment.	Nmm
N	Antall sykluser.	-
n_k	Sikkerhetsfaktor mot knekking.	-
R	Rating "Maksimalt brutto last av løftekurv".	kg
RSL	Resulting Sling Load.	N
R_{ch}	Minimum radius av sideplater.	mm
R_{pad}	Minimum løfteøretradius iht. DNV 2.7-3.	mm
R_{pl}	Minimum radius for utrivning iht. DNV 2.7-3.	mm
S	Løftutstyrsvekt.	kg
SL	Sling Lengde.	mm
t	Tykkelse.	mm
t_{ch}	Tykkelse av skivene på løfteøret.	mm
t_L	Tykkelse av løfteøret iht. DNV 2.7-1.	mm
t_{pl}	Tykkelse av løfteøret iht. DNV 2.7-3.	mm
w	Jevnt fordelt last per mm	N/mm
WLL	Tillatt arbeidslast på løfteutstyr "Working Load Limit".	tonn
σ	Symbol indikerer spenningen.	MPa
σ_b	Bøyenspenningen.	MPa
σ_e	Ekvivalent spenningen.	MPa
σ_{if}	Jevnføringsspenningen.	MPa
σ_{maks}	Maks tillatt spenningen.	MPa
σ_n	Totalt normalspenningen i grunnmateriale (strek + bøying).	MPa
σ_s	Strekkspenningen.	MPa
σ_w	Spenningsvidde i sveisemetallet.	MPa
σ_{\perp}	Normalspenningen i sveisesnittet.	MPa
τ	Skjærespenningen i grunnmateriale	MPa
τ_{\perp}	Skjærespenningen i sveisesnittet.	MPa
τ_{11}	Skjærespenningen langs sveisens akse.	MPa



δ_{maks}	Maks deformasjon.	<i>mm</i>
γ_f	Lastfaktor.	-
γ_M	Materialefaktor.	-
γ_{M1}	Grunnmaterialefaktor.	-
γ_{M2}	Materialefaktor for sveisberegninger.	-
λ	Slankhetsforhold for knekkberegninger	-
β_w	Korrelasjonsfaktor for sveisberegninger.	-



1.7. Formler

-Slingslengde $SL = \frac{\sqrt{(CL)^2 + (CB)^2}}{2 \cdot \sin \beta}$ (1)

-Løftehode avstand $H_{løftehode} = CH - \sqrt{(SL)^2 - \left(\frac{CL}{2}\right)^2} - CB$ (2)

-Bøyepening om y-y akse $\sigma_{by} = \frac{M_{maks} \cdot y}{I_{yy}}$ (3)

-Jevnførende spenningen $\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau^2}$ (4)

-Maks tillat spenningen $\sigma_{maks} \leq 0,85 \cdot f_y$ (5)

-Sjakkelens kapasitet iht. 2.7-1 $WLL_s = \frac{WLL_{min}}{3 \cdot \cos 45^\circ}$ (6)

-Krav til løfteørets hull diameter $D_H < 1,06 \cdot Pin \text{ Diam}(d)$ (7)

-Krav til utriving av løfteøret iht. 2.7-1 $f_y \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot H \cdot t_L - D_H \cdot t_L}$ (8)

-Resultantkraft fra ståltau $RSL = \frac{3 \cdot R \cdot g}{(n-1) \cdot \cos \nu}$ (9)

-Krav til lagertrykk iht. 2.7-1 $f_y \geq 23,7 \cdot \sqrt{\frac{RSL}{D_H \cdot t_L}}$ (10)

-Designfaktor for R45 $DF = 1,4 + 0,6 \cdot \sqrt{50/MGW}$ (11)

-Design last iht. 2.7-3 $F_{Air} = DF \cdot MGW \cdot g$ (12)

-Resultantkraft fra ståltau på løfteøret $RSF = \frac{1,2 \cdot SKL \cdot PL \cdot F}{\cos(\nu)}$ (13)

-Sjakkelens kapasitet iht. 2.7-3 $WLL \geq \frac{RSF \cdot 0,45}{g}$ (14)

-Design av løfteøret iht. 2.7-3 $R_{pad} = \frac{R_{pl} \cdot t_{pl} + 2 \cdot R_{ch} \cdot t_{ch}}{t_L}$ (15)

-Krav til lagertrykk iht. 2.7-3 $\sigma_e \geq 0,045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t_L}}$ (16)

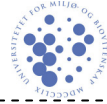
-Krav til utriving av løfteøret iht. 2.7-3 $\sigma_e \geq \frac{2 \cdot RSF}{(2 \cdot R_{pad} - D_H) \cdot t_L}$ (17)

Krav til sveis av sideplate iht. 2.7-3 $\sigma_e \geq \frac{RSF \cdot t_{ch}}{t_L \cdot D_{ch} \cdot a}$ (18)

-Kapasitet av kilesveis iht. EC3 $\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{11}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$ (19)

-Kapasitet av kilesveis iht. EC3 $\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$ (20)

-Tillatt dimensjonerende spenning $f_{w,Rd} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$ (21)



$$\text{-Strekkspenning i sveisen} \quad \sigma_s = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} \quad (22)$$

$$\text{-Komponenter fra strekkspenningen} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}} \quad (23)$$

$$\text{-Skjærspenningen på sveislengde} \quad \tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} \quad (24)$$

$$\text{-Strekkspenningen i grunnmaterial} \quad \sigma_s = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{A} \quad (25)$$

$$\text{-Skjærspenningen i grunnmaterial} \quad \tau = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{A} \quad (26)$$

$$\text{-Sveisens kapasitet} \quad F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot l \quad (27)$$

$$\text{-Dimensjonerende skjærkapasitet} \quad f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (28)$$

$$\text{-Bøyepeningen i sveiseforbindelser} \quad \sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} \quad (29)$$

$$\text{-Komponenter fra bøyepeningen} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} \quad (30)$$

$$\text{-Dimensjoneringskriteriet} \quad \sigma_{b,maks} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (31)$$

$$\text{-Spenningsvidde i sveisematerialet} \quad \sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2 \cdot \tau_{11}} \quad (32)$$

$$\text{-S-N kurven} \quad N = C \cdot \Delta \sigma^{-m} \quad (33)$$

$$\text{-Tykkelse korrigerings} \quad \log N = \log \bar{a} - m_1 \cdot k \cdot \log \left(\frac{t}{t_{ref}} \right) - m_1 \cdot \log \Delta \sigma \quad (34)$$

$$\text{-Minner- Palmgren} \quad x \cdot \left(\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} \right) \leq 1 \quad (35)$$

$$\text{-Treghetsradius} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (36)$$

$$\text{-Slankhetsforholdet} \quad \lambda = \frac{l_K}{i} \quad (37)$$

$$\text{-Knekkfastheten for S355 etter Tetmajer} \quad \sigma_K = 335 - 0,62 \cdot \lambda \quad (38)$$

$$\text{-Tillatt knekkraft} \quad F_{K,tillat} = \frac{F_K}{n_K} \quad (39)$$

$$\text{-Forenklet interaksjonsmetode} \quad \frac{F}{F_{K,tillat}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,y}}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,z}}{M_{b,maks}} \leq 1 \quad (40)$$

Kapittel 2

BESKRIVELSER

- 2.1. Kravspesifikasjoner.
- 2.2. Forskrifter og standarder.
- 2.3. Konseptdrøfting.
- 2.4. Formgivning og design.



Design og testing av offshore Kteinere skjer iht. DNV sine standarder (bildet er DNV sin logo).



2.1. Kravspesifikasjoner

Tabell 2-1: Kravspesifikasjoner fra oppdragsgiver.

Kravspesifikasjoner for løftekurv	
Innvendig lengde	6000 mm
Innvendig bredde	3000 mm
Innvendig høyde	2000 mm
Maks tillatt last	10 tonn
Operasjons område	Offshore

Følgene tabell viser kravene fra standard DNV 2.7-1 for offshore konteiner.

Tabell 2-2: Krav fra standard DNV 2.7-1.

Begrep	Krav	Utført	Referanse
Bølgehøyde	6 m	Nei	4.1
Stabilitet mot velting	Motstå 30° helling	Nei	4.1.2
Design temperatur	$\leq -20^{\circ}C$	Ja	4.1.4
Tillatt spenning	$\sigma_e = 0,85 f_y$ (for stål)	Ja	4.2.1
Design last for primær struktur	$F_L = 2,5.R.g$	Ja	4.2.3
Design last for løfteøret	$F_P = 3.R.g$	Ja	4.2.3
Design last for forklift	$F_F = 1,6.(R + S).g$	Ja	4.2.3
Innvirkning horisontal last			
For hjørne	$F_{HI} = 0,25.R.g$	Nei	4.2.4
For bunnlangside	$F_{HI} = 0,25.R.g$	Nei	4.2.4
For bunnkortsiden	$F_{HI} = 0,15.R.g$	Nei	4.2.4
Vertikal kraft	$F_{VI} = 0,25.R.g$	Nei	4.2.4
Deformasjon for innvirkning horisontal og vertikal last	$\delta \leq \frac{L}{250}$	Nei	4.2.4
Minimum materialtykkelse	$t \geq 6\text{ mm}$	Ja	4.2.5
Minimum avstand mellom gaffellommene	$900 \leq L_F \leq 2050$	Ja	4.4.6
Total deformasjon av primærstrukturen når den er belastet med 2,5.R	$\delta \leq \frac{L}{300}$	ja	4.6.3



Tabell 2-3: Krav fra standard DNV 2.7-3.

Begrep	Krav	Utført	Referanse
Bølgehøyde.	4,5 m (R45).	Ja	3.3.4
Knekkning (Maksimalt tillatte utnyttelsesgrad)	0,85	Ja	3.4.4
Den tillatte spenningen for kilsveisen.	0,5 x tillat spenningen for materiale.	Ja	3.4.5

2.2 Forskrifter og standarder

Det finnes et stort antall internasjonale og nasjonale retningslinjer og standarder, som kan ha betydning for offshore containere.

I henhold til DNV må nye containere alltid sertifiseres i samsvar med:

- DNV 2.7-1.
- European standard EN 12079.
- IMO/MSC Circular No. 860.

Dette sikrer at containerne kan brukes over hele verden.

Det er i denne oppgaven gjort beregninger i henhold til DNV 2.7-1 – Offshore Containers. Offshore containere som defineres i standarden er et mobile komponenter som ikke overskrider en totalvekt, på 25 000 kg, etter pkt.1.4.1 [4].

Kvalitet løftekurver følge DNV2.7-1/EN12079 standard og man bør sørge for at kurvene kommer til å kjøpe følger disse standardene.

Løftekurven (Cargo Basket) er en type offshore container av typen løftekurv med åpen topp, (open top container) og brukes i generelle offshore operasjoner. I tillegg har jeg brukt DNV 2.7-3 for å beregne og designe løfteøret, og sammenligne det med beregning iht. DNV 2.7-1.

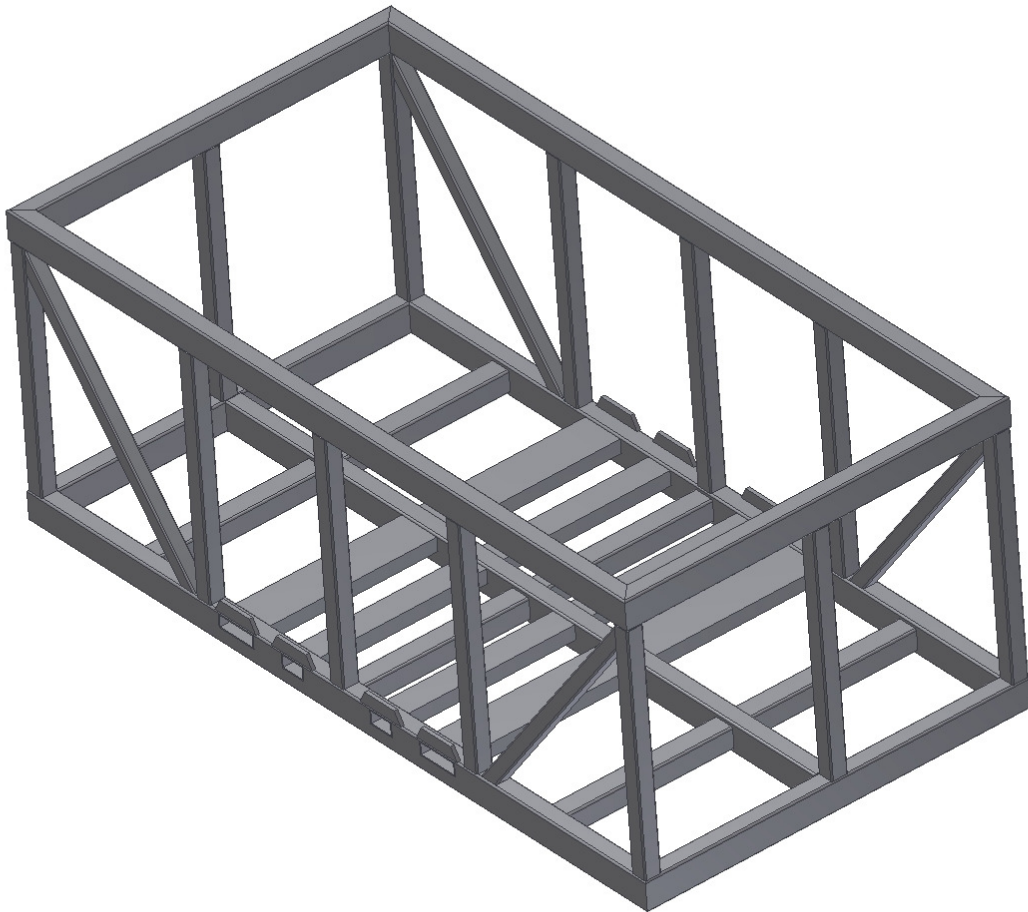
Følgende standarder er brukt for å designe løftekurven:

- DNV 2.7-1: Offshore Container, April 2006.
- DNV 2.7-3: Portable Offshore Units, May 2011.
- EC3 – Prosjektering av stålkonstruksjoner- Del 1-8: Knutepunkter.
- EC3 – Prosjektering av stålkonstruksjoner- Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- DNV – RP C203 - Fatigue Design of Offshore Steel Structures, October 2012.

2.3. Konseptdrøfting

Det er i oppgaveteksten ikke satt noen begrensninger for kurvens utforming, utover løftekurvens innvendige mål. Løftekurver kan lages i forskjellige profiler og med forskjellig design. Jeg presenterer her tre forskjellige design:

Forslag 1:



Figur 2-1: Forslag I.

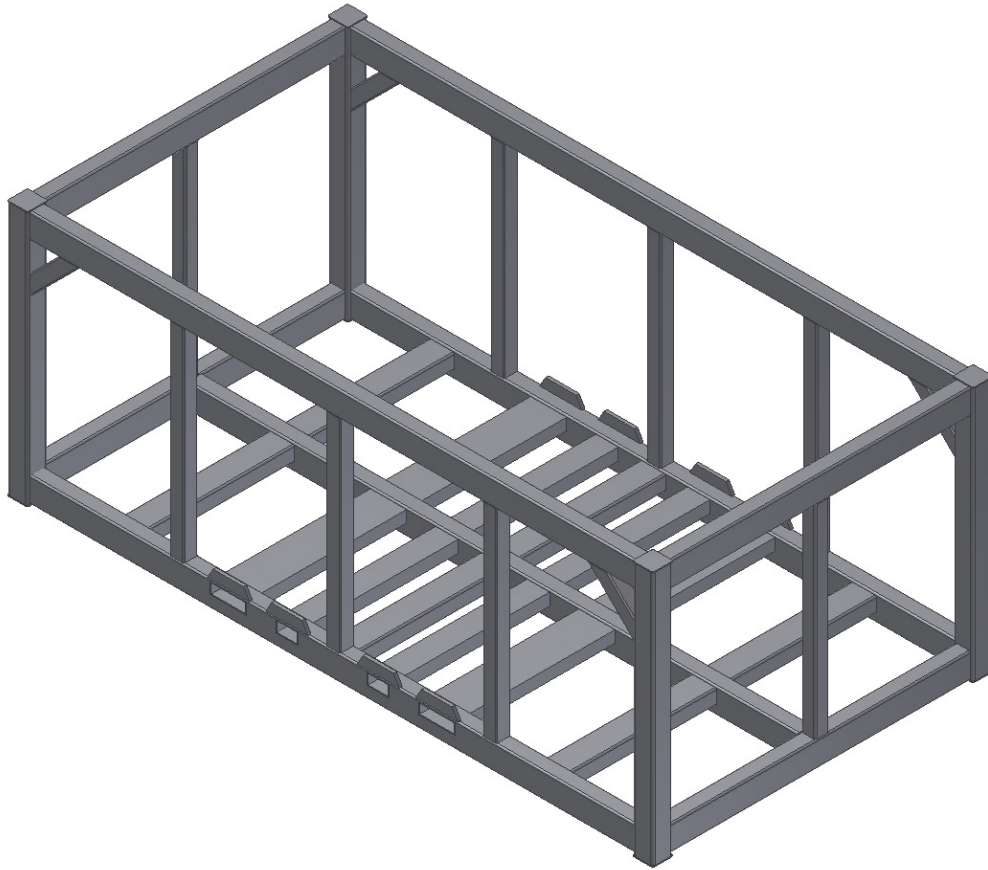
Positivt:

- Veldig bra kraftoverføring.
- Mindre deformasjon og mindre total spinning.

Negativt:

- Høy vekt
- Konstruert av flere deler, flere kapping og sveiseoperasjoner = høye kostnader.

Forslag 2:



Figur 2-2: Forslag II.

Positivt:

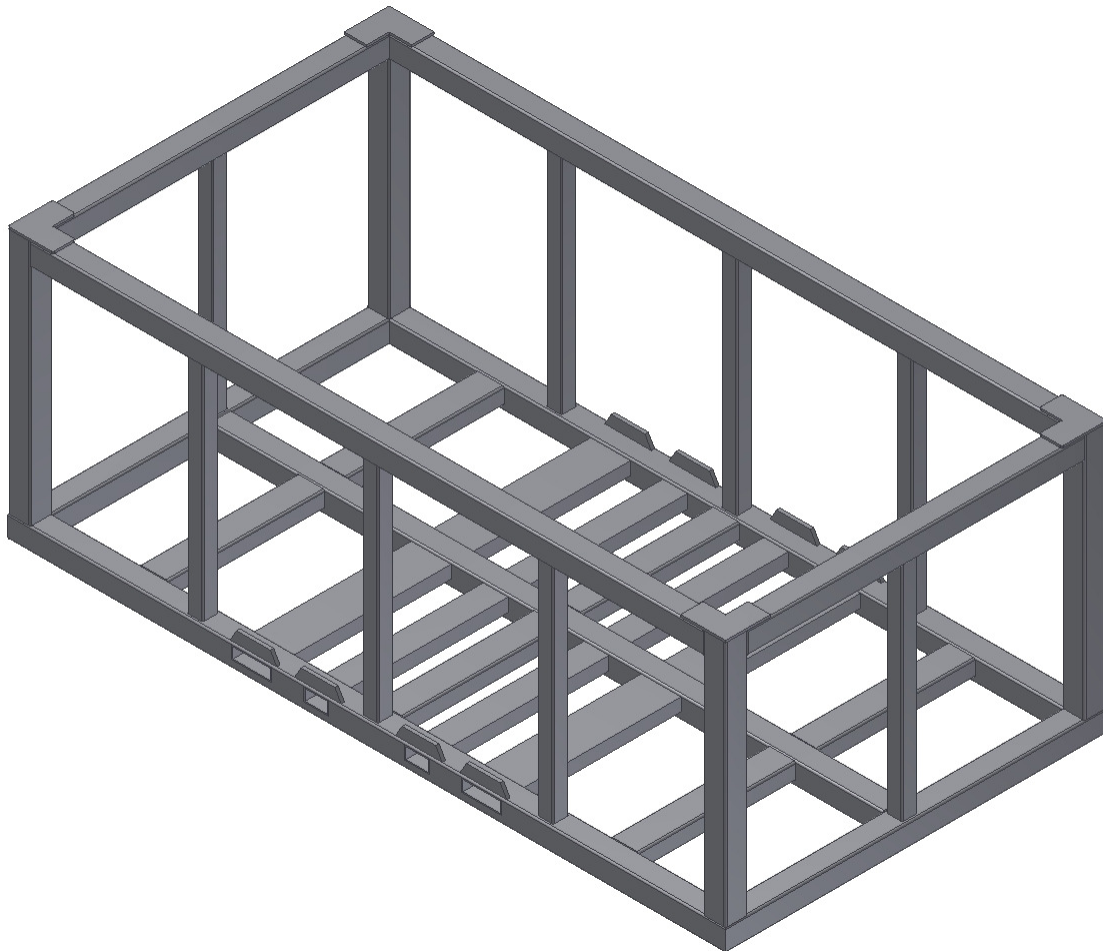
- Bra kraftoverføring

Negativt:

- Høy vekt

- Konstruert av flere deler, flere kapping og sveiseoperasjoner = høye kostnader.

Forslag 3:



Figur 2-3: Forslag III.

Positivt:

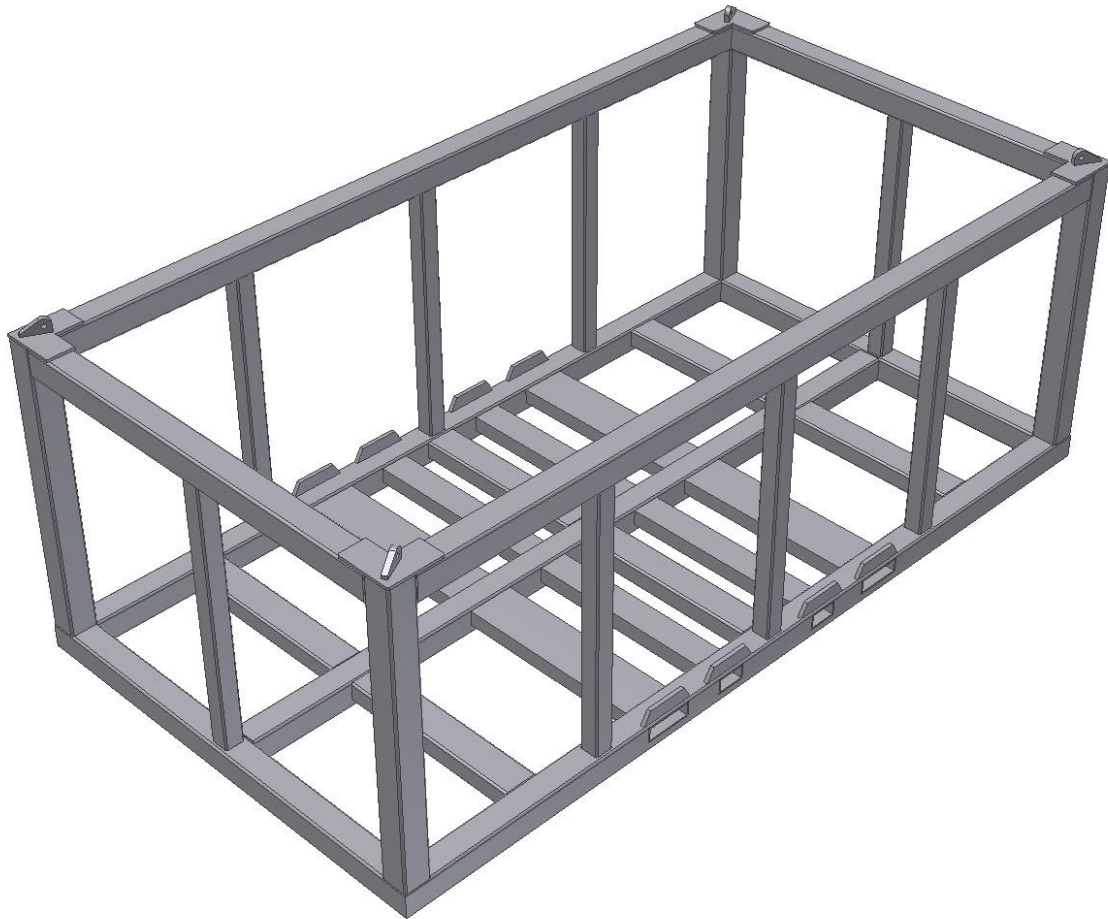
- Tilfredsstillende kraftoverføring.
- Veier mindre.
- Få deler som medfører mindre kapping og som gjør produksjon billig.

Negativt:

- Noe dårligere kraftoverføring enn forslag 1 og 2 som medfører høyere maks total deformasjon.

2.4. Formgivning og design

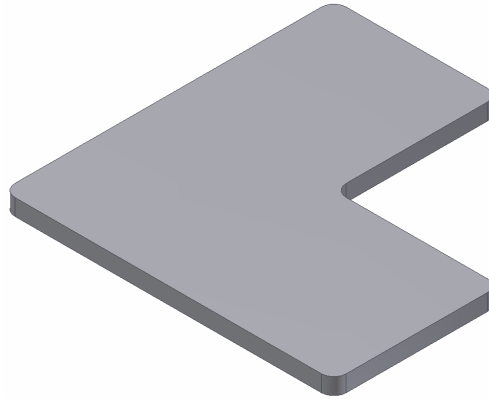
Primærstrukturen til løftekurven, som viser i Figur 2-4 er i utgangspunktet hentet fra vanlige offshore containere. Valgt fordi den er billig å produsere og sterk nok til å tilfredsstille kravene om deformasjon og tillatt spenning.



Figur 2-4: Primærstrukturen til løftekurven.

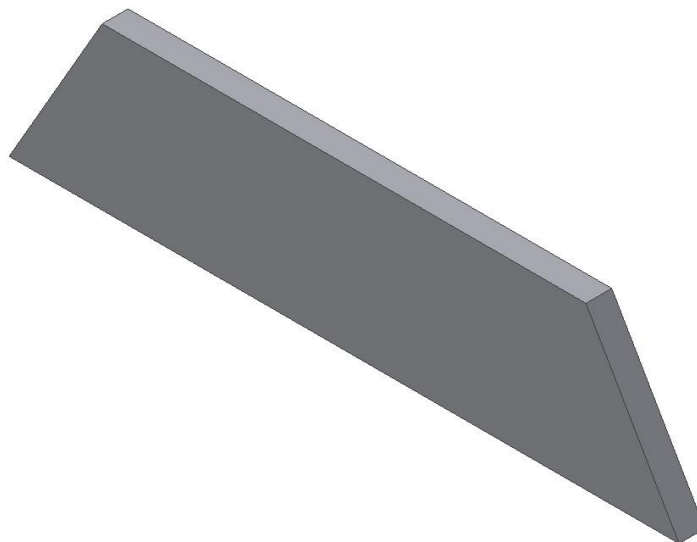


Her er en 25 mm plate sveiset til på hvert hjørne for å få bedre utmattingssegenskaper, og gjøre det enkelt å sveise løfteøret.



Figur 2-5: Støtteplate.

En 16 mm foresterkningsplate er sveiset over gaffellommene for å øke skjærspenning arealet, når kurven skal løftes enten fra løfteørene eller fra gaffellommene.

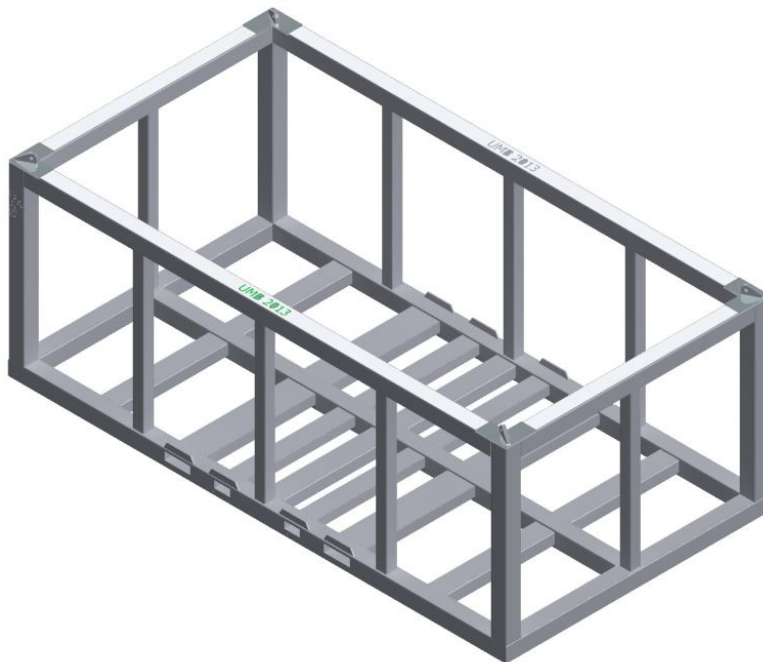


Figur 2-6: Foresterkningsplate

Kapittel 3

GRUNNLAGSBEREGNINGER

- 3.1. Statiske krefter, momenter og sikkerhet mot flyt.
- 3.1.1 Beregning av kraftkomponenter i wiren.
- 3.1.2 Beregning av ståltau (slings) lengde og vinkler i løftesettet.
- 3.1.3 Håndberegningen baseres på resultatene fra FEM analyse.
- 3.1.4 Dimensjonerende spenninger.
- 3.2. Beregning av løfteøret og valg av sjakkel.
- 3.2.1 Design av Løfteøret.
- 3.2.2 Krav til gaffellommene.
- 3.3. Sveisforbindelse for primærstrukturen.
- 3.3.1 Dimensjonering sveisforbindelse mellom løfteøret og støtteplate.
- 3.3.2 Dimensjonering sveisforbindelse mellom langsgående bunnbjelker og gaffellommene.
- 3.4. Dynamiske belastninger og sikkerhet mot utmatning.
- 3.4.1 Sveisen mellom støtteplate og løfteøret.
- 3.4.2 Sveisen mellom gaffellommene og langsgående bunnbjelker.
- 3.5. Knekking.



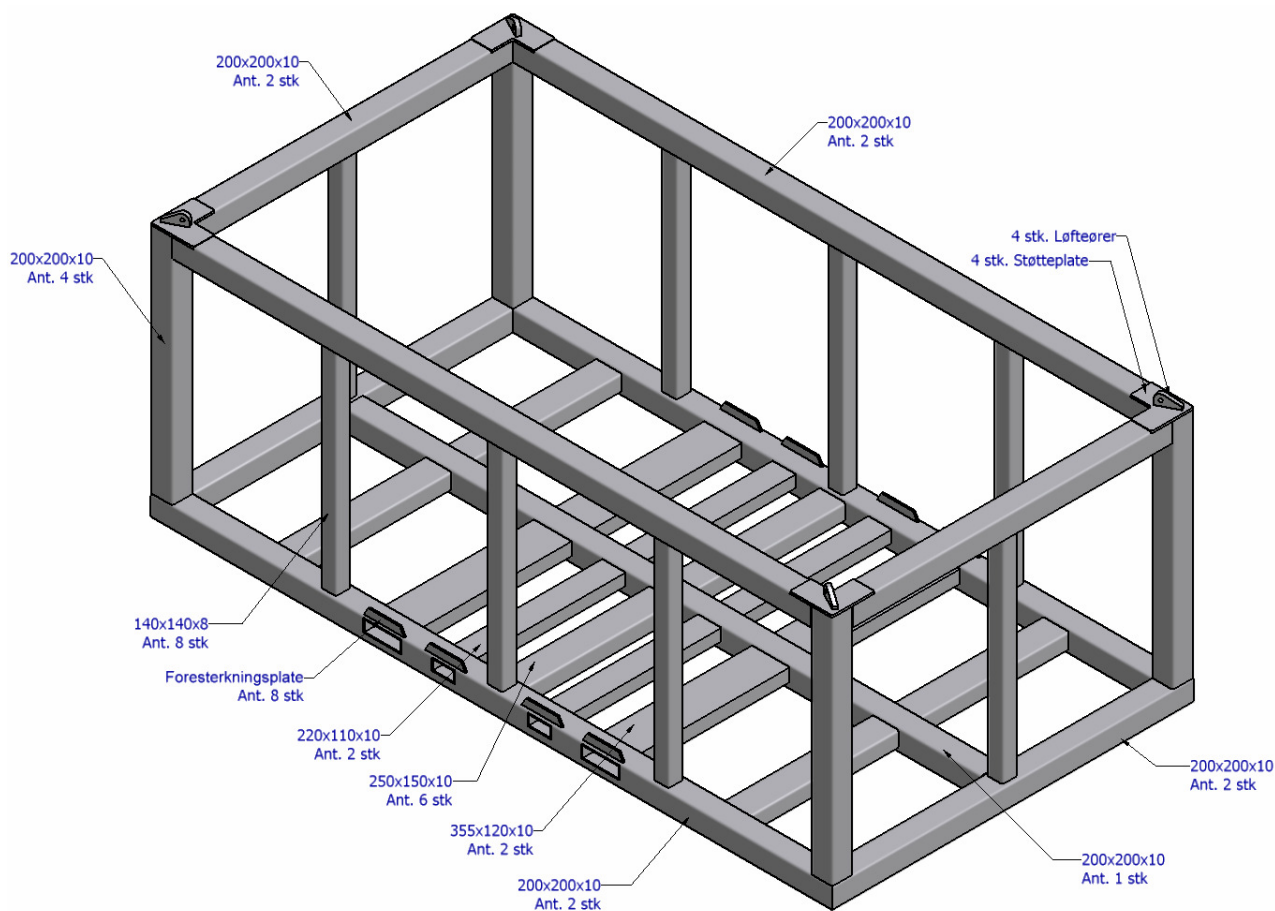
Det er kun primærstrukturen som skal beregnes.

3.1. Statiske krefter, momenter og sikkerhet mot flyt

Det er primærstrukturen som danner grunnlaget for og skal være med i beregningene etter pkt 4.1.1 [4].

Tabell 3-1: Profiler og elementer som danner primærstruktur.

Profiltype/Elementer	Vekt (kg)	Antall (stk.)	Total vekt (kg)
200x200x10	124,40	4	497,60
200x200x10	164,22	2	328,44
200x200x10	335,20	2	670,40
200x200x10	182,30	2	364,60
200x200x10	332,21	2	664,42
200x200x10	320,82	1	320,82
140x140x8	61,80	8	494,40
355x120x10	218,70	2	437,40
220x110x10	151	2	302
250x150x10	79,52	6	477,12
Løfteøret	4,23	4	16,92
Støtteplate	23,43	4	93,72
Forsterkningsplater	3,00	8	24,00
		Sum	4691,84



Figur 3-1: Primærstrukturen.

Beregning av primærstrukturens egenvekt:

Tabell 3-1 viser egenvekten til elementene som skal inn i beregningen.

$$T = 4691,84 \text{ kg}$$

$$P = 10\,000 \text{ kg}$$

$$R = P + T$$

$$= 10\,000 + 4692 = 14\,692 \text{ kg}$$

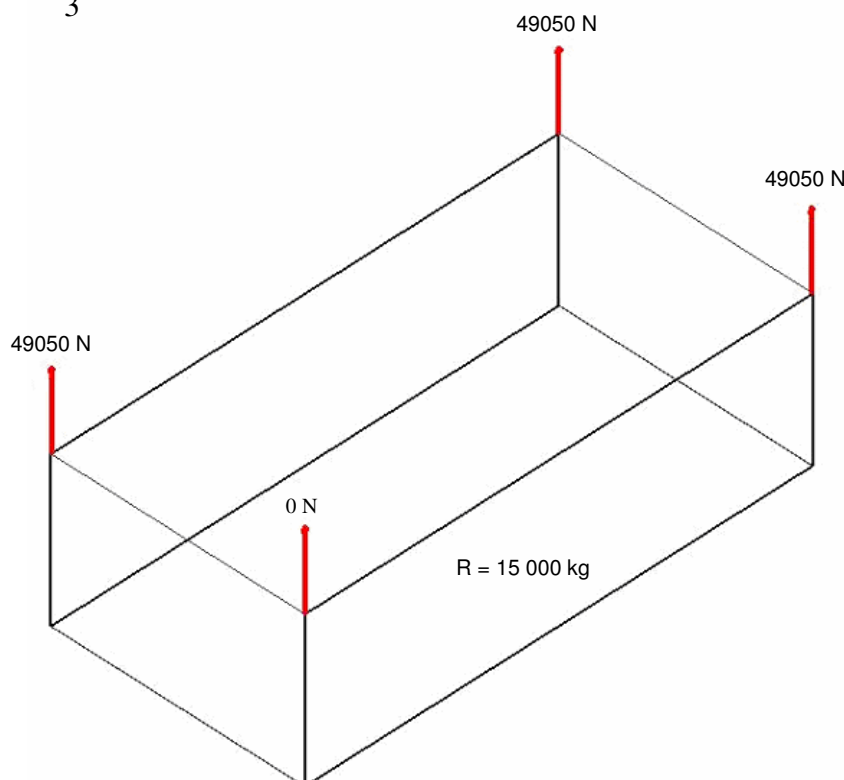
I henhold til Rules for Planning and Execution of Marine Operations, Part1, chapter 3, section 3.5, skal R multiplisere med 1,03 (3 %) for å ta med unøyaktighet i vekten etter konstruksjon og fabrikasjon, da blir $R = 1,03 \times 14\,692 = 15\,133 \text{ kg}$, velger $R = 15\,000 \text{ kg}$

Beregning av kraft i vertikal retning:

En 4-part løfteskrev skal gis samme tilsatte arbeidsbelastning som et liknende 3-part redskap. Årsaken er at man sjelden oppnår lik belastning på hver part. Ved bruk av 4-partig skrev regnes vinkelen mellom diagonale parter. (D.v.s. at 3 stropper tar imot belastningen mens den fjerde stroppen er for å holde balansen)

Uten standard og uten sikkerhetsfaktor deles lasten på 3 stropper i vertikal retning F_y . Her er total vekt $R = 15\,000 \text{ kg}$. Figur 3-2 viser beregningsprinsippet

$$F_y = \frac{R \cdot g}{3} = \frac{15000 \cdot 9,81}{3} = 49050 \text{ N}$$



Figur 3-2: Vertikal last.

3.1.1 Beregning av kraftkomponenter i wiren

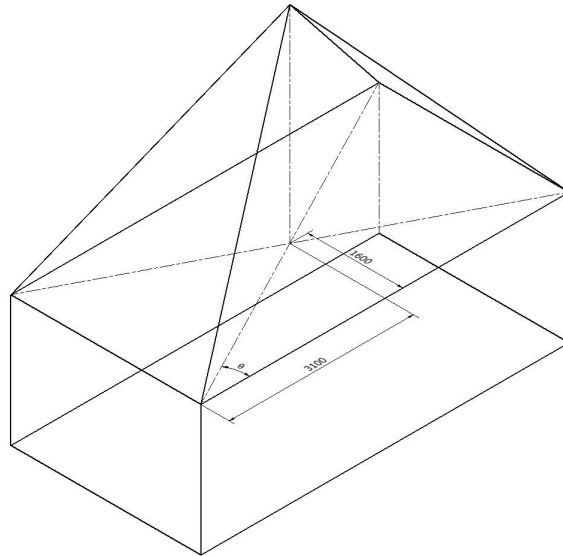
Horisontal kraft som er mot senter av kurven F_H er lik F_y på grunn av 45° . For å finne F_x og F_z trenger man vinkelen i horisontal planet. Fra Figur 3-3 og Figur 3-4 kan vi beregne vinkelen i horisontal planet og kraftkomponenter i ståltauet:

$$\tan \theta = \frac{1600}{3100}$$

$$\Rightarrow \theta = 27,3^\circ$$

Når vi ikke tar hensyn til sikkerhets faktor kan vi beregne kraftkomponenter i ståltau:

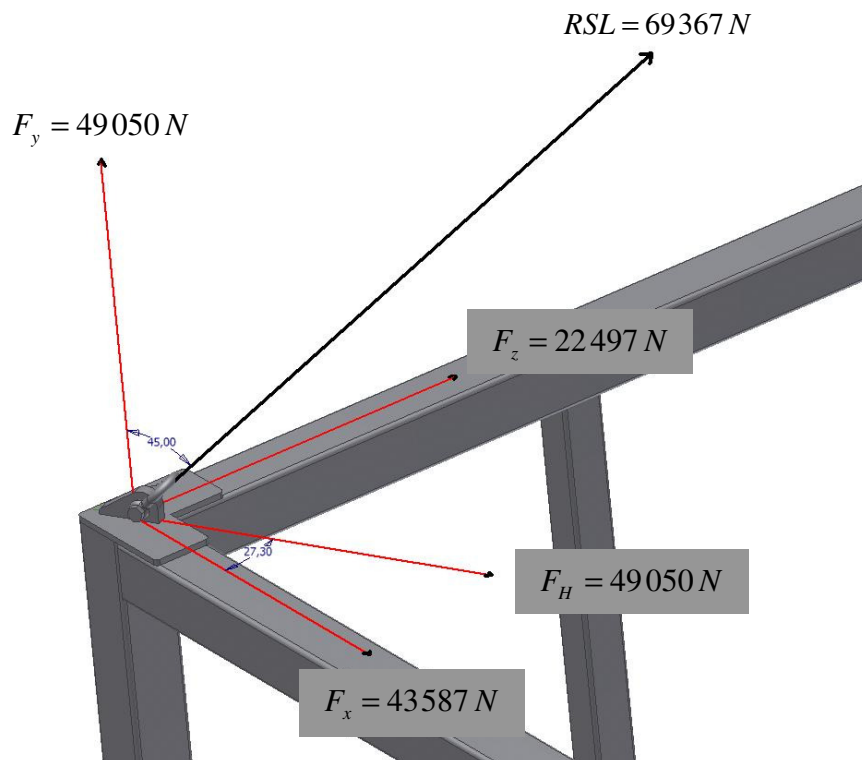
$$RSL = \frac{F_y}{\cos 45} = 69367 \text{ N}$$



Figur 3-3: Viser diagonal vinkel.

$$F_x = F_H \cdot \cos 27,3 = 49050 \cdot \cos 27,3 = 43587 \text{ N}$$

$$F_z = F_H \cdot \sin 27,3 = 49050 \cdot \sin 27,3 = 22497 \text{ N}$$



Figur 3-4: Viser hvordan F_x , F_y og F_z danner resultantkraften.

3.1.2 Beregning av ståltau (slings) lengde og vinkler i løftesettet

Her har jeg tatt dimensjoner på kurven fra senter til senter av profilen d.v.s. *innvendig mål + utvendig mål*

$$CL = \frac{6000 + 6400}{2} = 6200, \quad CB = \frac{3400 + 3000}{2} = 3200, \quad CH = \frac{2400 + 2000}{2} = 2200$$

Samme gjelder for høyde og bredde, og det er de samme dimensjonene jeg har brukt i Anslys Classic

$$\text{Sling lengde } SL \text{ beregnes etter formelen } SL = \frac{\sqrt{(CL)^2 + (CB)^2}}{2 \cdot \sin \beta}$$

$$SL = \frac{\sqrt{(6200)^2 + (3200)^2}}{2 \cdot \sin 45} \Rightarrow SL = 4934 \text{ mm} \quad (1)$$

NB! 'SL' er regnet ut teoretisk, dvs. i virkeligheten vil slingslengde beregnes etter lengden og bredden mellom løfteørehullene, etter at løfteørene er plassert på hovedrammen. Dette gir litt avvik i slingslengde enn det som er beregnet i (1). Løftearrangementet skal designes med en tilstrekkelig lengde slik at operatøren enkelt kan koble løftet til løfteinnretning. Toppløkke skal kunne nå ned til en høyde lavere en 1,3m når slings henger ned på langsiden av løfteenheten, etter pkt. 8.3 [4].

For å finne lengden på forløper, må vi finne avstanden fra løftehode til nederste kanten av konteineren og jeg kaller den for $H_{\text{løftehode}}$ så:

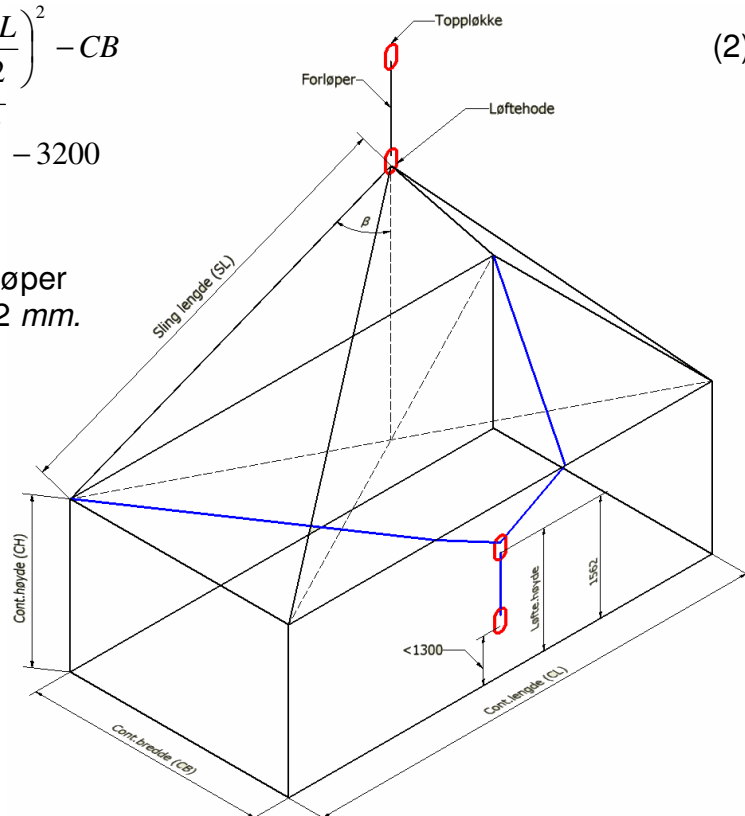
$$H_{\text{løftehode}} = CH - \sqrt{(SL)^2 - \left(\frac{CL}{2}\right)^2} - CB \quad (2)$$

$$= 2200 - \sqrt{(4934)^2 - \left(\frac{6200}{2}\right)^2} - 3200$$

$$H_{\text{løftehode}} = 1562 \text{ mm}$$

Da minimum lengde av forløper skal være $1562 - 1300 = 262 \text{ mm}$.

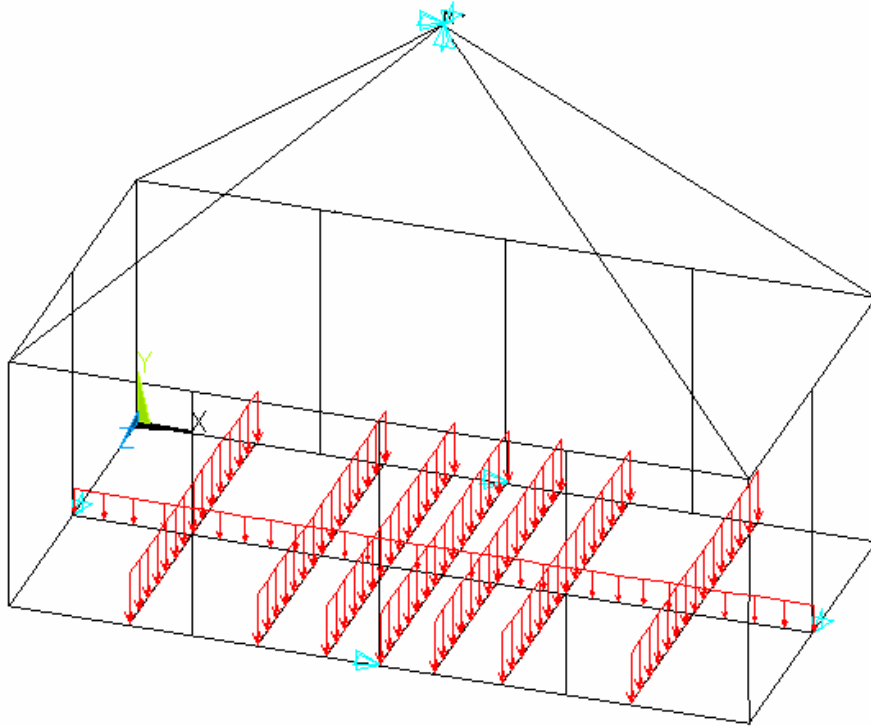
Se Figur 3-5.



Figur 3-5: Sling lengde og avstand fra løftehodet til nederste kant.

3.1.3 Håndberegningen baseres på resultatene fra FEM analyse

I henhold til DNV 2.7-1, Appendix C, "Calculation of the Frame", skal resultatene fra FEM analyse brukes til håndberegning. Lasten skal fordeles så realistisk som mulig. Bunnbjelkene på kurven skal belastes med jevnfordelt last, se Figur 3-6.



Figur 3-6: Lastfordeling.

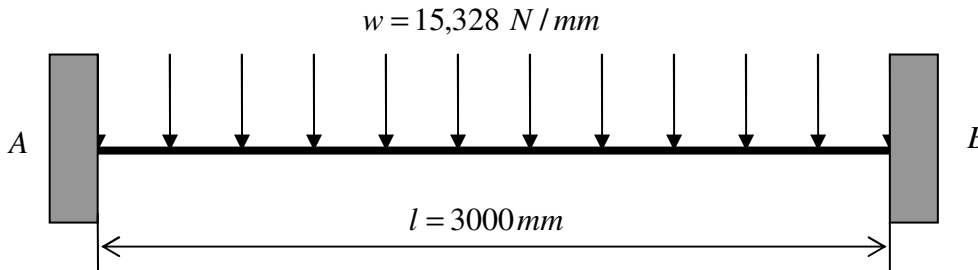
Note: Det er noe avvik i resultatene fra Ansys kontra virkeligheten på grunn av forskjellen i tverrsnittet mellom Ansys og tabeller. Dette p.g.a. Ansys ikke tillater modellering av profil med utvendig hjørneradius som har noe lavere areal og annet arealmoment, mens reell dimensjonering skal basere seg på dette. Ved å manipulere dette skal bjelkens profiler tykkelse i Ansys forandres (for eksempel 9 mm veggtykkelse istedenfor 10 mm) for å oppnå tilnærmet likt areal samt annet arealmoment på profilet som modelleres i forhold til profilet som skal brukes for å fabrikere kurven.

Vedlegg A og B viser bjelkens dimensjoner til den som skal brukes til å fabrikere løftekurven. Figurene 3-8 og 3-10 viser bjelkens dimensjoner som ble modifisert til tilpasse dimensjonene i vedlegg A og B.



For å verifisere om resultatene fra FEM analyse stemmer med fasthetslære, regler og lover, skal for eksempel resultatene fra FEM analyse av midt bærebjelken brukes til å finne jevnføringsspenningen. Bjelken har rektangulært profil 250x150x10 og det antas at den er fast innspent i begge endene og at den

belastes med jevnfordelt last på $\frac{2.5 \cdot 15000 \cdot 9,81}{8 \cdot 3000} = 15,328 \text{ N/mm}$. Figur 3-7.



Figur 3-7: Innspent bunnbjelke og last.

Resultattabell fra FEM analyse for den midtre bærebjelken er vist under "maks resultater merket med gul".

Areal og annet areal moment er vist i Figur 3-8.

Maks bøyemoment om y-y akse:

$$M_y = 19,30 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$

Fra fasthetslære:

$$\sigma_{by} = \frac{M_{maks} \cdot y}{I_{yy}} = \frac{19,30 \cdot 10^6 \cdot \frac{150}{2}}{26,2 \cdot 10^6} = 55,25 \text{ MPa} \tag{3}$$

σ_{by} = bøyespenningen om y- akse.

Strekkspenningen på grunn av F_x

$$\sigma_s = \frac{F_x}{A}$$

$$A = 6985 \text{ mm}^2, .$$

$$\sigma_s = \frac{3035}{6985} = 0,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_n = \sigma_{by} + \sigma_s = 55,25 + 0,43 = 55,68$$

Jevnføringsspenningen:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau^2} = \sqrt{55,68^2} = 55,68 \text{ MPa} \tag{4}$$

Tabell 3-2: Resultattabell fra Ansys.

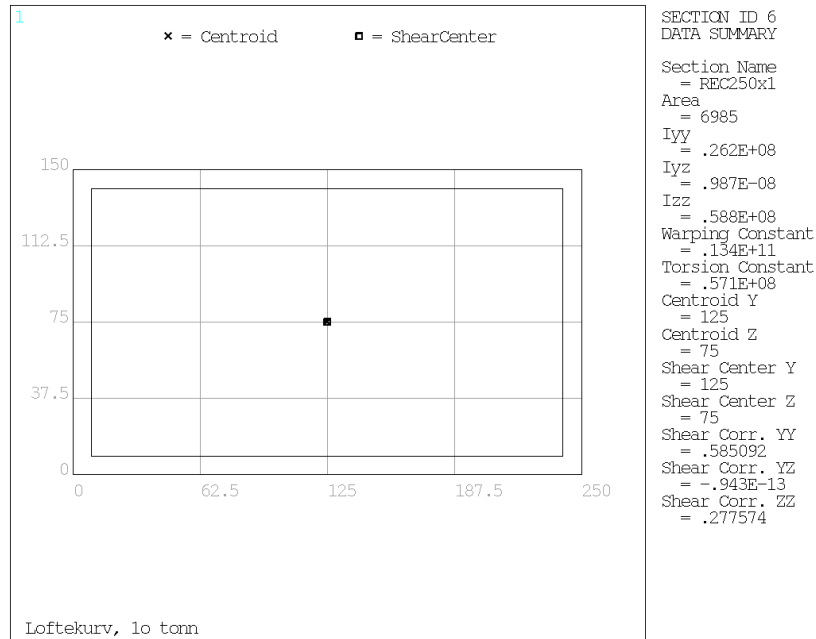
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****

STAT ELEM	CURRENT FX	CURRENT MY	CURRENT MZ	CURRENT MZ
379	3035,6	19,769	0,55535E+07	5219,3
380	3035,6	19,769	-0,40038E+06	5529,4
381	3035,6	19,769	-0,55535E+07	5839,4
382	3035,6	19,769	-0,99058E+07	6149,5
383	3035,6	19,769	-0,13457E+08	6459,5
384	3035,6	19,769	-0,16208E+08	6769,6
385	3035,6	19,770	-0,18158E+08	7079,6
386	3035,3	-19,765	-0,19307E+08	7389,7
387	3035,3	-19,764	-0,18158E+08	7079,6
388	3035,3	-19,764	-0,16208E+08	6769,6
389	3035,3	-19,764	-0,13457E+08	6459,5
390	3035,3	-19,764	-0,99058E+07	6149,5
391	3035,3	-19,764	-0,55535E+07	5839,4
392	3035,3	-19,764	-0,40043E+06	5529,4

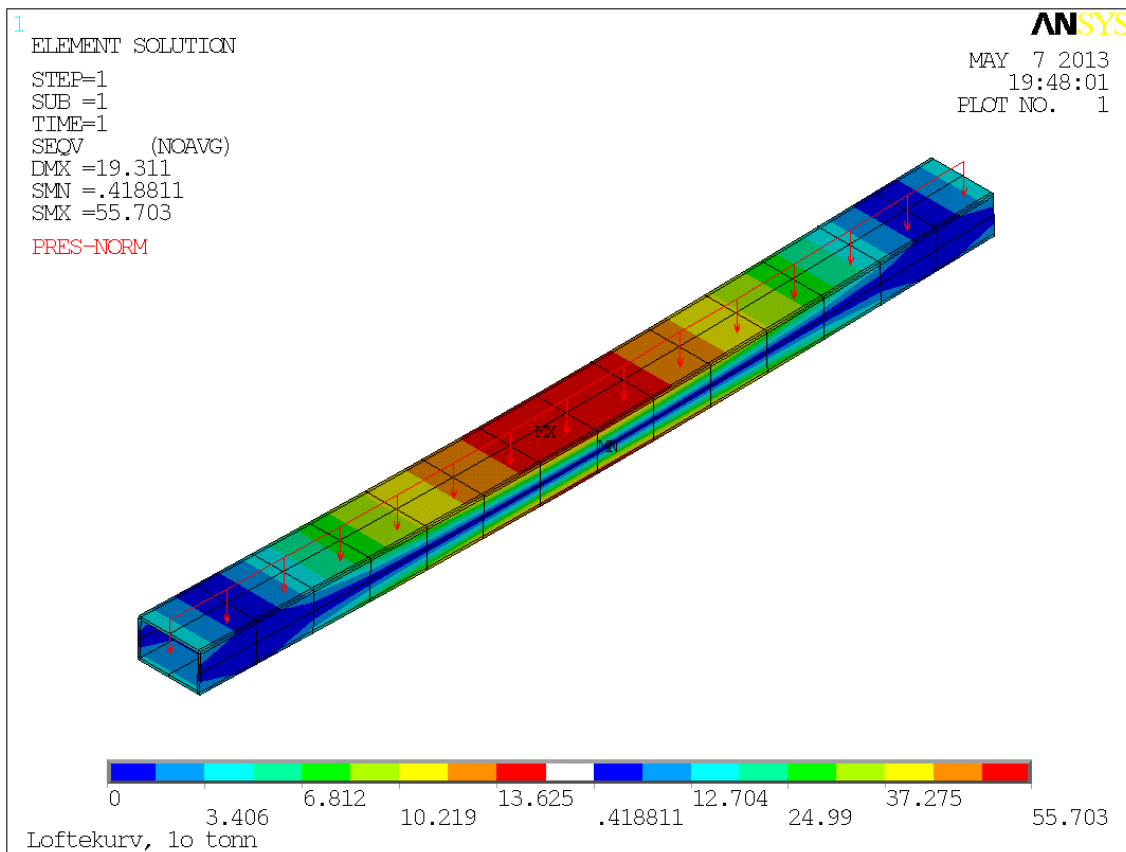
MINIMUM VALUES			
ELEM	VALUE	ELEM	VALUE
390	3035,3	386	-19,765
		386	-0,19307E+08
		379	5219,3

MAXIMUM VALUES			
ELEM	VALUE	ELEM	VALUE
381	3035,6	385	19,770
		379	0,55535E+07
		386	7389,7



Figur 3-8: Bjelkens tverrsnitt (Utklipp fra Ansys).

Figur 3-9 viser resultatene fra Ansys Classic for den midtre bærebjelken. Vi kan se at resultatene stemmer godt med håndberegningen.



Figur 3-9: Ansys- resultater for den midtre bærebjelken.



Samme beregning for den langsgående midtre bærebjelke.

$$\text{Bjelken ble belastet med } \frac{2.5 \cdot 15000 \cdot 9,81}{8 \cdot 6000} = 7,67 \text{ N/mm}$$

Resultattabell fra Ansys vises under "maks resultater merket med gul". Areal og annet areal moment er vist i Figur 3-10.

Maks bøyemoment:

$$M_y = 30,55 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$

Fra fasthetslære:

$$\sigma_b = \frac{M_{maks} \cdot y}{I_{yy}} = \frac{30,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{200}{2}}{42,5 \cdot 10^6} = 71,89 \text{ MPa}$$

Strekkspenningen på grunn av F_x :

$$\sigma_s = \frac{F_x}{A}$$

$$A = 6985 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{17445}{6985} = 2,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_n = \sigma_b + \sigma_s = 71,89 + 2,50 = 74,39 \text{ MPa}$$

Tabell 3-3: Resultattabell fra Ansys.

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****

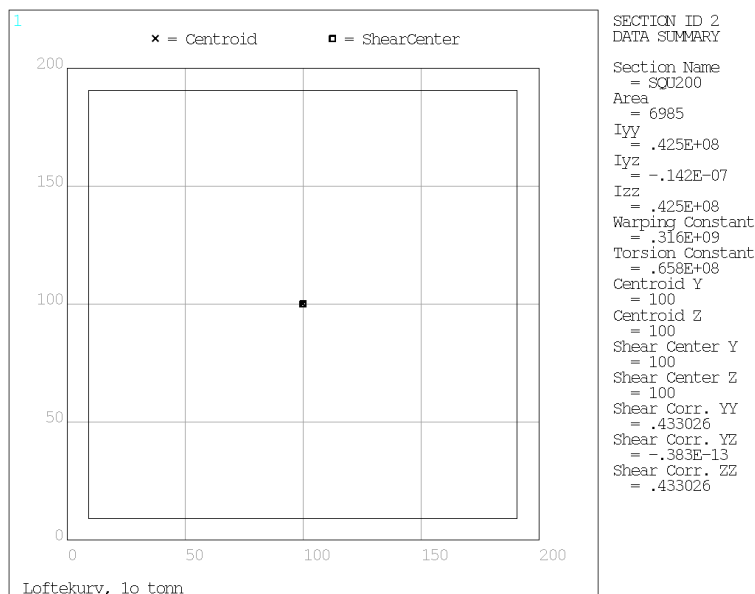
STAT ELEM	CURRENT FX	CURRENT MX	CURRENT MY	CURRENT MZ
173	13101.	-1.0220	0.27293E+08	-3608.8
174	13101.	-1.0219	0.17834E+08	-2544.4
175	13101.	-1.0218	0.88540E+07	-1480.1
176	13101.	-1.0217	0.35328E+06	-415.74
177	14929.	0.42856	-0.12817E+07	673.07
178	14929.	0.42874	-0.67750E+07	1265.0
179	14929.	0.42893	-0.11914E+08	1857.0
180	14929.	0.42914	-0.16699E+08	2448.9
181	14929.	0.42936	-0.21129E+08	3040.8
182	17178.	-0.31350E-01	-0.22386E+08	3731.1
183	17178.	-0.31086E-01	-0.25387E+08	4077.6
184	17178.	-0.30814E-01	-0.28107E+08	4424.1
185	17444.	-1.1235	-0.30034E+08	4800.4
186	17444.	-1.1233	-0.29879E+08	4717.9
187	17445.	1.1540	-0.29336E+08	4635.3
188	17445.	1.1542	-0.29879E+08	4717.9
189	17185.	0.71175E-01	0.30545E+08	4770.6
190	17185.	0.71446E-01	0.28107E+08	4424.1
191	17185.	0.71709E-01	0.25387E+08	4077.6
192	14955.	-0.42750	-0.25206E+08	3632.8
193	14955.	-0.42728	-0.21129E+08	3040.9
194	14955.	-0.42708	-0.16699E+08	2448.9
195	14955.	-0.42688	-0.11914E+08	1856.9
196	14955.	-0.42670	-0.67749E+07	1265.0
197	13124.	0.98115	0.76683E+07	648.59
198	13124.	0.98128	0.35360E+06	-415.79
199	13124.	0.98140	0.88545E+07	-1480.2
200	13124.	0.98150	0.17834E+08	-2544.5

MINIMUM ELEM VALUE	VALUES	175	185	189	173
VALUE	13101.	-1.1235	-0.30545E+08	-3608.8	

MAXIMUM ELEM VALUE	VALUES	187	188	173	185
VALUE	17445.	1.1542	0.27293E+08	4800.4	

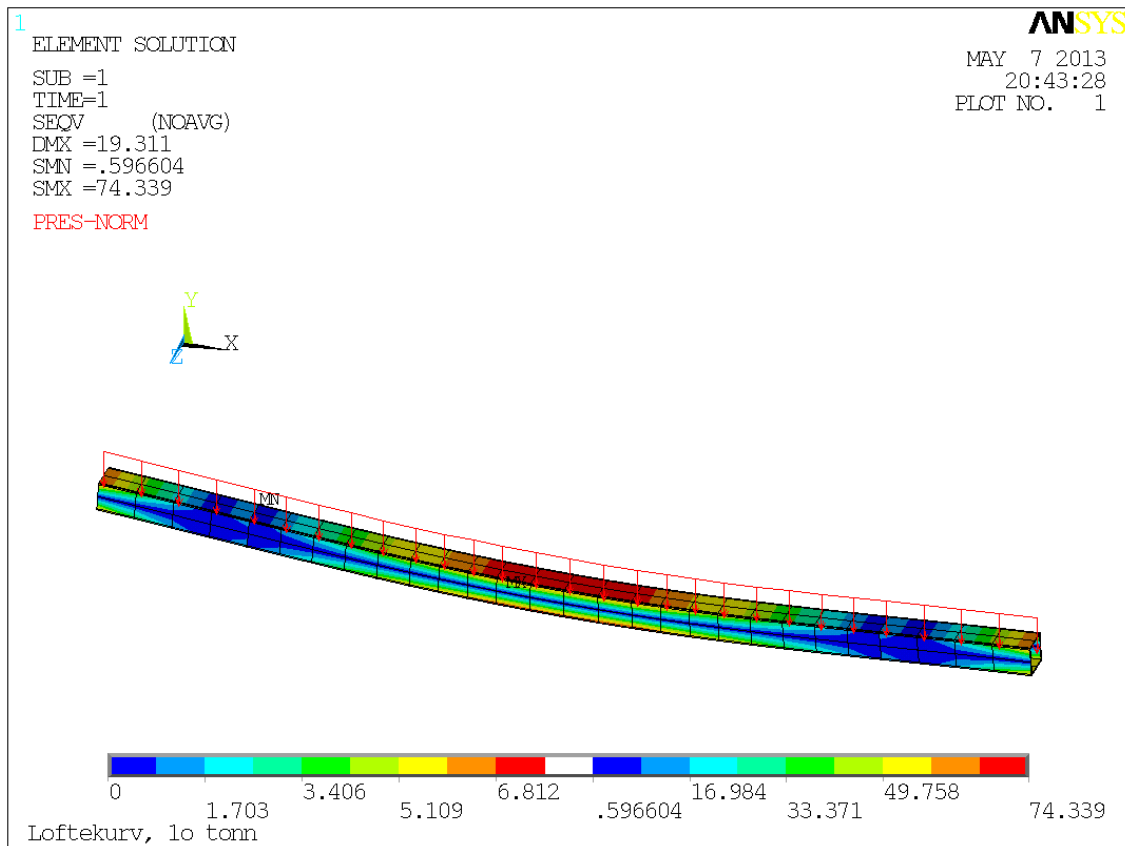
Jevnføringsspenningen:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau^2} = \sqrt{74,39^2} = 74,39 \text{ MPa} \tag{4}$$



Figur 3-10: Bjelkens tverrsnitt (Utklipp fra Ansys).

Figur 3-11 viser resultatene fra Ansys Classic for den langsgående midtre bærebjelken. Vi kan se at resultatene stemmer godt med håndberegningen.



Figur 3-11: Ansys- beregning for den langsgående midtbærebjelken.

3.1.4 Dimensjonerende spenninger

Det er i denne oppgaven gjort styrkeberegninger av statiske krefter og momenter, etter pkt. 4.2.1 [4].

Dersom jevnføringsspenningen ikke overskrider spenningen nedenfor vil løftekurven tilfredsstillere kravene mot flyt.

Stål S355

$$\sigma_{maks} \leq 0,85 \cdot f_y = 0,85 \cdot 355 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$\sigma_{maks} \leq 301,75 \text{ MPa}$$



3.2. Beregning av løfteøret og valg av sjakkel

Beregningene av løfteøret og valg av sjakler er gjort i henhold til DNV 2.7-1 og sammenligning mot DNV 2.7-3. Løfteøret designes ved å finne sjakkeldimensjonen. Så velges størrelse på sjakkelen iht. DNV 2.7-1, som vist under: ved R = 15 000 kg med 4 slinger, og 45° til vertikal.

- **Sling dimensjon:**

Fra Tabell 3-4, $WLL_{min} = 19,20\text{ tonn}$, og fra Tabell 3-5 for fire sling med 45° velger sling diameter for $WLL \geq 19,20\text{ tonn}$ "market med gul".

Sling diameter = 32 mm
 Forløper diameter = 44 mm

Tabell 3-4: Minimum tillat arbeidslast for løftutstyr. (DNV2.71, Tabell 8-1).

Rating (kg)	Enhancement factor	Minimum required Working Load Limit (WLL _{min}) (t)
500	-	7.00
1 000	-	7.00
1 500	-	7.00
2 000	3.500	7.00
2 500	2.880	7.20
3 000	2.600	7.80
3 500	2.403	8.41
4 000	2.207	8.83
4 500	1.962	8.83
5 000	1.766	8.83
5 500	1.766	9.71
6 000	1.766	10.59
6 500	1.733	11.26
7 000	1.700	11.90
7 500	1.666	12.50
8 000	1.633	13.07
8 500	1.600	13.60
9 000	1.567	14.10
9 500	1.534	14.57
10 000	1.501	15.01
10 500	1.479	15.53
11 000	1.457	16.02
11 500	1.435	16.50
12 000	1.413	16.95
12 500	1.391	17.38
13 000	1.368	17.79
13 500	1.346	18.18
14 000	1.324	18.54
14 500	1.302	18.88
15 000	1.280	19.20
15 500	1.267	19.64
16 000	1.254	20.06
16 500	1.240	20.47
17 000	1.227	20.86
17 500	1.214	21.24
18 000	1.201	21.61
18 500	1.188	21.97
19 000	1.174	22.31
19 500	1.161	22.64
20 000	1.148	22.96
20 500	1.143	23.44
21 000	1.139	23.92
21 500	1.135	24.39
22 000	1.130	24.86
22 500	1.126	25.33
23 000	1.121	25.79
23 500	1.117	26.25
24 000	1.112	26.70
24 500	1.108	27.15
25 000	1.104	27.59

Tabell 3-5: Velg av slings og forløpersdiameter. (DNV 2.7-1, Tabell E-2).

Nominal size of sling (mm)	Single leg sling and forerunners	Working Load Limits in tonnes									
		Four leg slings at					Two leg slings at				
		45°	40°	35°	30°	25°	45°	40°	35°	30°	25°
18 ¹⁾	3.40	7.2	7.8	8.4	8.8	9.2	[4.8]	[5.2]	[5.6]	[5.9]	[6.2]
20 ¹⁾	4.35	9.2	10.0	10.7	11.3	11.8	[6.2]	[6.7]	7.1	7.5	7.9
22	5.20	11.0	12.0	12.8	13.5	14.1	7.4	8.0	8.5	9.0	9.4
24	6.30	13.4	14.5	15.5	16.4	17.1	8.9	9.7	10.3	10.9	11.4
26	7.20	15.3	16.5	17.7	18.7	19.6	10.2	11.0	11.8	12.5	13.1
28	8.40	17.8	19.3	20.6	21.8	22.8	11.9	12.9	13.8	14.5	15.2
32	11.0	23.3	25.3	27.0	28.6	29.9	15.6	16.9	18.0	19.1	19.9
36	14.0	29.7	32.2	34.4	36.4	38.1	19.8	21.4	22.9	24.2	25.4
40	17.0	36.1	39.1	41.8	44.2	46.2	24.0	26.0	27.9	29.4	30.8
44	21.0	44.5	48.3	51.6	54.6	57.1	29.7	32.2	34.4	36.4	38.1
48	25.0	53.0	57.5	61.4	65.0	68.0	35.4	38.3	41.0	43.3	45.3
52	29.0	61.5	66.6	71.3	75.3	78.8	41.0	44.4	47.5	50.2	52.6
56	33.5	71.1	77.0	82.3	87.0	91.1	47.4	51.3	54.9	58.0	60.7
60	39.0	82.7	89.6	95.8	101.3	106.0	55.2	59.8	63.9	67.5	70.7

1) Ropes with WLL values below 7.0 may not be used on offshore containers, ref. Table 8-1 in Section 8.



- **Sjakkell dimensjon:**

Fra Tabell 3-6

$$WLL_{\min} = 19,20 \text{ tonn}$$

$$WLL_s = \frac{19,20}{3 \cdot \cos 45^\circ} = 9,1 \text{ tonn} \quad (6)$$

Velger sjakkell for $WLL \geq 9,1 \text{ tonn}$ fra tabeller for godkjente sjakler i henhold til DNV, velger $WLL_s = 9,5 \text{ tonn}$.

Sjakkell skal ha løs mutter som er sikret med splint.

Tabell 3-6: Minimum sjakkell arbeidslast (DNV 2.7-1, Tabell 8-2).

Table 8-2 Minimum shackle working load limit (WLL _s)		
<i>Required Minimum shackle WLL_s</i>		
4 legged sling	2 legged sling	Single leg sling
$WLL_{\min} / (3 \times \cos 45^\circ)$	$WLL_{\min} / (2 \times \cos 45^\circ)$	WLL_{\min}

3.2.1 Design av Løfteøret

Beregningen i henhold til DNV 2.7-1:

Løfteøret skal dimensjoneres for sjakkelen som skal brukes. Sjakkeldimensjonene som er viktige for design av løfteøret er følgende: sjakkkel bolt diameter(d), innside bredde(a) og innside lengde(c), se Figur 3-12.

Material til løfteøret er av typen stål S420MLH hvor, $f_y = 420 \text{ MPa}$ og $f_u = 500 \text{ MPa}$

For å hindre sideveis bøyemomenter på løfteøret, skal kreftene fra slings treffe løftesenter (centre of lift) med maksimum toleranse på $\pm 2,5^\circ$, etter pkt. 4.4.1[4]. Hull til løfteøret er anbefalt til å være rundt 4 % bredere enn boltens diameter, og ikke overstige 6 %, etter pkt. 4.4.1 [4].

Krav til hulldiameter:

$$D_H < 1,06 \cdot Pin \text{ Diam}(d). \quad (7)$$

$$D_H = 1,06 \cdot 32 = 33,92 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow D_H = 33 \text{ mm}$$

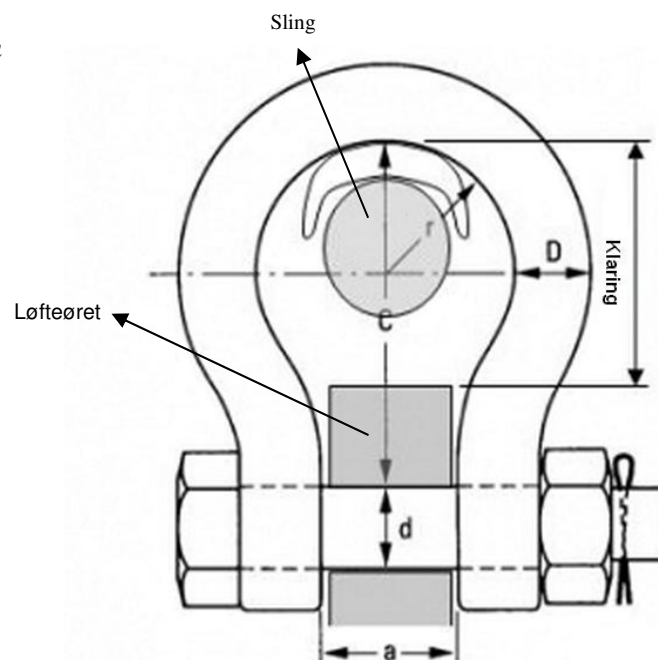
Krav til tykkelsen:

Tykkelsen (t_L) av løfteøret ved hullet skal ikke være mindre en 75 % av innsidebredden av sjakkelpinnen (a). Ved 80 % utnyttelse av (a) vil det ikke være noe reduksjon i sjakkkelens kapasitet, etter pkt. 4.4.1 [4].

Her er $a = 47 \text{ mm}$

$$t_L = 0,8 \cdot 47 = 37,6 \text{ mm}$$

$$\text{Velger } t_L = 40 \text{ mm}$$



Figur 3-12: Sjakkeldimensjon



Krav til løfteørets radius:

Iht. Appendix D, D.3 [4], $f_y \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot H \cdot t_L - D_H \cdot t_L}$ (her er $f_y = R_e$), så er den minste radius på løfteøret (H) den korteste avstanden fra sentrum av bolthull til kanten av løfteøret i mm, omskrevet m.h.p. H blir formelen:

$$H \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot t_L \cdot f_y} + \frac{D_H}{2}$$

Resultantkraft per ståltau i Newton etter pkt. 4.2.3 [4] finnes fra:

$$RSL = \frac{3 \cdot R \cdot g}{(n-1) \cdot \cos \nu} \quad (9)$$

der n = antall tau og $\nu = 45^\circ$

$$RSL = \frac{3 \cdot 15000 \cdot 9,81}{(4-1) \cdot \cos 45^\circ} = 208102 N$$

Den minste radius på løfteøret (H) eller krav til utrivning:

$$H \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot t_L \cdot f_y} + \frac{D_H}{2} = \frac{3 \cdot 208102}{2 \cdot 40 \cdot 420} + \frac{33}{2}$$

$$\Rightarrow H \geq 35,10 mm$$

Velger, H = 50 mm, dette vil sørge for at kraft fra sling treffer løftesenter.

Klaringen mellom kanten av løfteøret og kanten av innvendig bow sjakkell kan finnes fra:

$$KL = c + 0,5 \cdot d - H = 108 + 0,5 \cdot 32 - 50$$

$$\Rightarrow KL = 74 mm$$

Krav til utrivning:

$$f_y \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot H \cdot t_L - D_H \cdot t_L} = \frac{3 \cdot 208102}{2 \cdot 50 \cdot 40 - 33 \cdot 40} = 232,95 MPa \quad (8)$$

Krav til lager trykkspenningen:

$$f_y \geq 23,7 \cdot \sqrt{\frac{RSL}{D_H \cdot t_L}} = 23,7 \cdot \sqrt{\frac{208102}{33 \cdot 40}} = 297,58 MPa \quad (10)$$



Bestemmer meg nå for å lage løfteøret slik at resultanten av ståltaukraften (RSL) treffer i senter av grunnmaterialet løfteøret er plassert på (løftesenter). Dette er optimalt design for løfteøret og er gunstig med tanke på utmattingsegenskaper, og for å hindre sideveis bøyemoment som kan oppstå i sveisen.

Beregningen i henhold til DNV 2.7-3:

Operasjon klasse og design last velges ut fra Tabeller 3-7 og 3-8 "merket med gul", etter pkt 3.3.4 og pkt 3.5.1 [5].

Design faktor DF kan beregnes fra:

$$DF = 1,4 + 0,6 \cdot \sqrt{50/15} = 2,5 \quad (11)$$

Design last etter pkt 3.5.1 [5]:

$$F_{Air} = DF \cdot MGW \cdot g = 2,5 \cdot 15 \cdot 9,81 \quad (12)$$

$$F_{Air} = 367,875 \text{ kN}$$

Beregner resultantkraften, som virker på hvert løfteøret, etter pkt 3.5.4 [5].

$$RSF = \frac{1,2 \cdot SKL \cdot PL \cdot F}{\cos(\nu)} \quad (13)$$

Her:

$SKL =$ En faktor for sling lengde avvik = 1,25 for fire slings, etter pkt 3.5.4 [5].

$PL =$ Prosentvis last per sling = 0,25 for dobbel symmetrisk sling, etter pkt 3.5.4 [5].

$F = F_{Air} =$ design last.

$$RSF = \frac{1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,25 \cdot 367,875}{\cos(45)} = 195,10 \text{ kN} \quad (13)$$

Tabell 3-8: Valg av designfaktor.

Operational Class	MGW < 50 tonnes	MGW ≥ 50 tonnes
R60	$1.4 + 0.8 \times \sqrt{50/MGW}$	2.2
R45	$1.4 + 0.6 \times \sqrt{50/MGW}$	2.0
R30	$1.4 + 0.4 \times \sqrt{50/MGW}$	1.8

Tabell 3-7: Valg av operasjon klasse.

Type	Risk	MGW	Class
A	Low	MGW ≤ 25 t	R60
A	Low	MGW > 25 t	R45
A	High	MGW ≤ 25 t	R45
A	High	MGW > 25 t	R30
B	Low	MGW ≤ 15 t	R60
B	Low	MGW > 15 t	R45
B	High	MGW ≤ 15 t	R45
B	High	MGW > 15 t	R30
C	High ^{a)}	MGW ≤ 15 t	R45
C	High ^{a)}	MGW > 15 t	R30
D	High/Low ^{b)}	MGW ≤ 10 t	R45
D	High/Low ^{b)}	MGW > 10 t	R30
E	Low	MGW ≤ 15 t	R60
E	Low	MGW > 15 t	R45
E	High	MGW ≤ 15 t	R45
E	High	MGW > 15 t	R30

^{a)} Type C have normally no requirements to impact load calculations, see notes in 3.6.2 and 3.6.3, and should be considered as "High" risk PO Units

^{b)} R60 (R45 for MGW > 10 t) could be applicable if it is documented that the evaluated risk is "Low" and the PO Unit global structural integrity is not sensitive to substantial local skin damage.



Beregn WLL for sjakler, etter pkt 7.3.3 [5]:

$$WLL \geq \frac{RSF \cdot 0,45}{g} \cdot \left(\frac{1}{1000} \right) = \frac{195100N \cdot 0,45}{9,81} = 8,95 \text{ tonn} \quad (14)$$

Velger sjakkeldimensjon $\geq 8,95 \text{ tonn}$ og den samme sjakkeldimensjon som ble beregnet etter DNV 2.7-1.

I henhold til sjakkeldimensjonen velger jeg total tykkelse på løfteøret, $t_L = 40 \text{ mm}$, og sideplatens tykkelse $t_{ch} = 8 \text{ mm}$ for hver sideplate, da blir løfteøretplate tykkelse, $t_{pl} = 24 \text{ mm}$.

Radius til løfteøret:

$$R_{pad} = \frac{R_{pl} \cdot t_{pl} + 2 \cdot R_{ch} \cdot t_{ch}}{t_L} = \frac{50 \cdot 25 + 2 \cdot 32,5 \cdot 8}{40} = 44,25 \text{ mm} \quad (15)$$

Velger, $R_{pad} = 50 \text{ mm}$.

Hvis, $D_{pin} \geq 0,94 \cdot D_H \Rightarrow 32 \geq 0,94 \cdot 33$, så følgende kriterium gjelder, etter Appendix A, A3 [5]:

$$\sigma_e \geq 0,045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t_L}} = 0,045 \cdot \sqrt{\frac{195100 \cdot 210000}{33 \cdot 40}} = 250,71 \text{ MPa} \quad (16)$$

$$\sigma_e \leq 0,85 \cdot f_y \Rightarrow 0,85 \cdot 420 = 357 \text{ MPa}$$

$$357 \text{ MPa} \geq 250,71 \text{ MPa}$$

Kravene til utrivning, etter Appendix A, A4 [5]:

$$\sigma_e \geq \frac{2 \cdot RSF}{(2 \cdot R_{pad} - D_H) \cdot t_L} \geq \frac{2 \cdot 195100}{(2 \cdot 50 - 33) \cdot 40} = 145,60 \text{ MPa} \quad (17)$$

$$357 \text{ MPa} \geq 145,60 \text{ MPa}$$

Kravene til sveisen på sideplater, etter Appendix A, A5 [5]:

$$\sigma_e \geq \frac{RSF \cdot t_{ch}}{t_L \cdot D_{ch} \cdot a} \Rightarrow \frac{195100 \cdot 8}{40 \cdot 65 \cdot 4} = 150,10 \text{ MPa} \quad (18)$$

$$357 \text{ MPa} \geq 150,10 \text{ MPa}$$

Figur 3-13 Viser dimensjoner til løfteøret.

For at resultanten av ståltaukraften skal treffe bjelken i senter av grunnmaterialet løfteøret er plassert på, skal $L = 200$ mm

Så det endelige design av løfteøret er:

$$H = 50 \text{ mm}$$

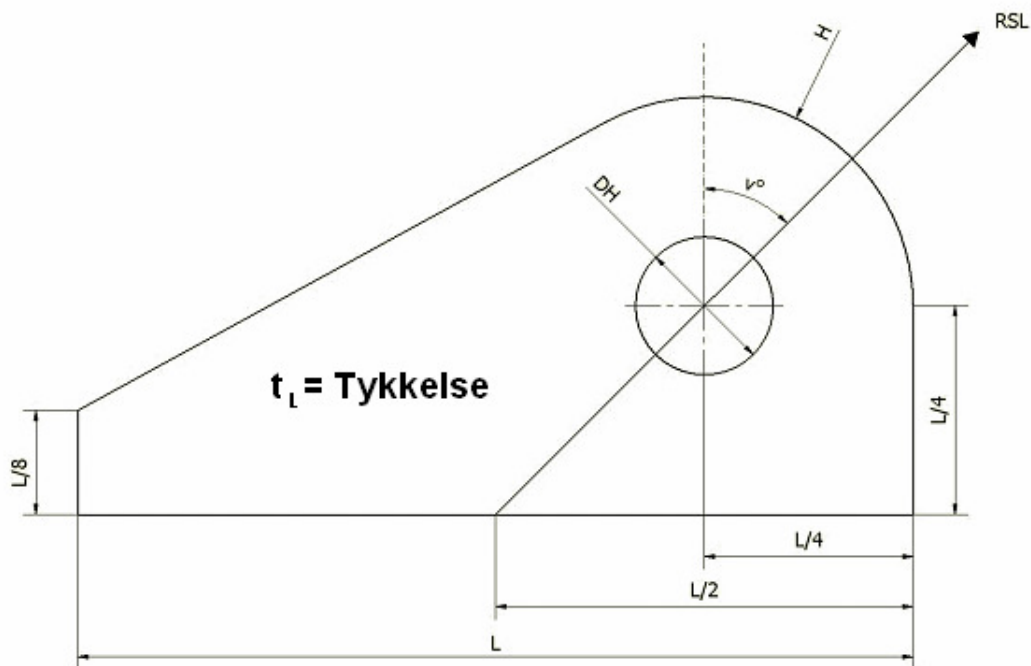
$$D_H = 33 \text{ mm}$$

$$L = 200 \text{ mm}$$

$$t_L = 40 \text{ mm}$$

$$RSL = 208,1 \text{ kN}$$

$$\nu = 45^\circ$$



Figur 3-13: Løfteørets dimensjoner.



3.2.2 Krav til gaffellommene

Her har jeg valgt å benytte to sett av gaffellommer, den ene for løfting av ubelastet kurv og den andre for belastet kurv. Den minste åpningen på gaffellommen skal være $200\text{ mm} \times 90\text{ mm}$, etter pkt. 4.4.6 [4].

Tabell 3-9 viser den minste avstanden mellom senter av gaffellommene ”market med gul”.

Tabell 3-9: Krav til avstand mellom senter av gaffellommen (DNV 2.7-1, tabell 4-1).

Table 4-1 Recommended fork pocket distances and operational limitations		
<i>Container length L (mm)</i>	<i>Min. distance between centres of pockets (mm)</i>	<i>Limitations</i>
L < 6000	According to the above requirements.	If $3000 \leq L < 6000$, the pockets for loaded handling should be spaced at least 1500 mm apart.
6 000 ≤ L ≤ 12000	2050	Pockets for loaded handling
	900	Pockets for empty handling
12000 < L ≤ 18000	2050	Empty handling only
L > 18000	-	No pockets

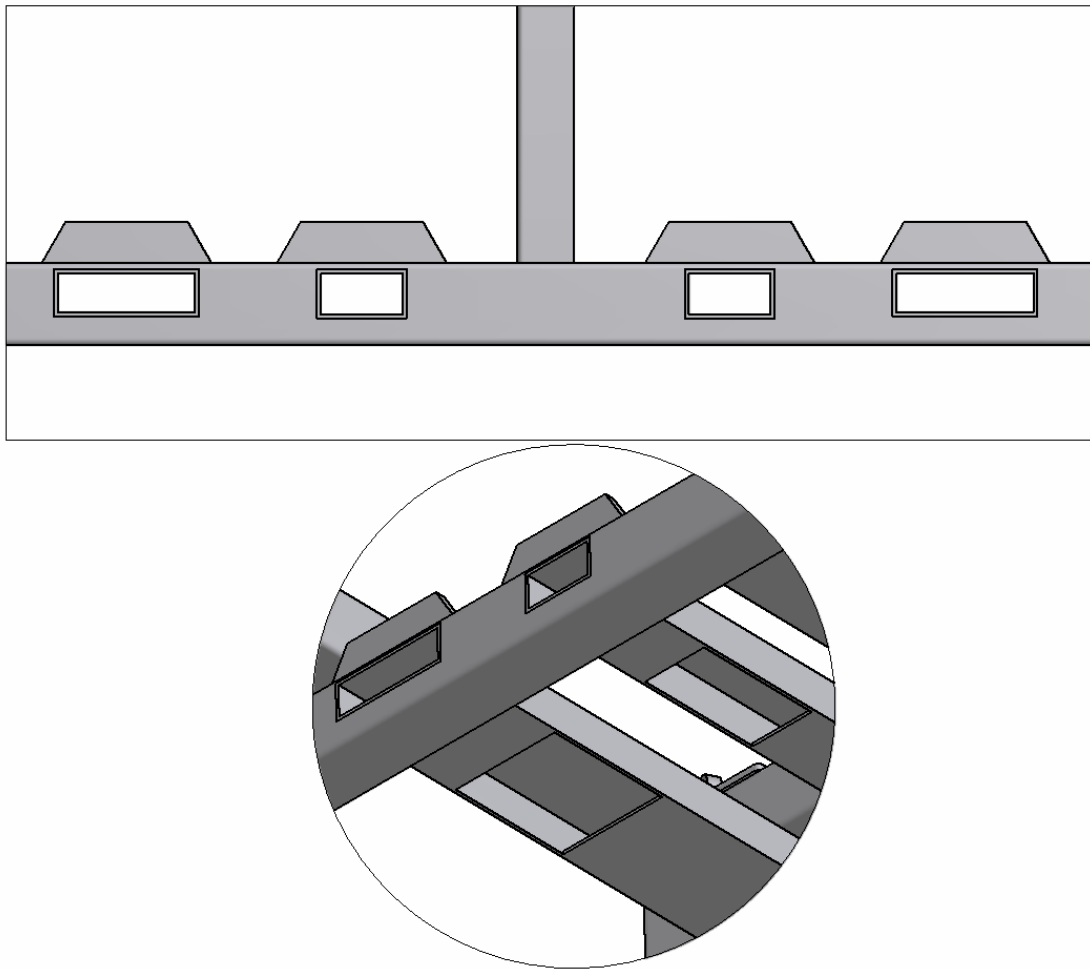
Gaffellommene kan konstrueres under eller gjennom langsgående bunnbjelker, etter pkt. 4.3.2 [4]. Her velger jeg å benytte gaffellommer som går gjennom langsgående bunnbjelker.

For å redusere skjærspenning som oppstår i bunnbjelkene når kurven skal løftes fra enten løfteørene eller gaffellommene, skal det sveises en plate over åpningen til gaffellommene for å øke skjærspenningsarealet og medfølgende reduksjon av skjærspenningen τ .

$$\tau = \frac{F}{A_{\text{skjær}}}$$

Gaffellommene konstrueres med åpningen i underkant for forenklet inspeksjon og vedlikehold av gaffellommene som vist i Figur 3-14. Åpningene vil og bidra til å minimere risikoen for at fremmedlegemer fester seg i lommene og potensielt faller ut under et løft.

Åpningene på gaffellommene skal plasseres over bakkenivå for redusere inntrenging av fremmedlegemer, etter pkt. 4.4.6 [4].



Figur 3-14: Gaffellommene og åpningen under.

3.3. Sveisforbindelse for primærstrukturen

- Alle profiler i primærstruktur skal sveises med full gjennomgående sveis etter pkt 4.3.2 [4], som vil være sterkere og mer utmattingssikker i forhold til en kilsveis. Dersom kilsveis oppfyller kriteriene i henhold til Eurokode 3 kan man med stor sikkerhet si at full gjennomgående sveis vil holde mot brudd.
- Sveisen mellom Støtteplate og profiler skal være med full gjennomgående butt sveis, Figur 3-15.



Figur 3-15: Sveis mellom støtteplate og profil [9].

- Sveisen mellom løfteøret og primærstrukturen skal alltid være med full gjennomgående sveis, kilsveis kan være akseptabel etter videre vurderinger, etter pkt 4.3.1 [4].
- Sveisen av gaffellommer som er konstruert under bunnbjelkene skal skje med full gjennomgående sveis, men hvis gaffellommene går gjennom bunnbjelkene kan man bruke kilesveis, etter pkt 4.3.2 [4]. I tillegg til kilsveis skal gaffellommene ytterside sveises ved bruk av T-butt sveis, Figur 3-16.

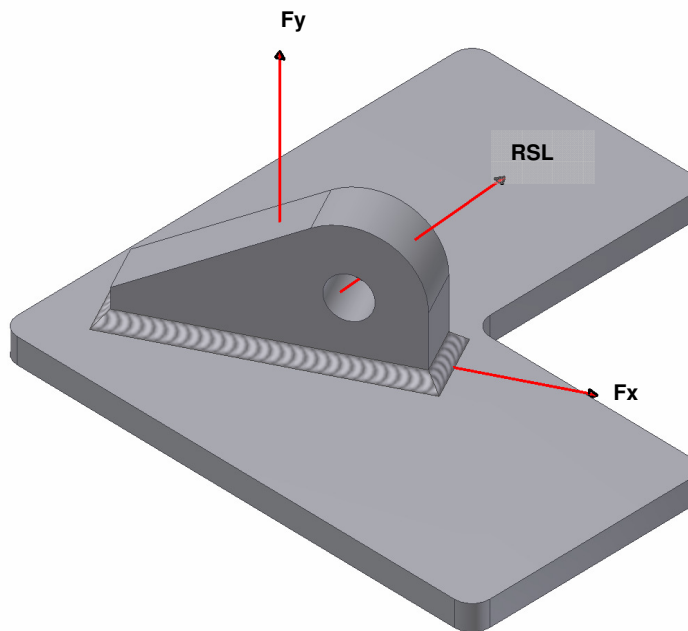


Figur 3-16: T-butt sveis mellom gaffellommene og ytterside langsgående bjelker [9].

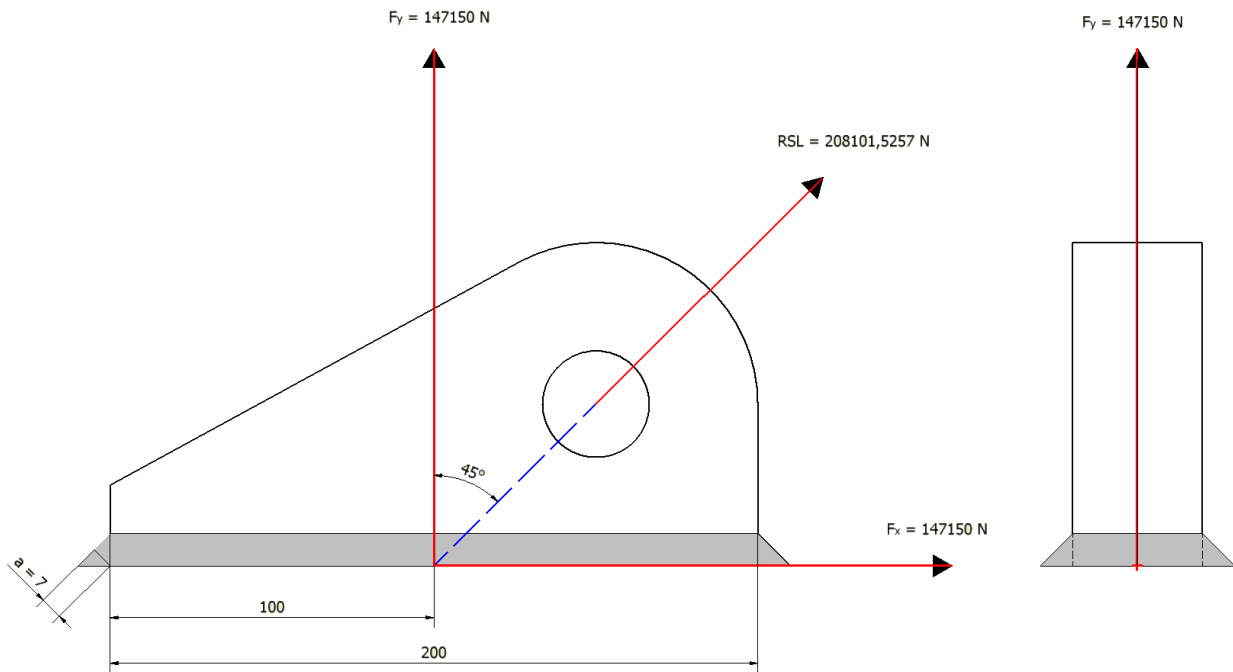
- Andre primærstrukturer av for eksempel forsterkningsplater kan sveises med kilsveis, etter pkt 4.3.2 [4]. Sveisen mellom foresterkningsplater og nedre langsgående bjelker, skal ha a-mål = 4 mm.

3.3.1 Dimensjonering Sveisforbindelse mellom løfteøret og støtteplate

Som nevnt skal full gjennomgående (butt) sveis benyttes og denne er sterkere enn kilesveis. For beregningene under beregnes kilsveis med a mål = 7 mm som verifikasjon for at full gjennomgående sveis skal være sterk nok. Løfteøret laget av stål type S420MLH. Sveismateriale er utsatt for strekk og skjærspenningen på grunn av kreftene F_x og F_y , se Figur 3-17.



Figur 3-17: Krefter som sveisen utsettes for.



Figur 3-18: Resultatkreftene fra ståltau på løfteøret og sveis.

I henhold til EC3 finnes det to metoder for å beregne kapasiteten til kilesveis. Figur 3-18 viser resultatkreftene fra ståltau som virker på sveisen.

- **Metode 1:**

På basis av de ytre krefter beregnes de opptredende spenningskomponenter (jevnt fordelt over rot målet) pr. sveisens lengdeenhet. Vi skal beregne den jevnførende spenning og kontrollere den mot to dimensjonerings kriterier [2].

$$\sigma_{if} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{11}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} \quad (19)$$

og

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (20)$$

f_u = bruddfasthet for forbindelsens svakeste del.

β_w = korrelasjonsfaktor.

Største tillatte dimensjonerende spenning i henhold til Von Meises hypotese er gitt av uttrykket [2]:

$$f_{w,Rd} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{510}{1,25 \cdot 0,9} = 453,33 \text{ MPa} \quad (21)$$

Beregner strekkspenning:

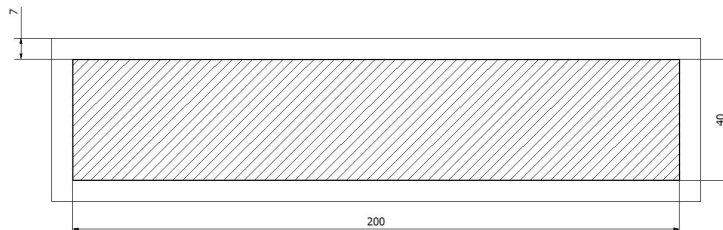
$$A_{\text{sveis}} = 214 \cdot 2 \cdot 7 + 40 \cdot 2 \cdot 7 = 3556 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{A_{\text{sveis}}} = \frac{147150 \cdot 1,5}{3556} = 62,1 \text{ MPa} \quad (22)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}} = \frac{62,1}{\sqrt{2}} = 43,91 \text{ MPa} \quad (23)$$

Ved beregning av skjærkraft antar man at den fordeler seg på de to lengste sveiser:

$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{147150 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 200} = 78,83 \text{ MPa} \quad (24)$$



Figur 3-19: Viser løfteøret sett nedenfra.

Jevnførende spenning blir da:

$$\sigma_{if} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{11}^2)} = \sqrt{43,91^2 + 3(43,91^2 + 78,83^2)} = 162,34 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$\sigma_{if} \leq f_{w,Rd}$$

og

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow 43,91 \leq \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} \Rightarrow 43,91 \text{ MPa} \leq 367,2 \text{ MPa} \quad (20)$$

NB! etter pkt 3.4.5 [5], skal tillatte dimensjonerende spenning ved bruk av kilesveis ganger med reduksjonsfaktor på 0,5.

$$\text{D.v.s. } \frac{510}{1,25 \cdot 0,9} \cdot 0,5 = 226,667 \text{ MPa} \quad (21)$$

Og det er fortsatt $\sigma_{if} \leq f_{w,Rd} \Rightarrow 162,34 \text{ MPa} \leq 226,667 \text{ MPa}$

Kontroll mot grunnmaterialet:

$$A = 200 \cdot 40 = 8000 \text{ mm}^2$$

Strekkspenning:

$$\sigma_s = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{A} = \frac{147150 \cdot 1,5}{8000} = 27,60 \text{ MPa} \quad (25)$$

Skjærspenning:

$$\tau = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{A} = \frac{147150 \cdot 1,5}{8000} = 27,60 \text{ MPa} \quad (26)$$



Totalt spenning (Von Mises):

$$\sigma_{if} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau^2} = \sqrt{4 \cdot 27,60^2} = 55,20 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4)$$

$$55,20 \text{ MPa} \leq \frac{355}{1,10} \Rightarrow 55,20 \text{ MPa} \leq 322,72 \text{ MPa}$$

- **Metode 2: Forenklet metode**

Med denne metoden beregnes sveisens kapasitet pr. lengdeenhet uavhengig av kraftens retning i henhold til sveisens orientering [2], Figur 3-20.

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot l \quad (27)$$

Dimensjonerende skjærkapasitet:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 261,73 \text{ MPa} \quad (28)$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot l = 261,73 \cdot 7 \cdot (2 \cdot 200 + 2 \cdot 41) = 883077 \text{ N}$$

For at kapasiteten til kilesveisen skal tilfredsstillere kravene etter metode 2:

$$F_{ED} \leq F_{vw,Rd}$$

her, $F_{ED} = RSL$

$$RSL \leq F_{vw,Rd}$$

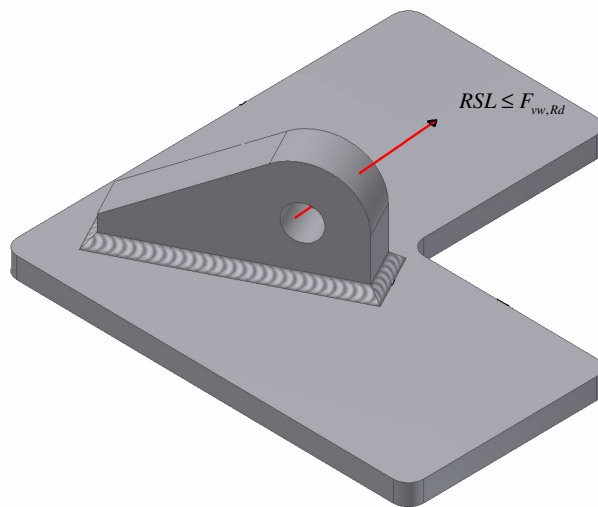
$$208102 \text{ N} \leq 883077 \text{ N}$$

og

$$\frac{RSL \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} \leq f_{vw,d}$$

$$\frac{208102 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 200} \leq f_{vw,d}$$

$$111,48 \text{ MPa} \leq 261,73 \text{ MPa}$$



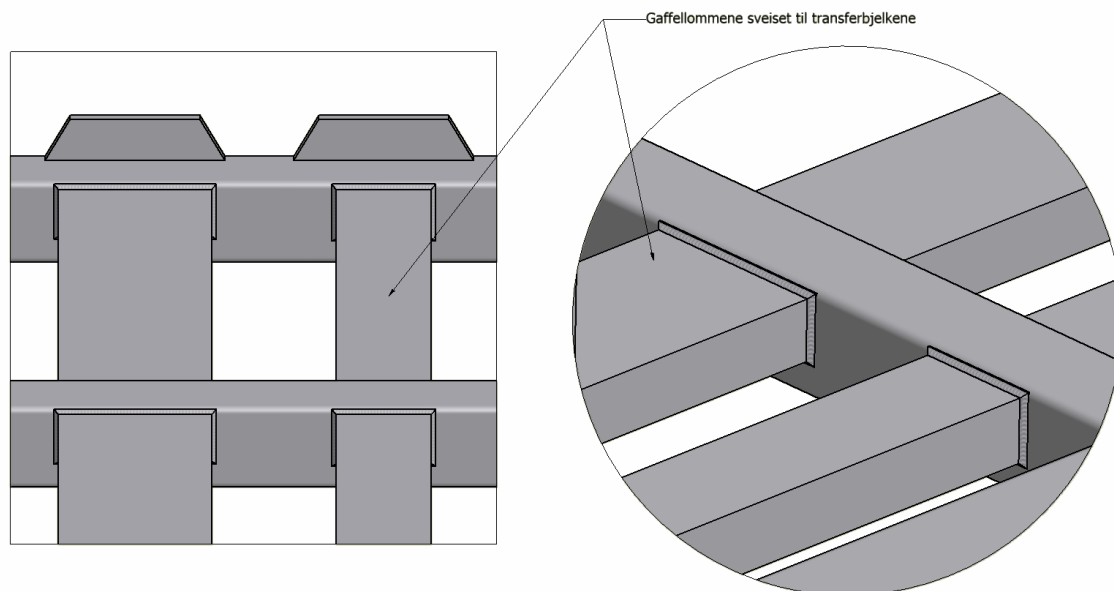
Figur 3-20: Forenklet metode for bergning av kilesveis kapasitet.

Hvis vi tar hensyn til reduksjonsfaktor ved bruk av kilesveis, etter pkt 3.4.5 [5] skal tillat dimensjonerende skjærkapasitet ganger med 0,5.

$$\frac{510}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} \cdot 0,5 = 130,86 \text{ MPa} \quad (28)$$

Det er fortsatt, $111,48 \text{ MPa} \leq 130,86 \text{ MPa}$

3.3.2 Dimensjonering av sveisforbindelse mellom langsgående bunnbjelker og gaffellommene

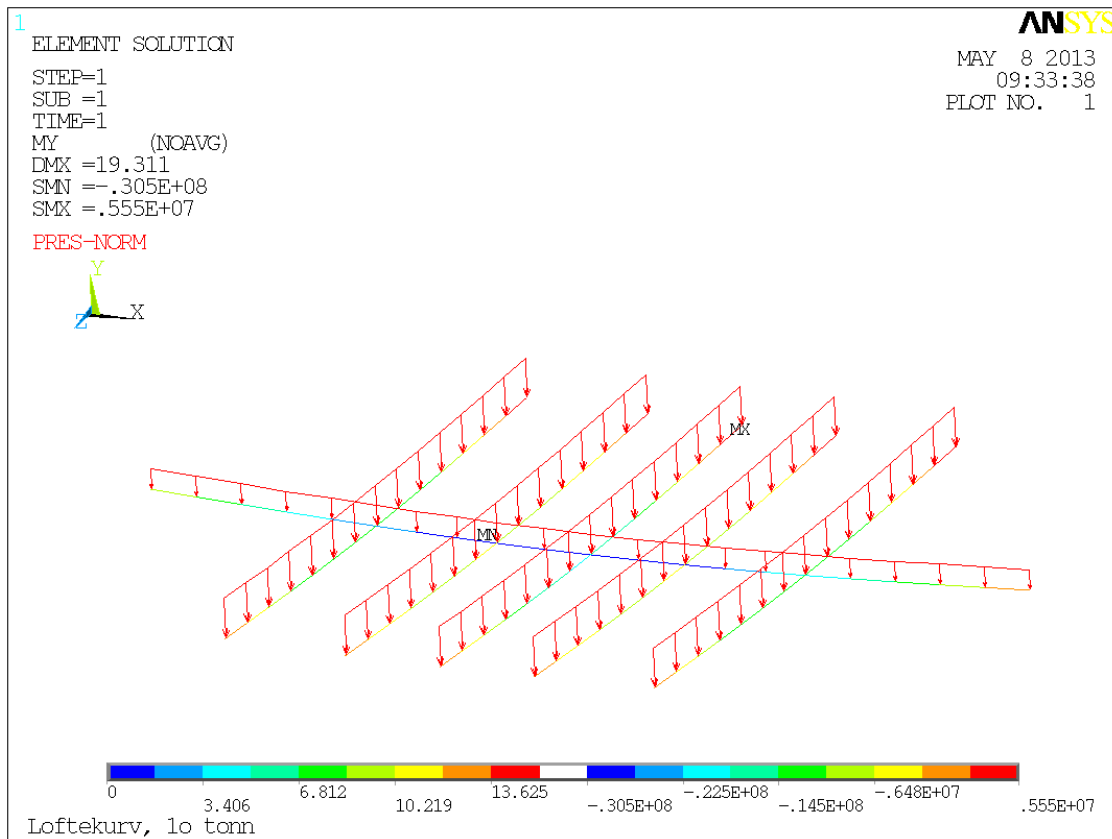


Figur 3-21: Sveisen mellom gaffellommene og langsgående bunnbjelker.

Som jeg har nevnt tidligere kan sveisen av gaffellommene, som er konstruert under langsgående bunnbjelker, skje med full gjennomgående sveis, men hvis gaffellommene går gjennom langsgående bunnbjelker, kan man benytte kilesveisen, se Figur 3-21, etter pkt. 4.3.2 [4].

Kapasiteten til kilsveisen mellom gaffellommene og langsgående bunnbjelker, kan beregnes ved å benytte resultatene fra Ansys.

Maks. bøyemoment samt maks. skjærkraften F_x gaffellommene utsatt for er vist i Figur 3-22 og Tabell 3-10 "merket med gul".



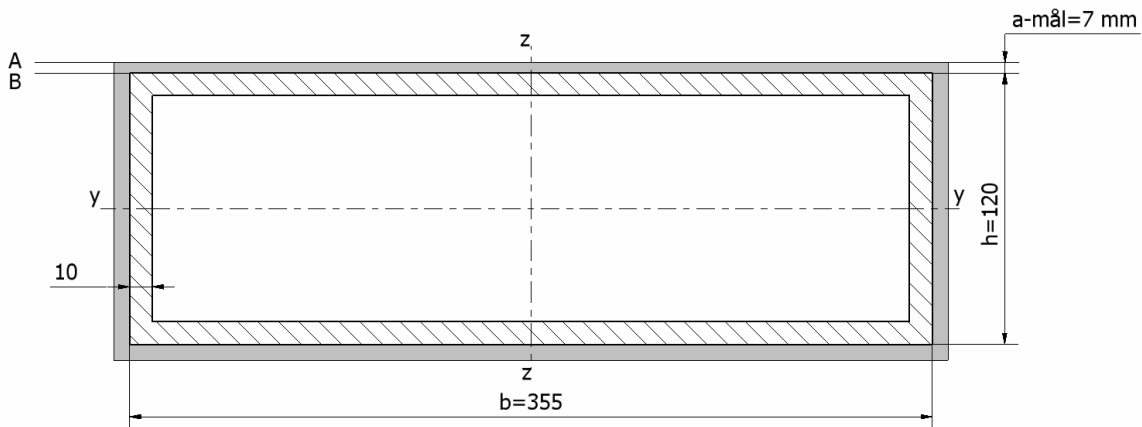
Figur 3-22: Viser maks bøyemoment gaffellommene er utsatt for.

Tabell 3-10: Resultattabell fra Ansys

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT	CURRENT	CURRENT	CURRENT	CURRENT
ELEM	FX	MX	MY	MZ
385	3035.6	19.770	-0.18158E+08	7079.6
386	3035.3	-19.765	-0.19307E+08	7389.7
387	3035.3	-19.764	-0.18158E+08	7079.6
388	3035.3	-19.764	-0.16208E+08	6769.6
389	3035.3	-19.764	-0.13457E+08	6459.5
390	3035.3	-19.764	-0.99058E+07	6149.5
391	3035.3	-19.764	-0.55535E+07	5839.4
392	3035.3	-19.764	-0.40043E+06	5529.4
MINIMUM VALUES				
ELEM	347	336	189	316
VALUE	969.22	-0.14069E+07	-0.30545E+08	-0.95189E+06
MAXIMUM VALUES				
ELEM	187	316	379	330
VALUE	17445.	0.14069E+07	0.55535E+07	0.98213E+06

Dimensjonen på gaffellommene som er designet for en belastet kurv er vist i Figur 3-23.



Figur 3-23: Dimensjoner belastet gaffellomme

Maks. bøyemoment sveisen kan ha utsatt for er $M_b = 30,55 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

Jeg antar at den på $35 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

Snitt A-A

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} = \frac{35 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{134}{2}}{\frac{1}{12} (369 \cdot 134^3 - 355 \cdot 120^3)} = 153,82 \text{ MPa} \quad (29)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{153,82}{\sqrt{2}} = 108,77 \text{ MPa} \quad (30)$$

Kapasiteten til kilesveis i snitt A-A

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{11}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} \quad (20)$$

$$= \sqrt{108,77^2 + 3 \cdot 108,77^2} \leq \frac{510}{1,25 \cdot 0,9}$$

$217,54 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \Rightarrow 217,54 \text{ MPa} \leq 226,67 \text{ MPa}$ (Etter bruk av reduksjonsfaktor på 0,5 for kilesveis, pkt 3.4.5 [5]).

og

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow 108,77 \leq \frac{0,9 \cdot 510}{1,25}$$

$108,77 \text{ MPa} \leq 367,20 \text{ MPa} \Rightarrow 108,77 \text{ MPa} \leq 183,60 \text{ MPa}$ (Etter bruk av reduksjonsfaktor på 0,5 for kilesveis, pkt 3.4.5 [5]).

**Snitt B-B**

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} = \frac{35 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{120}{2}}{\frac{1}{12}(369 \cdot 134^3 - 355 \cdot 120^3)} = 137,75 MPa \quad (29)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{137,75}{\sqrt{2}} = 97,40 MPa \quad (30)$$

Skjærespenningen (Her antar vi at skjærkraften F_x tas opp av den vertikale sveisen og at den fordeler seg jevnt over h og at den er på 30 000 N istedenfor 17 445 N):

$$\tau_{11} = \frac{F_1 \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{30000 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 26,79 MPa \quad (24)$$

Kapasiteten til kilesveis i snitt B-B

$$\sigma_{jf} = \sqrt{97,40^2 + 3(97,40^2 + 26,79^2)} \leq \frac{510}{1,25 \cdot 0,9} \quad (20)$$

$200,25 MPa \leq 453,33 MPa \Rightarrow 200,25 MPa \leq 226,67 MPa$ (Etter bruk av reduksjonsfaktor på 0,5 for kilesveis, pkt 3.4.5 [5]).

Kontroll av grunnmaterialet skjer i punkt B der bøyepeningen er størst:

$$M_b = 35 \cdot 10^6 Nmm$$

Annet areal moment (Jeg har ikke tatt med her utvendig hjørneradius):

$$I_{yy} = \frac{1}{12}(B \cdot H^3 - b \cdot h^3) = \frac{1}{12}(355 \cdot 120^3 - 335 \cdot 90^3) = 307\,687\,50 mm^4$$

Maks. bøyepeningen:

$$\sigma_{b,maks} = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot h/2}{I_{yy}} = \frac{35 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{120}{2}}{307\,687\,50} = 102,37 MPa$$

Opptredende spenningen \leq dimensjoneringskriteriet

$$\sigma_{b,maks} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \Rightarrow 102,37 \leq \frac{355}{1,10} \quad (31)$$

$$102,37 MPa \leq 322,72 MPa$$

3-4 Dynamiske belastninger og sikkerhet mot utmatting

Kurven skal kontrolleres mot utmattingsbrudd etter DNV-RP-C203

Vi skal lage ulike lastscenarier for å se hvilke utmattingssegenskaper kurven har.

3-4-1 Sveisen mellom støtteplate og løfteøret

For lastbærende kil- og K-sveis kan utmattingssprekken initieres fra sveisens rot og gå gjennom sveisen. Etter pkt 2.3.5 [6] dimensjoneringen av kilsveis skal baseres på største spenningsvidde $\Delta\sigma_w$ i sveisematerialet, beregnet på basis av

$$\text{spenningen: } \Delta\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2}.$$

Finner spenningsvidden i sveisematerialet ved 4 forskjellige lastscenarier:

Løfteøret skal designes for total vertikal last på $F_p = 3 \cdot R \cdot g$, etter pkt.4.2.3 [4].

F_p skal fordeles liket mellom $(n - 1)$ løfteøre, så skal lasten beregnes på løfteøret i 4 forskjellige lastsenarioer se Figurene 3-24 og 3-25 som følgene:

1- Når kurven er ubelastet:

$$F_p = \frac{3 \cdot R \cdot g}{n-1} = \frac{3 \cdot 5000 \cdot 9,81}{4-1} = 16350 \text{ N}$$

2- Når kurven er 50 % belastet:

$$F_p = \frac{3 \cdot R \cdot g}{n-1} = \frac{3 \cdot 10000 \cdot 9,81}{4-1} = 98100 \text{ N}$$

3- Når kurven er 75 % belastet:

$$F_p = \frac{3 \cdot R \cdot g}{n-1} = \frac{3 \cdot 12500 \cdot 9,81}{4-1} = 122625 \text{ N}$$

4- Når kurven er full belastet:

$$F_p = \frac{3 \cdot R \cdot g}{n-1} = \frac{3 \cdot 15000 \cdot 9,81}{4-1} = 147150 \text{ N}$$

Last 1:

Beregner strekkspenning i sveisen:

$$A_{sveis} = 214 \cdot 2 \cdot 7 + 40 \cdot 2 \cdot 7 = 3556 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{F_p \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} = \frac{16350 \cdot 1,5}{3556} = 6,90 \text{ MPa}$$

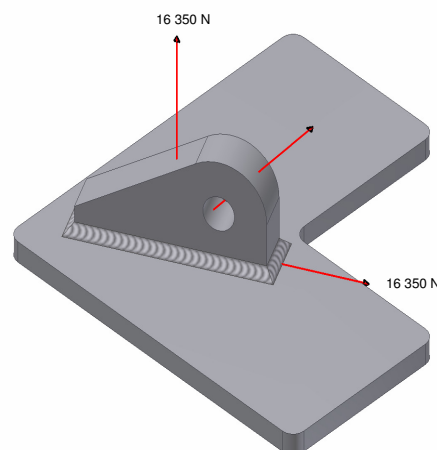
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}} = \frac{6,90}{\sqrt{2}} = 4,88 \text{ MPa}$$

Skjærspenningen:

$$\tau_{11} = \frac{F_p \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{16350 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 200} = 8,76 \text{ MPa}$$

Spenningsvidde i sveisematerialet:

$$\Delta\sigma_{w1} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 4,88^2 + 0,2 \cdot 8,76^2} = 7,94 \text{ MPa} \quad (32)$$



Figur 3-24: Last 1.

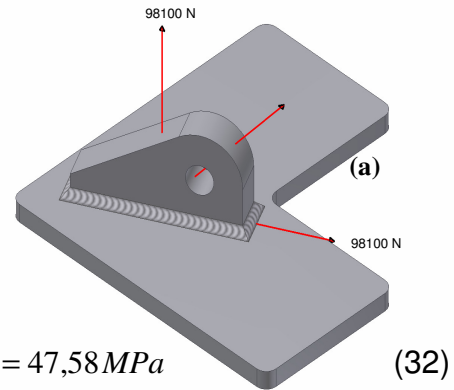
Last 2:

$$\sigma_s = \frac{F_P \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} = \frac{98100 \cdot 1,5}{3556} = 41,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}} = \frac{41,38}{\sqrt{2}} = 29,26 \text{ MPa}$$

$$\tau_{11} = \frac{F_P \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{98100 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 200} = 52,55 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{w2} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 29,26^2 + 0,2 \cdot 52,55^2} = 47,58 \text{ MPa}$$



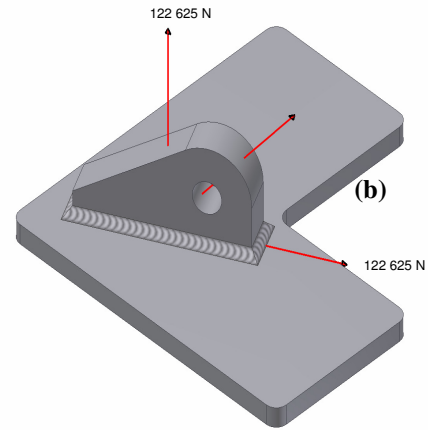
Last 3:

$$\sigma_s = \frac{F_P \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} = \frac{122625 \cdot 1,5}{3556} = 51,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}} = \frac{51,52}{\sqrt{2}} = 36,58 \text{ MPa}$$

$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{122625 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 200} = 65,70 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{w3} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 36,58^2 + 0,2 \cdot 65,70^2} = 59,49 \text{ MPa}$$



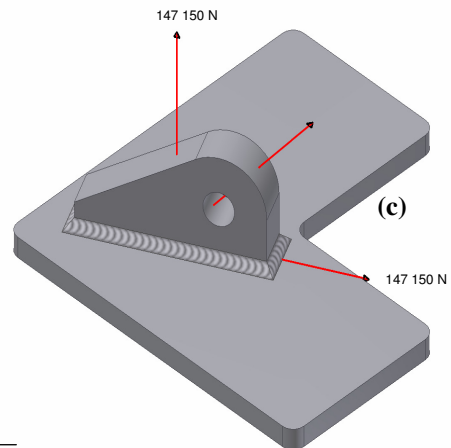
Last 4:

$$\sigma_s = \frac{F_P \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} = \frac{147150 \cdot 1,5}{3556} = 62,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}} = \frac{62,1}{\sqrt{2}} = 43,91 \text{ MPa}$$

$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{147150 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 200} = 78,83 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{w4} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 43,91^2 + 0,2 \cdot 78,83^2} = 71,41 \text{ MPa}$$



Figur 3-25: Last 2, 3 og 4.



I henhold til DNV-RP-C203, tabell A-7 og for $120 < L \leq 300 \text{ mm}$ og kantavstand $\geq 10 \text{ mm}$, velger kurve F1, se Tabell 3-11 "merket med gul" og Figur 3-26.

$$N = C \cdot \Delta\sigma_w^{-m} \tag{33}$$

der: $C = 10^{\log \bar{a}_1}$

Fra Tabell 3-12 "merket med gul" og for S-N kurve i luft, for $N \leq 10^7$ sykluser $m_1 = 3,0$, $\log \bar{a}_1 = 11,699$

løfteørets tykkelse = 40 mm skal utføre tykkelse korrigerig, etter pkt 2.4.3 [6]:

$$\log N = \log \bar{a} - m_1 \cdot k \cdot \log \left(\frac{t}{t_{ref}} \right) - m_1 \cdot \log \Delta\sigma, \text{ hvorav:} \tag{34}$$

t_{ref} = Referansetykkelsen

$$\log N = 11,699 - 3 \cdot 0,25 \cdot \log \left(\frac{40}{25} \right) - 3 \cdot \log \Delta\sigma$$

$$\log N = 11,545 - 3 \cdot \log \Delta\sigma$$

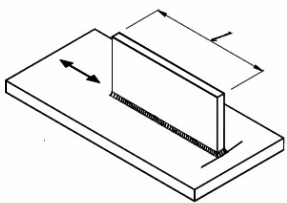
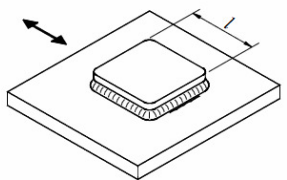
$$\downarrow$$

$$\log \bar{a}_1$$

Tabell 3-11: Velg av struktur detaljer og kantavstand (DNV-RP-C203, tabell A-7).

Recommended Practice DNV-RP-C203, October 2012
App.A Classification of Structural Details – Page 84

A.7 Welded attachments on the surface or the edge of a stressed member

Table A-7 Welded attachments on the surface or the edge of a stressed member			
Detail category	Constructional details	Description	Requirement
Notes on potential modes of failure When the weld is parallel to the direction of the applied stress, fatigue cracks normally initiate at the weld ends. When the weld is transverse to direction of stressing, cracks usually initiate at the weld toe; for attachments involving a single, as opposed to a double, weld cracks may also initiate at the weld root. The cracks then propagate into the stressed member. When the welds are on or adjacent to the edge of the stressed member the stress concentration is increased and the fatigue strength is reduced; this is the reason for specifying an "edge distance" in some of this joints (see also note on edge distance in Table A-3).			
	1.  2. 	1. Welded longitudinal attachment 2. Doubling plate welded to a plate.	1. and 2. The detail category is given for: — Edge distance $\geq 10 \text{ mm}$ — For edge distance $< 10 \text{ mm}$ the detail category shall be downgraded with one S-N-curve
E	$l \leq 50 \text{ mm}$		
F	$50 < l \leq 120 \text{ mm}$		
F1	$120 < l \leq 300 \text{ mm}$		
F3	$l > 300 \text{ mm}$		

$$N = 10^{11,545} \cdot \Delta\sigma^{-3} \quad (33)$$

Knekkepunkt = 10^7

$$\Delta\sigma = \left(\frac{3,50 \cdot 10^{11}}{10^7} \right)^{1/3} = 32,71 \text{ MPa}$$

Vi har $\Delta\sigma_w$ som er større enn knekkepunkt på last 2, 3 og 4, velger $N \leq 10^7$

For last 1 velger $N > 10^7$ sykluser, $m_2 = 5,0$ og $\log \bar{a}_2 = 14,832$, tykkelse korrigerer for last 1:

$$\log N = 14,832 - 5 \cdot 0,25 \cdot \log \left(\frac{40}{25} \right) - 5 \cdot \log \Delta\sigma \quad (34)$$

$$\log N = 14,576 - 5 \cdot \log \Delta\sigma$$

$$\downarrow$$

$$\log \bar{a}_2$$

$$N = 10^{14,576} \cdot \Delta\sigma^{-5}$$

Knekkepunkt = 10^7

$$\Delta\sigma = \left(\frac{3,77 \cdot 10^{14}}{10^7} \right)^{1/5} = 32,75 \text{ MPa}$$

Bruker formelen for S-N kurven:

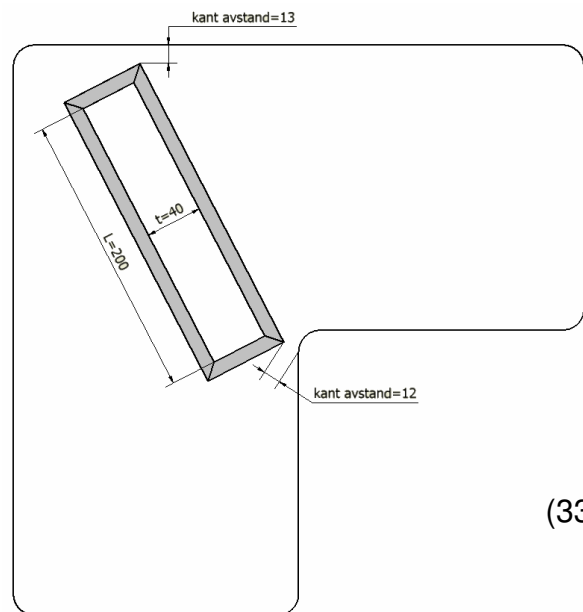
$$N = C \cdot \Delta\sigma_w^{-m}$$

$$N_1 = 10^{14,576} \cdot 7,94^{-5} = 1,2 \cdot 10^{10} \text{ sykluser}$$

$$N_2 = 10^{11,545} \cdot 47,58^{-3} = 3256317 \text{ sykluser}$$

$$N_3 = 10^{11,545} \cdot 59,49^{-3} = 1665974 \text{ sykluser}$$

$$N_4 = 10^{11,545} \cdot 71,41^{-3} = 963214 \text{ sykluser}$$



Figur 3-26: Løfteørets plassering på støtteplate.



Tabell 3-12: Tabell og kart (DNV-RP-C203, Tabell 2-1 og Figur 2-7).

S-N curve	$N \leq 10^7$ cycles		$N > 10^7$ cycles $\log \bar{a}_2$ $m_2 = 5.0$	Fatigue limit at 10^7 cycles *)	Thickness exponent k	Structural stress concentration embedded in the detail (S-N class), ref. also equation (2.3.2)
	m_1	$\log \bar{a}_1$				
B1	4.0	15.117	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.885	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.592	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.449	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	12.301	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	12.164	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	12.010	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.855	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.699	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.546	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	11.398	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	11.261	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	11.107	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.970	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	12.164	15.606	52.63	0.25 for SCF \leq 10.0 0.30 for SCF $>$ 10.0	1.00

*) see also section 2.11

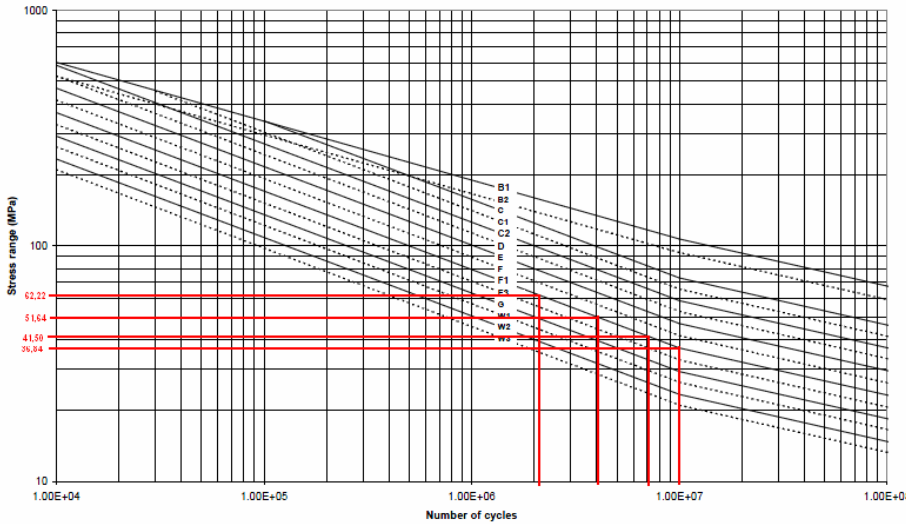


Figure 2-7
S-N curves in air

Her antas et lastscenario der kurven utfører totalt 40 løft i løpet av en dag, hvorav 10 løft er på 5 tonn, 10 løft er på 7,5 tonn og 20 løft er på 10 tonn. I tillegg vil det være 40 løft av ubelastet kurv.

Antall dager til brudd ved Miner Palmgren:

$$x \left(\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} \right) \leq 1 \Rightarrow x = \frac{1}{\left(\frac{40}{1,2 \cdot 10^{10}} + \frac{10}{3256317} + \frac{10}{1665974} + \frac{20}{963214} \right)} = 33333 \text{ dager}$$

Dette tilsvarer 91 år under optimale forhold. Dette viser og at eventuelle feil i sveis eller skader og støt som skjer underveis vil være faktorer som medfører svikt i sveis. Det er derfor viktig å inspisere sveisen årlig eller hver 6. måned for å sjekke eventuelle feil i sveisen.



3.4.2 Sveisen mellom gaffellommene og langsgående bunnbjelker

Jeg gjør samme beregning for sveisen mellom gaffellommene (som har 2050 mm avstand) og langsgående bjelker.

Jeg gjør FEM analyse ved 4 forskjellige Lastsenarioer som følgerne:

1- Når kurven er ubelastet:

$$F_{L1} = 2,5 \cdot (T + P) \cdot g = 2,5 \cdot (5000 + 0) \cdot 9,81 = 122625 N$$

2- Når kurven er 50 % belastet:

$$F_{L2} = 2,5 \cdot \left(T + \frac{P}{2} + S \right) \cdot g = 2,5 \cdot (5000 + 5000) \cdot 9,81 = 245250 N$$

3- Når kurven er 75 % belastet:

$$F_{L3} = 2,5 \cdot \left(T + \frac{3 \cdot P}{4} + S \right) \cdot g = 2,5 \cdot (5000 + 7500) \cdot 9,81 = 306562 N$$

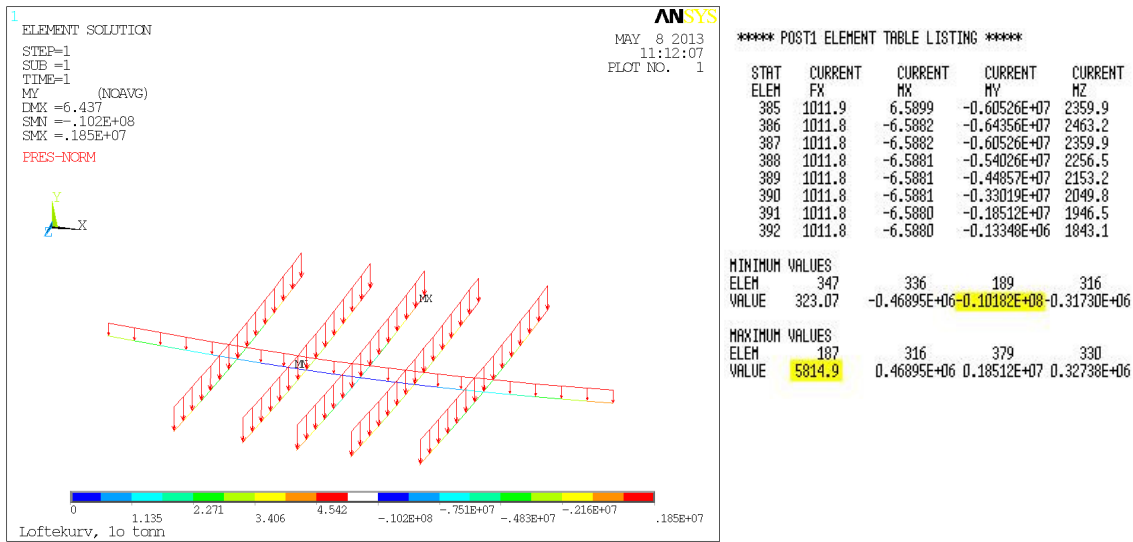
4- Fullt belastet:

$$F_{L4} = 2,5 \cdot R \cdot g = 2,5 \cdot 15000 \cdot 9,81 = 367875 N$$

Dimensjonen på gaffellommene som er designet for en belastet kurv er vist i Figur 3-23.

Last 1

Tabell 3-13: Resultattabell fra Ansys



Figur 3-27: Viser maks. bøyemoment ved last 1.

Maks. bøyemoment og skjærekraft sveisen ble utsatt for er vist i Figur 3-27 og Tabell 3-13. Jeg antar $M_b = 12 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ og $F_x = 10000 \text{ N}$

Jeg tar bøyemoment som oppstår i snitt A og skjærspenningen som oppstår i snitt B, se Figur 3-23.

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} = \frac{12 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{134}{2}}{\frac{1}{12}(369 \cdot 134^3 - 355 \cdot 120^3)} = 52,74 \text{ MPa} \quad (29)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{52,74}{\sqrt{2}} = 37,30 \text{ MPa} \quad (30)$$

$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{10000 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 9 \text{ MPa} \quad (24)$$

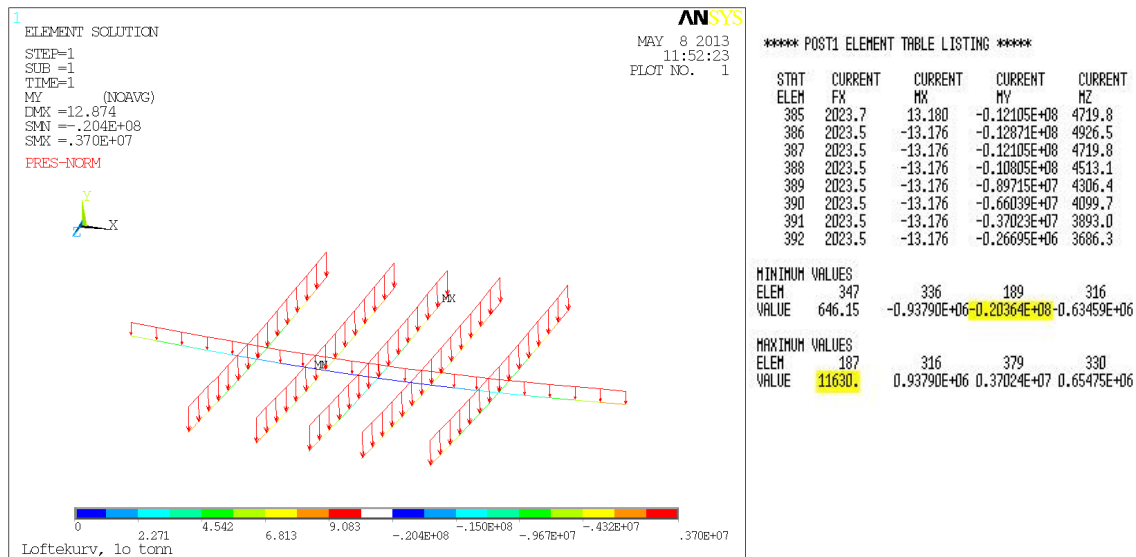
Finner spenningsvidden i sveisematerialet.

$$\Delta\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 37,30^2 + 0,2 \cdot 9^2} = 52,90 \text{ MPa} \quad (32)$$

På samme måte for last 2, 3 og 4, Figurene 3-28, 3-29 og 3-30 samt Tabellene 3-14, 3-15 og 3-16.

Last 2

Tabell 3-14: Resultattabell fra Ansys.



Figur 3-28: Viser maks. Bøymoment ved last 2.

Maks. bøymoment og skjærekraft sveisen ble utsatt for er vist i Figur 3-28 og Tabell 3-14. Jeg antar $M_b = 22 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ og $F_x = 15000 \text{ N}$.

Jeg tar bøymoment som oppstår i snitt A og skjærspenningen som oppstår i snitt B, se Figur 3-23.

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} = \frac{22 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{134}{2}}{\frac{1}{12} (369 \cdot 134^3 - 355 \cdot 120^3)} = 96,69 \text{ MPa} \quad (29)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{96,69}{\sqrt{2}} = 68,37 \text{ MPa} \quad (30)$$

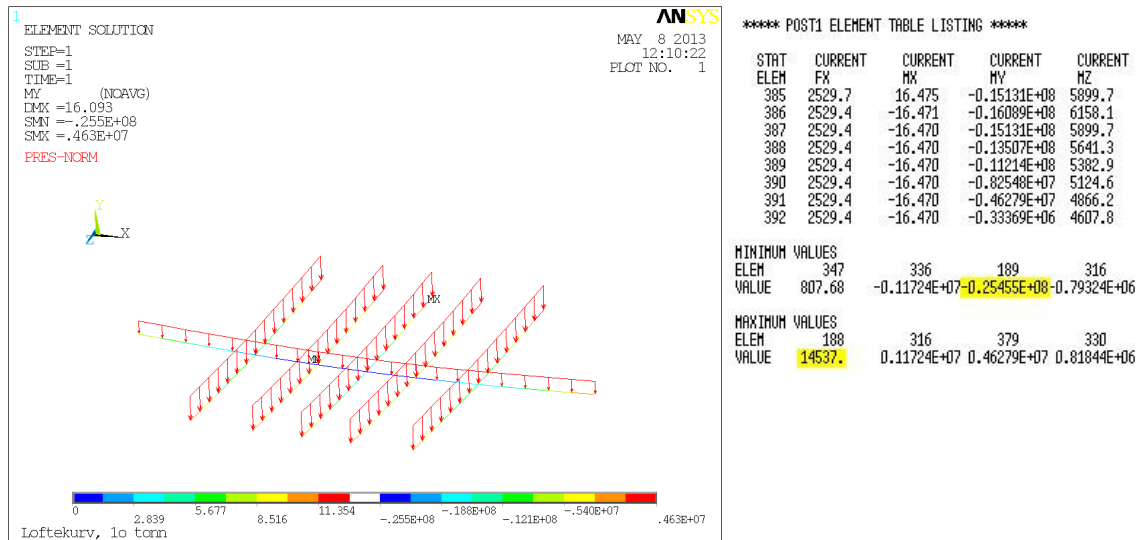
$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{15000 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 13,39 \text{ MPa} \quad (24)$$

Finner spenningsvidden i sveisematerialet.

$$\Delta\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 68,37^2 + 0,2 \cdot 13,39^2} = 96,88 \text{ MPa} \quad (32)$$

Last 3:

Tabell 3-15: Resultattabell fra Ansys.



Figur 3-29: Viser maks. Bøyemoment ved last 3

Maks. bøyemoment og skjærekraft sveisen ble utsatt for er vist i Figur 3-29 og Tabell 3-15. Jeg antar $M_b = 28 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ og $F_x = 20000 \text{ N}$

Jeg tar bøyemoment som oppstår i snitt A og skjærspenningen som oppstår i snitt B, se Figur 3-23.

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} = \frac{28 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{134}{2}}{\frac{1}{12} (369 \cdot 134^3 - 355 \cdot 120^3)} = 123 \text{ MPa} \quad (29)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{123}{\sqrt{2}} = 86,97 \text{ MPa} \quad (30)$$

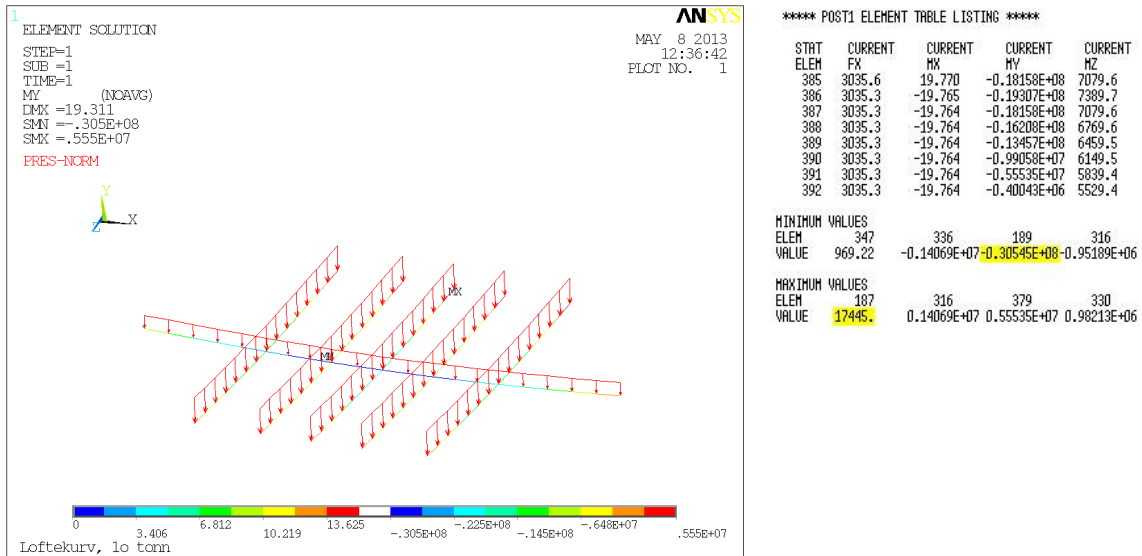
$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{20000 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 17,86 \text{ MPa} \quad (24)$$

Finner spenningsvidden i sveisematerialet.

$$\Delta \sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2 \tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 86,97^2 + 0,2 \cdot 17,86^2} = 123,25 \text{ MPa} \quad (32)$$

Last 4:

Tabell 3-16: Resultattabell fra Ansys.



Figur 3-30: Viser maks. Bøyemoment ved last 4.

Maks. bøyemoment sveisen ble utsatt for er: $M_b = 30,55 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

Jeg antar $M_b = 33 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ og $F_x = 25000 \text{ N}$

Jeg tar bøyemoment som oppstår i snitt A og skjærspenningen som oppstår i snitt B, Figur 3-23.

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{y,sveis}} = \frac{33 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot \frac{134}{2}}{\frac{1}{12} (369 \cdot 134^3 - 355 \cdot 120^3)} = 145 \text{ MPa} \quad (29)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{145}{\sqrt{2}} = 102,53 \text{ MPa} \quad (30)$$

$$\tau_{11} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{25000 \cdot 1,5}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 22,32 \text{ MPa} \quad (24)$$

Finner spenningsvidden i sveisematerialet.

$$\Delta\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2\tau_{11}^2} = \sqrt{2 \cdot 102,53^2 + 0,2 \cdot 22,32^2} = 145,34 \text{ MPa} \quad (32)$$



I henhold til DNV-RP-C203, appendix A, tabell A-7, og for kantavstand ≥ 10 mm velger kurve F1 "merket med gul", se Tabell 3-17.

$$N = C \cdot \Delta\sigma_w^{-m} \tag{33}$$

der: $C = 10^{\log \bar{a}_1}$

I DNV-RP-C203 tabell 2-1, S-N kurve i luft og for $N \leq 10^7$ sykluser, $m_1 = 3,0$, $\log \bar{a}_1 = 11,699$ og alle spenningsvidder er over knekkpunkt spenningen.

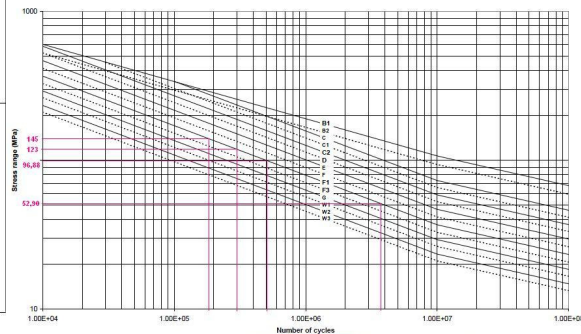
Tabell 3-17: Viser hvilken kurve som skal velges (DNV-RP-C203, Tabell 2-1, A-7 og Figur 2-7).

A.7 Welded attachments on the surface or the edge of a stressed member

Detail category	Constructional details	Description	Requirement
Notes on potential modes of failure When the weld is parallel to the direction of the applied stress, fatigue cracks normally initiate at the weld ends. When the weld is transverse to direction of stressing, cracks usually initiate at the weld toe; for attachments involving a single, as opposed to a double, weld cracks may also initiate at the weld root. The cracks then propagate into the stressed member. When the welds are on or adjacent to the edge of the stressed member the stress concentration is increased and the fatigue strength is reduced; this is the reason for specifying an "edge distance" in some of this points (see also note on edge distance in Table A-3).			
1.		1. Welded longitudinal attachment	1. and 2. The detail category is given for: — Edge distance ≥ 10 mm — For edge distance < 10 mm the detail category shall be downgraded with one S-N-curve
2.		2. Doubling plate welded to a plate.	
E	$l \leq 50$ mm		
F	$50 < l \leq 120$ mm		
F1	$120 < l \leq 300$ mm		
F3	$l > 300$ mm		
3.		3. Longitudinal attachment welded to transverse stiffener.	
E	$l \leq 120$ mm		
F	$120 < l \leq 300$ mm		
F1	$l > 300$ mm		

S-N curve	S-N curve		Fatigue limit at 10^7 cycles *)	Thickness exponent k	Structural stress concentration embedded in the detail (S-N class), ref. also equation (2.3.2)
	m_1	$\log \bar{a}_1$			
B1	4.0	15.117	17.146	0	
B2	4.0	14.885	16.856	0	
C	3.0	12.592	16.320	0.15	
C1	3.0	12.449	16.081	0.15	
C2	3.0	12.301	15.835	0.15	
D	3.0	12.164	15.606	0.20	1.00
E	3.0	12.010	15.350	0.20	1.13
F	3.0	11.855	15.091	0.25	1.27
F1	3.0	11.699	14.832	0.25	1.43
F3	3.0	11.546	14.576	0.25	1.61
G	3.0	11.398	14.330	0.25	1.80
W1	3.0	11.261	14.101	0.25	2.00
W2	3.0	11.107	13.845	0.25	2.25
W3	3.0	10.970	13.617	0.25	2.50
T	3.0	12.164	15.606	0.25 for SCF ≤ 10.0 0.30 for SCF > 10.0	1.00

*) see also section 2.11



$$N = C \cdot \Delta\sigma_w^{-m} \tag{33}$$

$$N_1 = 10^{11,699} \cdot 52,90^{-3} = 3377792 \text{ sykluser}$$

$$N_2 = 10^{11,699} \cdot 96,88^{-3} = 549917 \text{ sykluser}$$

$$N_3 = 10^{11,699} \cdot 123,25^{-3} = 267078 \text{ sykluser}$$

$$N_4 = 10^{11,699} \cdot 145,34^{-3} = 162871 \text{ sykluser}$$

Antall dager til brudd ved Miner Palmgren:

$$x = \frac{1}{\left(\frac{40}{3377792} + \frac{10}{549917} + \frac{10}{267078} + \frac{20}{162871} \right)} = 5263 \text{ dager} \tag{35}$$

Det tar ca 14 år for at utmattingsbrudd i sveis forbindelse mellom gaffellommene og bunnbjelkene kan skje, forutsatt at sveisen inspiseres årlig eller hver 6. måned.

3.5. Knekking

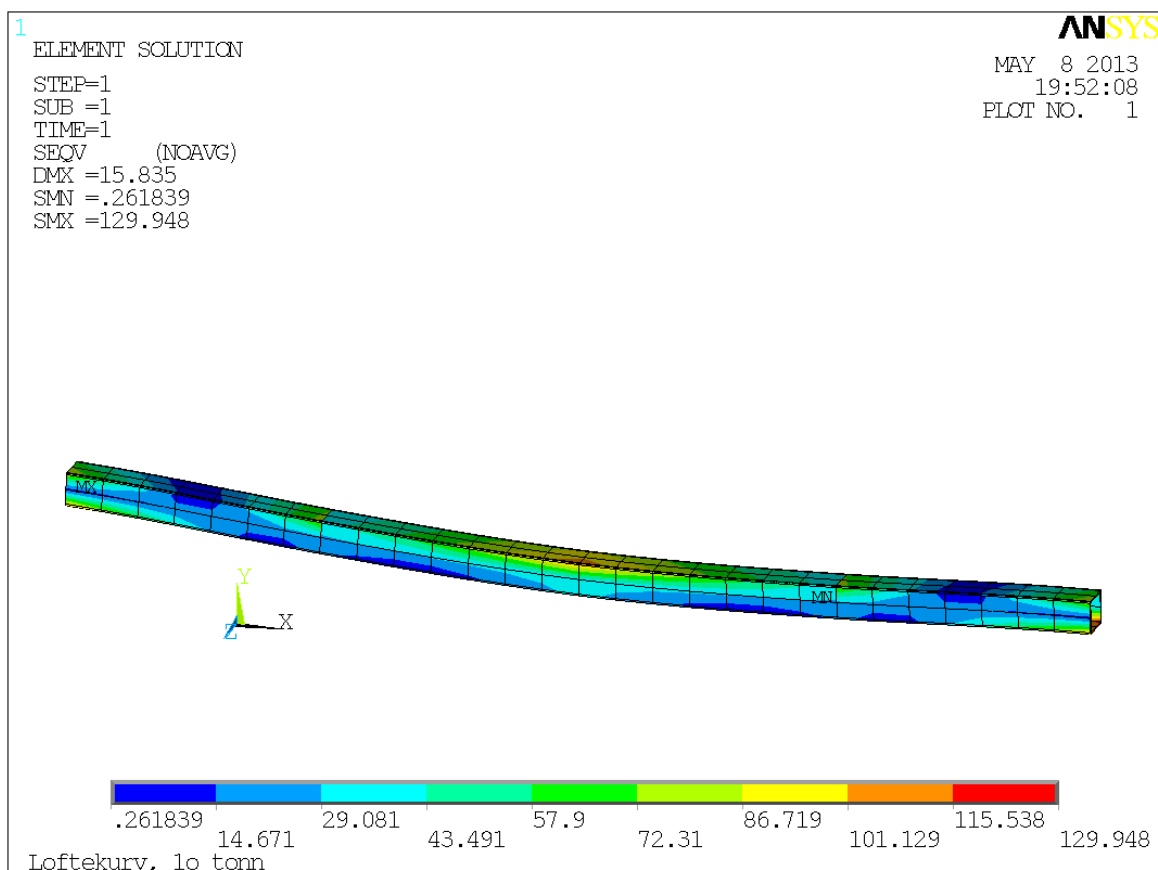
Knekking i praksis er karakterisert ved en plutselig svikt i en konstruksjonsdel, med årsak i høy trykk. Den faktiske trykkspenning på sviktpunktet er større enn den maksimale trykkspenningen materialet er i stand til å motstå.

Alle bjelker som er utsatt for trykkraft skal verifiseres for knekking, dette skal gjøres i henhold til kjente metoder og standarder. Jeg benytter meg av forenkelt metode 1 som kommer ut på konservativ side i forhold til eurokode 3

Beregninger viser at de bjelkene som er mest utsatt for knekking er langsgående bjelke mellom løfteørene samt de tre tversgående bunnbjelkene. Disse bli beregnet for knekking.

Knekking mellom løfteørene:

Kreftene og momentene som benyttes er hentet fra Ansys for den øverste bjelken mellom løfteørene, se Figur 3-31 og resultat tabell fra Ansys.



Figur 3-31: Bjelken mellom løfteørene.



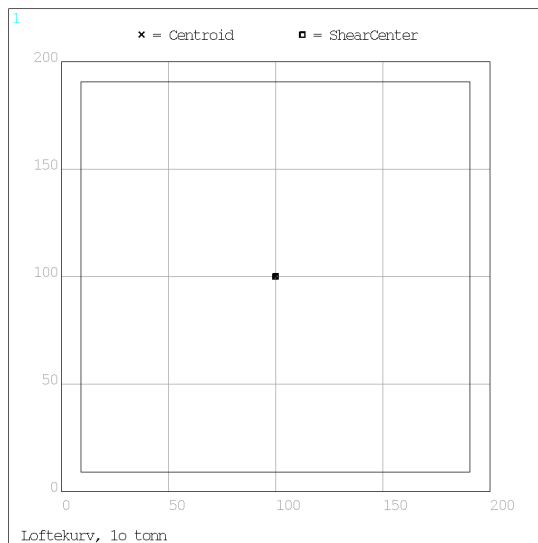
Fra resultattabell som er hentet fra Ansys, er den største kraften som virker på bjelken mellom løfteørene er:

$$F_x = 167670 N, \text{ Tabell 3-18.}$$

Bjelken er kvadratisk hullprofil av type stål S355, Figur 3-33.

$$f_y = 355 MPa \text{ og } f_u = 510 MPa$$

$$A = 6985 mm^2, I = 42,5 \cdot 10^6 mm^4$$



Figur 3-32: Bjelkens tverrsnitt (Utklipp fra Ansys).

Tabell 3-18: Resultattabell fra Ansys for bjelken mellom løfteørene.

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****

STAT ELEM	CURRENT FX	CURRENT MX	CURRENT MY	CURRENT MZ
131	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.40221E+08	-0.58448E+07
132	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.31193E+08	-0.47492E+07
133	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.22166E+08	-0.36536E+07
134	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.13139E+08	-0.25581E+07
135	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.41115E+07	-0.14625E+07
136	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.49159E+07	-0.36687E+06
137	-0.15063E+06	-0.14449E+07	0.13943E+08	0.72873E+06
138	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.42124E+07	0.14828E+07
139	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.81645E+07	0.19284E+07
140	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.12117E+08	0.23740E+07
141	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.16069E+08	0.28196E+07
142	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.20021E+08	0.32653E+07
143	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.23973E+08	0.37109E+07
144	-0.16767E+06	-0.46295E+06	0.27925E+08	0.41565E+07
145	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.31877E+08	0.46022E+07
146	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.27925E+08	0.41565E+07
147	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.23973E+08	0.37109E+07
148	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.20021E+08	0.32652E+07
149	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.16069E+08	0.28196E+07
150	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.12116E+08	0.23739E+07
151	-0.16767E+06	0.46292E+06	0.81644E+07	0.19283E+07
152	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.22970E+08	0.18241E+07
153	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.13943E+08	0.72850E+06
154	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.49157E+07	-0.36714E+06
155	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.41116E+07	-0.14628E+07
156	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.13139E+08	-0.25584E+07
157	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.22166E+08	-0.36540E+07
158	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.31193E+08	-0.47497E+07

MINIMUM VALUES			
ELEM	145	131	145
VALUE	-0.16767E+06	-0.14449E+07	-0.31877E+08

MAXIMUM VALUES			
ELEM	137	158	131
VALUE	-0.15063E+06	0.14449E+07	0.40221E+08

Antar at bjelken er leddlagret i begge ender $l_K = l$

Treghetsradius i er:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{42,5 \cdot 10^6}{6985}} = 78 mm \quad (36)$$

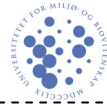
Slankhetsforholdet:

$$\lambda = \frac{l_K}{i} = \frac{6000}{78} = 76,92 \quad (37)$$

$\lambda \leq 89$ bruker Tetmajer:

Formelen for å beregne knekkfastheten for bjelken:

$$\sigma_K = 335 - 0,62 \cdot \lambda = 335 - 0,62 \cdot 76,92 = 287,31 MPa \quad (38)$$



Bjelken er under både trykk og bøyning. For å ta kontroll bruker vi forenklet interaksjonsformel [1].

Antar at sikkerhetsfaktor $n_k = 3$

Beregner tillatt knekkraft:

$$\begin{aligned}\sigma_K &= \frac{F_K}{A} \Rightarrow F_K = \sigma_K \cdot A \\ F_K &= 287,31 \cdot 6985 = 2006860 \text{ N} \\ F_{K,tillat} &= \frac{F_K}{n_K} = \frac{2006860}{3} = 668953 \text{ N} \\ f_y &= \frac{M_{b,maks} \cdot y}{I} \Rightarrow M_{b,maks} = \frac{f_y \cdot I}{y} \\ M_{b,maks} &= \frac{355 \cdot 42,5 \cdot 10^6}{100} = 15 \cdot 10^7 \text{ Nmm}\end{aligned}\tag{39}$$

Kriterier for at bjelken skal holde mot knekking:

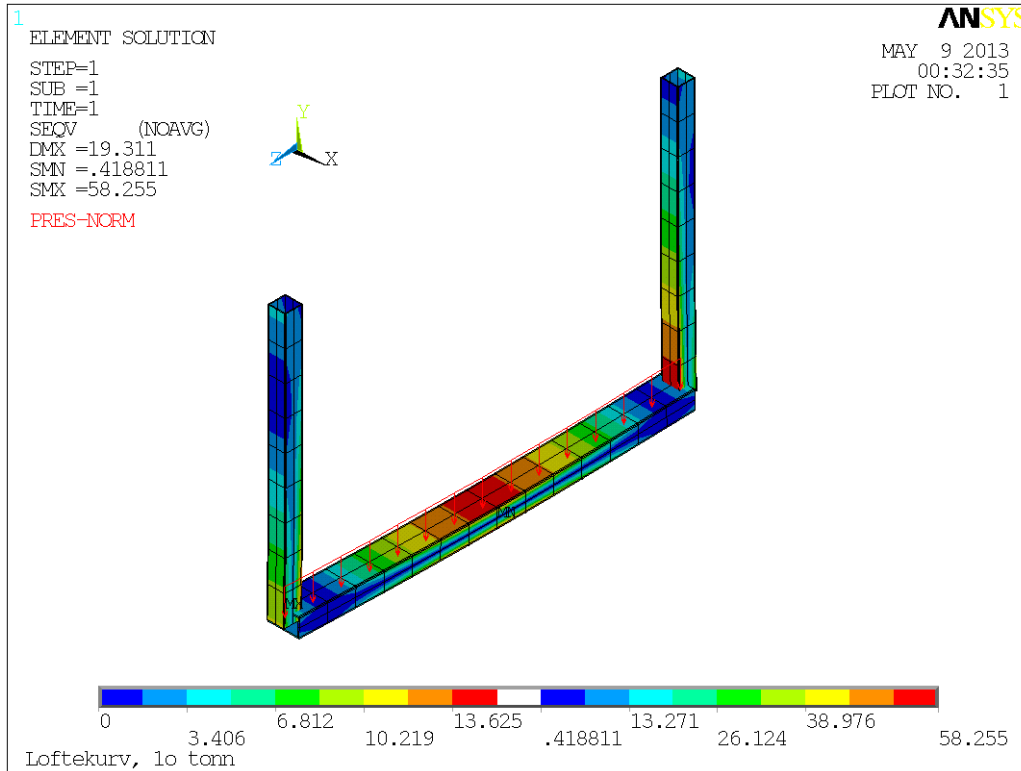
$$\begin{aligned}\frac{F}{F_{K,tillat}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,x}}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,y}}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,z}}{M_{b,maks}} &\leq 1 \\ \frac{167670}{668953} + \frac{1,5 \cdot 14 \cdot 10^5}{15 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 10^6}{15 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 58 \cdot 10^5}{15 \cdot 10^7} &\leq 1 \Rightarrow 0,72 \leq 1\end{aligned}\tag{40}$$

Siden verdien er mindre enn 1 vil det ikke være fare for knekking. Dersom verdien hadde vært større enn 1 kunne faktisk konstruksjonen likevel være sikker mot knekking. Det er fordi den forenklet metoden vi har brukt har er konservativ [1].

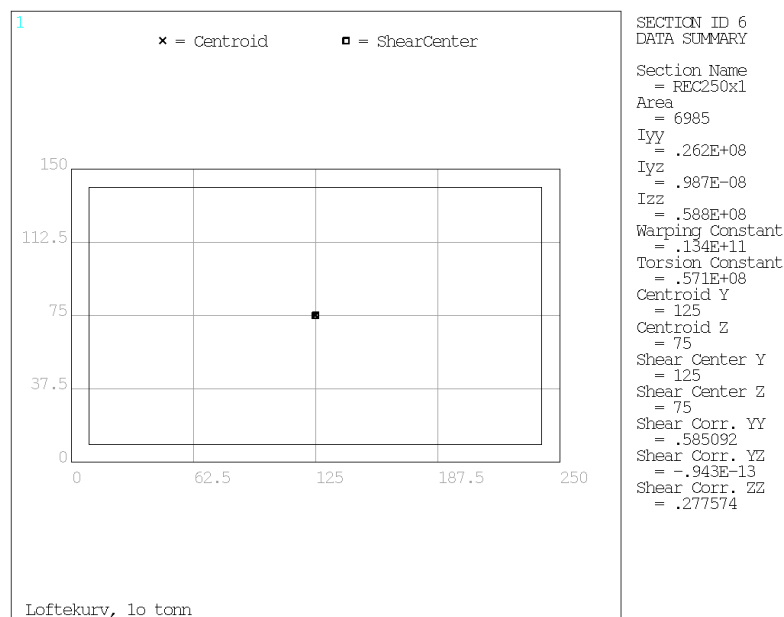
Resultatene skal også tilfredsstillere krav mot knekking iht. DNV 2.7-3, etter pkt. 3.4.4, hvor: $0,72 \leq 0,85$.

Beregningene mellom bærebjelkene i bunnen utføres på samme måte som mellom løfteørene. Figur 3-33 og 3-34 viser bilde og profilens dimensjoner fra Ansys til den midtre bærebjelken.

Knekking midtre tversgående bærebjelke:



Figur 3-33: Tversgående midtre bærebjelke.



Figur 3-34: Bjelkens tverrsnitt (Utklipp fra Ansys).



• **Knekking om svak akse y-y**

Fra resultattabell som er hentet fra Ansys se Tabell 3-14, er den største kraften som virker på den midtre bjelken er:

$$F_x = 35412 N, \text{ Tabell 3-19.}$$

Tregheitsradius:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}} = \sqrt{\frac{26,2 \cdot 10^6}{6985}} = 61,24 \text{ mm}$$

Slankhetsforholdet:

$$\lambda = \frac{l_K}{i_y} = \frac{3060}{61,24} = 49,97$$

$\lambda \leq 89$ bruker Tetmajer:

Formelen for å beregne knekkfastheten for bjelken:

$$\sigma_K = 335 - 0,62 \cdot \lambda$$

$$\sigma_K = 335 - 0,62 \cdot 49,97 = 304 \text{ MPa}$$

Bjelken er under både trykk og bøyning.

For å ta kontroll benyttes forenklet interaksjonsformel [1].

Antar at sikkerhetsfaktor $n_k = 3$

Beregner tillatt knekkkraft:

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A} \Rightarrow F_K = \sigma_K \cdot A$$

$$F_K = 304 \cdot 6985 = 2123440 N$$

$$F_{K,tillat} = \frac{F_K}{n_K} = \frac{2123440}{3} = 707813 N$$

$$f_y = \frac{M_{b,maks} \cdot y}{I_{yy}} \Rightarrow M_{b,maks} = \frac{f_y \cdot I_{yy}}{y}$$

$$M_{b,maks} = \frac{355 \cdot 26,20 \cdot 10^6}{75} = 13,34 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

Kriterier for at bjelken skal holde mot knekking:

$$\frac{35412}{707813} + \frac{1,5 \cdot 19,31 \cdot 10^6}{13,34 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 78,34 \cdot 10^5}{13,34 \cdot 10^7} \leq 1 \Rightarrow 0,36 \leq 1 \tag{40}$$

Note: Fra vedlegg B, $i_y = 60,20 \text{ mm}$, dette er mindre en det som er fra Ansys 61,24 mm, dvs. fra verdiene i vedlegg B, beregningen av knekking av samme bjelkelengde gir høyre verdi en det som ble funnet i (40), " jeg får 0,37". Dette viser at beregningen og profilmodifisering i Ansys, er på konservativ side.

Tabell 3-19: Resultattabell fra Ansys for den midtre bjelken.

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****

STAT ELEM	CURRENT FX	CURRENT MX	CURRENT MY	CURRENT MZ
246	35412.	-63.930	58.202	0.78336E+07
247	35412.	-63.930	45.062	0.68603E+07
248	35412.	-63.930	31.923	0.58870E+07
249	35412.	-63.930	18.783	0.49137E+07
250	35412.	-63.930	5.6430	0.39405E+07
251	35412.	-63.930	-7.4968	0.29672E+07
252	35412.	-63.930	-20.637	0.19939E+07
253	35412.	-63.930	-33.776	0.10206E+07
254	35412.	-63.930	-46.916	47347.
282	35412.	63.929	-0.78335E+07	-2487.4
283	35412.	63.929	-0.68602E+07	-2172.4
284	35412.	63.929	-0.58870E+07	-1857.5
285	35412.	63.929	-0.49137E+07	-1542.5
286	35412.	63.929	-0.39404E+07	-1227.6
287	35412.	63.929	-0.29672E+07	-912.62
288	35412.	63.929	-0.19939E+07	-597.67
289	35412.	63.929	-0.10206E+07	-282.72
290	35412.	63.929	-47383.	32.231
379	3035.6	19.769	0.55535E+07	5219.3
380	3035.6	19.769	-0.40038E+06	5529.4
381	3035.6	19.769	-0.55535E+07	5839.4
382	3035.6	19.769	-0.99058E+07	6149.5
383	3035.6	19.769	-0.13457E+08	6459.5
384	3035.6	19.769	-0.16208E+08	6769.6
385	3035.6	19.770	-0.18158E+08	7079.6
386	3035.3	-19.765	-0.19307E+08	7389.7
387	3035.3	-19.764	-0.18158E+08	7079.6
388	3035.3	-19.764	-0.16208E+08	6769.6
389	3035.3	-19.764	-0.13457E+08	6459.5
390	3035.3	-19.764	-0.99058E+07	6149.5
391	3035.3	-19.764	-0.55535E+07	5839.4
392	3035.3	-19.764	-0.40043E+06	5529.4

MINIMUM VALUES			
ELEM	VALUE		
390	3035.3	246	386
		-63.930	-0.19307E+08
			-2487.4

MAXIMUM VALUES			
ELEM	VALUE		
254	35412.	282	379
		63.929	0.55535E+07
			0.78336E+07



- **Knekking om sterk akse z-z**

Tregghetsradius:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_{zz}}{A}} = \sqrt{\frac{58,80 \cdot 10^6}{6985}} = 91,75 \text{ mm} \quad (36)$$

Slankhetsforholdet:

$$\lambda = \frac{l_K}{i_z} = \frac{3060}{91,75} = 33,35 \quad (37)$$

$\lambda \leq 89$ bruker Tetmajer:

Formelen for å beregne knekkfastheten for bjelken:

$$\sigma_K = 335 - 0,62 \cdot 33,35 = 314,32 \text{ MPa} \quad (38)$$

Bjelken er under både trykk og bøyning. For å kontrollere for knekking benyttes forenklet interaksjonsformel [1].

Antar at sikkerhetsfaktor $n_k = 3$

Beregner tillatt knekkraft:

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A} \Rightarrow F_K = \sigma_K \cdot A$$

$$F_K = 314,65 \cdot 6985 = 2195525 \text{ N}$$

$$F_{K,tillat} = \frac{F_K}{n_K} = \frac{2195525}{3} = 731842 \text{ N} \quad (36)$$

$$f_y = \frac{M_{b,maks} \cdot y}{I} \Rightarrow M_{b,maks} = \frac{f_y \cdot I}{y}$$

$$M_{b,maks} = \frac{355 \cdot 58,80 \cdot 10^6}{125} = 16,70 \cdot 10^7 \text{ N.mm}$$

Kriterier for at bjelken skal holde mot knekking:

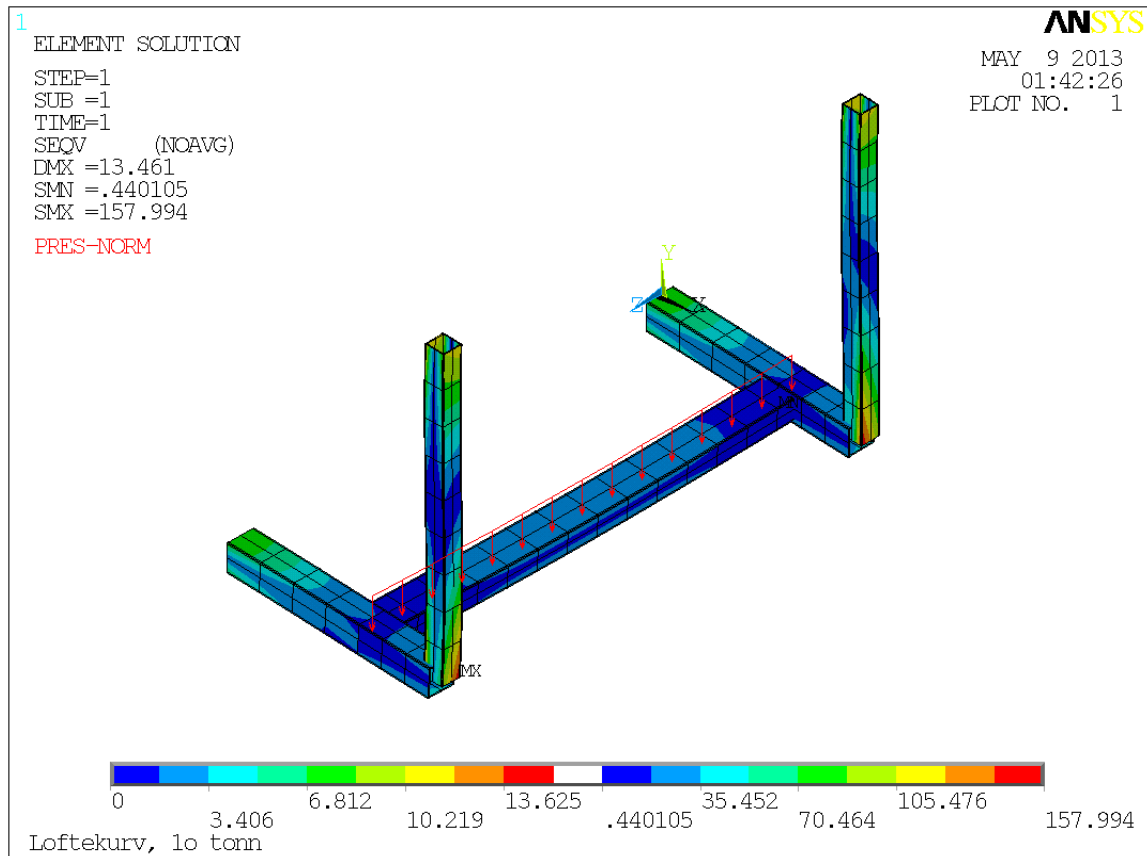
$$\frac{F}{F_{K,tillat}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,y}}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_{b,z}}{M_{b,maks}} \leq 1 \quad (40)$$

$$\frac{35412}{731842} + \frac{1,5 \cdot 19,31 \cdot 10^6}{16,70 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 78,34 \cdot 10^5}{16,70 \cdot 10^7} \leq 1 \Rightarrow 0,29 \leq 1$$

Det er ingen fare for knekking.

Knekking tversgående bærebjelke:

Figur 3-35 er bildet fra Ansys for en av de ytterste tversgående bærebjelkene.



Figur 3-35: Tversgående bærebjelke



• **Knekking om svak akse y-y**

$$\frac{33254}{707813} + \frac{1,5 \cdot 67,10 \cdot 10^5}{13,34 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 33,70 \cdot 10^6}{13,34 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 18,73 \cdot 10^6}{13,34 \cdot 10^7} \leq 1 \Rightarrow 0,72 \leq 1 \quad (40)$$

• **Knekking om sterk akse z-z**

$$\frac{33254}{731842} + \frac{1,5 \cdot 67,10 \cdot 10^5}{16,70 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 33,70 \cdot 10^6}{16,70 \cdot 10^7} + \frac{1,5 \cdot 18,73 \cdot 10^6}{16,70 \cdot 10^7} \leq 1 \Rightarrow 0,58 \leq 1 \quad (40)$$

Ingen fare for knekking.

Tabell 3-20: Resultattabell fra Ansys for en av de ytterste tversgående bærebjelkene.

```

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****

```

STAT ELEM	CURRENT FX	CURRENT MX	CURRENT MY	CURRENT MZ
1	33253.	0.67098E+07	0.33705E+08	-0.42866E+06
2	33253.	0.67098E+07	0.24400E+08	-0.17225E+06
3	33253.	0.67098E+07	0.15096E+08	84156.
4	33253.	0.67098E+07	0.57910E+07	0.34056E+06
5	32334.	0.17606E+07	0.67019E+07	-31178.
6	32334.	0.17606E+07	0.94021E+07	-0.23701E+06
7	32334.	0.17606E+07	0.12102E+08	-0.44284E+06
68	32337.	-0.17606E+07	0.14803E+08	-0.64413E+06
69	32337.	-0.17606E+07	0.12102E+08	-0.43898E+06
70	32337.	-0.17606E+07	0.94021E+07	-0.23383E+06
71	33254.	-0.67099E+07	0.35134E+07	0.59723E+06
72	33254.	-0.67099E+07	0.57911E+07	0.33829E+06
73	33254.	-0.67099E+07	0.15096E+08	79344.
74	33254.	-0.67099E+07	0.24400E+08	-0.17960E+06
237	23396.	-0.33548E+06	-0.18728E+08	0.55835E+07
238	23396.	-0.33548E+06	0.14563E+08	0.48540E+07
239	23396.	-0.33548E+06	0.10398E+08	0.41245E+07
240	23396.	-0.33548E+06	0.62327E+07	0.33950E+07
241	23396.	-0.33548E+06	0.20676E+07	0.26655E+07
242	23396.	-0.33548E+06	0.20976E+07	0.19360E+07
243	23396.	-0.33548E+06	0.62627E+07	0.12065E+07
244	23396.	-0.33548E+06	0.10428E+08	0.47699E+06
245	23396.	-0.33548E+06	0.14593E+08	-0.25250E+06
291	23396.	0.33549E+06	-0.55863E+07	0.18727E+08
292	23396.	0.33549E+06	-0.48562E+07	0.14562E+08
293	23396.	0.33549E+06	-0.41260E+07	0.10397E+08
294	23396.	0.33549E+06	-0.33959E+07	0.62322E+07
295	23396.	0.33549E+06	-0.26658E+07	0.20671E+07
296	23396.	0.33549E+06	-0.19357E+07	-0.20979E+07
297	23396.	0.33549E+06	-0.12055E+07	-0.62629E+07
298	23396.	0.33549E+06	-0.47541E+06	-0.10428E+08
299	23396.	0.33549E+06	0.25472E+06	0.14593E+08
365	2174.4	-0.31882E+07	0.48826E+07	0.62765E+06
366	2174.4	-0.31882E+07	0.22069E+06	0.41811E+06
367	2174.4	-0.31882E+07	0.36404E+07	0.20857E+06
368	2174.4	-0.31882E+07	0.67007E+07	-974.87
369	2174.4	-0.31882E+07	0.89601E+07	-0.21052E+06
370	2174.4	-0.31882E+07	0.10419E+08	-0.42006E+06
371	2174.4	-0.31882E+07	0.11077E+08	-0.62960E+06
372	2173.7	0.31882E+07	0.10934E+08	-0.83810E+06
373	2173.7	0.31882E+07	0.11077E+08	-0.62888E+06

```

**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****

```

STAT ELEM	CURRENT FX	CURRENT MX	CURRENT MY	CURRENT MZ
374	2173.7	0.31882E+07	0.10419E+08	-0.41966E+06
375	2173.7	0.31882E+07	0.89601E+07	-0.21044E+06
376	2173.7	0.31882E+07	0.67007E+07	-1221.9
377	2173.7	0.31882E+07	0.36404E+07	0.20800E+06
378	2173.7	0.31882E+07	0.22067E+06	0.41722E+06

```

MINIMUM VALUES
ELEM 378
VALUE 2173.7 -0.67099E+07 -0.18728E+08 -0.14593E+08

```

```

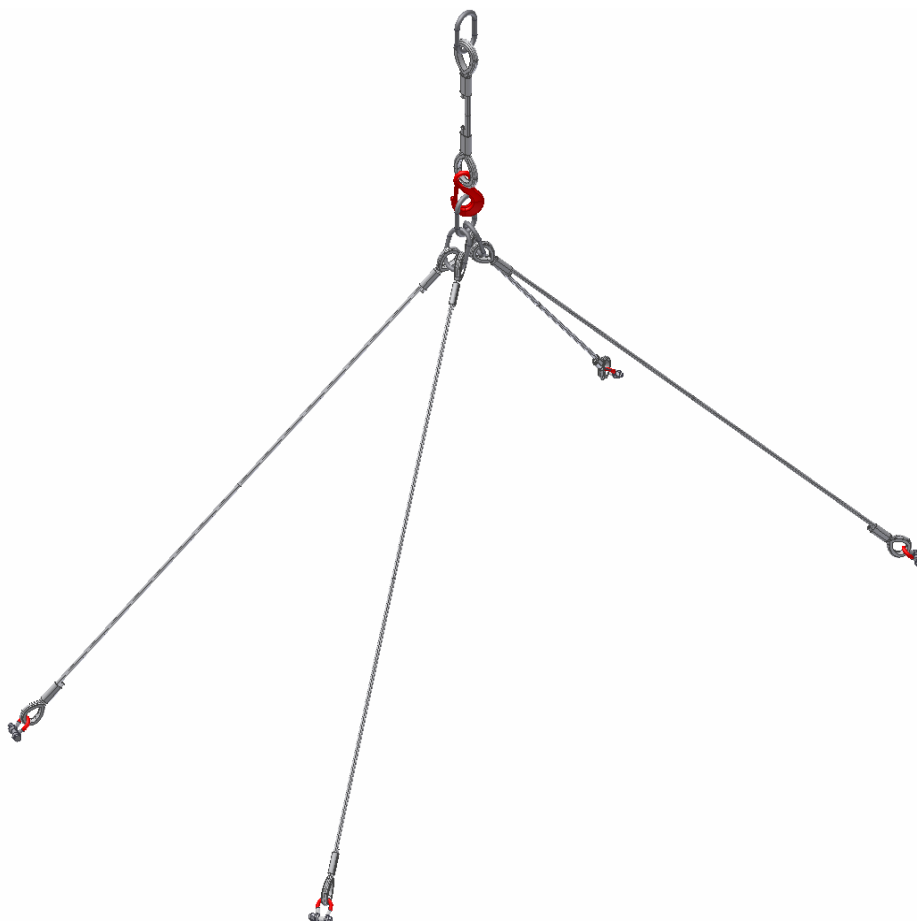
MAXIMUM VALUES
ELEM 74
VALUE 33254. 0.67098E+07 0.33705E+08 0.18727E+08

```

Kapittel 4

ELEMENT- OG LØSNINGSVALG

- 4.1. Komponenter.
 - 4.1.1 Ferdig fabrikkerte komponenter.
 - 4.1.2 Designede komponenter.
- 4.2. Hovedelementer.



Det er viktig at løfteutstyr er sertifisert iht. DNV eller EN standarder (Ikke kjøpes fra Clas Ohlson eller Biltema).

4.1. Komponenter

I dette kapittelet beskrives hvilke komponenter og deler som danner løftekurven, samt en kort beskrivelse av komponentene som trengs for å løfte kurven. Hovedelementene bestående av selve kurven, samt løfteøret og sveiseplaten er produkter som bestilles fra stålprodusenten Ruukki, som mottar arbeidstegninger og kapper komponentene etter ønske.

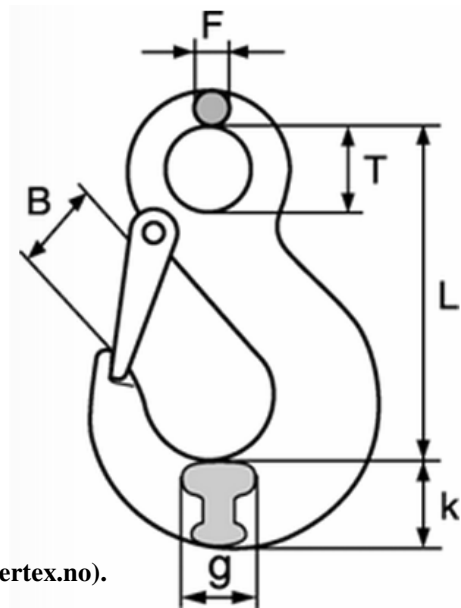
De ferdig fabrikerte komponenter bestilles fra leverandører innen løfteutstyr, som enkelt finner riktige dimensjoner ut fra gitt WLL.

Alle komponenter må være sertifiserte, aktuelle sertifiseringer angis for hver komponent.

4.1.1 Ferdig fabrikerte komponenter Fra leverandør

- Kroker

Kroken skal ha minimum tålt arbeidslast $WLL \geq 19,20 \text{ tonn}$ av leget stål klasse 8 i henhold til EN 1677-1. For dimensjoner, se Figur 4-1 og Tabell 4-1.



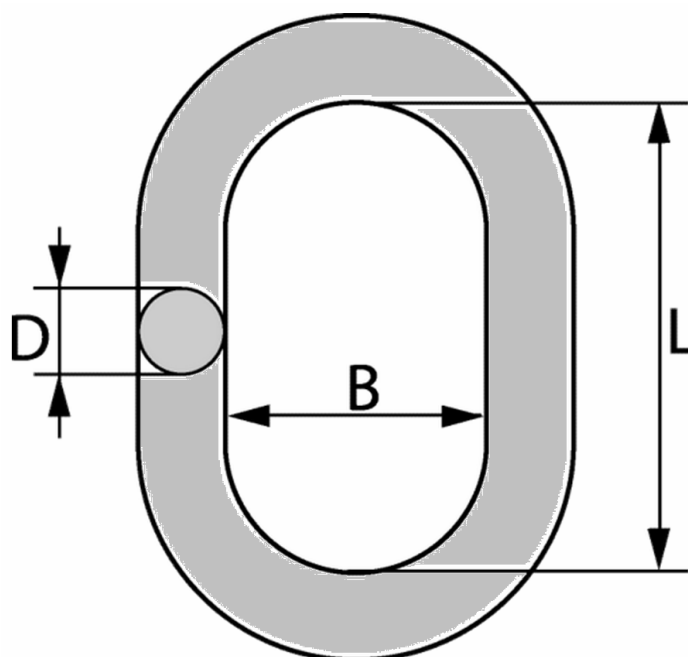
Figur 4-1: Krok (Kilde: www.certex.no).

Tabell 4-1: Krokdimensjon som skal brukes "merket med gul" (Kilde: www.certex.no).

Art. nr	WLL tonn	B	F	L	T	g	k	Vekt kg
08.05S320A0125	1,25	22,6	9,14	85,0	19,1	16,0	18,5	0,28
08.05S320A016	1,6	23,1	10,7	97,0	23,1	18,0	21,3	0,40
08.05S320A025	2,5	25,4	14,0	105	27,7	22,4	25,4	0,65
08.05S320A032	3,2	27,7	14,7	119	31,8	23,8	28,7	0,94
08.05S320054	5,4	34,5	18,3	147	39,6	33,3	36,6	1,95
08.05S320A08	8	40,9	22,9	187	51,0	42,2	46,0	3,76
08.05S320A115	11,5	53,0	28,2	230	62,0	41,4	57,0	6,8
08.05S320A16	16	57,5	32,3	256	72,0	49,3	66,0	9,42
08.05S320A22	22	76,5	39,6	318	89,0	60,5	76,0	17,9
08.05S320A315	31,5	82,5	44,5	357	89,0	76,2	92,0	27,2
08.05S320A37	37	76,0	51,0	462	114	81,0	116	47,6
08.05S320A45	45	86,0	55,4	511	125	82,6	129	67
08.05S320A60	60	105	64,3	602	145	99,3	152	103

- **Toppløkke**

Toppløkke skal ha minimum tålt arbeidslast $\geq 19,20 \text{ tonn}$ og være av klasse 8 i henhold til EN 1677-4. Det anbefales at toppløkken som skal festes til kroken på kranen, skal ha minimum innvendig mål på 270mm x 140mm, etter pkt. 8.3 [4]. For dimensjoner, se Figur 4-2 og Tabell 4-2.



Figur 4-2: Toppløkke (kilde: www.certex.no).

Tabell 4-2: Toppløkkedimensjonen som skal brukes''merket med gul'' (kilde: www.certex.no).

Art. nr	Type	WLL tonn	B	D	L	Vekt kg
07.0120OF	20 MM	6,7	82	20	150	1,1
07.0122OF	22 MM	8,2	90	22	170	1,6
07.0125OF	25 MM	10,7	103	25	190	2,3
07.0128OF	28 MM	12,9	113	28	209	3,2
07.01287OF	28 MM	11,8	140	28	270	4,0
07.0132OF	32 MM	17,1	140	32	270	5,3
07.0138OF	38 MM	28,1	140	38	270	7,5
07.0145OF	45 MM	38,3	170	45	320	12,5
07.0150OF	50 MM	45,0	200	50	380	18,0
07.0160OF	60 MM	65,3	220	60	430	30,0

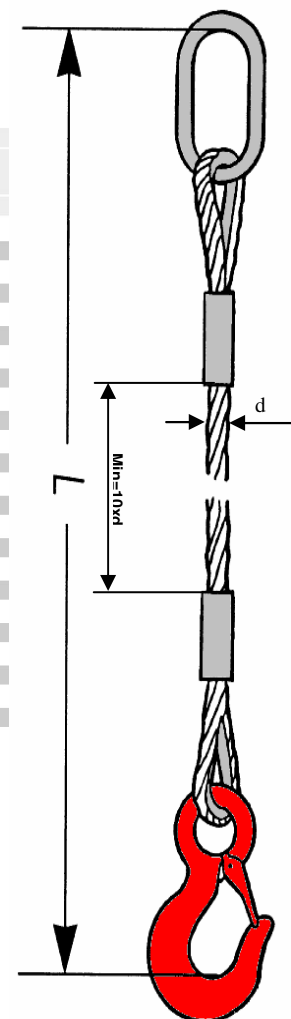
- **Førløper**

Førløper skal ha minimum tålt arbeidslast $WLL \geq 19,20 \text{ tonn}$.

Førløper ståltau diameter velges etter Appendix E, tabell E-2 [4], som er basert på EN 13414-1. Fra tabellen benyttes førløper diameter 44 mm, minimum lengde av førløper skal være 262 mm (Se pkt. 3.1.2). Førløper forbinder løftehode med kran og skal være av klasse 1770 N/mm^2 eller 1960 N/mm^2 og ha kause i begge ender, låst med talurittlås. For dimensjoner, se Figur 4-3 og Tabell 4-3.

Tabell 4-3: Førløpersdiameter av klasse 1770 MPa som skal brukes "merket med gul" (kilde: www.certex.no).

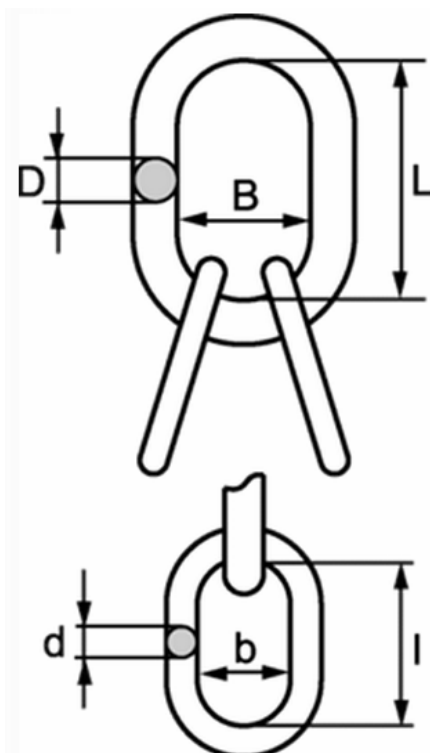
Wire Ø mm	Maks arbeidsbelastning (WLL) i tonn		
	Rett løft	Snaret løft	U-form
3	0,09	0,07	0,18
4	0,15	0,12	0,3
5	0,25	0,2	0,5
6	0,35	0,28	0,7
7	0,5	0,4	1
8	0,7	0,55	1,4
10	1,05	0,85	2,1
12	1,55	1,2	3,1
14	2,12	1,7	4,2
16	2,7	2,2	5,4
18	3,4	2,7	6,8
20	4,35	3,4	8,7
22	5,2	4,1	10,4
24	6,3	5	12,6
26	7,2	5,8	14,4
28	8,4	6,7	16,8
32	11	8,8	22
36	14	11,2	28
40	17	13,6	34
44	21	16,8	42
48	25	20	50
52	29	23,2	58
56	33,5	26,8	67
60	39	31,2	78



Figur 4-3: Førløper med toppløkke og kause i ene enden og sikkerhetskrok i andre enden.

- **Løftehodet**

Løftehodet består av balanseringer og hovedløkke. Løftehodet må dimensjoneres etter minimum tålt arbeids belastning (som beregnes ut fra DNV 2.7-1, tabell 8.1) $WLL_{\min} = 19,20 \text{ tonn}$, fra Tabellen 4-4 velger løftehode med arbeids belastning $WLL = 28,1$ tonn "markert med gul". Løftehode forbinder ståltauene med forløperen. Materialet er leget stål klasse 8. og er godkjent i henhold til DNV. For dimensjoner, se Figur 4-4 og Tabell 4-4.



Figur 4-4: Løftehode (kilde: www.certex.no).

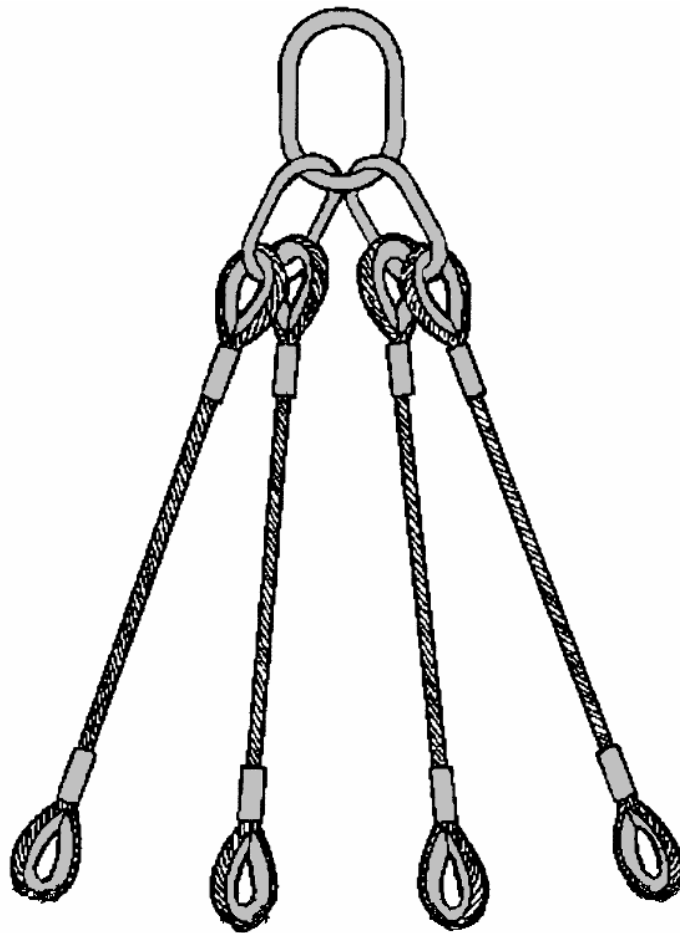
Tabell 4-4: Løftehodes dimensjoner som skal brukes "markert med gul"
(kilde: www.certex.no).

Art. nr	Type	WLL tonn	B	D	L	b	d	l	Vekt kg
07.01MA22OF	22 MM	8,2	90	22	170	80	20	134	3,8
07.01MA25OF	25 MM	10,7	100	25	190	80	20	134	4,5
07.01MA28OF	28 MM	12,9	110	28	210	90	22	170	6,4
07.01MA32OF	32 MM	17,1	140	32	270	100	25	190	9,9
07.01MA38OF	38 MM	28,1	140	38	270	140	32	270	18,2
07.01MA45OF	45 MM	38,3	170	45	320	140	38	270	27,7
07.01MA50OF	50 MM	45,0	200	50	380	140	38	270	33,2
07.01MA60OF	60 MM	65,3	220	60	430	200	50	380	66,0

- **Slings**

Slings av ståltau skal være i henhold til EN 13414-1 eller andre anerkjente standarder. Ståltau skal være med 6 kordeler (seksslott) av typen 6x19 eller 6x36 med stål eller fiberkjerne. Strekfastheten til ståltau skal være i klasse 1770 N/mm^2 eller 1960 N/mm^2 . WLL for slings skal være større eller lik 19,20 tonn. Maks vinkel i forholdt til vertikalen skal ikke overstige 45° . Ståltau skal kauses i begge ender, låst med talurittlås, i samsvar med EN 13411-3 eller andre godkjent standard, etter pkt.8.3.2.2 [4].

For aktuell konteiner skal det benyttes ståltau med diameter på 32 mm.



Figur 4-5: Sammensetning av loftehode og slings.

- **Sjakkel**

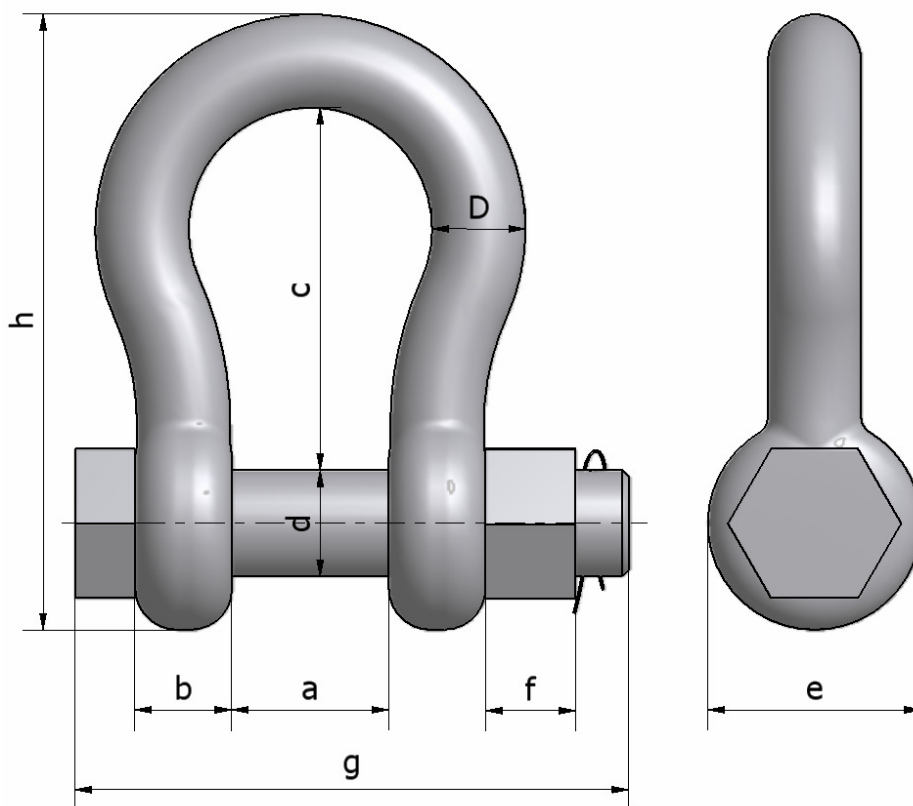
Sjakler som brukes til offshore løft skal være av klasse 6 iht. EN 13889, eller av klasse 8 i henhold til EN 1677-1 eller andre godkjente standarder. Krav som skal oppfylles er at sjaklene skal ha en sikkerhetsfaktor mot brudd på minimum 5 ganger arbeids last grensen (WLL). Og sjakkeltens diameter skal ha en toleranse på $-1\% +3\%$. For løfting av last skal det benyttes sjakler med dobbel låsing av bolt, eksempelvis mutter med splittpinne. Sjakkelt uten roterende bolt bør ikke brukes da det kan være fare for overføring av roterende krefter til sjakkelt som kan føre til at bolten løsner, etter pkt. 8.3.2.3 [4].

Sjakler skal være av bolt type med sekskant mutter og splint og godkjent i henholdt til DNV 2.7-1. Bestå av fire stk. og ha $WLL_s = 9,5\text{ tonn}$

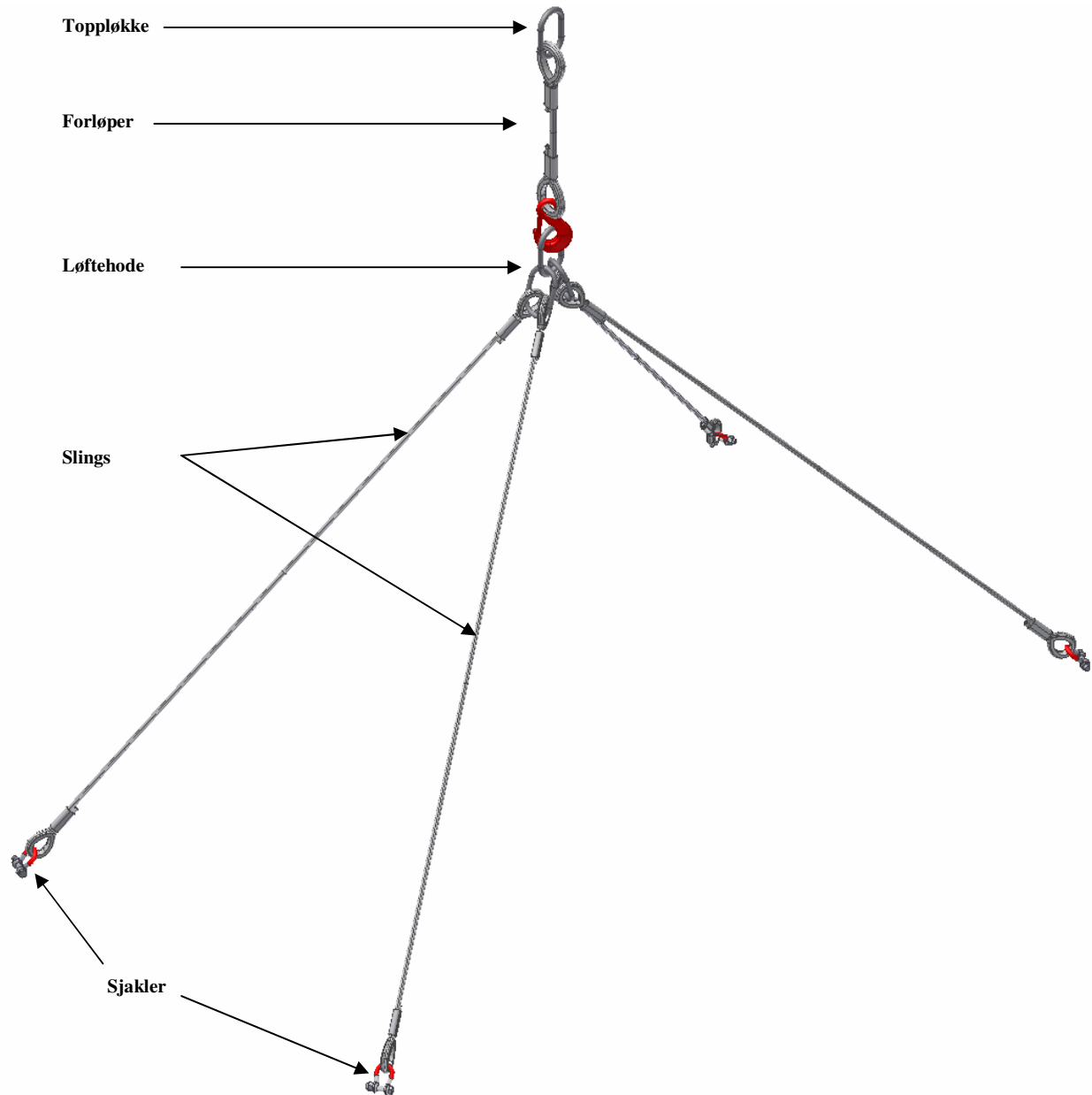
Tabell 4-5 og Figur 4-6 beskriver dimensjonene til sjakkelt som skal brukes.

Tabell 4-5: Sjakkeldimensjoner.

Innside bredde a (mm)	Øye bredde b (mm)	Innside lengde c (mm)	Bolt diameter d (mm)	Øye diameter e (mm)	Mutter tykkelse f (mm)	Bolt lengde g (mm)	Bow diameter D (mm)
47	28	108	32	66	27	166	28



Figur 4-6: H- Sjakkeldimensjon.



Figur 4-7: Sammensetning av løftutstyr som skal sertifiseres.

4.1.2 Designede komponenter

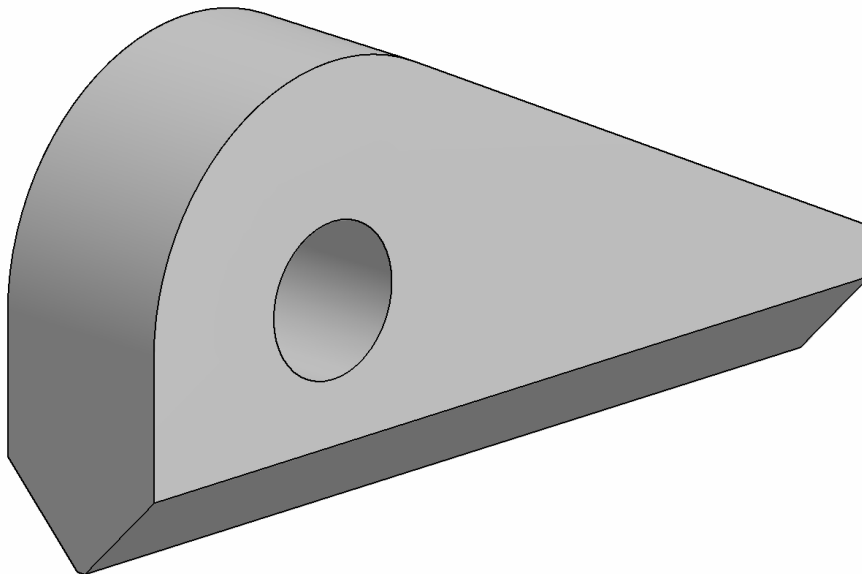
- **Løfteøret**

Består av fire stk. laget av stål kvalitet S420MLH. Løfteøret er designet slik at resultanten av ståltaukraften (RSL) treffer i senter av grunnmaterialet løfteøret er plassert på. Dette er optimalt design på løfteøret, gunstig med tanke på utmattingssegenskaper og for å hindre sideveis bøyemoment som kan oppstå i sveisen. Løfteøret designet etter Appendix D, pkt. D3 [4].

Løfteøret plasseres vertikalt og justert mot et sentralt punkt. Man kan tillate variasjoner i slings vinkel, dvs. tolerere noen variasjoner i slingslengder som vil gi en annen vinkel mot vertikalen. Dette vil ikke gi noen negativ effekt på løfteøret eller kurven, Appendix D, pkt. D1 [4].

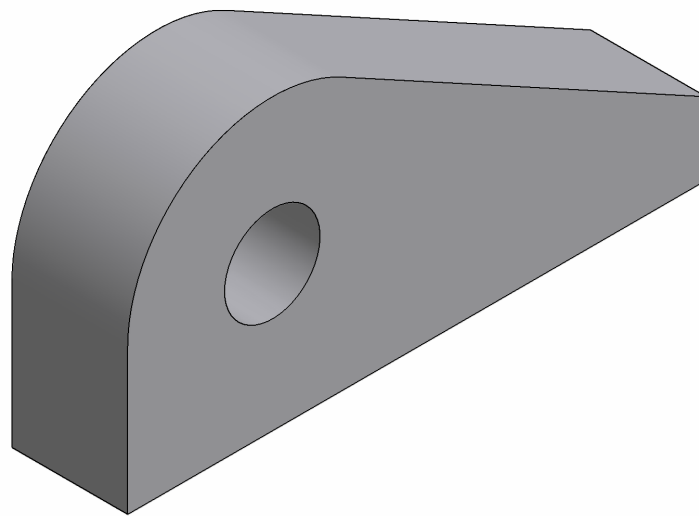
For denne løftekurven antas det at det benyttes slingslengder som gir 45° fra vertikal med en toleranse på $\pm 2,5^\circ$.

Løfteøret som er delvis slått inn i spor primærstrukturen er generelt å foretrekke, som vist i Figur 4-8, men andre design kan vurderes for godkjenning, etter Appendix D, pkt. D2 [4].



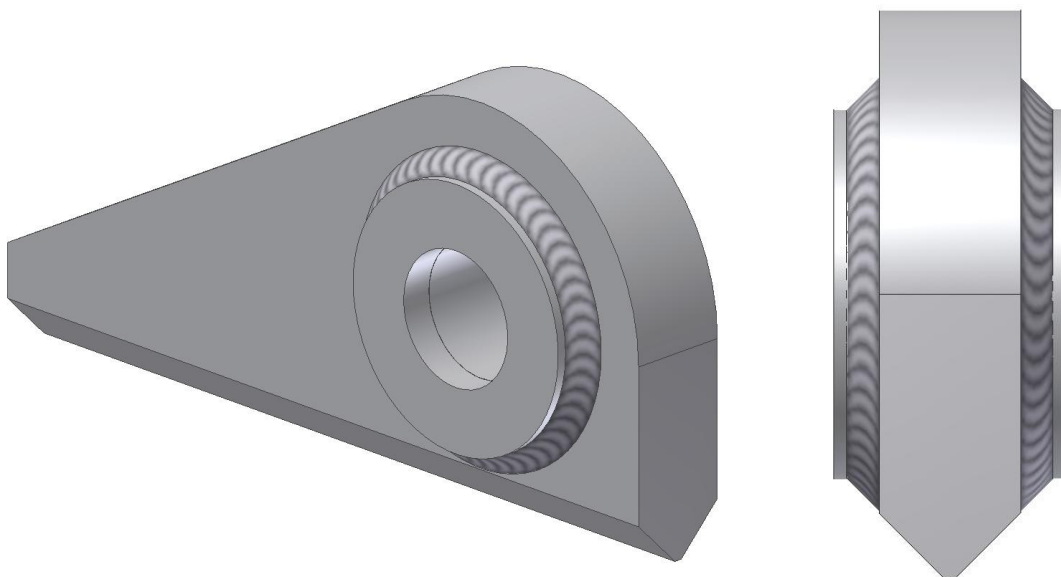
Figur 4-8: Løfteøret med spor.

For denne konteineren velger jeg å ikke benytte spor i primærstrukturen, og heller sveise løfteøret direkte på primærstrukturen som illustrert på Figur 4-9.



Figur 4-9: Løfteøret som skal brukes.

Løfteøret kan designes med eller uten sideplater, jeg har valgt løfteøret uten sideplater, da er dette enklere design, og mindre og billigere å produsere.



Figur 4-10: Løfteøre med sveiset sideplater er et foretrukket design.

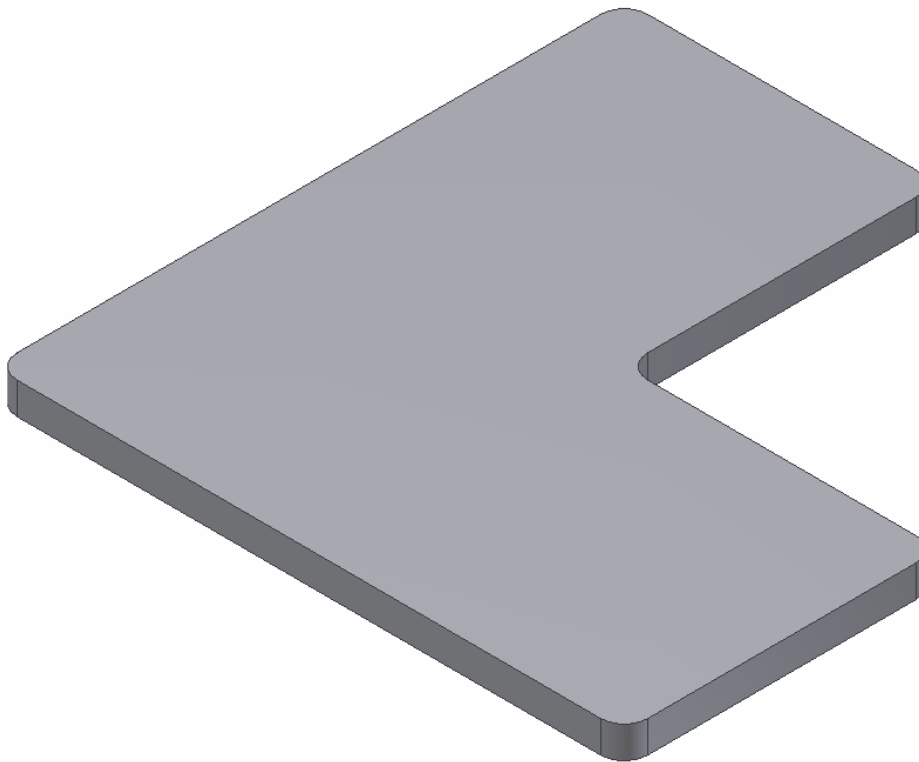
- **Støtteplate**

Platen er 25 mm tykk og har en vekt på 23,43 kg. Den skal plasseres i hvert hjørne av profilen og sveises på. Hensikten med platen er for å sveise løfterøret på den. For at platen skal kunne sveises til profilen, med full gjennomgående sveis, skal den ha Z- kvalitet, Figur 4-11 viser platens profil.

Materiale til platen er av typen S355J2H+Z25.

Z- kvalitetstål er en type stål med mindre svovel enn i vanlig stål, denne typen er anbefalt i alle situasjoner hvor sveisingen er utsatt for høye strekkspenningen gjennom plattykkelse (Z-akse). Z- kvalitet benyttes for å redusere laminær riving i plate [7].

Løfteørene sveises på støtteplater som er sveiset på hvert hjørne av løftekurven. Støtteplatenes plassering sørger for et mer strømlinjeformet design av kurvens overside og forenkler sveising av løfteøret.

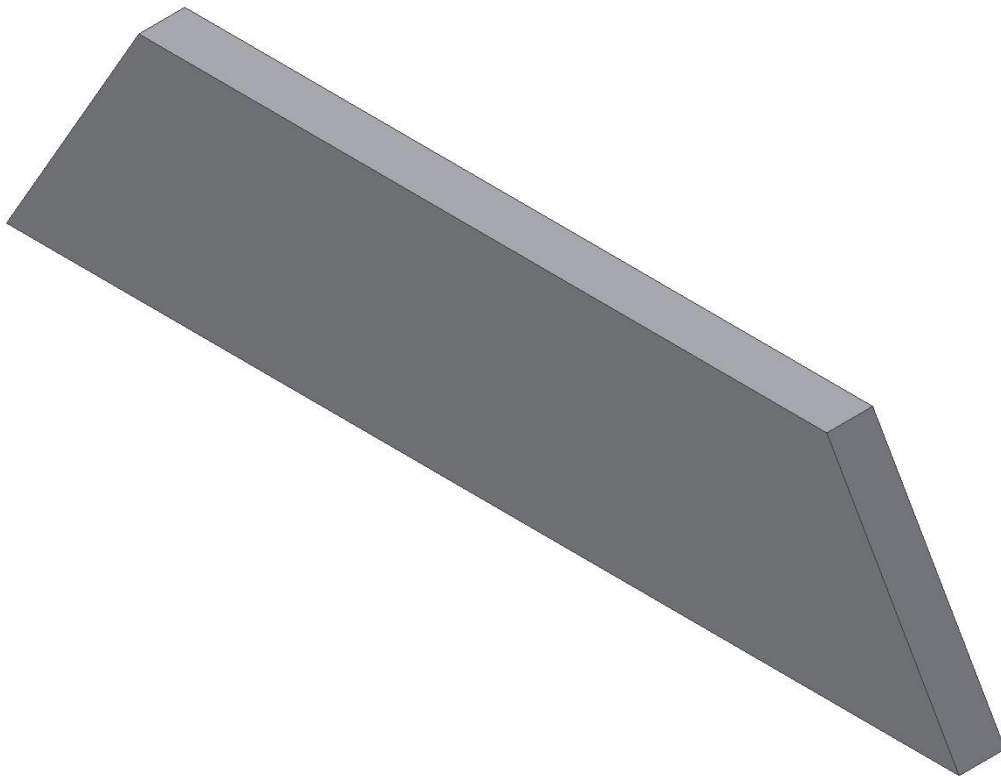


Figur 4-11: Støtteplate til løfteøret.

- **Forsterkningsplate**

Denne platen er 16 mm og 3,00 kg. Den er laget for å øke skjærespenningsarealet over åpningen til gaffellommene, dette medfører reduksjon i skjærespenningen, som kan oppstå p.g.a. løfting av kurven fra enten løfteøret eller gaffellommen. Platen skal sveises med kil sveis, a-mål = 4 mm, til bjelken som den plassers på, Figur 4-12 viser platens profil.

Materiale til plate er av ståltypen S355J2H.



Figur 4-12: Forsterkningsplate.

4.2. Hovedelementer

Elementene som danner primærstrukturen er hovedelementer til kurven. Elementene består av forskjellige typer profiler som følgerne:

- Kvadratisk hullprofil $200 \times 200 \times 10$
- Kvadratisk hullprofil $140 \times 140 \times 8$
- Rektangulær hullprofil $250 \times 150 \times 10$
- Rektangulær hullprofil $220 \times 110 \times 10$
- Rektangulær hullprofil $355 \times 120 \times 10$

Kvadratisk hullprofil $200 \times 200 \times 10$

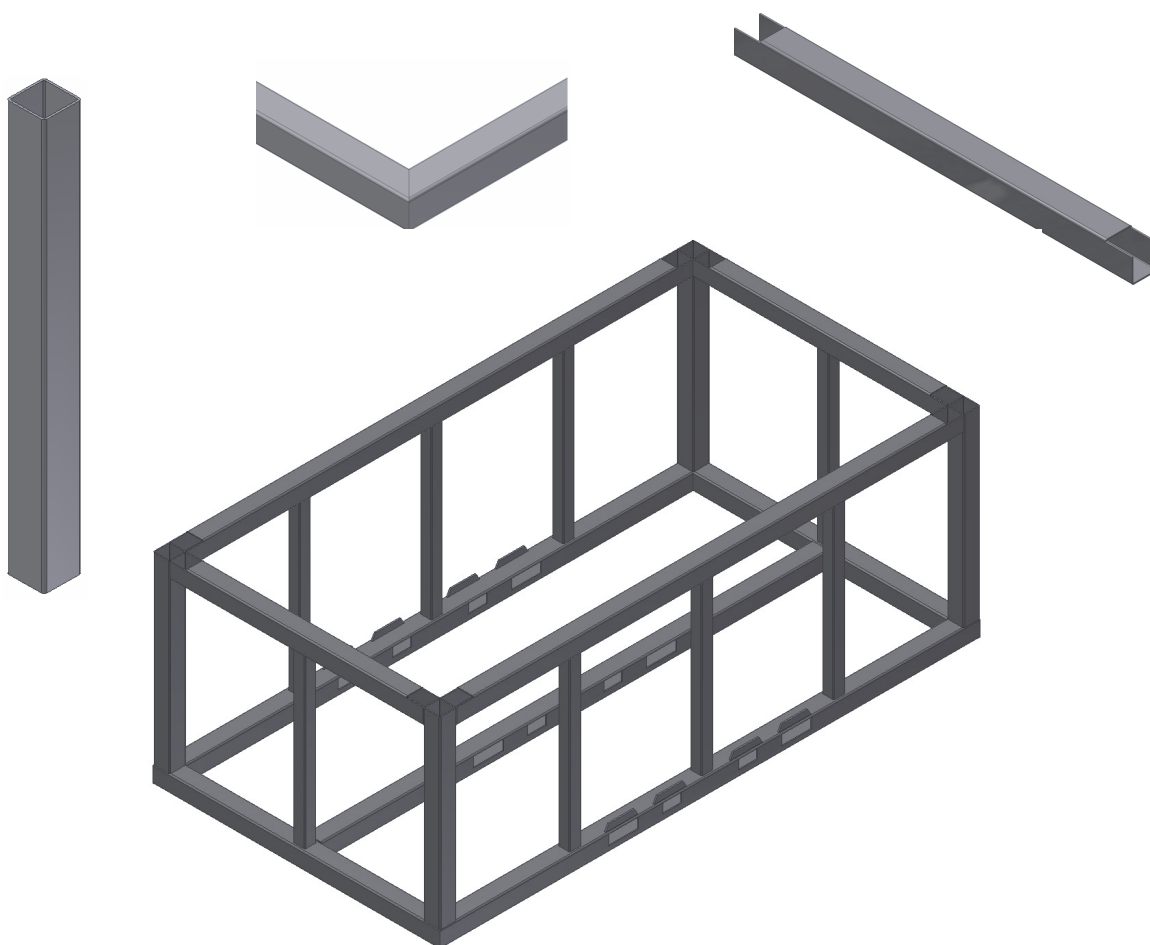
Profilen danner hovedramme av primærstrukturen. Det nederste planet skal kappes med en vinkel på 45° .

- Langsgående profiler består av 5 stk og har lengde på 6000 mm og hvert profil veier ca. 344 kg .

- Vertikalprofiler består av 4 stk og har lengde på 2184 mm , veier ca. 128 kg

- Horisontalprofiler består av 4 stk og har lengde på 3000 mm , veier ca. 170 kg .

I begge ender skal det kuttes spor 200 mm langt og 25 mm dypt.



Figur 4-13: Profil typer som er benyttet for å danne kurven.

Kvadratisk hullprofil 140×140×8

De danner støttebjelker, antall er 8 stk.

- Lengden på alle de 8 er 2000mm, og veier 65 kg per profil av stålqualiteten S355J2H.

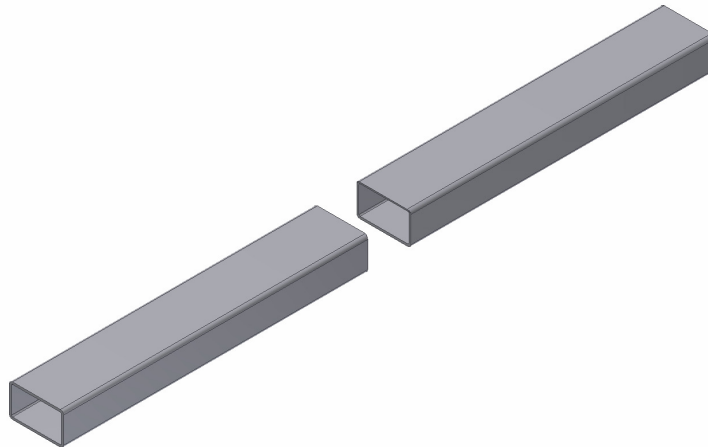


Figur 4-14: Kvadratisk hullprofil 140x140

Rektangulær hullprofil 250×150×10

Består av 6 stk. som skal sveises til langsgående bjelker med full gjennomgående sveis.

- Lengden er 1400mm og veier 81 kg per profil av stålqualiteten S355J2H.

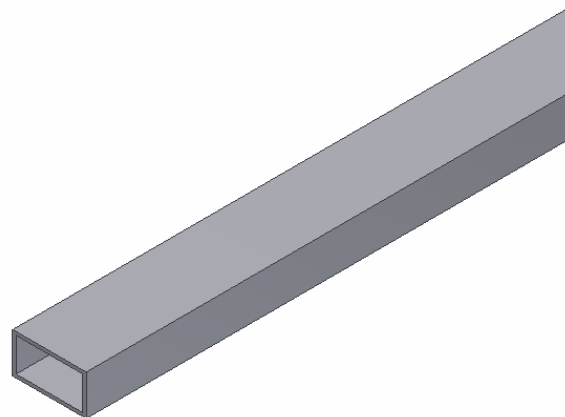


Figur 4-15: Rektangulær hullprofil 250x150

Rektangulær hullprofil 220×110×10

De danner gaffellommene når kurven er ubelastet.

Lengden er 3200mm og veier 151 kg per profil. av stålqualiteten S355J2H.

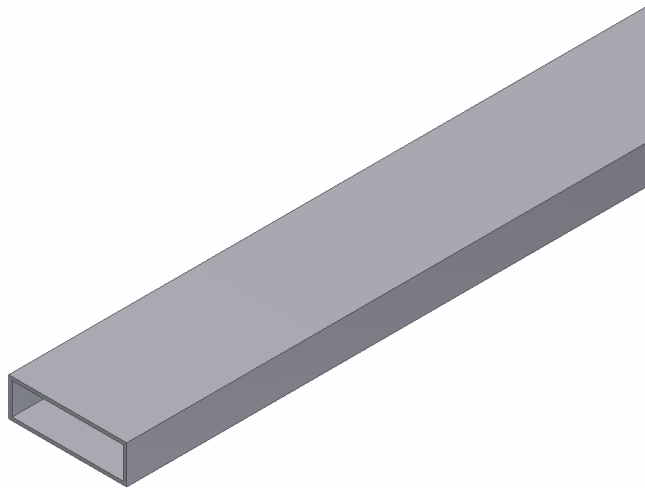


Figur 4-16: Rektangulær hullprofil 220x110

Rektangulær hullprofil 355×120×10

De danner gaffellommene når kurven er fullbelastet.

- Lengden er 3200mm og veier 219 kg per profil av stålqualiteten S355J2H.



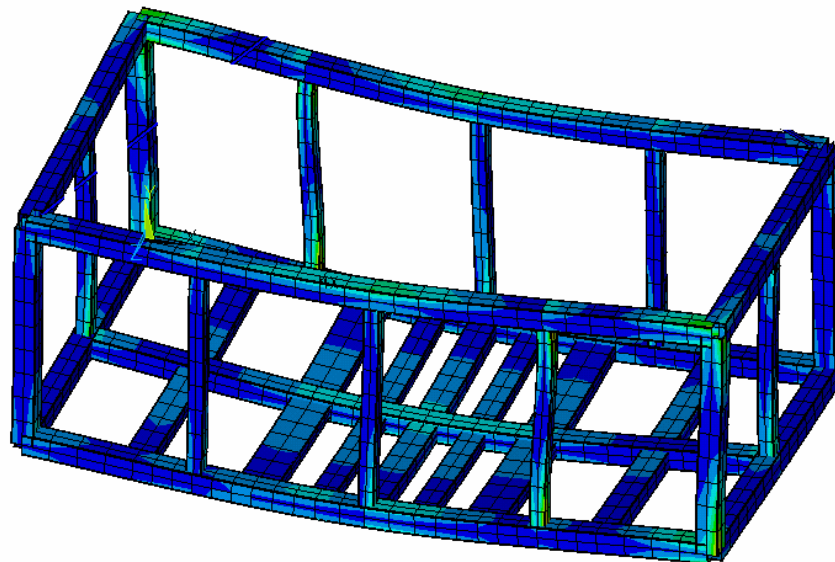
Figur 4-17: Rektangulær hullprofil 355x120

Se vedlegg F av konstruksjonstegninger, for mer tekniske detaljer om dimensjoner og kapping av profiler.

Kapittel 5

STRUKTUROPTIMERING (ANSYS)

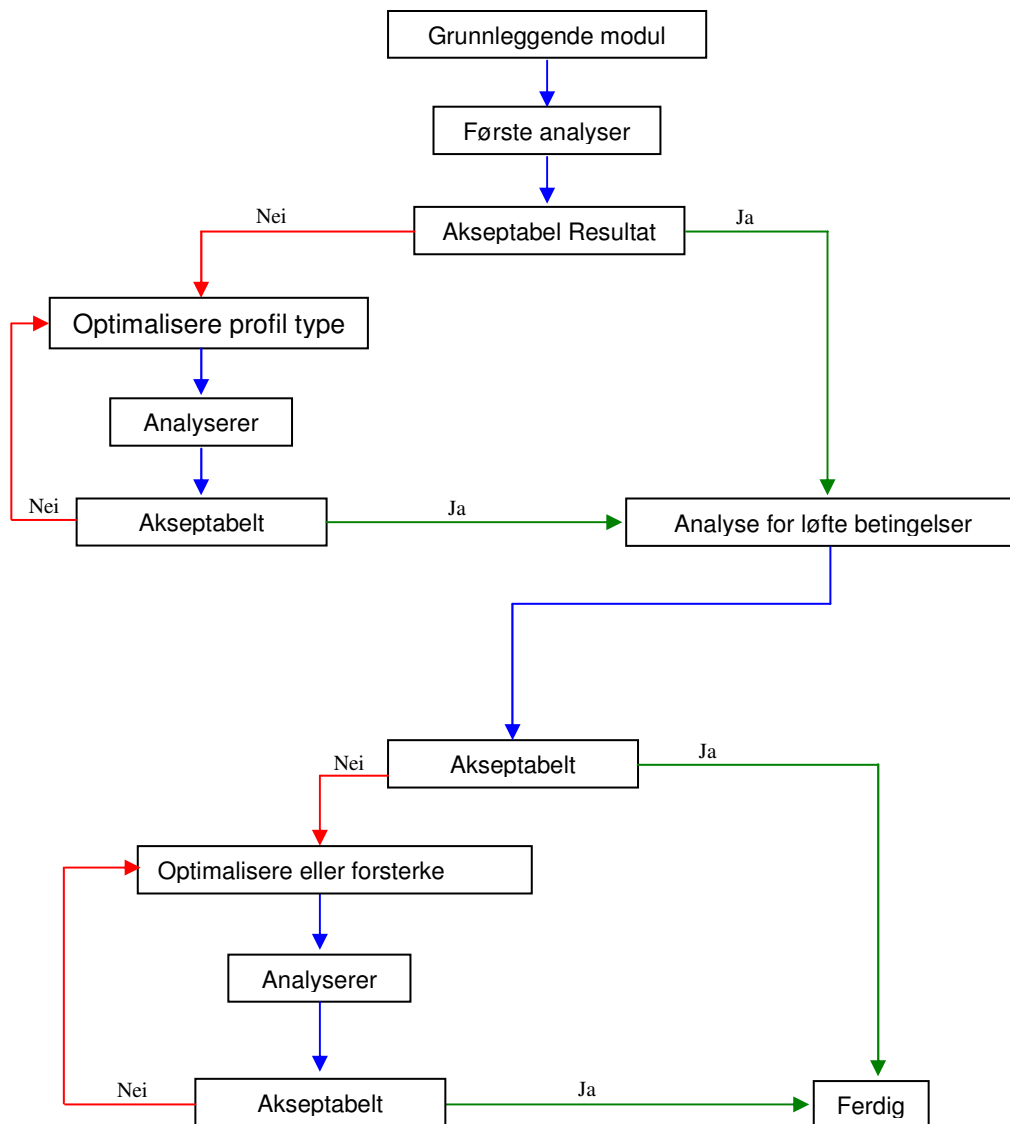
- 5.1. Generelt.
- 5.2. Strukturspenninger.
 - 5.2.1 Fire - punkter løft.
 - 5.2.2 To - Punkt løft (Diagonal løft test).
 - 5.2.3 Løfter fra gaffellommene.
 - 5.2.4 FEM analyse av løfteøret.
- 5.3. Materialvalg.
- 5.4. Korrosjonsbehandling.
- 5.5. Bearbeiding og utforming.
 - 5.5.1 Prototype Testing.
 - 5.5.2 Merking.



Elementmetoden (*Finite Element Method*) er i dag en av de viktigste numeriske løsningsmetoder innen en rekke problemstillinger.

5.1. Generelt

Jeg har benyttet denne fremgangsmåten for å komme frem til en endelig løsning på designet jeg velger å presentere. Analyser er gjort ved hjelp av ANSYS.



Figur 5-1: Fremgangsplan.



5.2. Strukturspenninger

I henhold til DNV 2.7-1, Appendix C, C1, kan man benytte Finite Element Methode (FEM) for å beregne hele primærstrukturens styrke eller en del av kurven som for eksempel løfteøret. Når det gjelder bruk av FEM analyse er det kun primærstrukturen som skal moduleres.

Elementmetoden deler konstruksjonen opp i mange små elementer, dermed kan man beregne spenningen i hvert enkelt element. Elementmetoden er anvendt på primærstrukturen ved bruk av Ansys classic program.

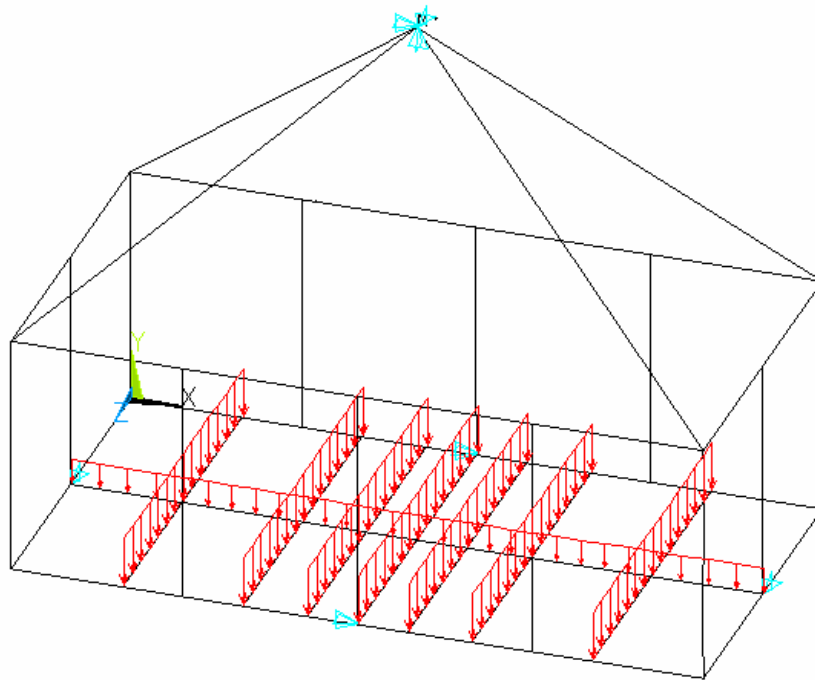
Her deler vi opp konstruksjonen i mange små elementer. Spenningen i hvert enkelt element kan beregnes.

Der det er store spenninger i forhold til hva materialet tåler blir fargen rød. Der spenningene blir lave blir fargen blå. Vi kan fjerne mye gods der fargen er blå og legge på mye der den blir rød. Dermed blir konstruksjonen optimalisert. Vi kan også endre på profilene og dimensjoner for å få optimal stivhet og deformasjon, beregne på nytt og, holde på slik til vi er fornøyd med spenningene i forhold til sikkerhetsfaktoren. Sikkerhetsfaktor er på 2,5, det vil si at kurven skal tåle 2,5 ganger så mye som den er ment for å tåle.

Jeg har valgt å bruke Ansys Classic for å gjennomføre FEM analyse for både primærstrukturen og løfteøret. Typeelementet jeg har brukt i primærstrukturen var beam189, og for løfteøret har jeg brukt solid92, se vedlegg D og E.

5.2.1 Fire - Punktløft

Lasten skal fordeles så realistisk som mulig. I virkeligheten er det vanskelig å vite om lasten kommer til å være jevnfordelt eller punkt last, eller en blanding av dem. Jeg har valgt å fordele lasten jevnfordelt mellom bærebjelkene i bunnen av primærstrukturen, som vist i Figur 5-2. Denne lasten gir de største spenninger og deformasjoner. Med en slik lastfordeling er jeg på den konservative siden når det gjelder spenning og deformasjoner.



Figur 5-2: Fullbelastet kurv.

Lasten fordeles slik:

$$R = 2,5 \cdot 15000 \cdot 9,81 = 367875 \text{ N}$$

antall bærebjelker = 8 stk

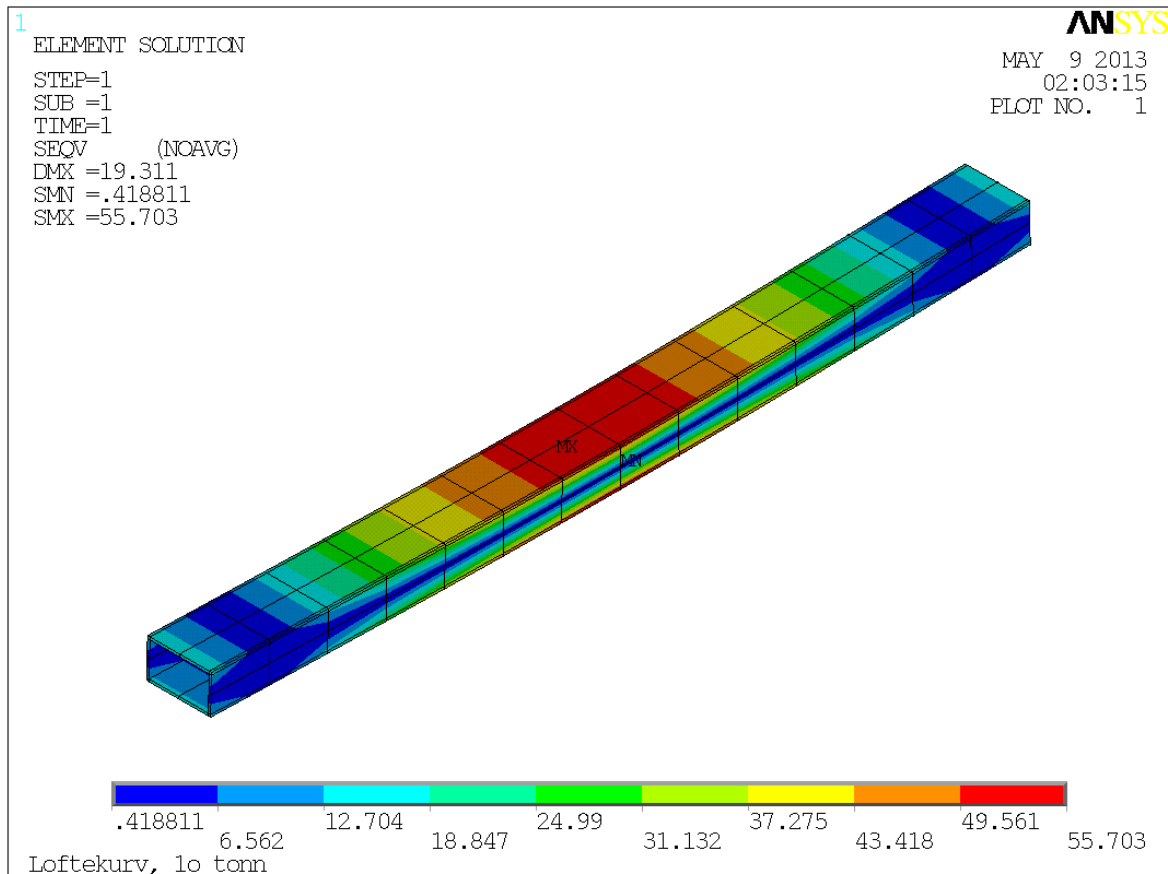
$$\text{Kraffordeling på tversgående bjelker, } w = \frac{367875 \text{ N}}{8 \cdot 3000} = 15,24 \text{ N / mm}$$

$$\text{Kraffordeling på langsgående bjelken, } w = \frac{367875 \text{ N}}{8 \cdot 6000} = 7,66 \text{ N / mm}$$

Kurven skal låses som vist i Figur 5-2.

Etter at simulasjonen er ferdig vil den maksimale deformasjonen skje på midtbærebjelken $\delta = 19,31\text{mm}$, se Figur 5-3. Dette er under grense til det som er tillat:

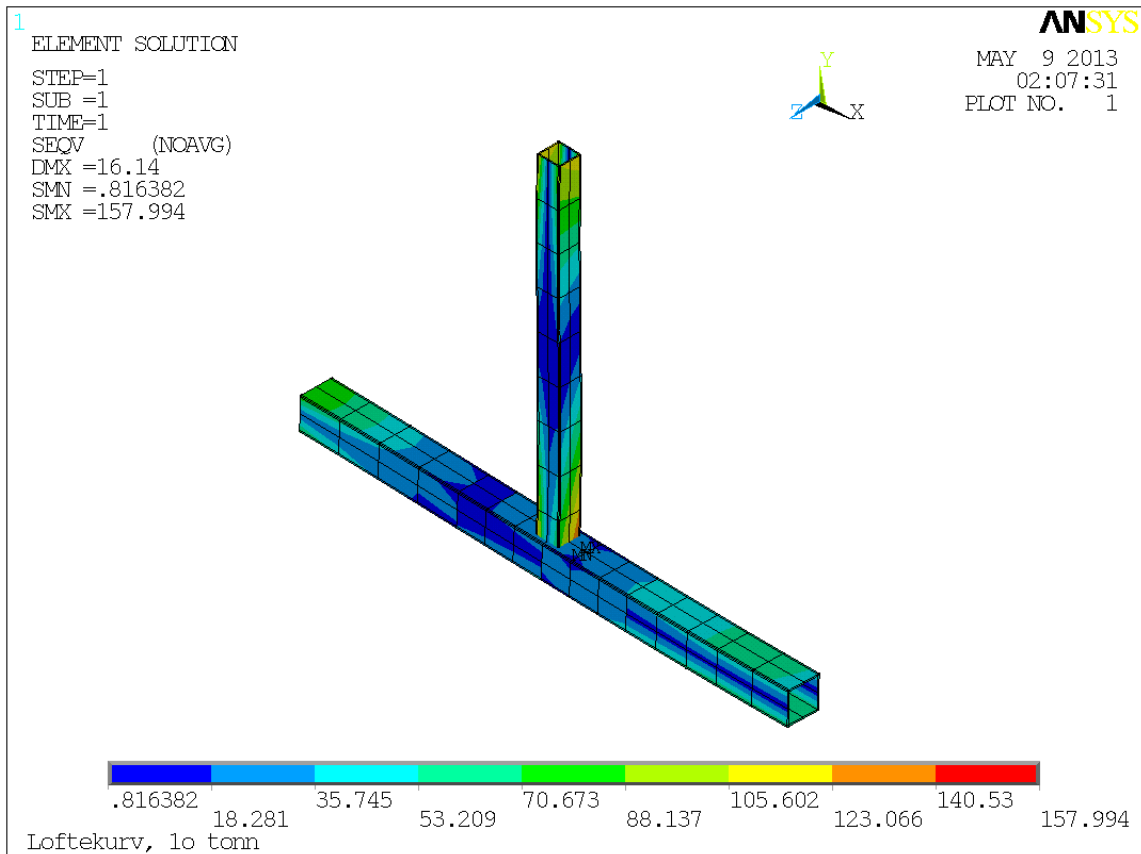
$$\text{Total tillat deformasjonen: } \delta \leq \frac{l}{300} = \frac{6200}{300} = 20,667\text{ mm}$$



Figur 5-3: Maks deformasjon skjer på midtbjelken.

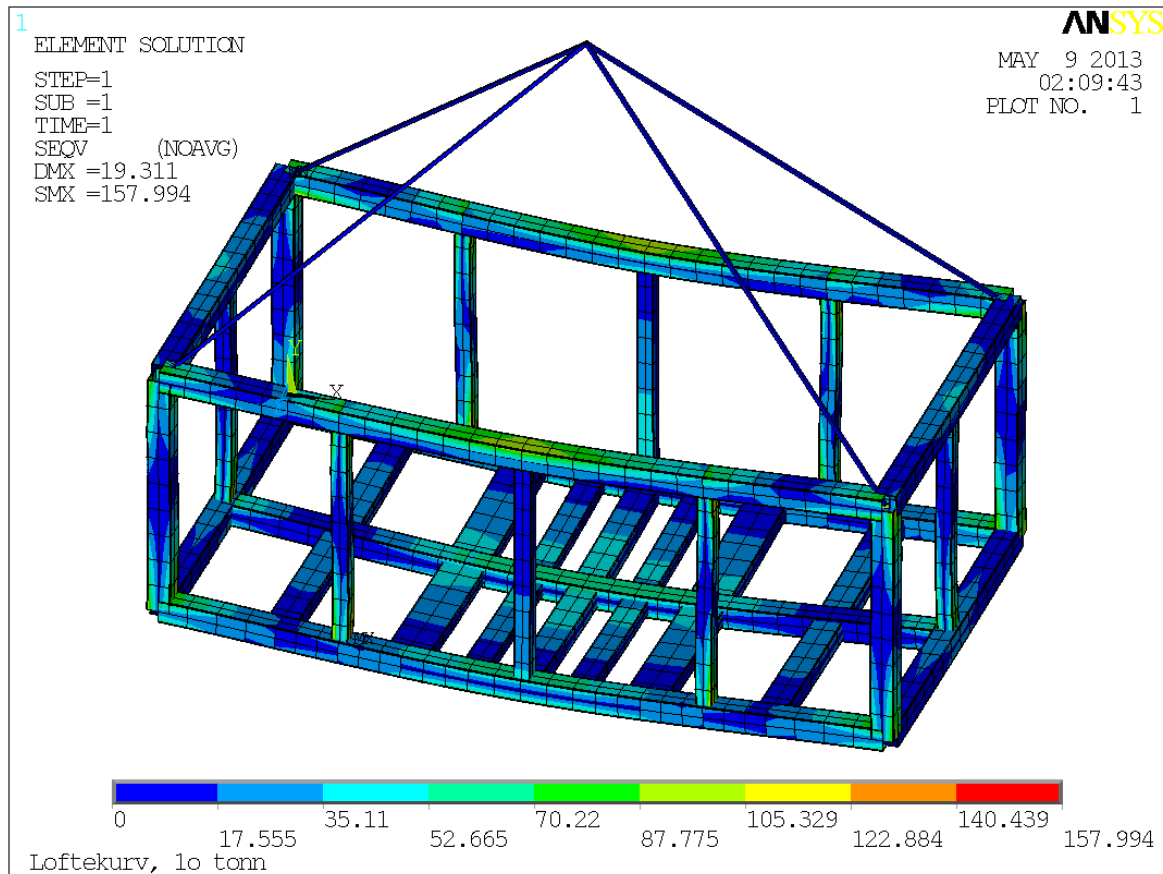
Maks jevnførende spenninger (Von Mises) er på 157,994 MPa, og skjer ved T-forbindelser mellom langsgående bjelker og støttebjelker, se Figur 5-4. Dette er mindre enn tillat dimensjonerende spenning som er:

$$\sigma_e = 0,85 \cdot f_y = 0,85 \cdot 355 = 301,75 \text{ MPa}$$



Figur 5-4: Maks jevnførende spenninger.

Figur 5-5 viser Von Mises spenninger (157,994 MPa) og maks. deformasjon (19,311 mm) for hele kurven.



Figur 5-5: Fire- punktløft test av kurven.

5.2.2 To - Punktløft (Diagonal løft test)

Primærstruktur lastes her med last som er på $1,5 \cdot R \cdot g$

Kraftfordeling skal være det samme som for 4-punkt løft

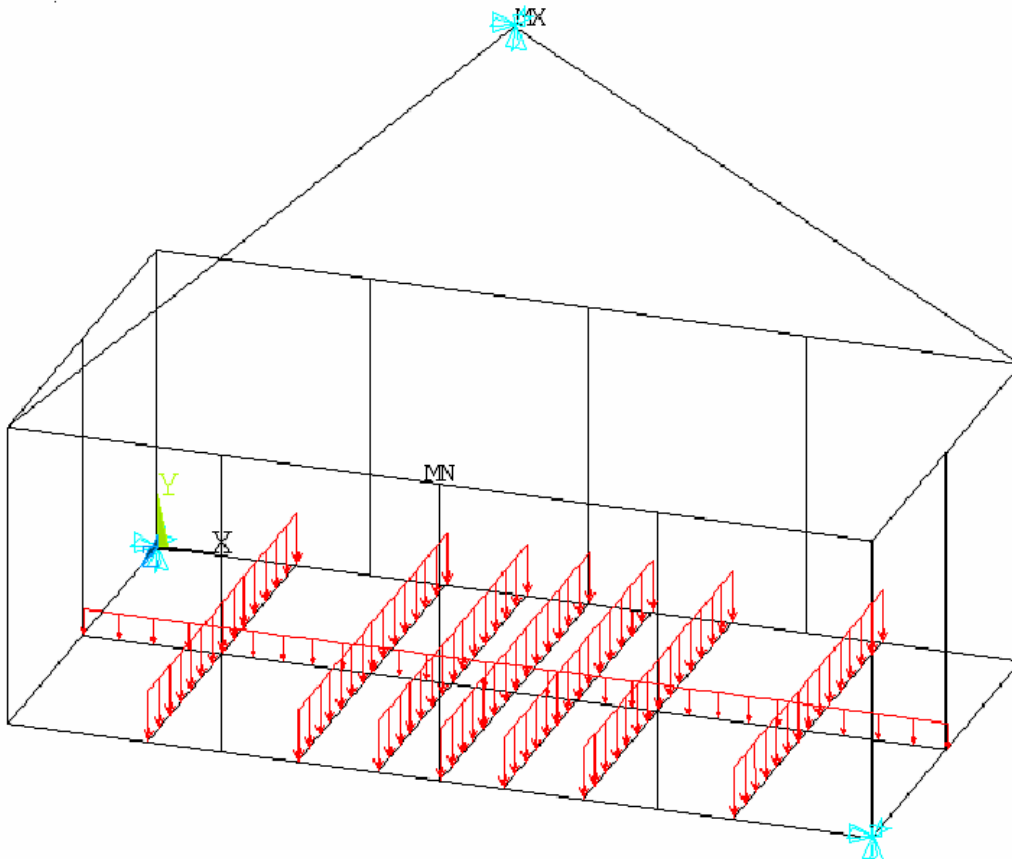
$$R_{2\text{-punkt}} = 1,5 \cdot 15000 \cdot 9,81 = 220725 \text{ N}$$

antall bærebjelker = 8 stk

$$\text{Kraftfordeling på tversgående bjelker, } w = \frac{220725 \text{ N}}{8 \cdot 3000 \text{ mm}} = 9,20 \text{ N/mm}$$

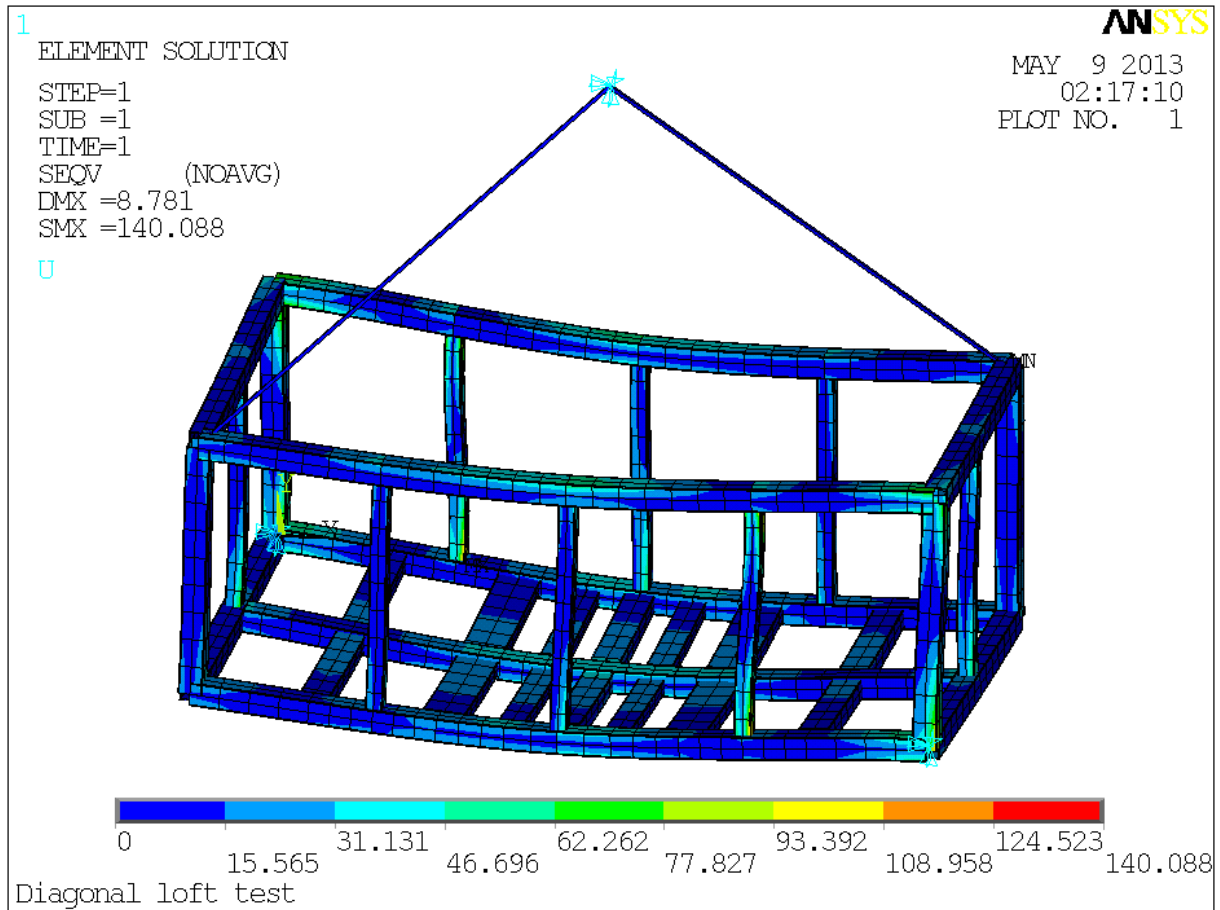
$$\text{Kraftfordeling på den langsgående bjelken, } w = \frac{220725 \text{ N}}{8 \cdot 6000 \text{ mm}} = 4,60 \text{ N/mm}$$

Kurven skal låses i x,y og z retninger på løftepunkt, og på x,y og z retninger på de motsatte diagonale punkter, se Figur 5-6



Figur 5-6: Last (rødt) og låste punkter (turkis) for diagonal test.

Figur 5-7 viser den maksimum deformasjon (8,781 mm) og Von Mises spenninger (140,088 MPa).



Figur 5-7: Diagonal løft test.

5.2.3 Løfter fra gaffellommene:

Etter pkt. 4.2.3.2 [4] skal primærstrukturen lastes med last som er på

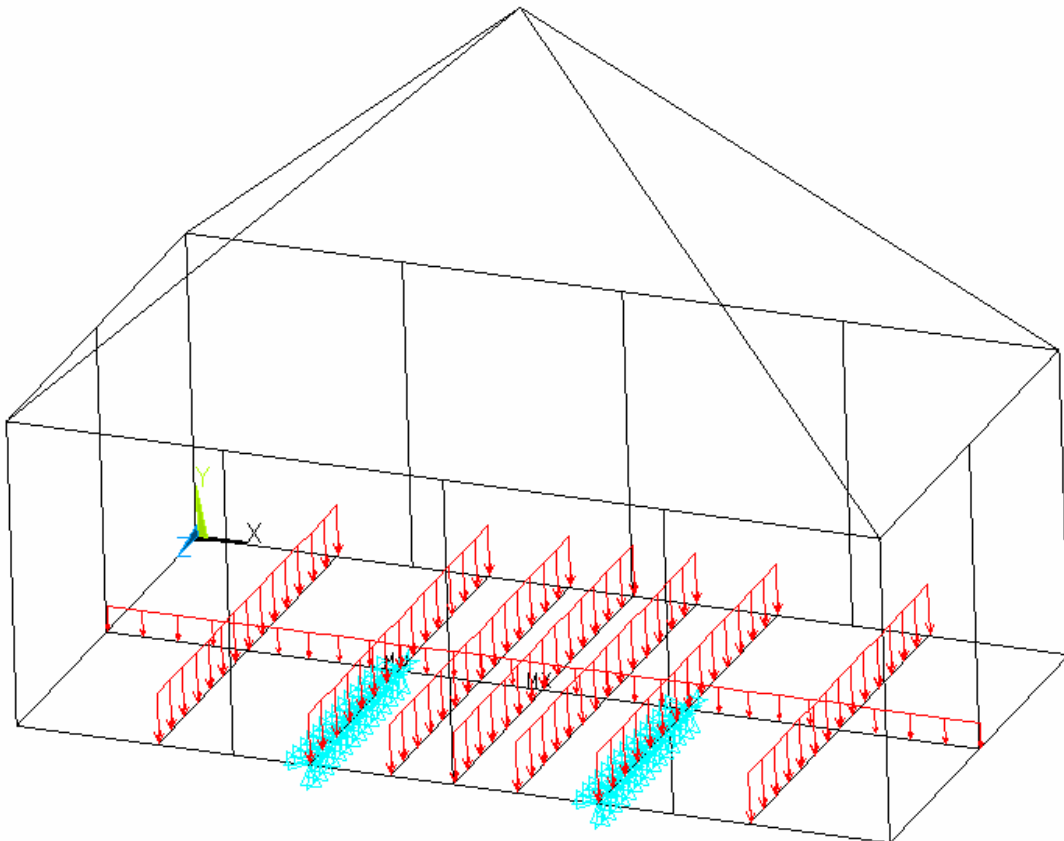
$$F_p = 1,6 \cdot (R + S) \cdot g$$

$S = 200 \text{ kg}$ (vekten på løftutstyr)

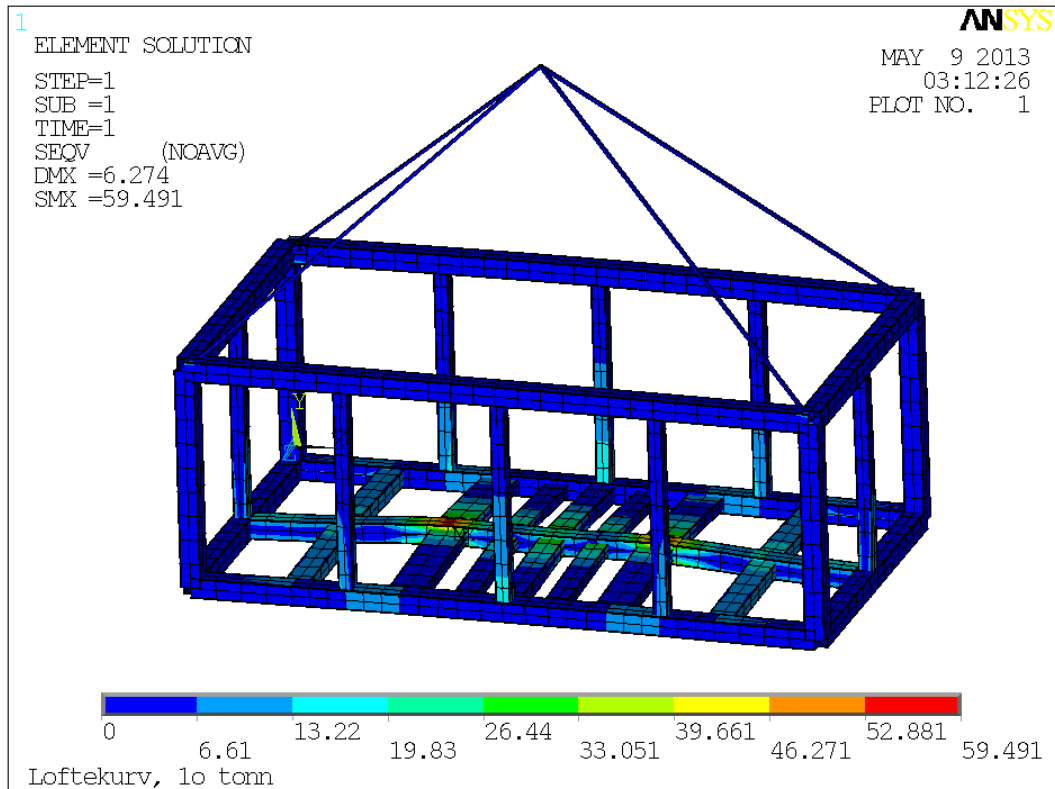
Kraffordeling skal være det samme som for 4-punkt løft

Kurven skal låses i x,y og z retningene på gaffellommene som vist i Figur 5-8

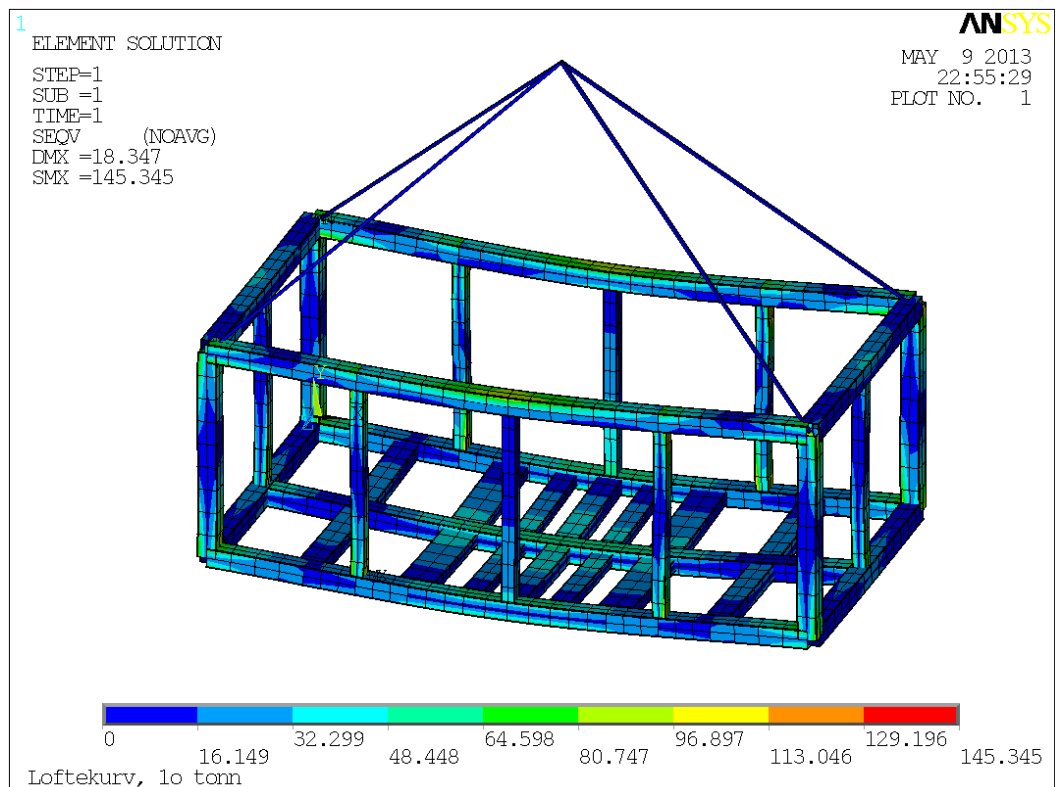
Resultatene er vist i Figur 5-9.



Figur 5-8: Last (rødt) og låse punkter (turkis) for gaffellommene.



Figur 5-9: Jevnførende spenning og maks deformasjon, som oppstår i kurven når kurven løftes fra gaffellommene.



Figur 5-10: Viser maks. deformasjon og Van Mises spenningen dersom profilene ikke tilnærmet for å tilpasse profiler fra tabeller (Sammenligning med Figur 5-5).

5.2.4 FEM analyse av løfteøret

Løfteøret som skal analyseres i FEM analyse, skal ha dimensjoner som vist i Figur 3-13, materialet til løfteøret er av typen stål S420MLH.

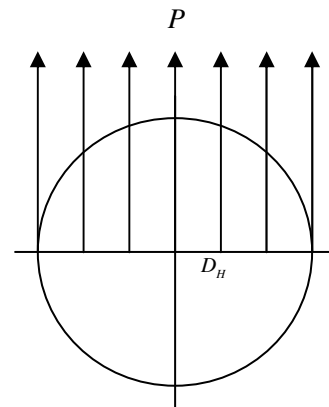
To analyser:

1- Vertikal last på løfteøret:

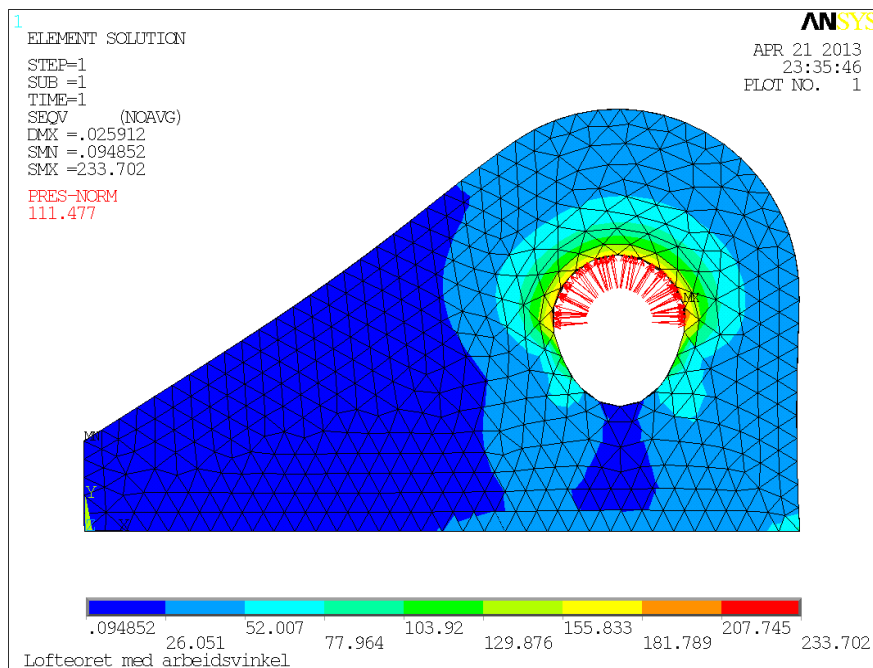
Løfteører skal designes for total vertikal last, $F_p = 3 \cdot R \cdot g$, og lasten skal deles på $(n-1)$ løfteører, hvor n = antall løfteører.

Kraften som virker i løfteøret vil bli modellert som et flatetrykk i den øvre halvpart av hullet. Størrelsen på dette trykket finner vi ved å dele den totale vertikale kraften for hvert løfteøret på det projiserte arealet, som vist på Figur 5-11. Resultat analyse er vist på Figur 5-12.

$$P = \frac{F_p / (n-1)}{D_H \cdot t_L} = \frac{3 \cdot 15000 \cdot 9,81 / (4-1)}{33 \cdot 40} = 111,48 \text{ MPa}$$



Figur 5-11: Trykk som virker på løfteørets hull i vertikal retningen.

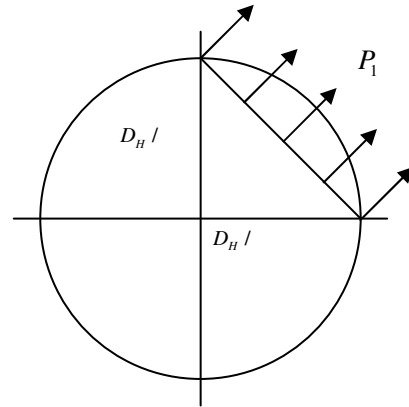


Figur 5-12: Jevnførende spenningen og deformasjon som oppstår i løfteøret.

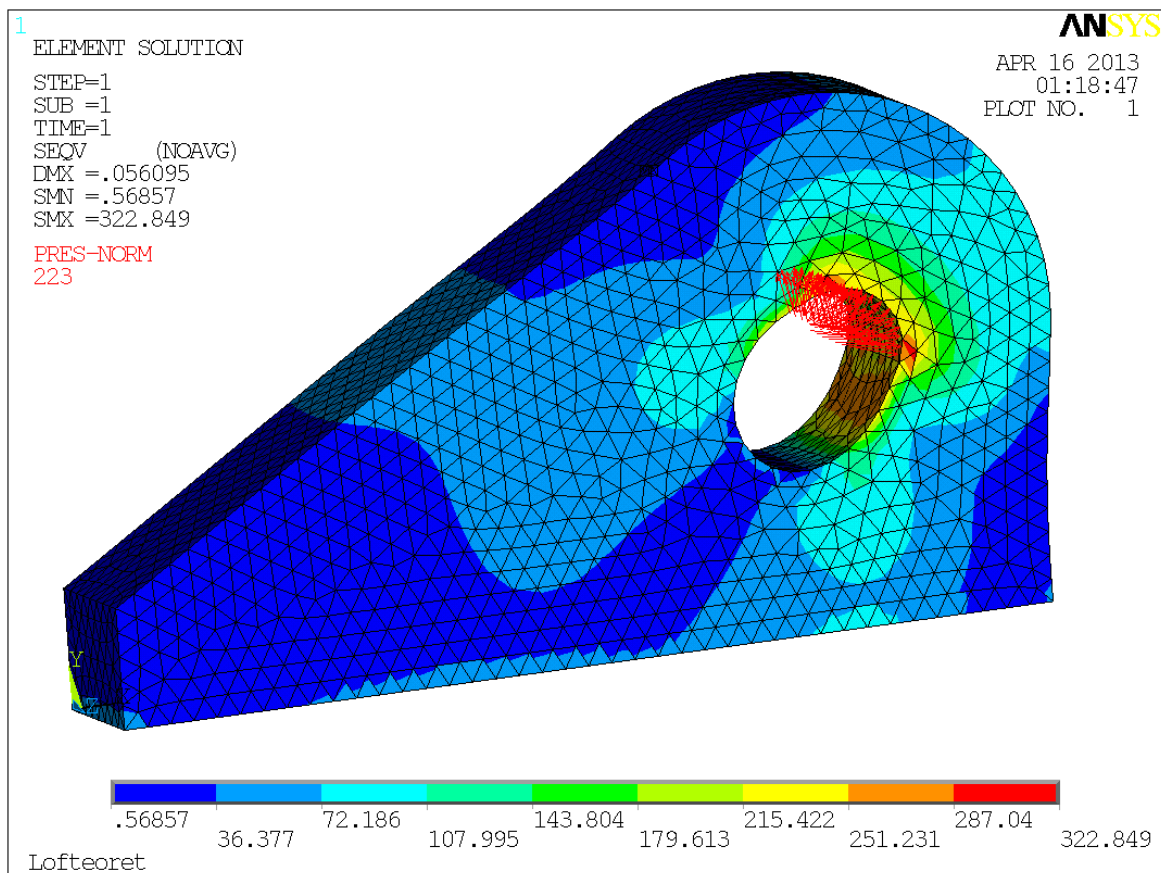
2- Last med 45° til vertikal på løfteøret:

Kraften som virker i løfteøret vil bli modellert som et flattrykk i den øvre høyre kvadranten av hullet. Størrelsen på dette trykket finner vi ved å dele den totale kraften på det projiserte arealet i kvadranten som vist på Figuren 5-13. Resultat analyse er vist på Figur 5-14.

$$P_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot RSL}{D_H \cdot t_L} = \frac{\sqrt{2} \cdot 208,1 \cdot 10^3}{33 \cdot 40} = 223 \text{ MPa}$$



Figur 5-13: Trykk som virker på løfteørets hull i arbeidsvinkel.



Figur 5-14: Jevnførende spenning og deformasjon som oppstår i løfteøret.

Gjør en kontroll av spenningen i den nedre delen av løfteøret, Figur 5-15:

$$A = 200 \cdot 40 = 8000 \text{ mm}^2$$

Strekkspenning:

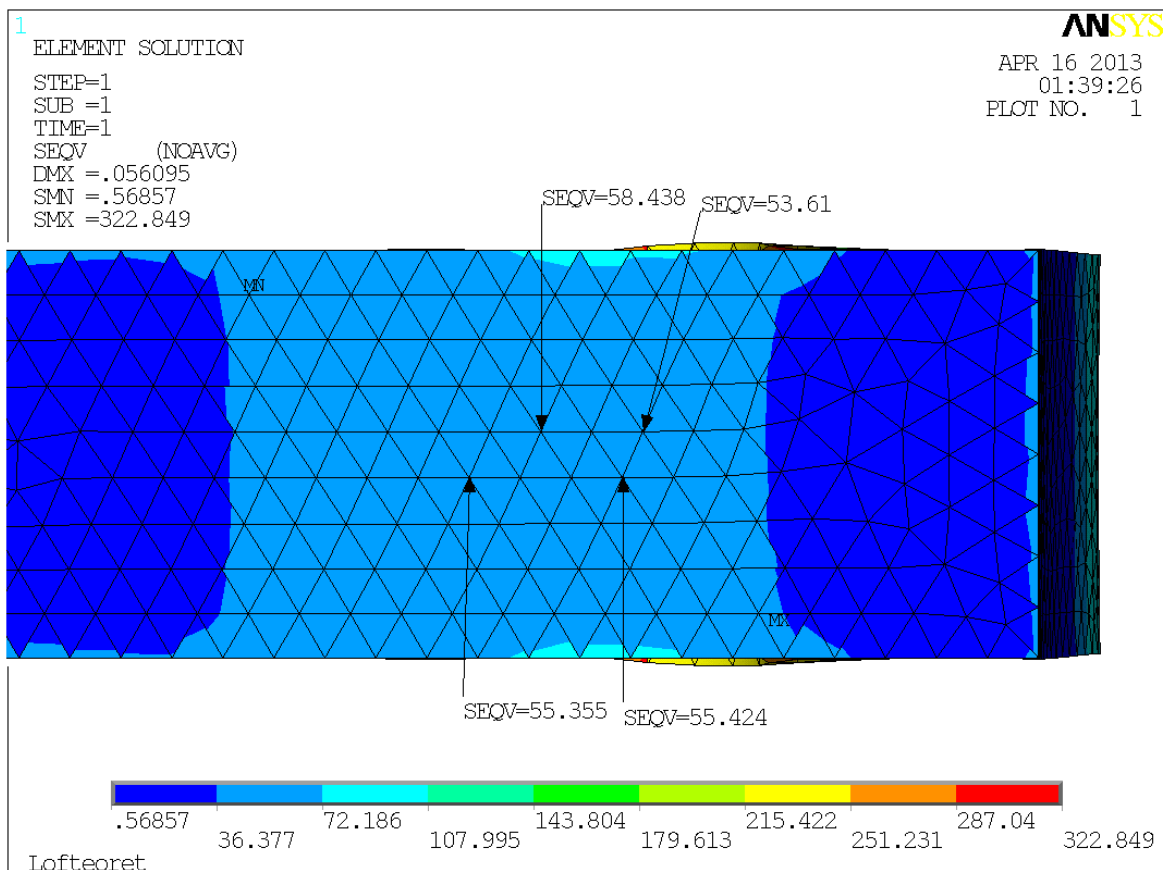
$$\sigma_s = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{A} = \frac{147150 \cdot 1,5}{8000} = 27,60 \text{ MPa} \quad (25)$$

Skjærspenning:

$$\tau = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{A} = \frac{147150 \cdot 1,5}{8000} = 27,60 \text{ MPa} \quad (26)$$

Totalt spenning (Von Mises):

$$\sigma_{if} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau^2} = \sqrt{4 \cdot 27,60^2} = 55,20 \text{ MPa} \quad (4)$$



Figur 5-15: Spenningen i nedre delen av løfteøret, sett fra undersiden.

5.3. Materialvalg

Generelt

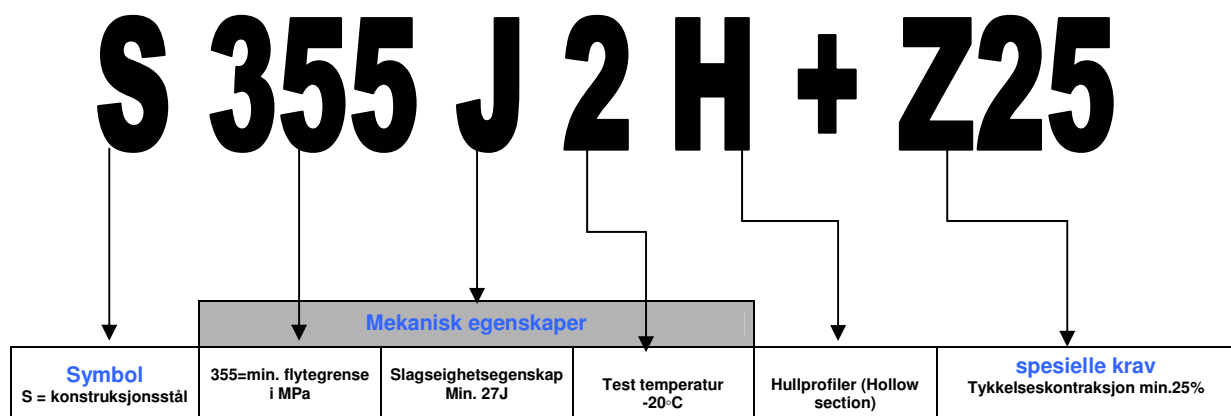
De dimensjonerende verdier av materialkonstanter skal være i henhold til Eurokode 3, og har følgende verdier:

- Elastisitesmodul $E = 210000 \text{ MPa} .$
- Skjærmodul $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \approx 81000 \text{ MPa} .$
- Poisson-tall i elastisk område $\nu = 0,3 .$
- Temperaturutvidelsekoeffisient $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ PerK} \text{ (for } T \leq 100^\circ \text{C) .}$
- Tetthet $\rho = 7850 \text{ kg / m}^3$

Valget av stål klasse er definert i Eurocode EN 1993-1-1 (2005), og det er avhengig av:

- Mekaniske egenskaper.
- Duktilitets krav.
- Seighets egenskaper.
- Gjennom tykkelse egenskaper.

Klassifisering av stålklasser er basert på minimum flytegrense ved omgivelsestemperatur [3]. Eksempel på kvalitetsbetegnelse er vist i Figur 5-16.



Figur 5-16: Kvalitetsbetegnelse for stålklasser i henhold til EN 10025.

Krav til kurvens materiale skal være i samsvar med EN standarder eller DNV's "Rules for Classification of Ships". Andre standarder for tilsvarende materialer kan også brukes, etter pkt. 3.1.1 [4].

Primærstruktur:

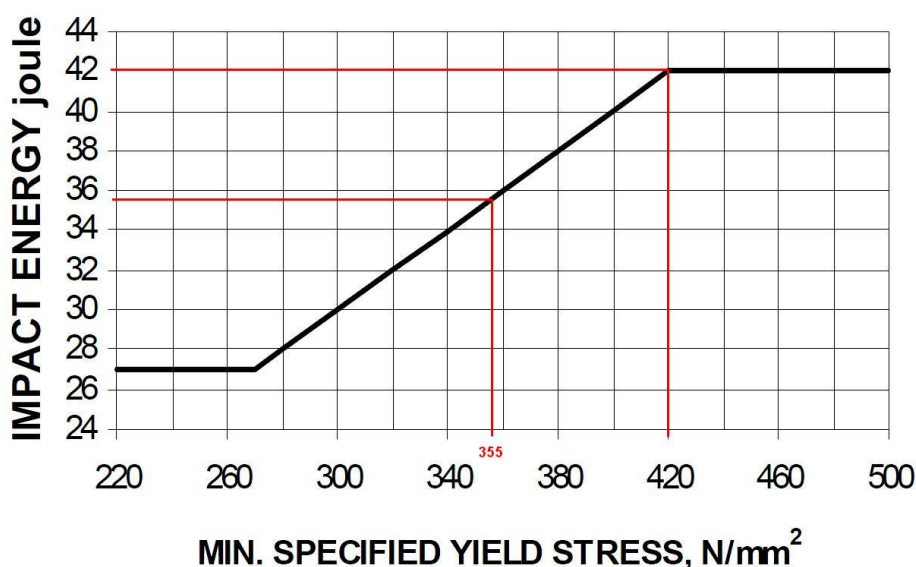
Konstruksjonsstål for primærstruktur skal være av karbon stål, karbon-magnesium stål, karbon-magnesium mikro-legert stål eller lavlegert stål etter pkt. 3.1.2.1 [4]. Materialet til alle hullprofiler som danner primærstrukturen skal være av typen stål S355J2H.

Tabell 5-1 viser temperatur skårslagsprøve, (T_D er design temperatur, og den på -20°C).

Tabell 5-1: Skårslagsprøve (DNV 2.7-1, tabell 3-1).

Temperatur skårslagsprøve for konstruksjonsstål som danner primærstruktur	
Materiale tykkelse, t , (mm)	Skårslagsprøve $^{\circ}\text{C}$
$t \leq 12$	$T_D + 10$
$12 < t \leq 25$	T_D
$t > 25$	$T_D - 20$

Kravet til slagfasthet er avhengig av minimum flyttemegrensning til stål. Figur 5-17 viser kravet til slagfasthet:



Figur 5-17: V-hakktest - krav til stål. (DNV 2.7-1, Figur 3-1).



Følgene tabeller viser Kjemisk sammensetning og Mekaniske egenskaper av Ulegerte hullprofiler S355J2H i henhold til EN 10219-1:2006 [11].

Tabell 5-2: Kjemisk sammensetning

C Maks.	Si Maks	Mn Maks.	P Maks.	S Maks.	Al total Min.	CEV Maks.
0,22	0,55	1,60	0,035	0,035	0,020	0,45

Tabell 5-3: Mekaniske egenskaper

Flyttegrense f_y <i>MPa</i>	Strekfasthet f_u <i>MPa</i>	Forlengelse A_5 % (min.)	Skårslagsprøve $^{\circ}C$
355	510-680	20	-20

Materiale til Støtteplate:

Støtteplate er en del av primærstrukturen med 20 mm tykkelse og den skal være av typen S355J2H+Z25. (se pkt 4.1.2, Støtteplate).

Materialet til løfteøret:

Løfteøret skal være av typen ekstra høyfast stål S420MLH.

Følgene tabeller viser Kjemisk sammensetning og Mekaniske egenskaper i henhold til EN 10219-1:2006 [11].

Tabell 5-4: Kjemisk sammensetning

C Maks.	Si Maks	Mn Maks.	P Maks.	S Maks.	Al total Min.	CEV Maks.
0,16	0,50	1,70	0,035	0,030	0,020	0,45

Tabell 5-5: Mekaniske egenskaper

Flyttegrense f_y <i>MPa</i>	Strekfasthet f_u <i>MPa</i>	Forlengelse A_5 % (min.)	Skårslagsprøve $^{\circ}C$
420	500-660	19	-50

5.4. Korrosjonsbehandling

Alle strukturer av stål må korrosjonsbehandles, dette er spesielt viktig for offshore konstruksjoner da disse i særlig grad er utsatt for korroderende miljøer. Før korrosjonsbehandling må stålet sandblåses til SA2,5 som spesifisert i ISO 8501-1. Primere skal være basert på tilsvarende uorganisk zink, etyl eller silikat. Malingen skal ha god heft og ha god bestandighet mot ytre påkjenninger, etter pkt 4.6 [5].

5.5. Bearbeiding og utforming

Etter at vi er ferdig med design skal arbeidstegninger sendes til leverandør (for eksempel Ruukki) som kan levere profilene med spesifikasjoner gitt i arbeidstegninger. Deretter leveres profilene til verksted kvalifisert til å bearbeide, klargjøre og sveise sammen profilene. Etter at profilene er satt sammen til en kurv, må overflatene klargjøres til korrosjonsbehandling og denne igangsettes. Hvorvidt en leverandør står for hele denne prosessen, eller oppgavene fordeles på flere er et kostnadsspørsmål som kan variere over tid.

5.5.1 Prototype testing:

Etter pkt.4.6 [4] skal kurven, etter at den er ferdig produsert skal følgende tester utføres:

- *Alle punkter last:* Etter pkt 4.6.3.2 [4] skal kurven testes med $2,5 \times R$ eller intern last på $2,5 \times R - T$, kurven skal holdes i luften i min. 5 minutter.



Figur 5-18: Fire- punktløft av prototype [12].

- *Diagonal løfting test (2- punkter last):* Etter pkt 4.6.3.3 [4] skal kurven testes med total last på $1,5 \times R$ eller intern last på $1,5 \times R-T$, kurven skal holdes i luften i min. 5 minutter. Ingen permanente deformasjoner tillatt.



Figur 5-19: Diagonal- punktløft av prototype [12].

- *Droptest:* Etter pkt. 4.6.4 [4] skal kurven testes der den slippes i fritt fall fra minst 50 mm.



Figur 5-20: Droptest av prototype [12].

- *Forklifling test:* Etter pkt 4.6.5 [4] skal gaffellommene testes med total last på $1,6 \cdot (R + S) \cdot g$ eller intern last på $[1,6 \cdot (R + S) - T] \cdot g$.



Figur 5-21: Forklift test av prototype [12].

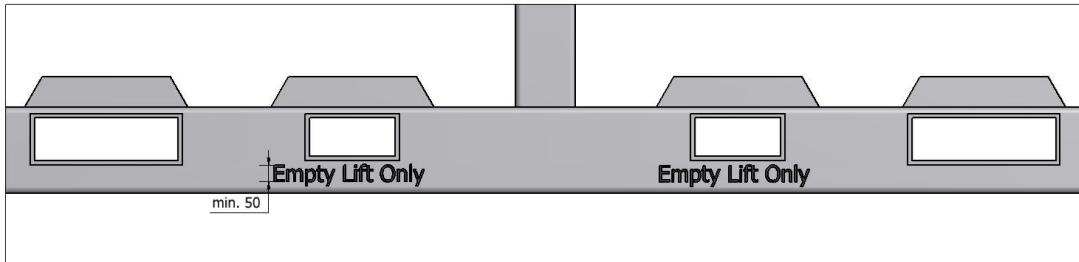
- *Tilting test:* Etter pkt 4.1.2 [4] skal kurven tåle 30° tilting i alle retningene, både når kurven er ubelastet og belastet.



Figur 5-22: Tilting test av prototype[12].

5.5.2 Merking

- Sikkerhetsmerking:** Etter pkt 6.1 [4] skal overkant av topprammen være tydelig merket for å være synlig, spesielt i dårlig lys. Topprammen skal merkes med enten skravering i kontrast farger eller en lys farge (En stripe med kontrast farge ikke mindre enn 100 mm bredt), se Figur 5-26. Gaffellommer som er kun for tomt løft skal markeres med "Empty Lift Only" med en bokstav minimums høyde på 50 mm, se Figur 5-23.

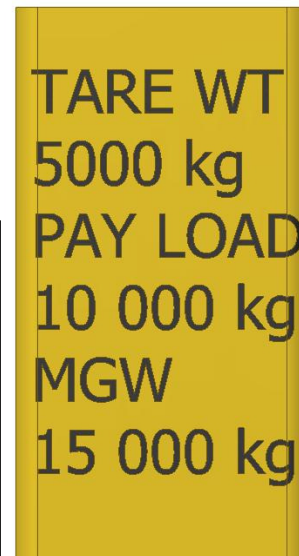


Figur 5-23: Merking av gaffellommen for tomt løft

- Informasjonsmerking:** Etter pkt 6.3 [4] skal kurven markeres med min. 50 mm høyde bokstaver med følgende:
 - Maximum gross mass (MGW) i kg.
 - Tare mass i kg.
 - Pay load i kg.
- Data plate:** Etter pkt 7.2 [4] skal data plate ha følgende informasjon:

OFFSHORE CONTAINER DATA PLATE DNV 2.7-1	
- Produsent/fabrikant:	
- Produksjonsår:	
- Serienummer/fabrikasjonsnummer:	
- Totalvekt/MGW:	kg
- Egenvekt/tomvekt:	kg
- Nyttelast:	kg
- DNV sertifikat nummer og stamp:	
- Design temperatur	°C

(a)

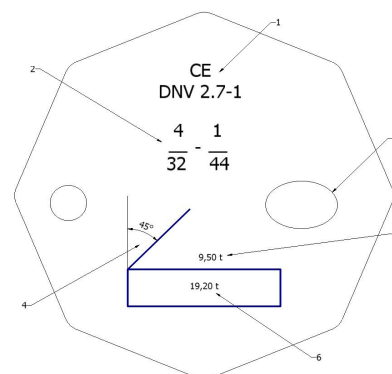


(b)

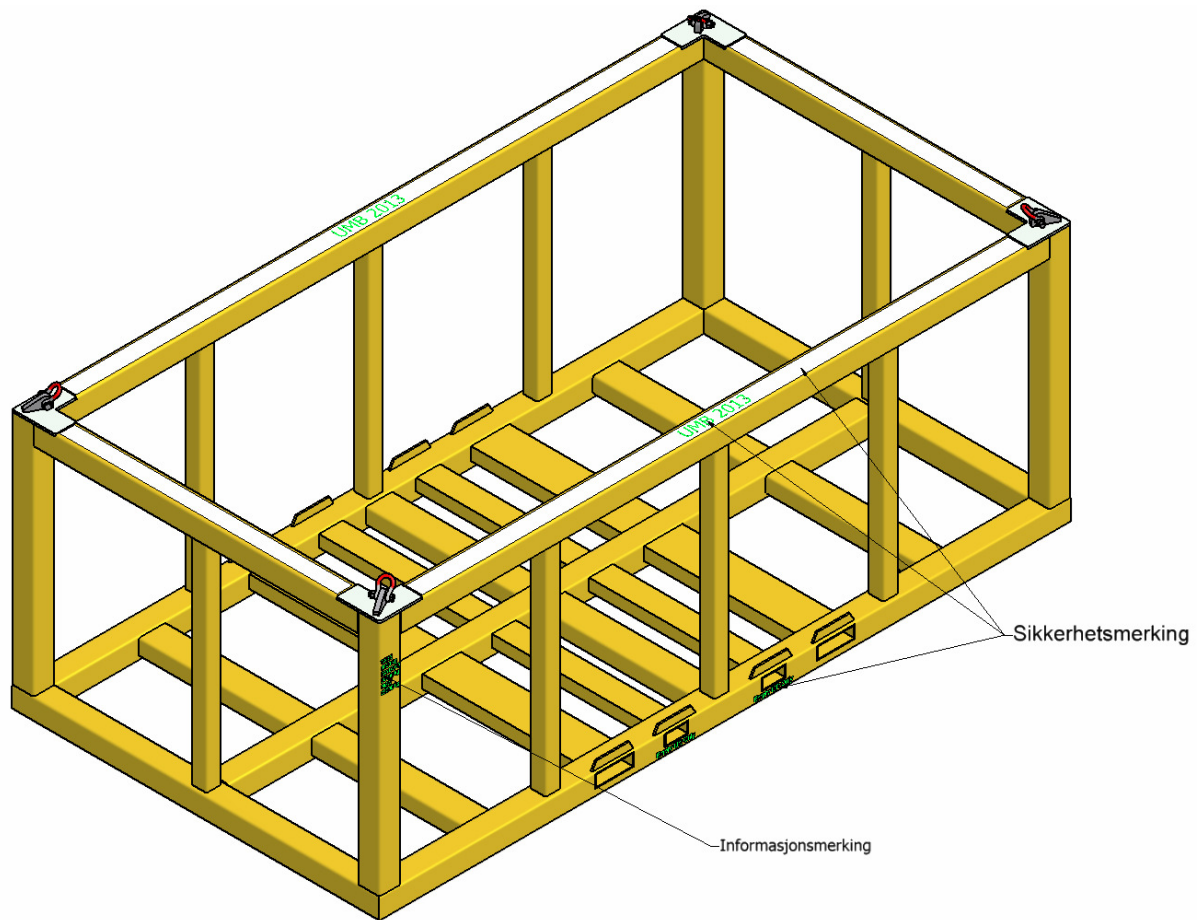
Figur 5-24: (a) Data plater og (b) Informasjon merking.

Løftutstyr merking: Etter pkt 8.6 [4] slings skal ha følgende markering:

- 1 = CE merket og referanse til DNV 2.7-1.
- 2 = 4 slinger med 32 mm diameter og en 44 mm diameter føreløper.
- 3 = Produsent/fabrikant stempel.
- 4 = Slingsvinkelen.
- 5 = Sjakkelsestørrelse.
- 6 = WLL.



Figur 5-25: Merking av slings (foran side).

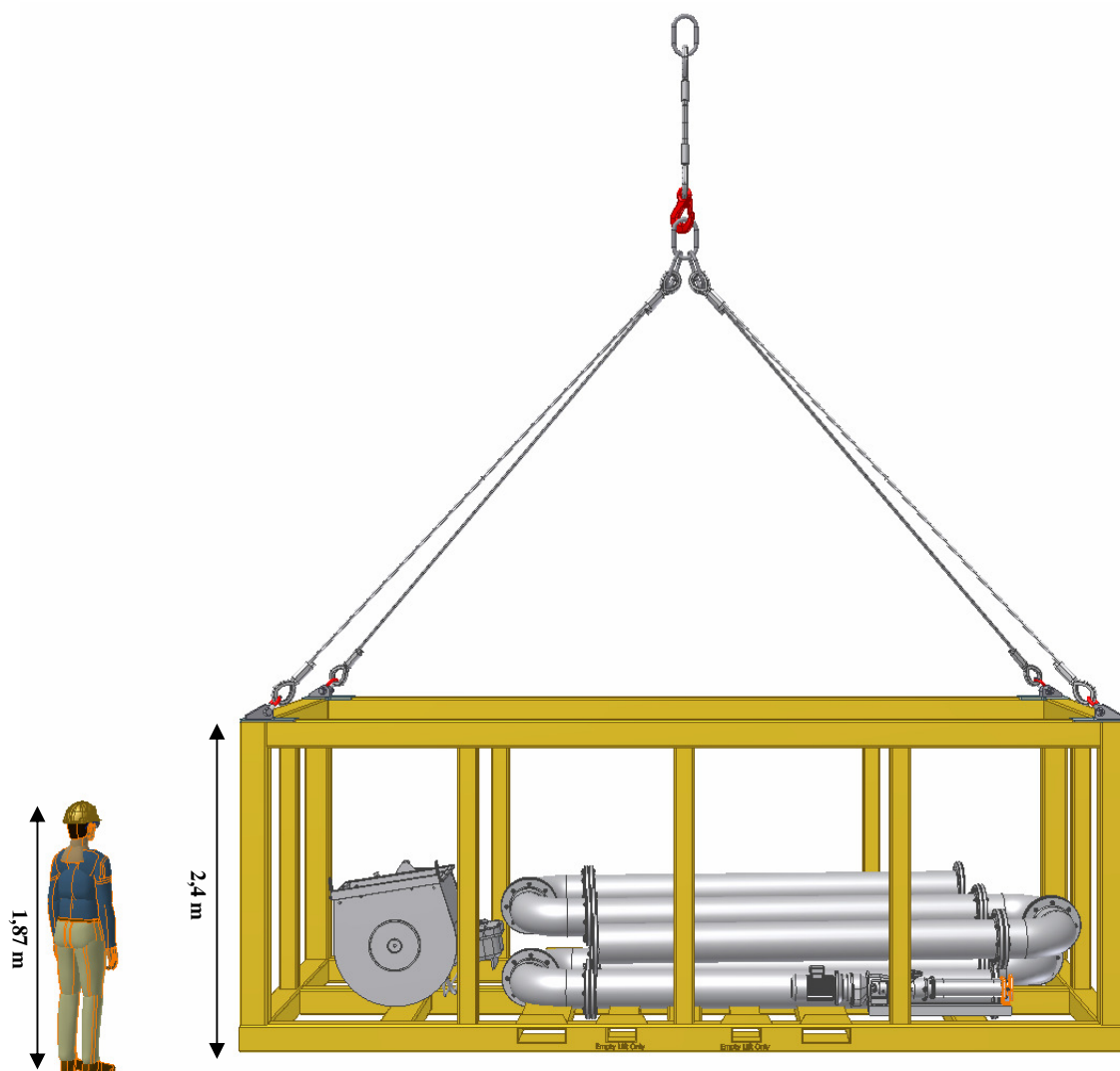


Figur 5-26: Merking av kurven iht. DNV 2.7-1.

Kapittel 6

PRESENTASJON AV LØSNING (3D)

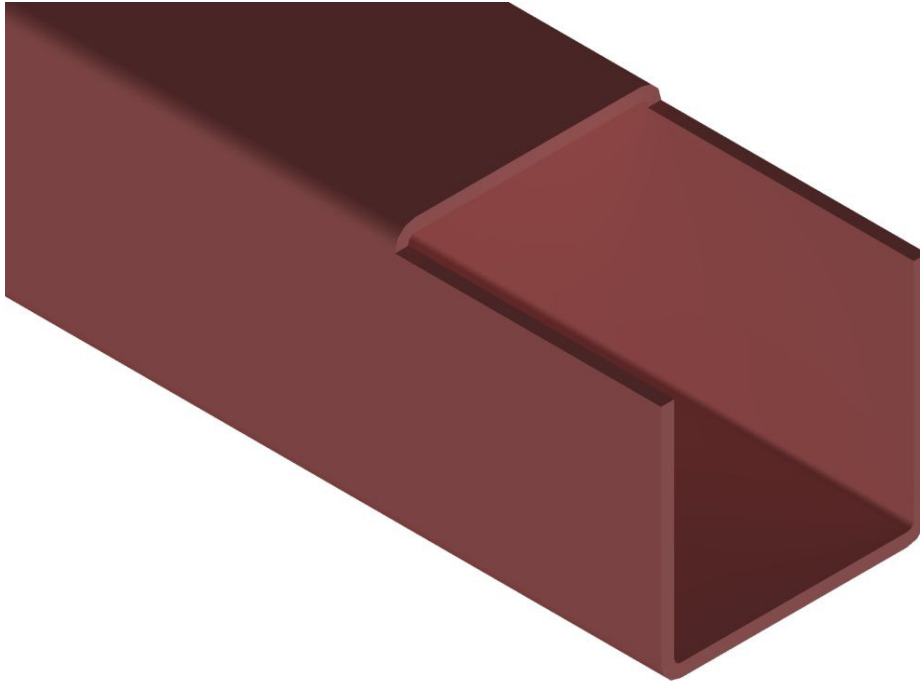
- 6.1. Visualisering.
- 6.2. Material- (og produksjonskostnader).
- 6.3. Forbedringer.



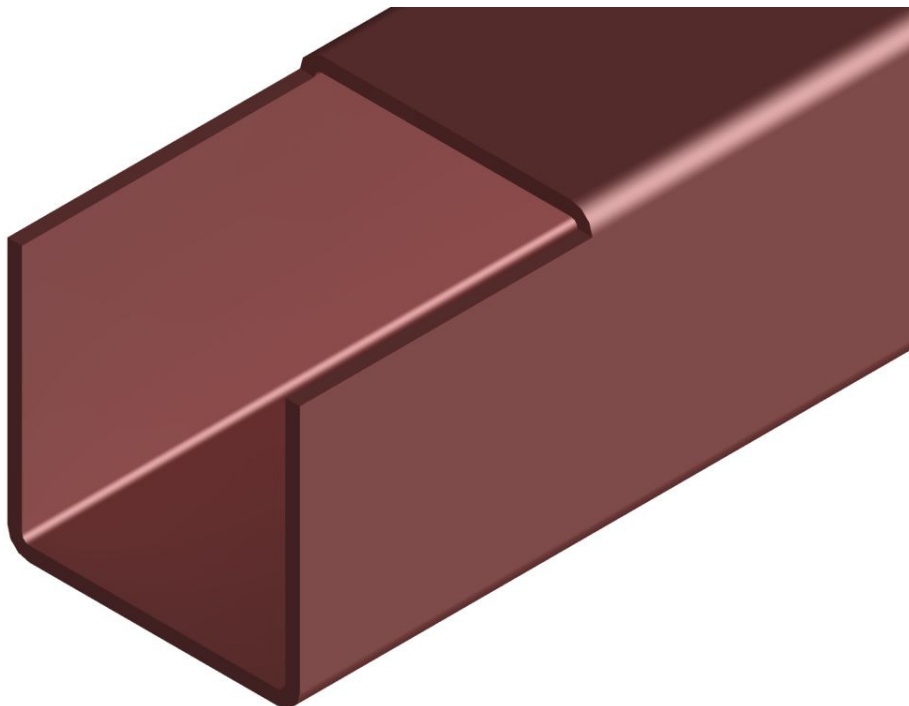
Ferdig 3D modulerte løftekurv med løfteutstyr.

6.1. Visualisering

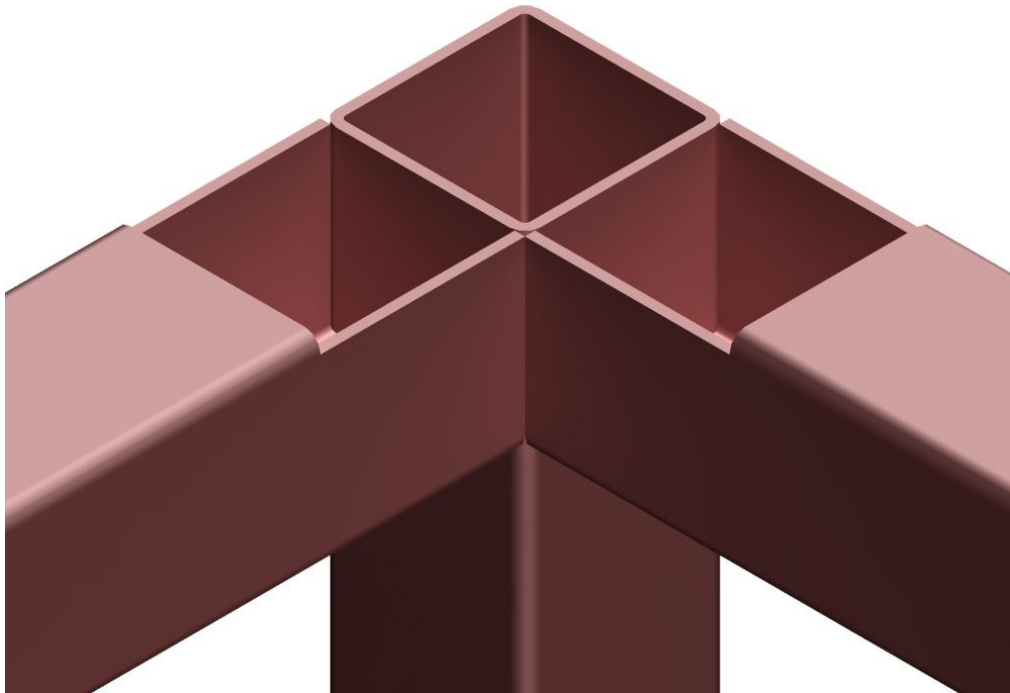
Figurene fra 6-1 til 6-10 viser detaljerte bilder av løftekurven som er modellert i 3D programmet Autodesk Inventor.



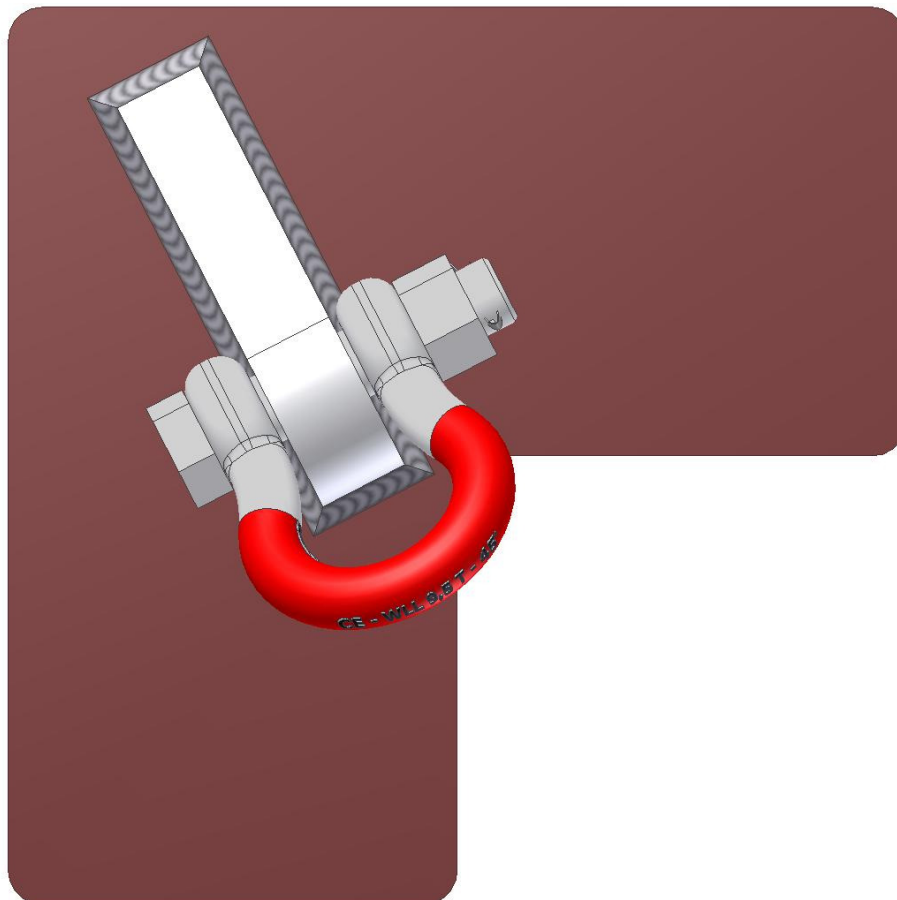
Figur 6-1: Kapping av den korte horisontal bjelken er 200 mm lengde x 16mm dyp.



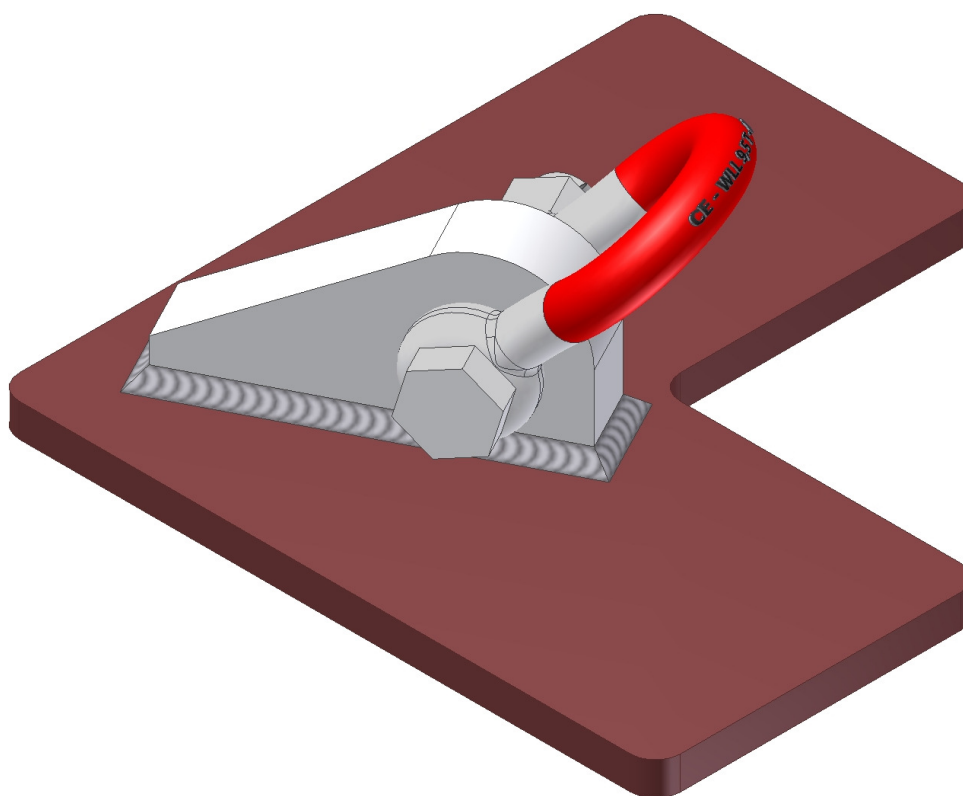
Figur 6-2: Kapping av den lengste horisontal bjelken er 200 mm lengde x 16mm dyp.



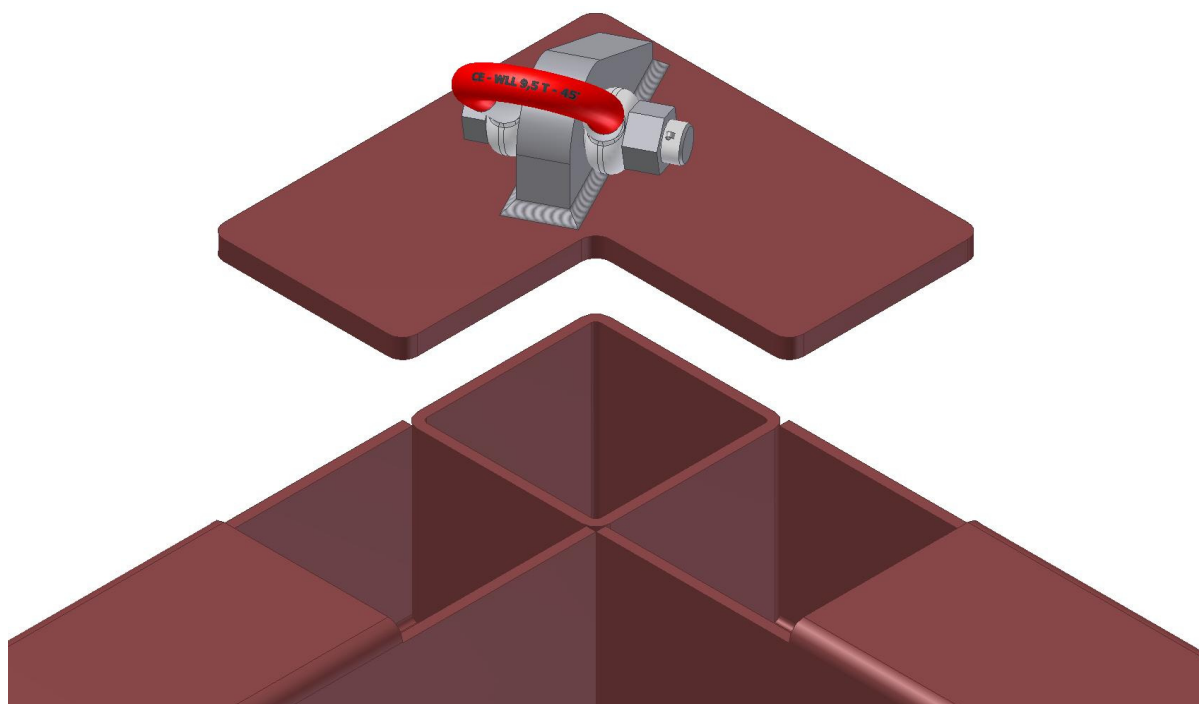
Figur 6-3: Hjørne av hovedrammen etter kapping og sveisen.



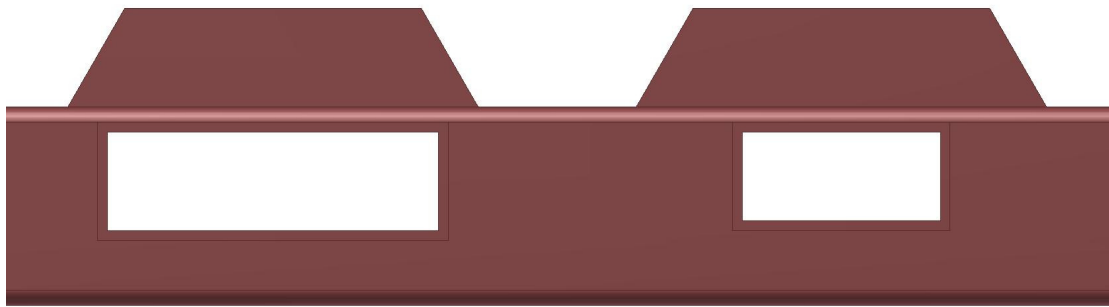
Figur 6-4: Løfteøret sveiset med dobbel kilesveis til 20 mm Z-kvalitet støtteplate, sett ovenfra.



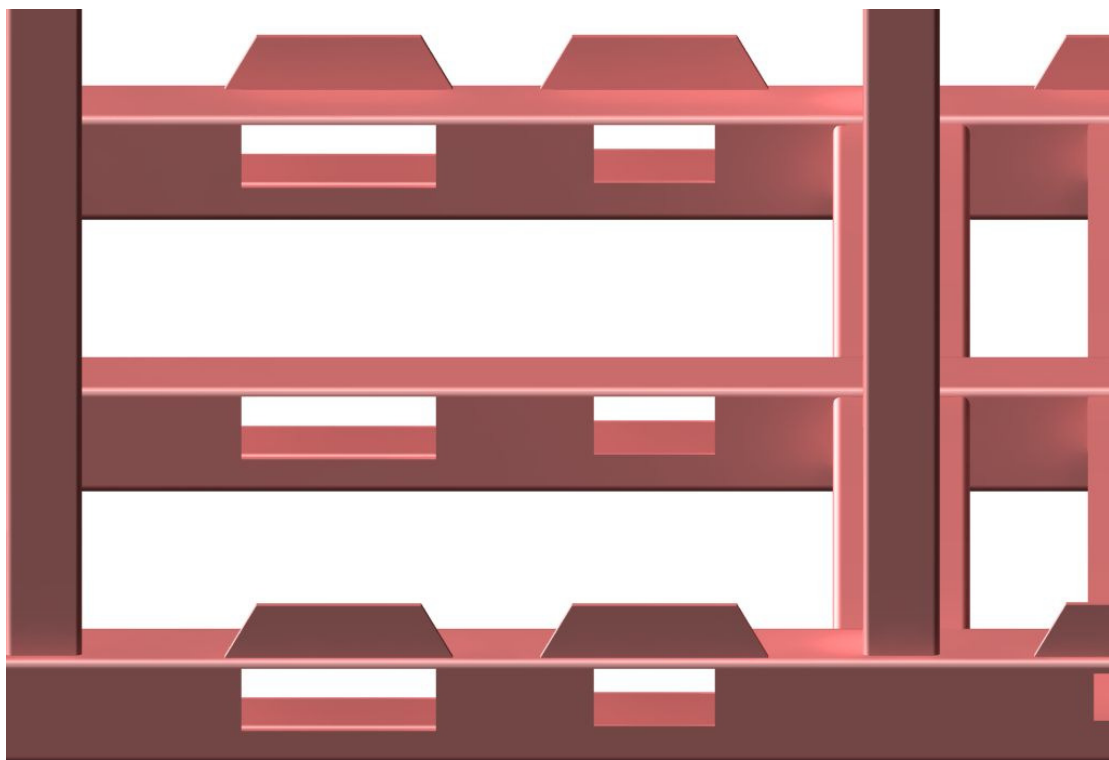
Figur 6-5: Viser løfteøret, sjakkell og støtteplate, sett fra arbeidsvinkel.



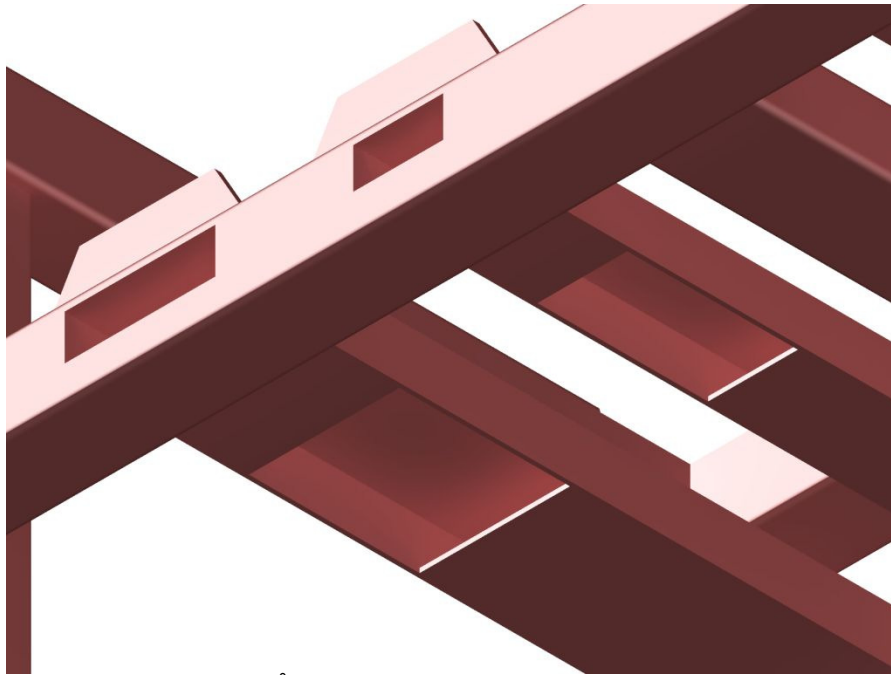
Figur 6-6: Sammenstilling av løfteøret, sjakkell og støtteplate, som skal sveises med full gjennomgående sveis på hvert hjørnet av kurven.



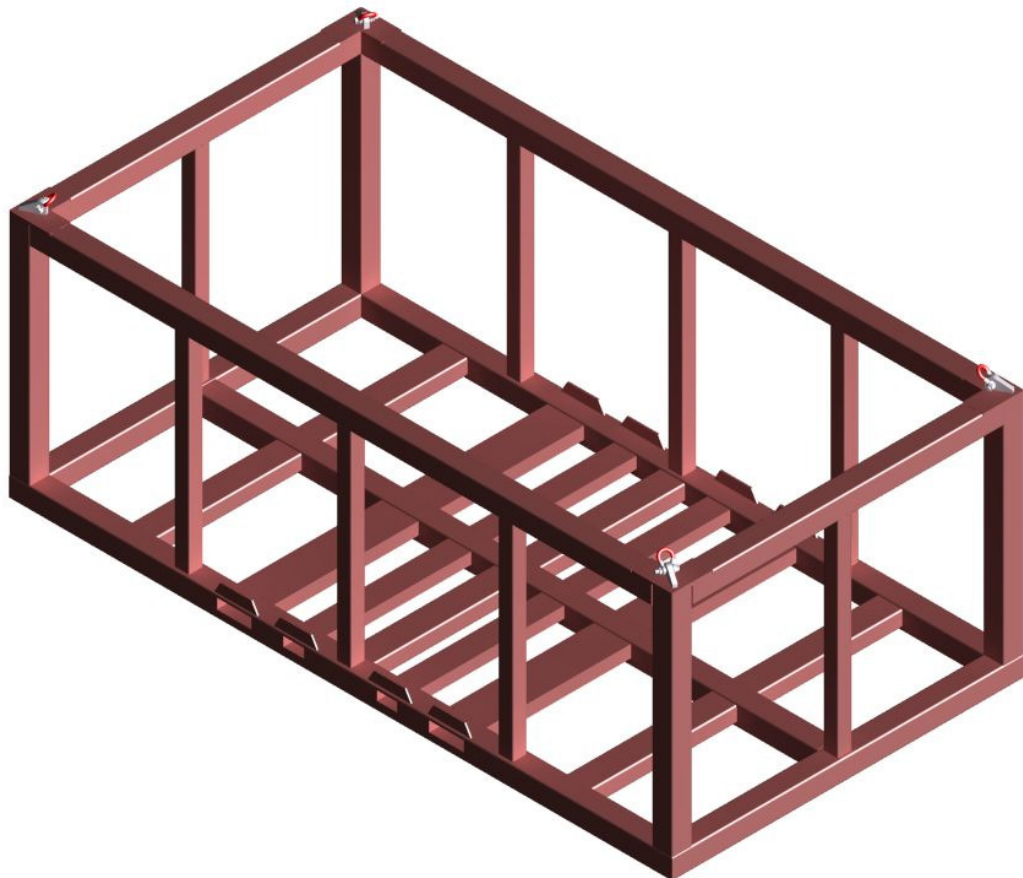
Figur 6-7: Åpningen til gaffellommene, den ene er 355x120 mm og den andre er 220x110 mm. Kantavstand er hhv 65 mm og 75 mm.



Figur 6-8: Åpningen på langsgående bjelker hvor gaffellommene skal gå gjennom og sveises fast.



Figur 6-9: Åpningene i gaffellommene, sett nedenfra.



Figur 6-10: Løftekurv.



6.2. Material- (og produksjonskostnader)

Materialkostnader:

Alle bjelkeprofiler skal bestilles fra Ruukki, prisene iht. Ruukki sin lagerkatalog:

Tabell 6-1: Prislister bjelkeprofiler

Hulprofiler /elementer	Lengde (mm)	Antall (Stk.)	Total vekt (kg)	Kostnad pr.tonn (NOK)	Total kost (NOK)
Kvadratiske 200x200x10	6200 mm	5	1750	17 520	30 660
Kvadratiske 200x200x10	2200 mm	5	650	20 800	13 520
Kvadratiske 140x140x8	2000 mm	8	520	19 820	10 306
Rektangulærisk 250x150x10	1400 mm	6	495	24 270	12 000
Rektangulærisk 200x120x10	3400 mm	2	310	24 030	7450
Rektangulærisk 355x120x10	3400 mm	2	500	20 800	10 400
Støtteplate 200x20	6000 mm	4	76	31 160	2370
forestrykningsplate Tykkelse=16mm	6000 mm	8	24	14 590	525
				Sum	87 231

Løftutstyr kostnader fra Certx:

Tabell 6-2: Prislister løfteutstyr

Løfteutstyr type	Pris per stk.(NOK)	Antall (Stk.)	Total kost (NOK)
22 tonn Krok	3800	1	3800
28,1 tonn Toppløkke	1200	1	1200
44 mm Føreløper, L = 1 m	5000	1	5000
28,1 tonn Løftehode	3000	1	3000
32 mm Ståltau, L= 5 m	4600	4	18 400
9,5 Sjakkel	1100	4	4400
			Sum 35 800

Konseptutvikling og produksjonskostnader:

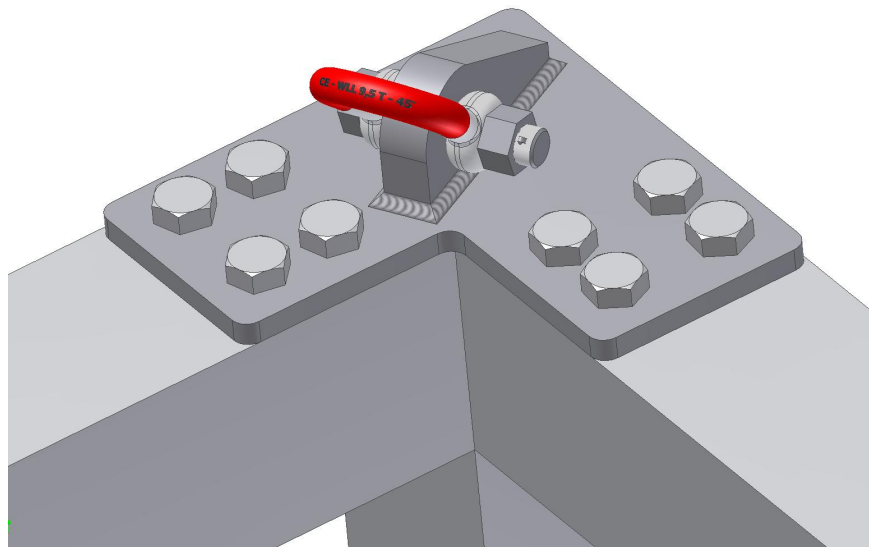
Tabell 6-3: Prislister

Proses	Timer	Pris pr. time (NOK)	Sum (NOK)
Formgivning og design	30	480	14 400
3-D framstillinger	5	480	2400
Konstruksjonstegninger	5	480	2400
Maskinering/støping/ overflatebehandling	10	480	4800
Sveising (butt og kil sveis)	30	480	14 400
			Sum 38 400

Total kostnader er ca: 87 231+ 35 800+ 38 400 = 161 431 NOK

6.3. Forbedringer og alternativ løsninger

- Styrkeberegningene viser at maks deformasjoner er nær grensen for det som er tillatt. Kraftoverføringen er god nok med foreslått design. Men for å forbedre kraftoverføringen og redusere den totale deformasjon kan skrå støttebjelker sveises på hver side av kurven. Dette kommer til å øke vekten og kostnadene.
- Alternativ løsning for støtteplate er at den kan boltet istedenfor å sveises til rammen i hvert hjørne, som vist i Figur 6-11. Vi må da beregne og velge den riktige dimensjonen på boltene. Med denne løsningen blir det enkelt å bytte støtteplate samt utføre vedlikehold.
- Minste gaffellommer kan sløyfes. Disse benyttes kun til tomme løft som kan utføres ved bruk av største gaffellommer. Dette vil spare vekt, gi lavere kostnader i fabrikasjonsprosessen, forbedre spenninger og deformasjon.

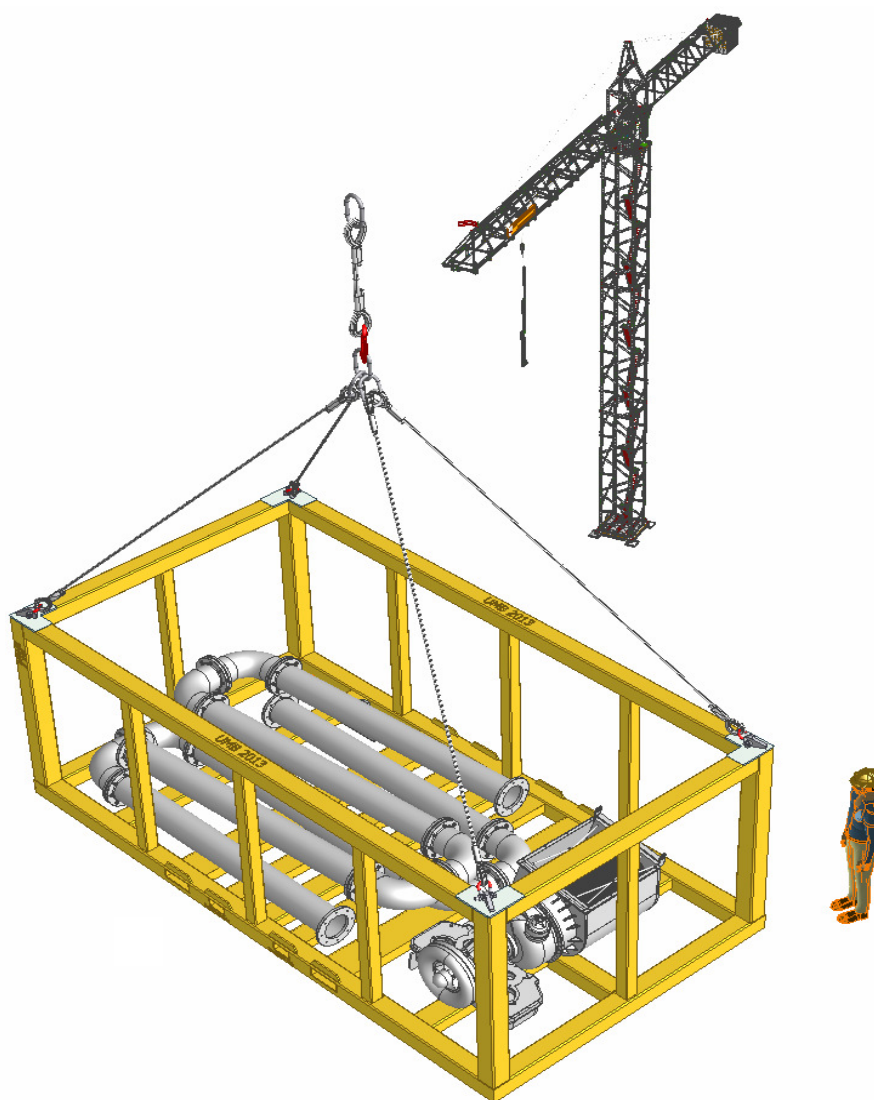


Figur 6-11: Støtteplaten boltet på rammen istedenfor sveiset.

Kapittel 7

KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

- 7.1. Konklusjon.
- 7.2. Videre arbeid.



Løftekurver brukes til å frakte store og tunge gjenstander.



7.1. Konklusjon

Strukturell design er et svært interessant, kreativ og utfordrende segment innen ingeniørfaget. Strukturer bør utformes slik at de kan motstå påførte krefter og ikke overskride visse deformasjoner. Videre bør strukturers design tilfredsstill økonomiske krav. Løftekurven presentert i oppgaven tilfredsstiller aktuelle standarder og sikkerhetskrav, men samtidig er den konstruert så enkelt som mulig mtp elementer, vekt, løfteutstyr verkstedsarbeid og således er den kostnadsbesparende.

- Dimensjon og design av løftekurv er utført etter DNV 2.7-1 med lastfaktor 2,5 som tilfredsstiller kravene om deformasjon og tillatt spenning.
- Kurven består av vanlig konstruksjonsstål S355J2H, støtteplate består av konstruksjonsstål S355J2H+Z25 og løfteøret består av konstruksjonsstål S420MLH.
- For tversgående bunnbjelker er rektangulære profil benyttet, for resten av hovedrammen er rektangulære profiler benyttet. Profilene er tilpasset for å tilfredsstille krav om innvendige mål.
- Løfteørene er sjekket mot DNV 2.7-3.
- Sveiseforbindelser er beregnet etter og oppfyller kravene gitt i EC3.
- Utmatting er kontrollert opp mot DNV RP C203.
- Knekkberegningene er dimensjonert etter forenklet interaksjonsmetode.
- For styrkeberegninger er det benyttet FEM analyse i Ansys Classic som er verifisert mot håndberegninger.
- Arbeidstegninger er laget ved bruk av Autodesk Inventor.
- Tilbehøret til konteneren består av løfteutstyr, sertifisert i henhold til DNV 2.7-1 eller andre godkjente standarder, som er standardkomponenter hos leverandører. I oppgaven er lengder og dimensjoner oppgitt.



7.2. Videre arbeid

Følgene arbeid

- Gjør litt endring i design slik at vi får litt mindre total deformasjon i kurven ved for eksempel kappe og sveise skrå bjelker på hver side av kurven.
- Sveisen av strekkmetall rundt kurven og på bunnen slik at vi kan laste kurven med små og store komponenter.
- Gjør endring i type stål, ved for eksempel å bruke S420 istedenfor S355, slik at vi får vektreduksjon.
- Gjør om fra stål til Aluminium.
- Valg av korrosjonsbehandling.
- Gjøre støtbelastninger.
- Gjøre beregninger m.t.p. stabilitet mot velting.
- Designe nedre beskyttelsesbjelker.

Kapittel 8

LITTERATURREFERANSER



- **Skriftlige kilder:**

1- **Geir Terjesen (2011)**, Globale knekkeberegninger uten standard, forenklet interaksjonsformel, utlevert kompendium i emnet TMP301, 24 sider.

2- **Geir Terjesen (2011)**, Sveiste forbindelser Eurokode 3 (Stålkonstruksjoner), utlevert kompendium i emnet TMP301, 34 sider.

3- **Oliver Hechler, Georges Axmann og Boris Donnay**, The Right Choice of Steel- according to the Eurocode- artikkel, JUNE 2009.

4- **DNV 2.7-1**, Standard for certification, offshore containers, APRIL 2006.

5- **DNV 2.7-3**, Standard for certification, Portable Offshore Units, MAY 2011.

6- **DNV-RP C203**, Fatigue Design of Offshore Steel Structures, OCTOBER 2012.

7- **DNV "Rules for Classification of Ships"**, PART 2, MATERIALS AND WELDING, Chapter 2, Metallic material, JANUARY 2011.

8- **Rukkii Lagerkatalog (2011)**.

- **Internettkilder:**

- | | |
|--------------------|---|
| 9- Design/ bilder | http://www.dnvusa.com/Binaries/4%20Design%20%5BCompatibility%20Mode%5D_tcm153-474863.pdf . |
| 10- Profiler | http://www.ruukki.no/~media/Norway/Files/Stocklists/Lagerkatalog.ashx . |
| 11- Materiale | http://www.ruukki.no/Produkter-og-l%C3%B8sninger/Stal/Hulprofiler/Rektangul%C3%A6rehulprofiler/Strukturell-HS-S355J2H-og-S235JRH-rektangul%C3%A6r |
| 12- Testing/bilder | http://www.dnvusa.com/Binaries/5%20Prototype%20Tests_tcm153-474871.pdf |

VEDLEGG

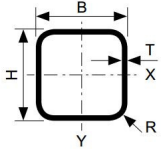
- Skriftlige vedlegg

	Tittel/element	Side
Vedlegg A:	Dimensjoner av kvadratiske hullprofiler.	1
Vedlegg B:	Dimensjoner av rektangulære hullprofiler.	2
Vedlegg C:	Prosedyrer for valg av løftutstyr og design av løfteøret iht. DNV 2.7-1 (2006).	3
Vedlegg D:	Ansys Classic input fil for Fire – punktløft.	5
Vedlegg E:	Ansys Classic input fil for løfteøret i 45° til vertikal.	11
Vedlegg F:	Konstruksjonstegninger.	12

- Elektroniske vedlegg

Autodesk Inventor: Part filer og assembly fil (IGES og STEP format).
Ansys Classic: Input fil.

Vedlegg A



M = Weight
 A = Cross-section area
 A_o = External surface area
 I = Moment of inertia
 W = Section modulus

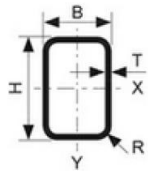
W_p = Plastic section modulus
 i = Radius of gyration
 I_t = Torsion modulus
 W_t = Section modulus in torsion
 Theoretical density = 7.85 kg/dm³

The cross-sectional properties have been calculated by using nominal dimensions H, B and T and corner outer radius R.
 R = 2.0 x T, when T ≤ 6.0 mm
 R = 2.5 x T, when 6.0 mm < T ≤ 10.0 mm
 R = 3.0 x T, when T > 10.0 mm

H x B mm	T mm	M kg/m	A mm ² x 10 ²	A _o m ² /m	$I_x = I_y$ mm ⁴ x 10 ⁴	$W_x = W_y$ mm ³ x 10 ³	$W_{pl,x} = W_{pl,y}$ mm ³ x 10 ³	$i_x = i_y$ mm x 10	I_t mm ⁴ x 10 ⁴	W_t mm ³ x 10 ³
140 x 140	8.0	31.40	40.04	0.526	1126.77	160.97	194.18	5.30	1900.84	247.69
200 x 200	10.0	57.00	72.57	0.757	4251.06	425.11	508.08	7.65	7071.73	651.48

Vedlegg B

Dimensjoner



M = Vekt
 A = Tverrsnittområde
 A_u = Utvendig overflateområde
 I = Tregghetsmoment
 W = Seksjoner/modulus

i = Rotasjonsradius
 I_v = Vridningsmodulus
 W_v = Seksjonsmodulus i vridning
 Teoretisk densitet = 7,85 kg/dm³

Tverrsnittegenskapene er beregnet ved bruk av nominelle dimensjoner H, B og T, og utvendig hjørneradius R:

R = 2.0 x T, når T ≤ 6.0 mm
 R = 2.5 x T, når 6.0 mm < T ≤ 10.0 mm
 R = 3.0 x T, når T > 10.0 mm

Anbefalte serier.

H x B mm	T mm	M kg/m	A mm ² x 10 ²	A_u m ² /m	I _x mm ⁴ x 10 ⁴	W_x m ³ x 10 ³	W_{px} mm ³ x 10 ³	i_x mm x 10	I_y mm ⁴ x 10 ⁴	W_y mm ³ x 10 ³	W_{py} mm ³ x 10 ³	i_y mm x 10	I_v mm ⁴ x 10 ⁴	W_v mm ³ x 10 ³
250 x 150	10	57	72.57	0.757	5825.01	466	582	8.96	2634.2	351.23	409.17	6.02	6120.7	602.08

Vedlegg C

Design last:

T (egen vekt)	kg
P (maks. tillat last)	kg
Vektfaktor for	3 % vekt unøyaktighet iht. Rules for Planning and Execution of Marine Operations, Part1, chapter 3,section 3.5
$R = P + T$	$R \times 1,03$ (kg)
WLL_{\min}	Tabell 8-1
Antall slings	n
Maks. Sling vinkel til vertikal	β (Tabeller E1, E2 eller E3)
Lengde mellom (LH)løfteørehullene	mm
Bredde mellom (BH) løfteørehullene	mm
Sling lengde	$SL = \frac{\sqrt{LH^2 + BH^2}}{2 \cdot \sin \beta}$
Konteiner lengde (KL)	mm
Konteiner bredde (KB)	mm
Konteiner høyde (KH)	mm
Min. lengde av forløper (eller løftehode avstand til nederste kanten av konteineren)	$H_{\text{løftehode}} = KH - \sqrt{(SL)^2 - \left(\frac{KL}{2}\right)^2} - KB$

Valg av løfteutstyr:

Toppløkke	Tabell 8-3
Løftehode	Tabell 8-3
Forløpers diameter	Tabell E1, E2, eller E3
Slings diameter	Tabell E1, E2, eller E3
Valg av sjakler WLL_s	Tabell 8-3

Design av løfteøret:

RSL	Pkt. 4.2.3: $RSL = \frac{3 \cdot R \cdot g}{(n-1) \cdot \cos v}$ i N.
Valg av materiale	For eksempel S355
Løfteørets hull diameter D_H	Pkt. 4.4.1: $D_H < 1,06 \cdot d_{pin}$
Totalt løfteørets tykkelse (uten sideplater)	Pkt. 4.4.1: $t = 80\% \times \text{Sjakkellåpningen}(a)$
Minste radius på løfteøret (H)	Appendix D, D.3: $H \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{D_H}{2}$ i mm
Krav til utriving	Appendix D, D.3: $f_y \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot H \cdot t - D_H \cdot t}$ i MPa

Krav til lager trykk

Appendix D, D.3: $f_y \geq 23,7 \cdot \sqrt{\frac{RSL}{D_H \cdot t}}$ i MPa

Min. avstand fra løfteøretshull til horisontal kant

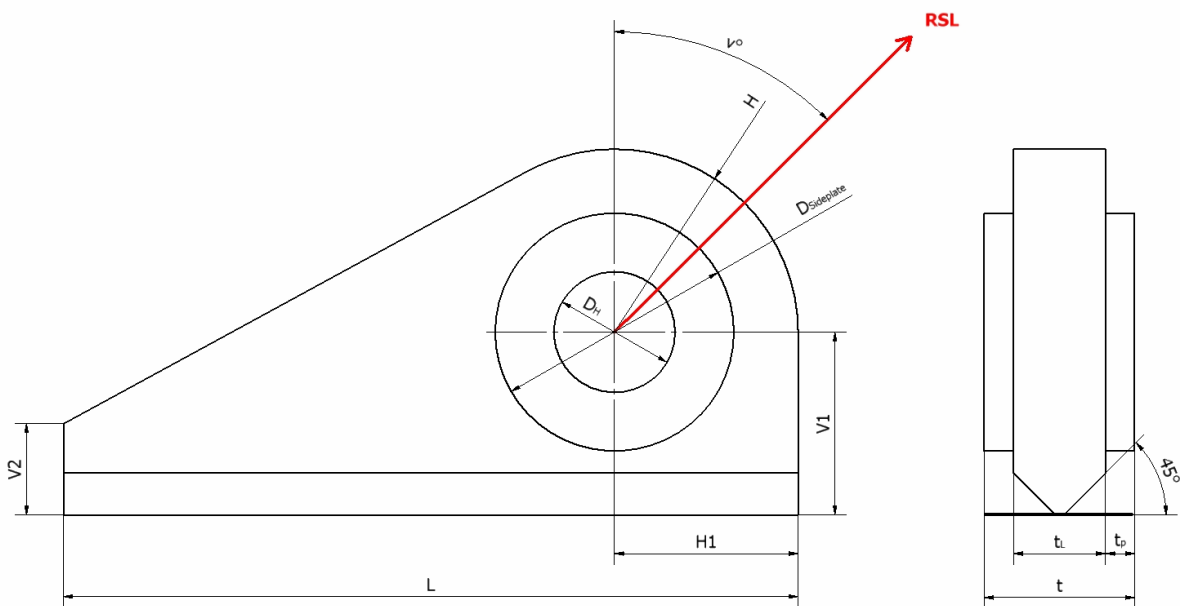
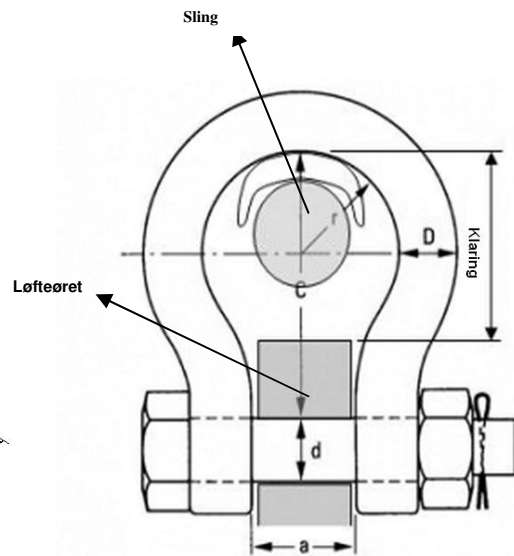
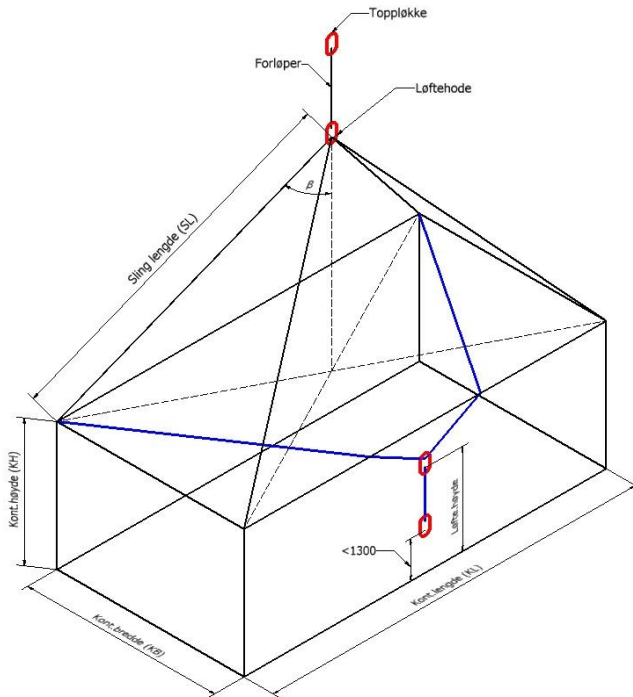
iht. EC3: $H1 = 1,2 \cdot D_H$ (Foretrekkes $H1 = 1,5 \cdot D_H$) i mm

Min. avstand fra løfteøretshull til vertikal kant

iht. EC3: $V1 = 1,2 \cdot D_H$ (Foretrekkes $V1 = 1,5 \cdot D_H$) i mm

Løfteørets lengde

Velges av hengig av hvor løfteøret skal plasseres.



Vedlegg D

```
Finish
/clear,all
/title, Loftekurv, 1o tonn
!-----
!       Data input
!-----

/prep7
! Dimensjoner av løftekurv
L = 6200           ! kurvens lengde
w = 3200           ! kurvens bredde
h = 2200           ! kurvens høyde
sin45=1/(2)**0.5
S = sqrt((L)**2+(W)**2)/(2*sin45)  !formel for å finne løftingspunkt
g = 9.81
pi = 3.1415927
D = 32             ! Slings diameter
R = 15000          ! Max. Gross Weight (Rating)
FL = 2.5*R*g      ! Design last
w = FL/(8*3000)   !Jevnfordeling last (trykk) på 7 av de 8
bunnbjelkene
w1 = w/2           !Jevnfordeling last (trykk) på langsgående midtre bunnbjelken
A = pi*D**2/4      !Slingsareal
ET,1,Beam189       !For bjelker.
ET,2,LINK8         !For slings
R,1,A,,
MP,EX,1,210000
MP,PRXY,1,0.3
MP,DENS,1,7850e-9
!-----
!       Variabler
!-----
!Dimensjoner for profilene (SECTNUM)
SECTYPE, 2, BEAM, HREC, SQU200, ,           !(SECTYPE, SECID, Type, Subtype, Name, REFINEKEY)
SECDATA, 200, 200, 9.15, 9.15 , 9.15 , 9.15  !SECDATA, W1, W2, W3, t1, t2, t3
SECTYPE, 3, BEAM, HREC, SQU140x8, ,
SECDATA, 140, 140, 7.15,7.15,7.15 ,7.15
SECTYPE, 4, BEAM, HREC, REC200X100, ,
SECDATA, 220,110 , 9.15, 9.15, 9.15, 9.15
SECTYPE, 5, BEAM, HREC, REC200, ,
SECDATA, 355,120 , 9.15, 9.15, 9.15, 9.15
SECTYPE, 6, BEAM, HREC, REC250x150, ,
SECDATA, 250,150 , 9.15, 9.15, 9.15, 9.15
!Mer detaljer: preproc-->Sections-->Beam-->Plot Section
!-----
!       Geometry
!-----

/prep7
! nederste plan
K,1,0,0,0
k,2,1000,0,0
K,3,1537.5,
K,4,2075,
K,5,2650,
K,6,3100,
K,7,3550,
K,8,4125,
K,9,4662.5,
```

K,10,5200,
K,11,6200,
K,12,6200,0,1600
K,13,6200,0,3200
K,14,5200,0,3200
K,15,4662.5,0,3200
K,16,4125,,3200
K,17,3550,,3200
K,18,3100,,3200
K,19,2650,,3200
K,20,2075,,3200
K,21,1537.5,,3200
K,22,1000,,3200
K,23,,3200
K,24,,1600

!-----

! Øverste plan

K,25,0,2200,0
K,26,1537.5,2200,0
K,27,3100,2200,0
K,28,4662.5,2200,0
K,29,6200,2200,0
K,30,6200,2200,1600
K,31,6200,2200,3200
K,32,4662.5,2200,3200
K,33,3100,2200,3200
K,34,1537.5,2200,3200
k,35,0,2200,3200
k,36,0,2200,1600

!forklift

k,37,5200,0,1600
k,38,4125,,1600
k,39,3550,0,1600
k,40,3100,0,1600
k,41,2650,0,1600
k,42,2075,0,1600
k,43,1000,0,1600
k,44,3100,S,1600

! løfte keypoint

!-----

!Guide keypoints for bjelker

K,100,0,0,1E7
K,101,0,1E7
K,102,1E7

! Flat side av bjelken vil bli rotert til denne keypoint i Z retning
! Flat side av bjelken vil bli rotert til denne keypoint i y retning
! Flat side av bjelken vil bli rotert til denne keypoint i x retning

!-----

! nederst plane

1,1,2
1,2,3
1,3,4
1,4,5
1,5,6
1,6,7
1,7,8
1,8,9
1,9,10
1,10,11
1,11,12
1,12,13
1,13,14
1,14,15

1,15,16
1,16,17
1,17,18
1,18,19
1,19,20
1,20,21
1,21,22
1,22,23
1,23,24
1,24,1
!Overst plane
1,25,26
1,26,27
1,26,27
1,27,28
1,28,29
1,29,30
1,30,31
1,31,32
1,32,33
1,33,34
1,34,35
1,35,36
1,36,25
!Støttebjelker (vertikal)
1,1,25
1,3,26
1,6,27
1,9,28
1,11,29
1,12,30
1,13,31
1,15,32
1,18,33
1,21,34
1,23,35
1,24,36
!Bunnbjelker og forklift
1,2,43
1,43,22
1,6,40
1,40,18
1,10,37
1,37,14
1,4,42
1,42,20
1,5,41
1,41,19
1,7,39
1,39,17
1,8,38
1,38,16
1,12,37
1,37,38
1,38,39
1,39,40
1,40,41
1,41,42
1,42,43
1,43,24

```

!-----
! sling linjer
1,25,44
1,29,44
1,31,44
1,35,44
/PNUM,KP,1           ! viser keypointsnummer
/PNUM,LINE,1        ! viser linjersnummer
LPLOT
!-----
!      Mesh
!-----
/prep7
ESIZE,250           !element size
!-----horizontal bjelker SECNUM 2
LSEL,,,1,24        ! velg linjer fra 1 to 24
LATT,1,,1,,101,,2 ! (LATT, MAT, REAL, TYPE, --, KB, KE, SECNUM) -
/eshape,1          ! Kontrollere dette ved å kjøre en enkel mesh og aktivere eshape
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,25,36
LATT,1,,1,,101,,2
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,63,70
LATT,1,,1,,101,,2
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
!-----vertikale bjelker SECNUM 2
LSEL,,,37
LATT,1,,1,,100,,2
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,41
LATT,1,,1,,100,,2
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,43
LATT,1,,1,,100,,2
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,47
LATT,1,,1,,100,,2
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
!-----vertikale bjelker SECNUM 3
LSEL,,,38,40
LATT,1,,1,,101,,3
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,42
LATT,1,,1,,100,,3
/eshape,1

```

```

LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,44,46
LATT, 1, , 1, , 100, , 3
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,48
LATT, 1, , 1, , 100, , 3
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
!-----forkliftet bjelker SECNUM 5
LSEL,,,55,56
LATT, 1, , 1, , 101, , 5
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,61,62
LATT, 1, , 1, , 101, , 5
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
LSEL,,,57,60
LATT, 1, , 1, , 101, , 4
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
!-----tvesgående bjelker SECNUM 6
LSEL,,,49,54
LATT, 1, , 1, , 101, , 6
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
ALLSEL
!-----slings linjer
LESIZE,71,,,1
LESIZE,72,,,1
LESIZE,73,,,1
LESIZE,74,,,1
LSEL,,,71,74
LATT, 1, 1, 2,,,
/eshape,1
LMESH,all
EPLOT
ALLSEL
!-----
!      DOF
!-----
/solu
DK,44, ,0, ,0,UX,UY,UZ, , , ,      !løftpunkt låser i x,y og Z retningen
DK,6, , , ,0,UX, , , , ,
DK,18, , , ,0,UX, , , , ,
DK,12, , , ,0,UZ, , , , ,
DK,24, , , ,0,UZ, , , , ,
ESEL,s,ELEM,,173,200                !velger av elementer fra 173 til 200
SFBEAM,all,1,PRES,w1                !Jevnfordelingstrykk last på den langsgående midtre bjelken
EPLOT
ALLSEL
ESEL,s,ELEM,,309,406                !velger av elementer fra 309 til 406

```

```

SFBEAM,all,1,PRES,w                                !Jevnfordelingstrykk last på de tversgående bjelker
ALLSEL
EPlot
! Global acceleration
!Acel,,9.810,
!-----
!           Solver
!-----
/solu
ANTYPE,STATIC                                     !Static analysis defined
solve                                             !Solving the system
!-----
!           Results
!-----
/POST1
PLESOL, S,EQV, 0,1.0                             !Global plotter deformasjon + Von Mises
ETABLE,FX,SMISC,1,14
ETABLE,MX,SMISC,4,17
ETABLE,MY,SMISC,2,15
ETABLE,MZ,SMISC,3,16
ETABLE,SByTI,SMISC,32,37
ETABLE,SByBJ,SMISC,33,38
ETABLE,SBzTI,SMISC,34,39
ETABLE,SBzBJ,SMISC,35,40
PRETAB,FX,SByTI,SByBJ,SBzTI,SBzBJ

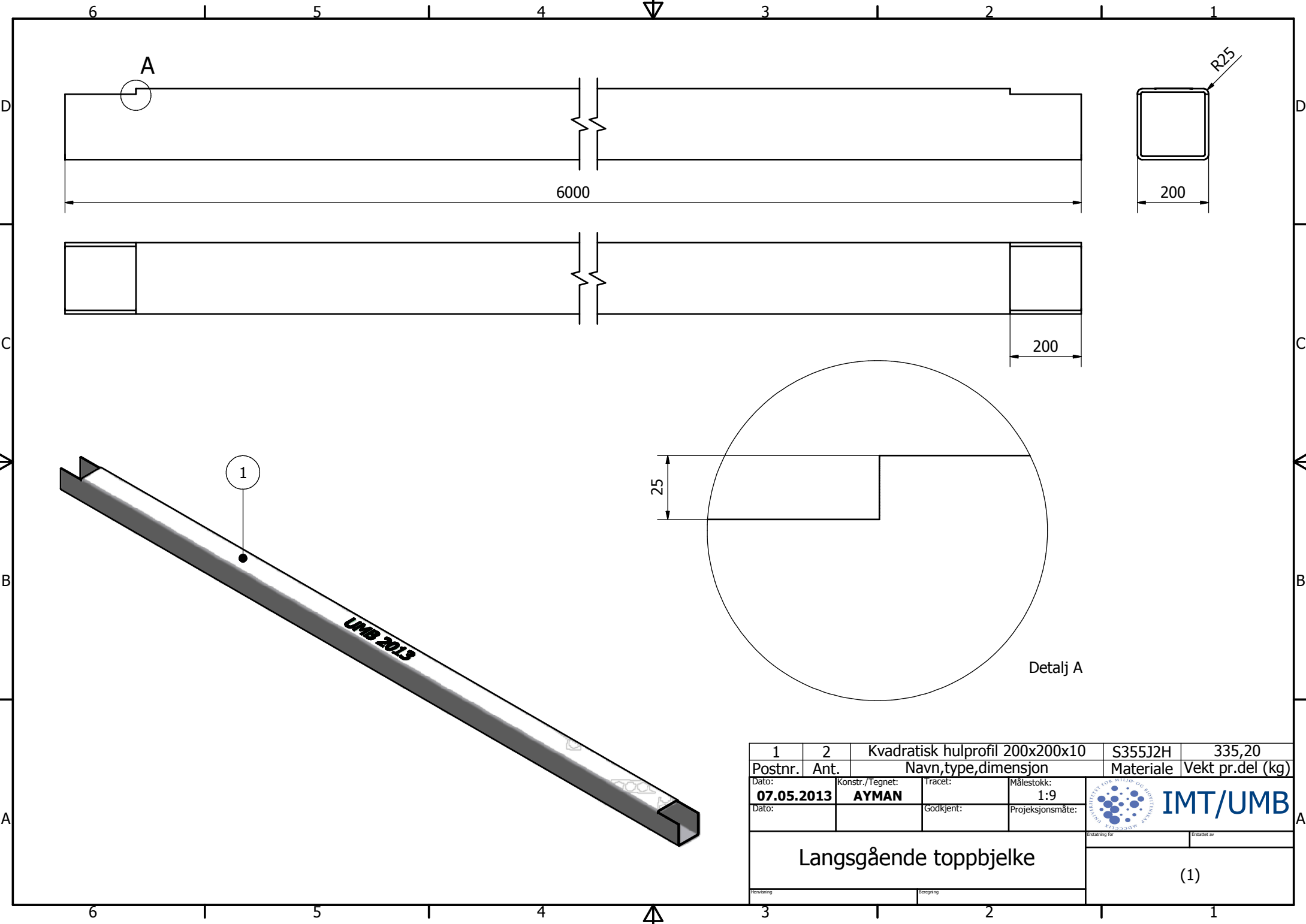
```

Vedlegg E

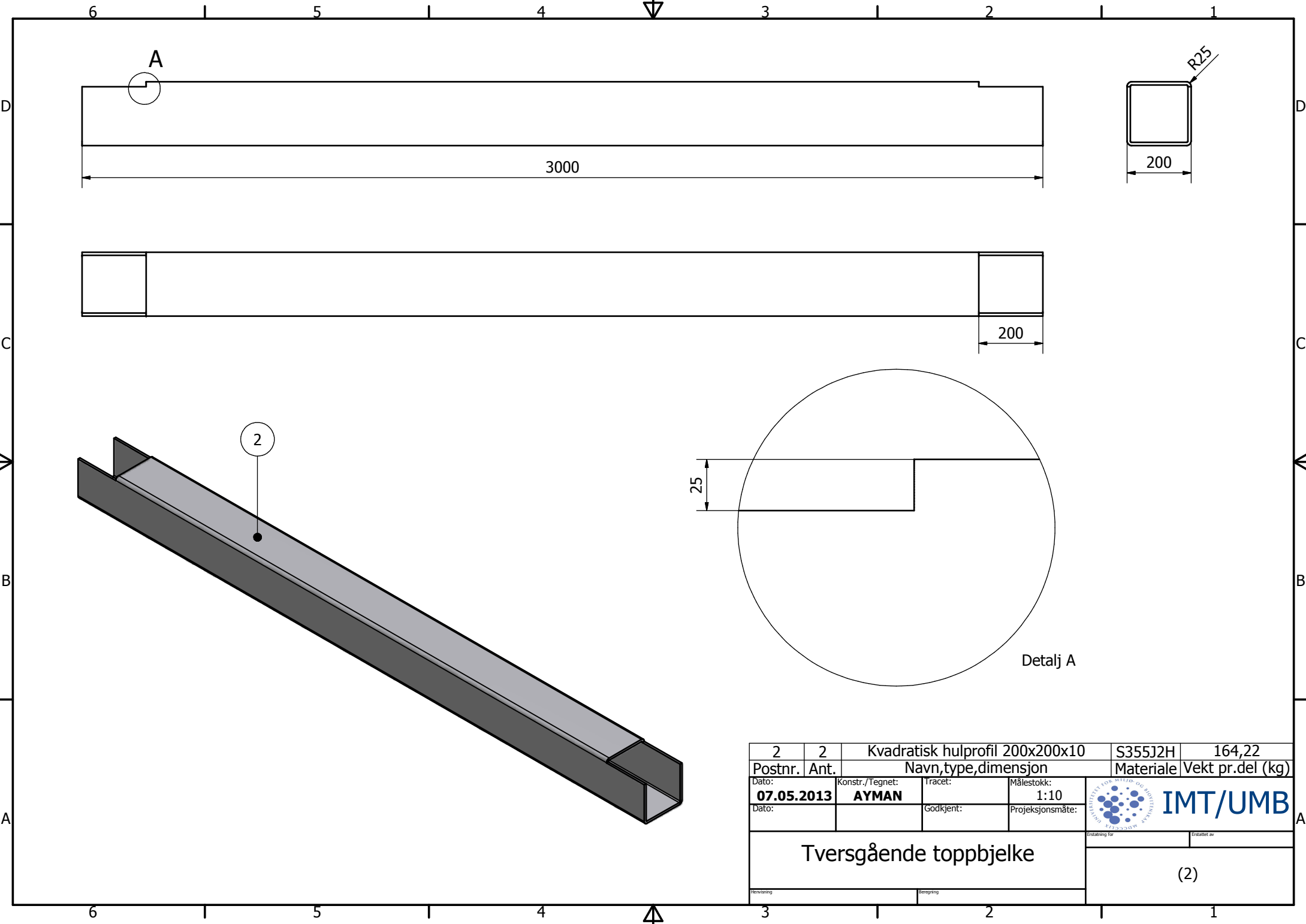
```
Finish
/clear,all
/title, Lofteoret med arbeidsvinkel
!-----
!           Data input
!-----
/prep7
R=15000                                ! max. Gross mass (Rating)
g= 9.81
n= 4                                    ! antall løfteører
t = 40                                  ! løfteørets tykkelse
D = 33                                  ! løfteøretshulldiameter
sin45= 1/sqrt(2)
RSL = 3*R*g/((n-1)*sin45)              ! Resultant sling last på hvert løfteøret
P = sqrt(2)*RSL/(D*t)                  ! Trykk som virker på løfteørets hull
ET,1,solid92
MP,EX,1,210000
MP,PRXY,1,0.3
!-----
!           Geometry
!-----
/prep7
k,1,0,0,0
k,2,200,0,0
k,3,200,150,0
k,4,0,25,0
1,1,2
1,2,3
1,3,4
1,4,1
LFILLT,2,3,50, ,
Al,all                                  !laga areal fra linjer
CYL4,150,50,16.5
ASBA,1,2
VOFFST,3,40, ,
AESIZE,ALL,5,
vmesh,all
!-----
!           DOF
!-----
/solu
ASEL,,,,2
DA,all,ALL,
ALLSEL
ASEL,,,,9
SFA,all,1,PRES,P
ALLSEL
!-----
!           Solver settings
!-----
/solu
ANTYPE,STATIC                          !Valg static analysis
solve                                    ! Løse systemet
!-----
!-----Results
/POST1
PLESOL, S,EQV, 0,1.0                   ! Von Meises
```

Vedlegg F

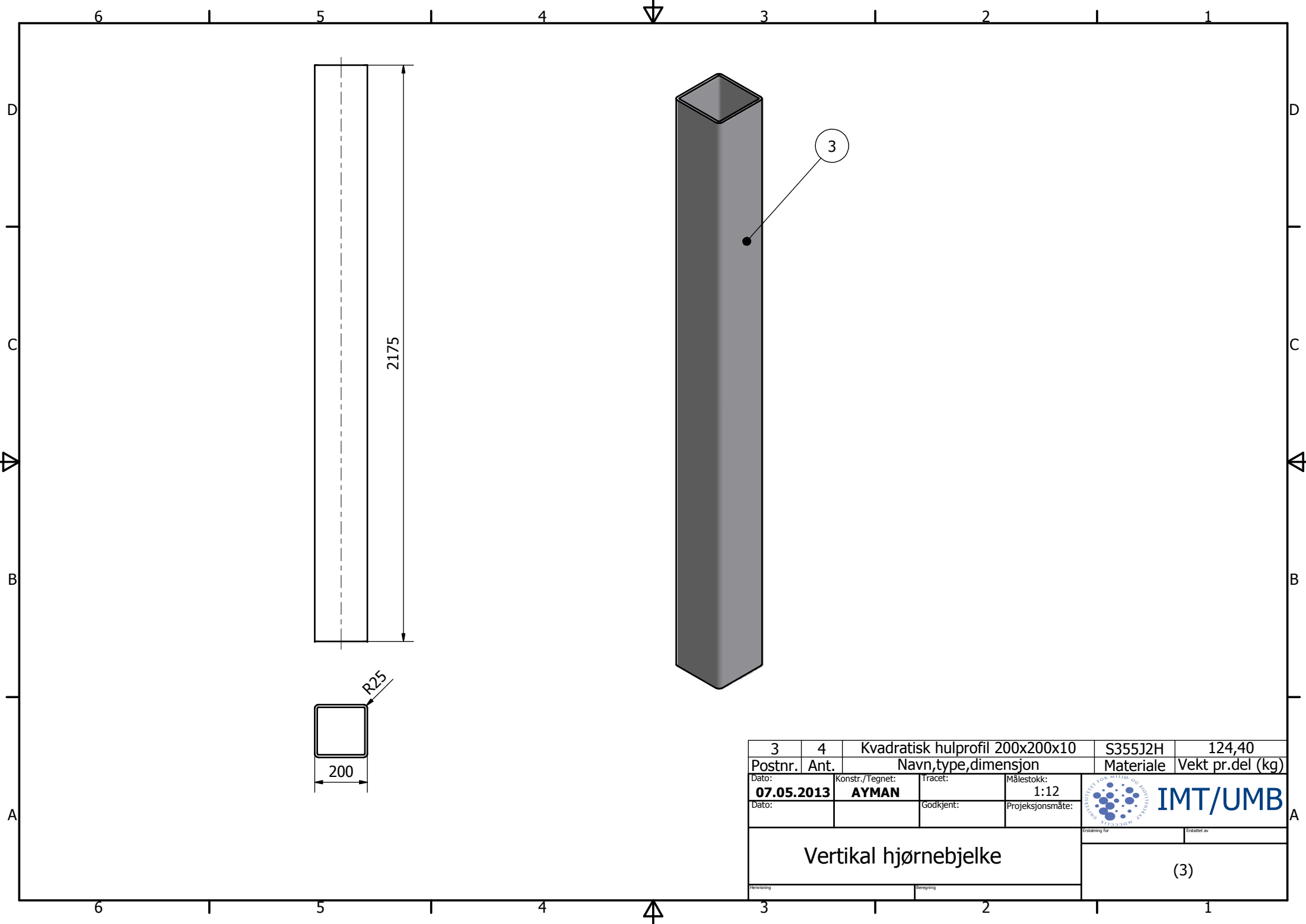
Konstruksjonstegninger



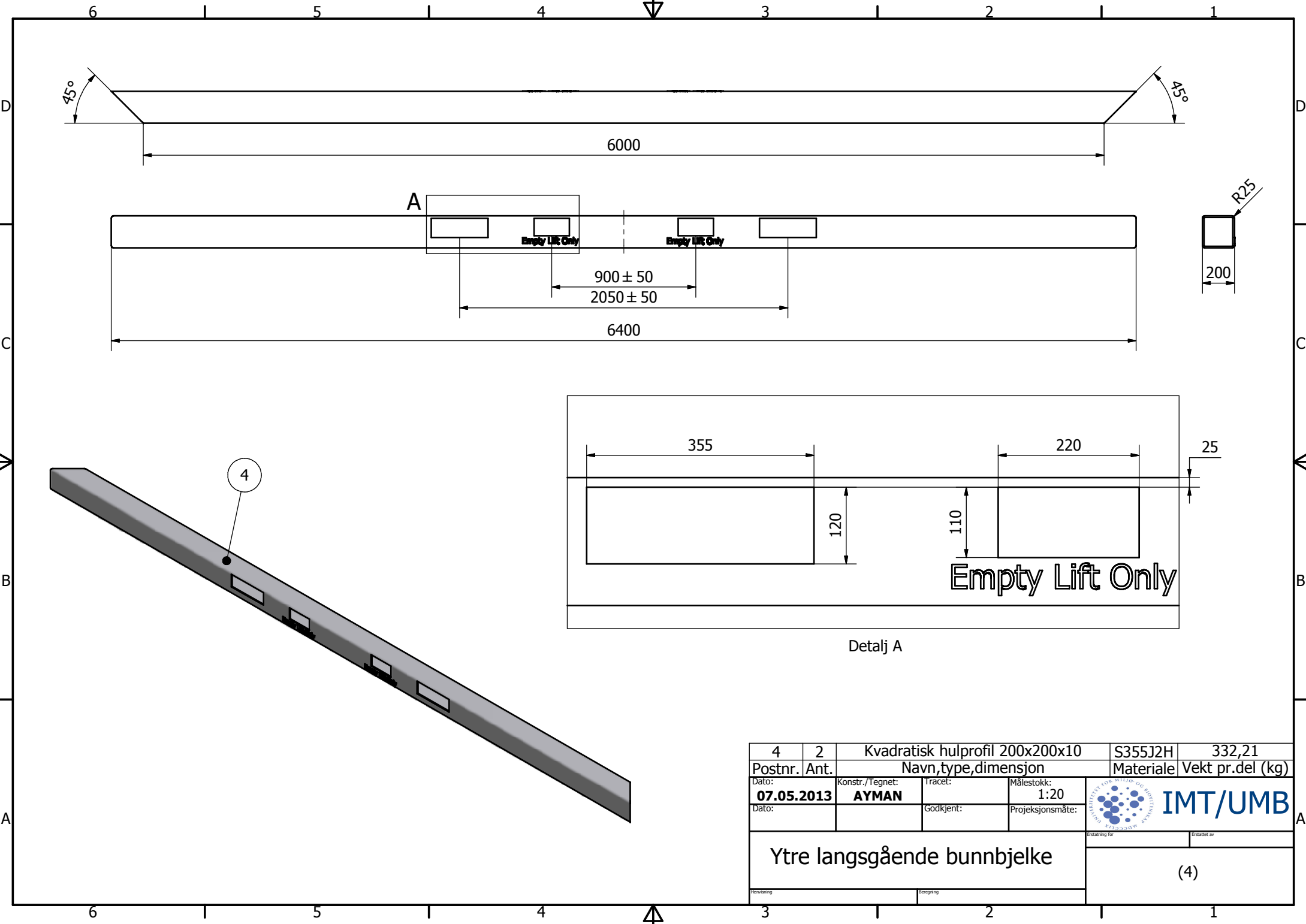
1	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10		S355J2H	335,20
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:9		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:		
Langsgående toppbjelke				Erstatning for	
				Erstatet av	
				(1)	



2	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10		S355J2H	164,22
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracé:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:10		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:		
Tversgående toppbjelke				Utsattning for	Erstattet av
				(2)	
Henvisning		Beregning			



3	4	Kvadratisk hulprofil 200x200x10		S355J2H	124,40
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:12		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Vertikal hjørnebjelke				Erstattet av	
				(3)	
Henvisning		Beregning			



A

Empty Lift Only

900 ± 50

2050 ± 50

6400

200

R25

355

220

25


120

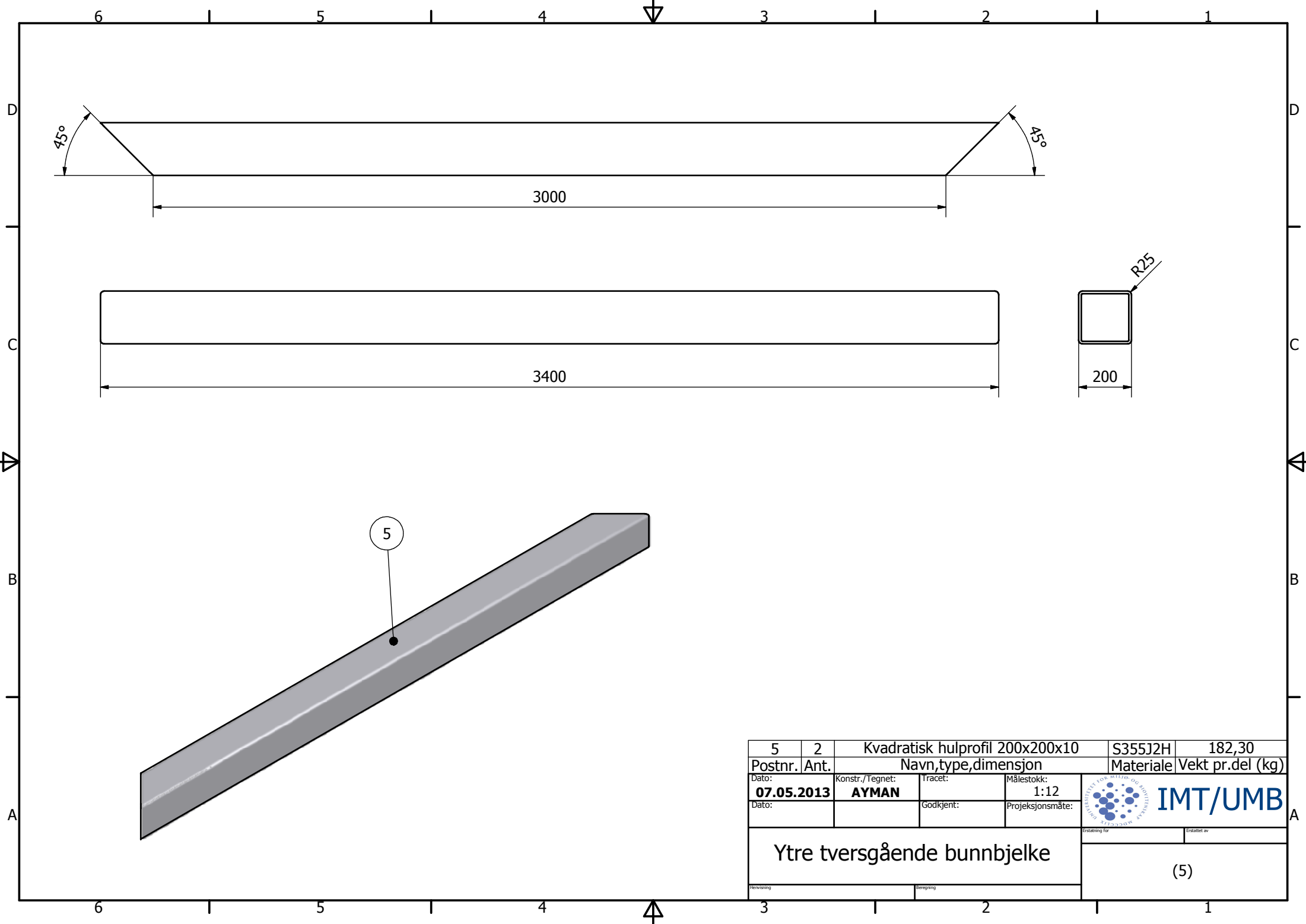
110

Empty Lift Only

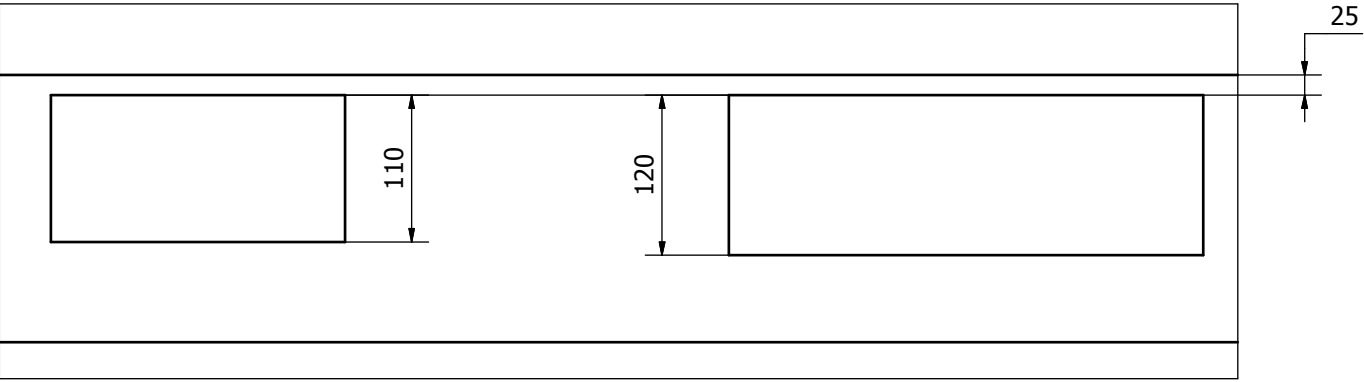
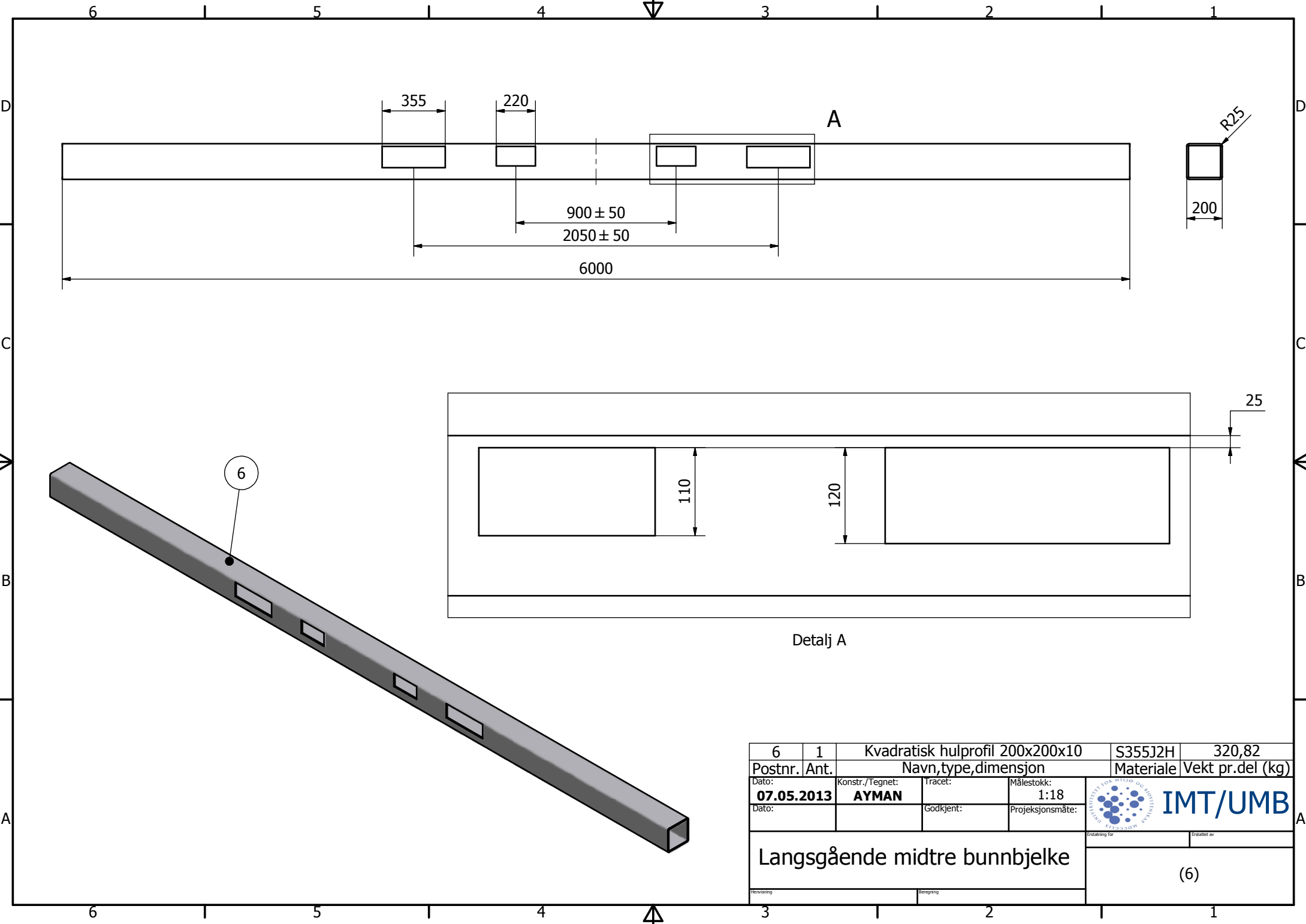
Detalj A

4


4	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10		S355J2H	332,21
Postnr.	Ant.	Navn,type,dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:	 IMT/UMB	
07.05.2013	AYMAN		1:20		
Dato:		Godkjent:	Prosjeksjonsmåte:		
Ytre langsgående bunnbjelke				Erstatning for	
				Erstatet av	
				(4)	

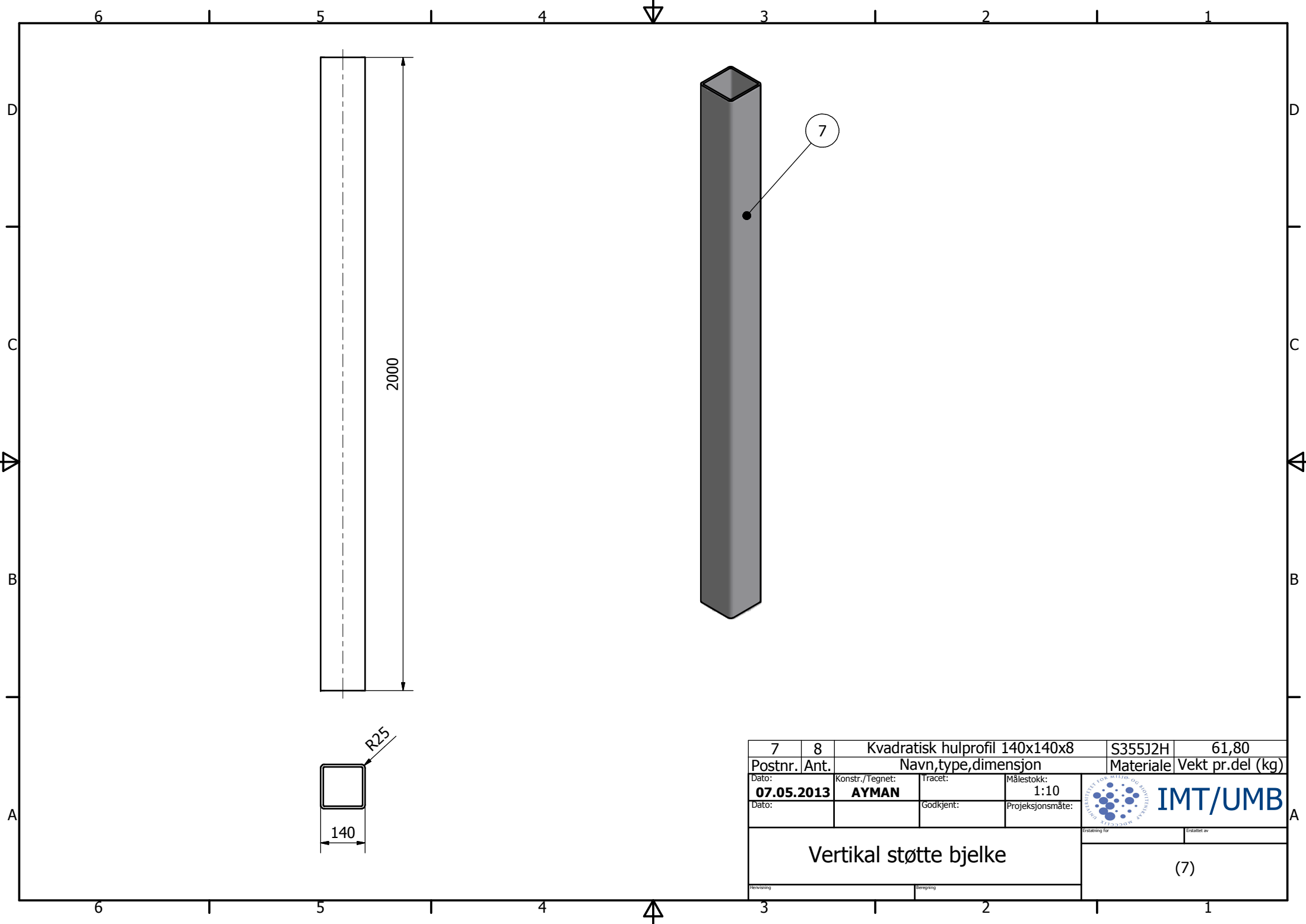


5	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10		S355J2H	182,30
Postnr.	Ant.	Navn,type,dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:12		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Ytre tversgående bunnbjelke				Erstatet av	
				(5)	
Henvisning			Beregning		



Detalj A

6	1	Kvadratisk hulprofil 200x200x10		S355J2H	320,82
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:18		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Utstating for: _____ Erstatet av: _____	
Langsgående midtre bunnbjelke				(6)	
Henvisning		Beregning			

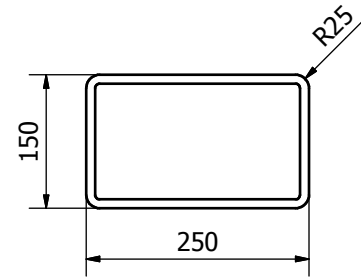
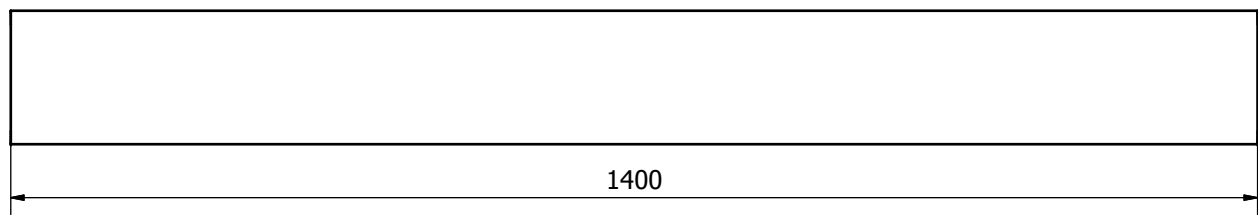


7	8	Kvadratisk hulprofil 140x140x8		S355J2H	61,80
Postnr.	Ant.	Navn,type,dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:10		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Vertikal støtte bjelke				Erstatet av	
				(7)	
Henvisning			Beregning		

6 5 4 3 2 1

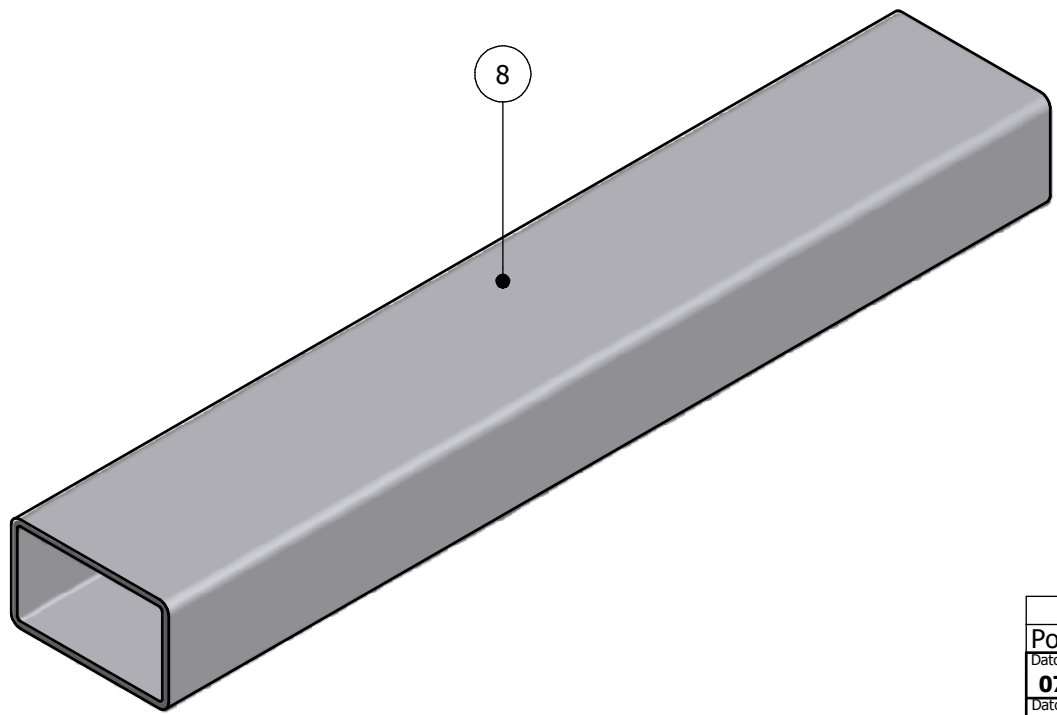
D

D



C

C



B

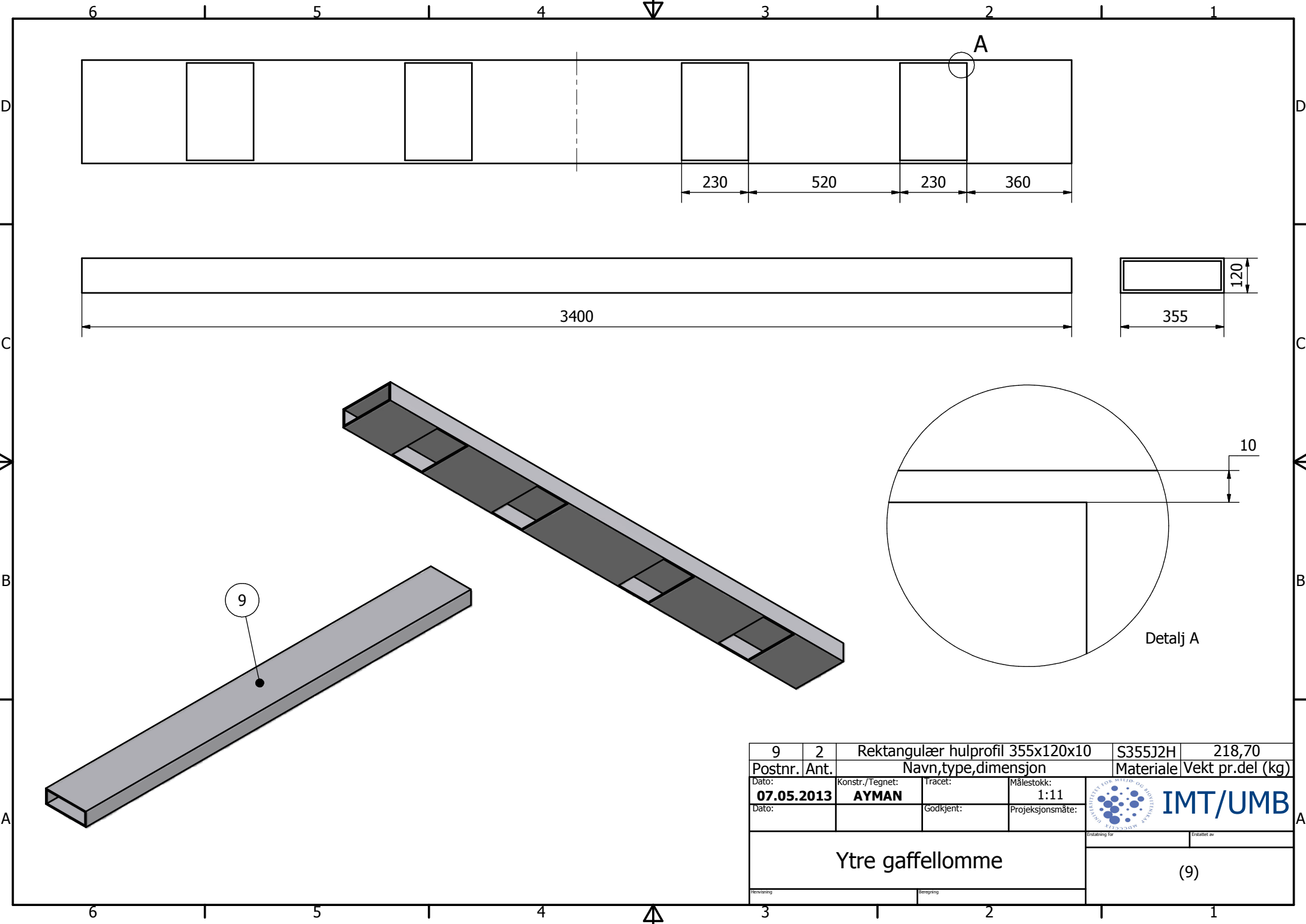
B


A

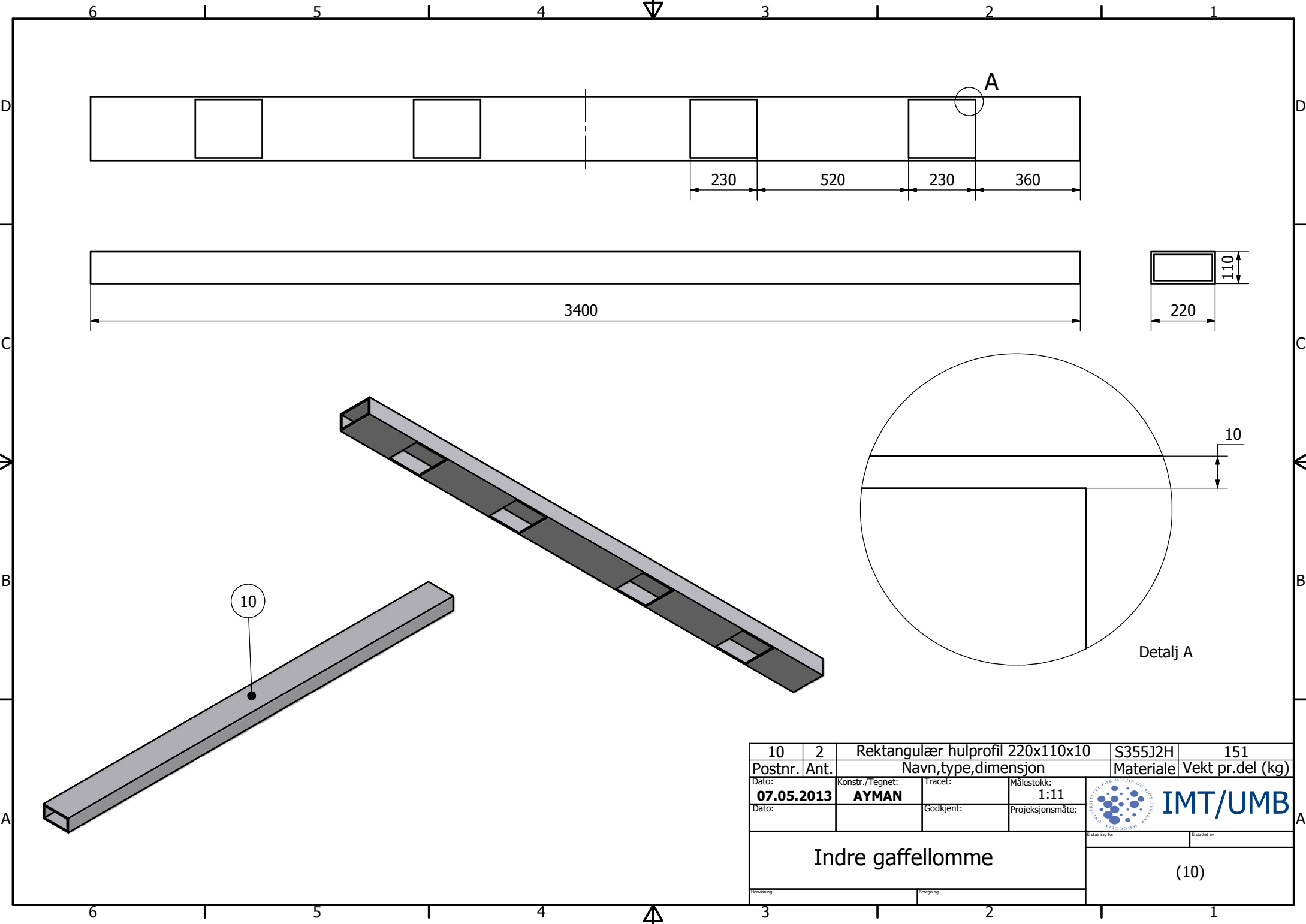
A


8	6	Rektangulær hulprofil 250x150x10		S355J2H	79,52
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr. del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:6		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Indre tversgående bunnbjelke				Erstatet av	
				(8)	
Henvisning			Beregning		

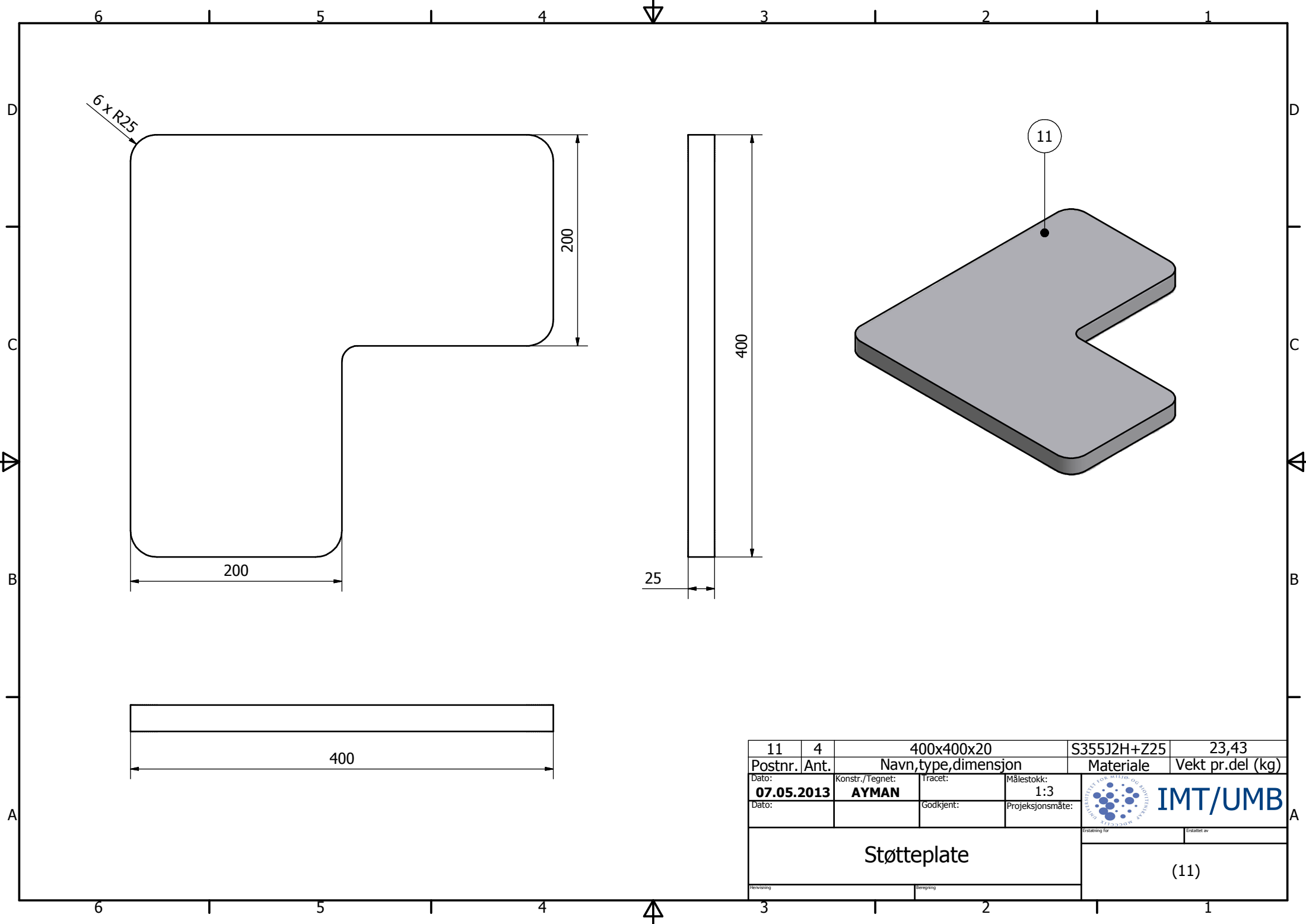
6 5 4 3 2 1



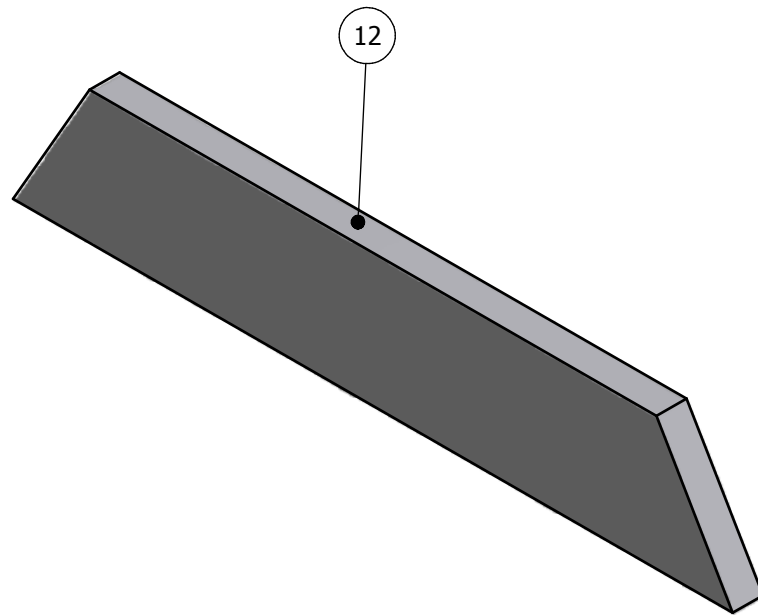
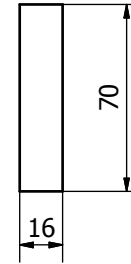
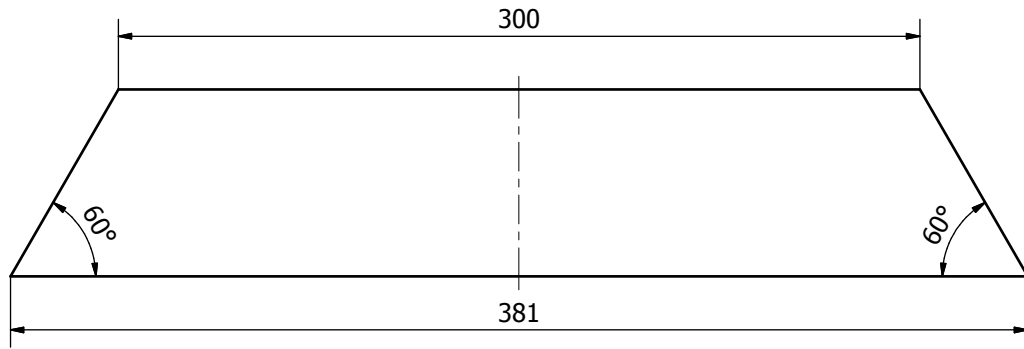
9	2	Rektangulær hulprofil 355x120x10		S355J2H	218,70
Postnr.	Ant.	Navn,type,dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:11		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Ytre gaffellomme				Erstattet av	
				(9)	
Henvisning			Beregning		




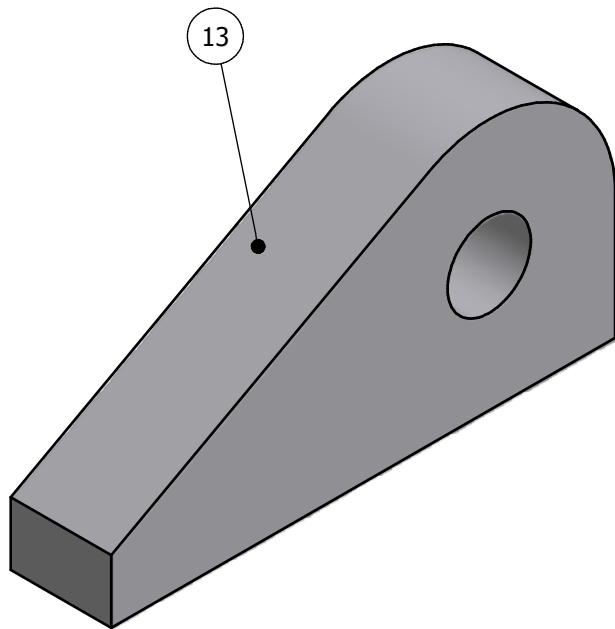
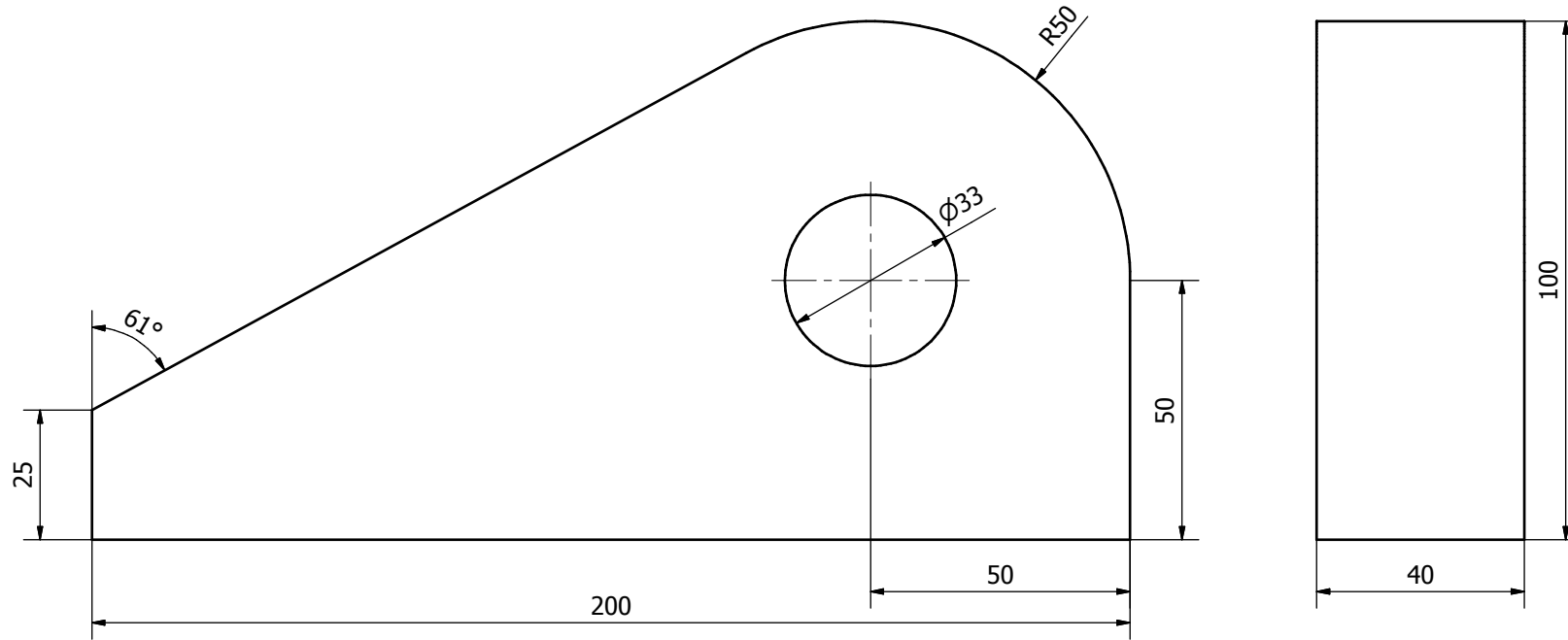
10	2	Rektangulær hulprofil 220x110x10		S355J2H	151
Postnr.	Ant.	Navn,type,dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:11		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Indre gaffellomme				Erstattet av	
				(10)	
Henvisning			Beregning		



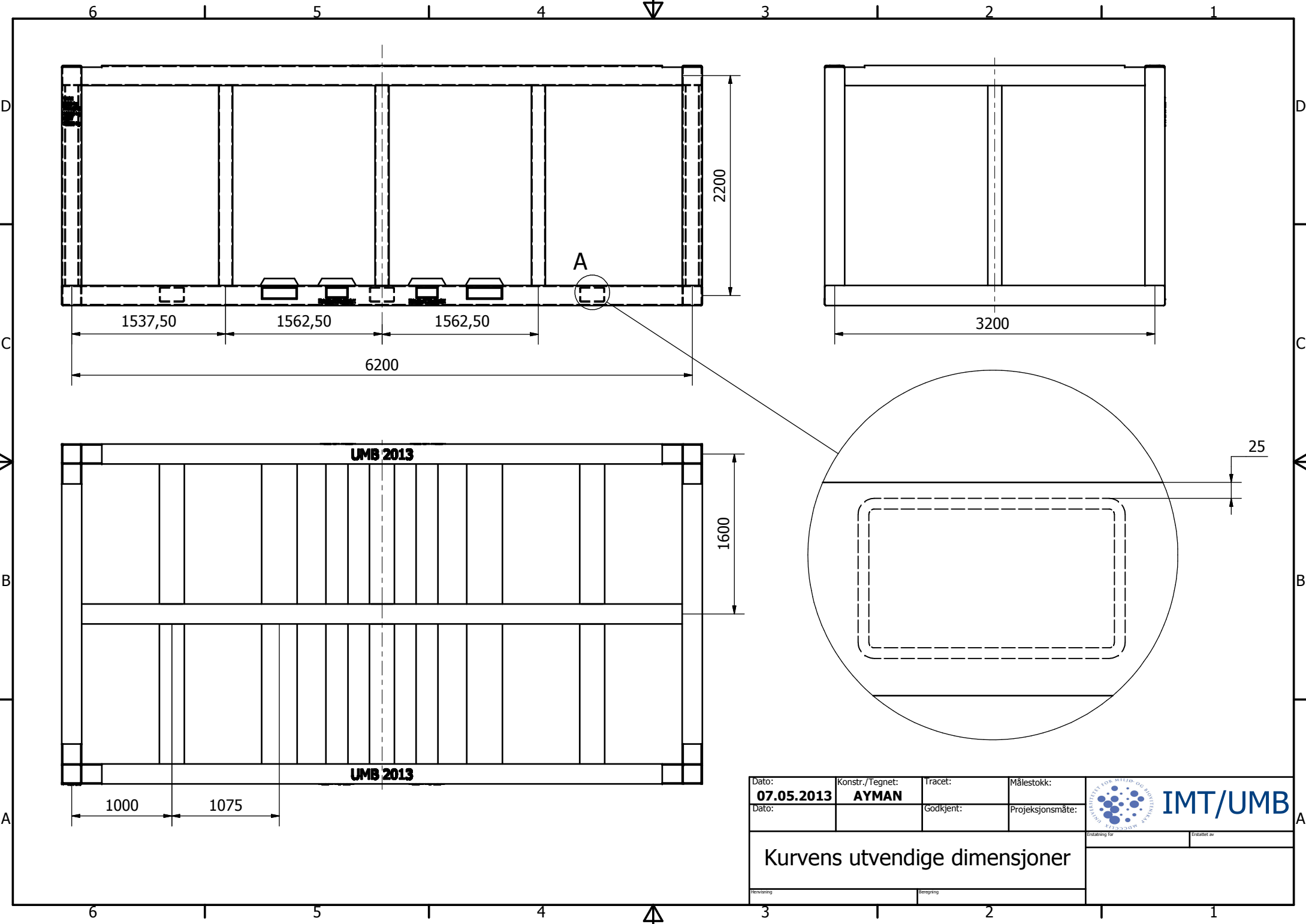
11	4	400x400x20		S355J2H+Z25	23,43
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr. del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:3		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Støtteplate				Erstattet av	
				(11)	
Henvisning		Beregning			




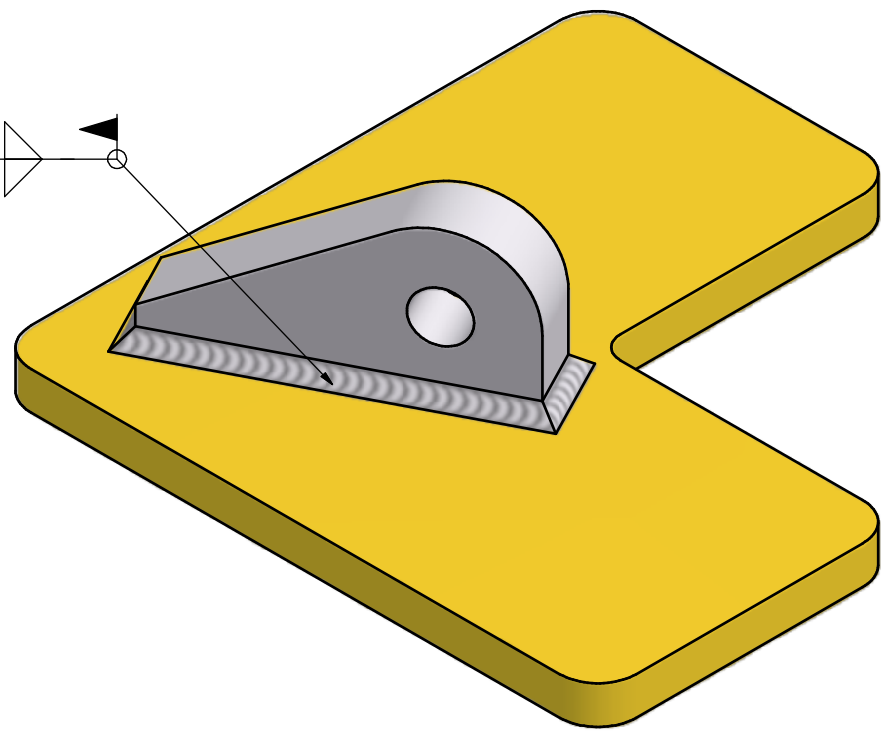
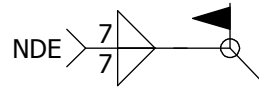
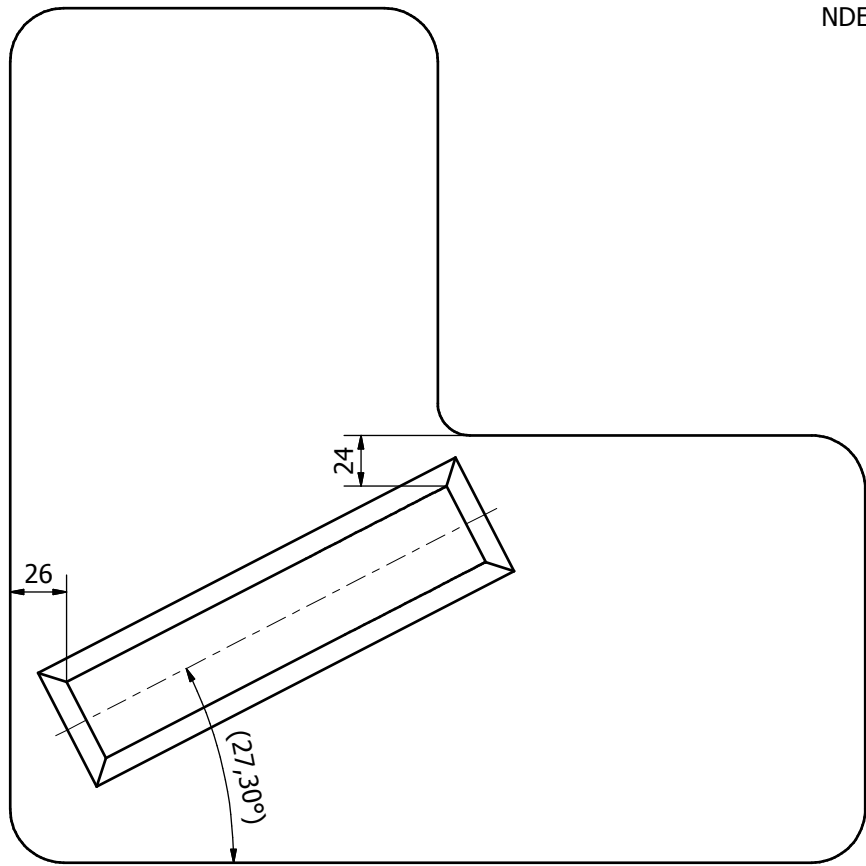
12	8	381x70x16		S355J2H	3,00
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr.del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:	 IMT/UMB	
07.05.2013	AYMAN				
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Forsterkningsplate				Erstatet av	
				(12)	
Henvisning			Beregning		



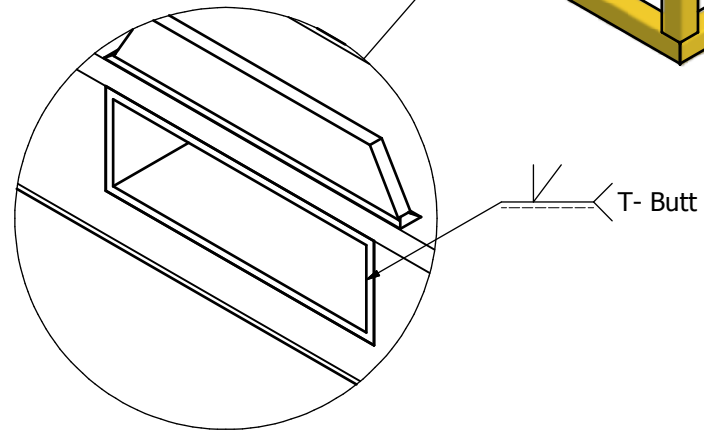
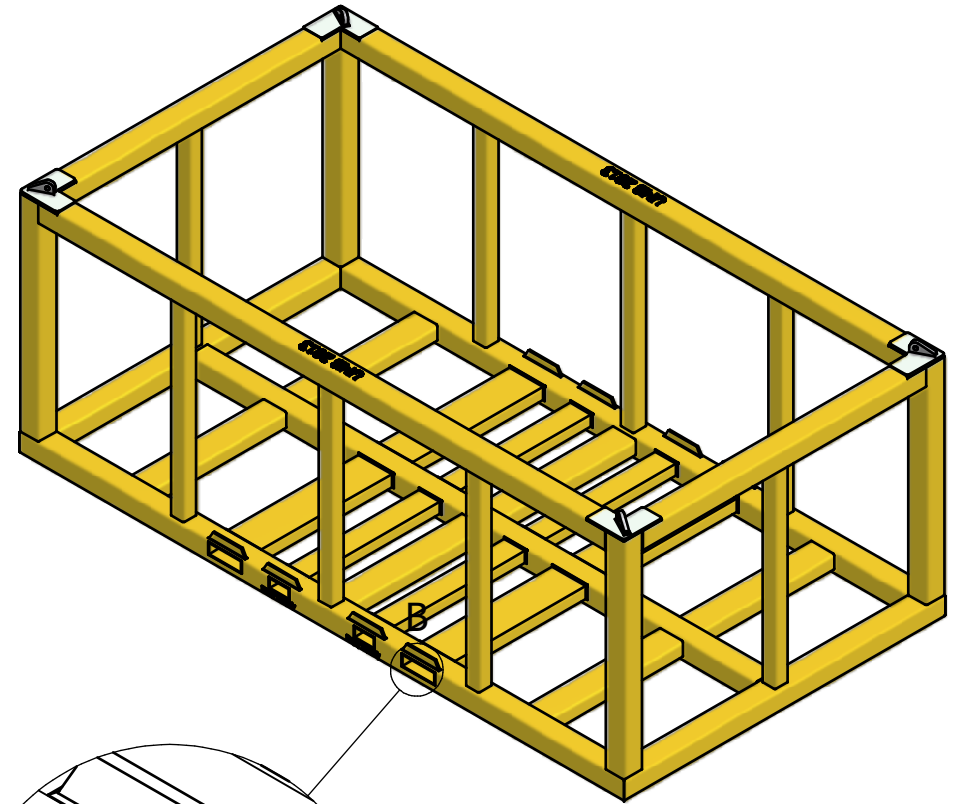
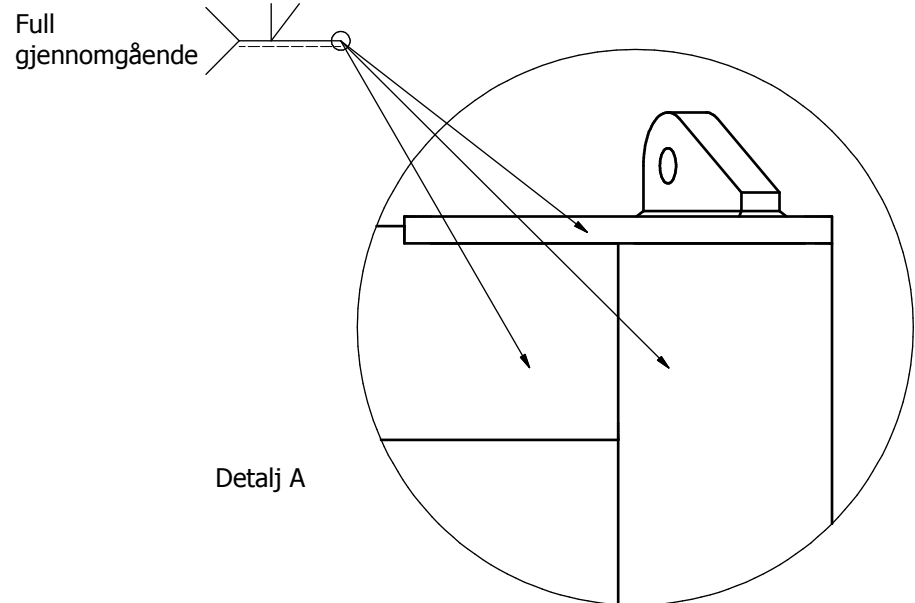
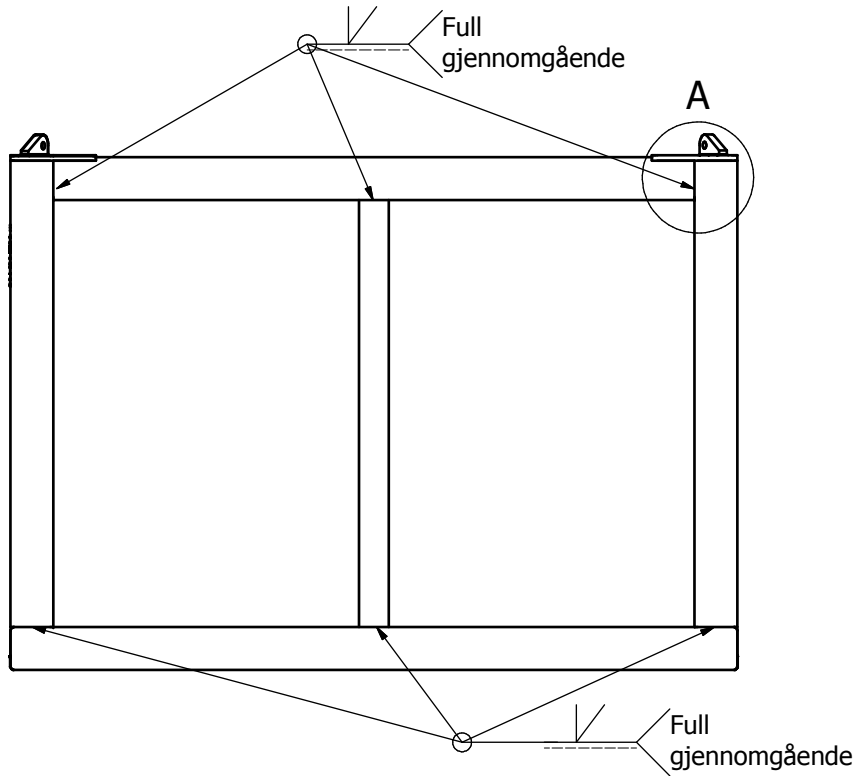
13	4	200x100x40		S420MLH	4,23
Postnr.	Ant.	Navn, type, dimensjon		Materiale	Vekt pr. del (kg)
Dato:	Konstr./Tegnet:	Tracet:	Målestokk:		
07.05.2013	AYMAN		1:1		
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	Erstatning for	
Løfteøret				Erstatet av	
				(13)	
Henvisning		Beregning			



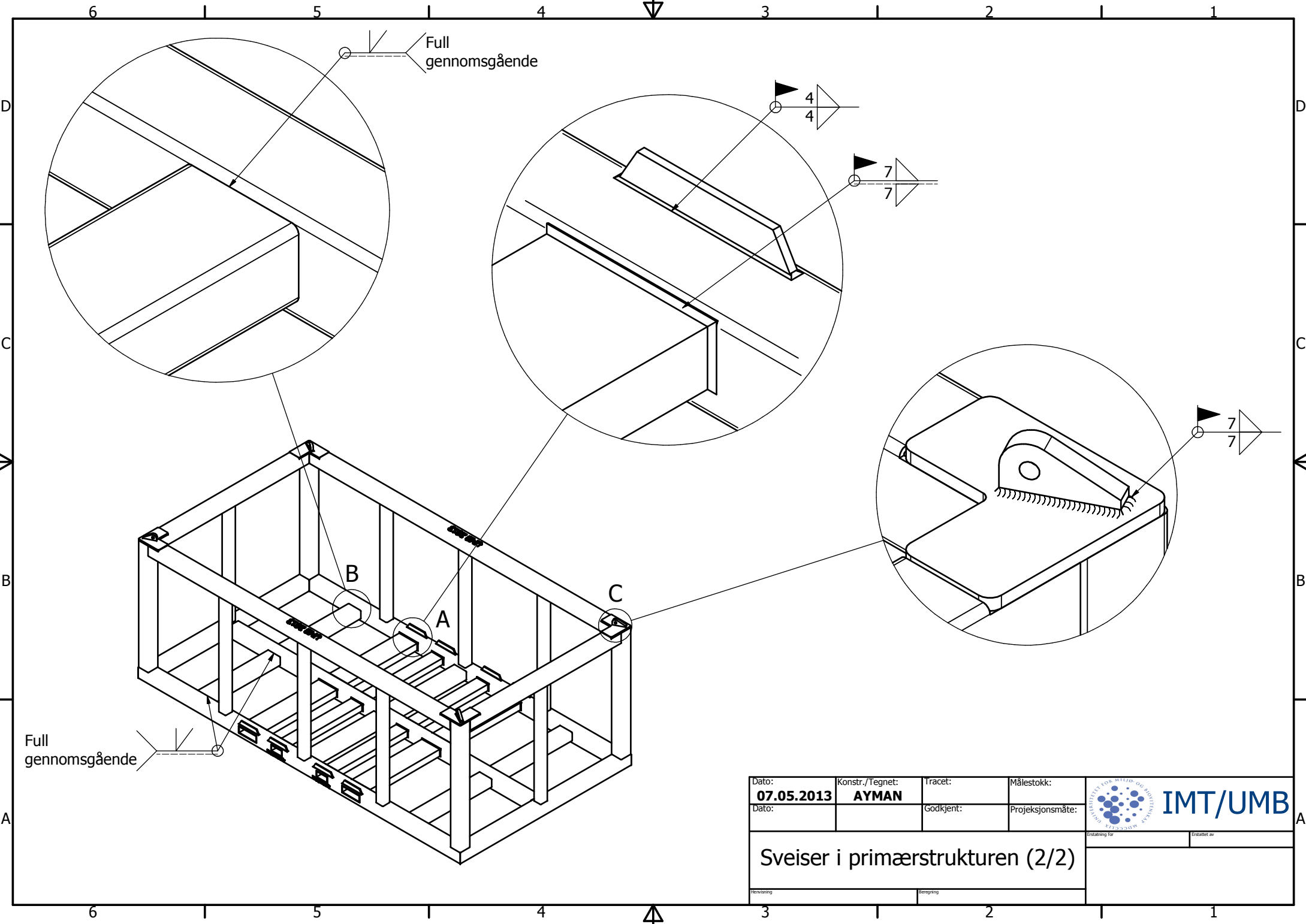
Dato: 07.05.2013	Konstr./Tegnet: AYMAN	Tracet:	Målestokk:	 IMT/UMB
Dato:		Godkjent:	Prosjeksjonsmåte:	
Kurvens utvendige dimensjoner			Utstating for	Erstatet av
Henvisning		Beregning		



Dato: 07.05.2013	Konstr./Tegnet: AYMAN	Tracet:	Målestokk:
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:
Sammenstilling av løfteøret og støtteplate med sveis			 IMT/UMB <small>INSTITUTT FOR INNOVASJON I MEKANISKE SYSTEMER</small>
Henvisning		Beregning	



Dato: 07.05.2013	Konstr./Tegnet: AYMAN	Tracet:	Målestokk:	
Dato:		Godkjent:	Prosjeksjonsmåte:	
Sveiser i primærstrukturen (1/2)				Utstating for Erstatet av
<small>Henvisning</small>		<small>Beregning</small>		



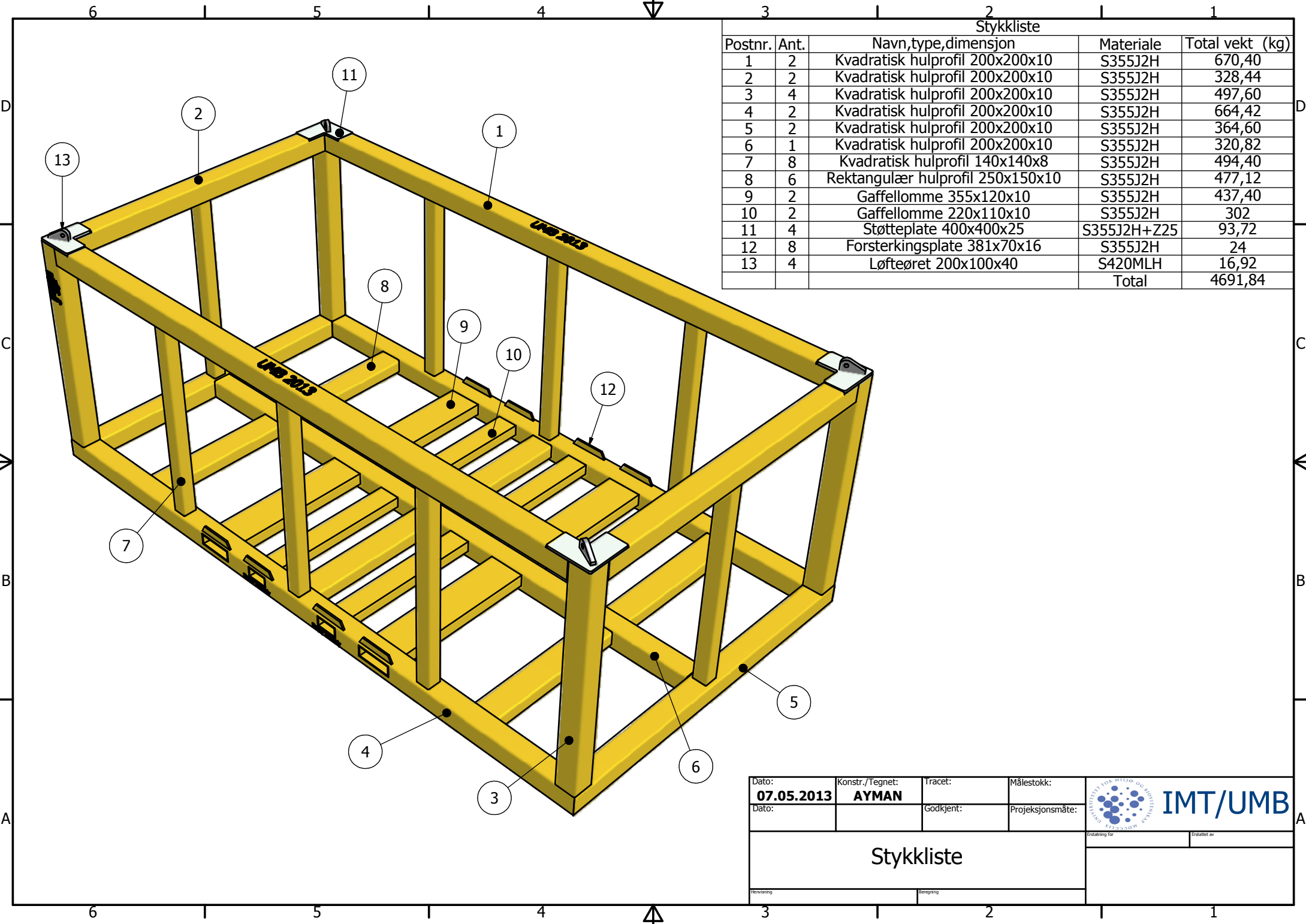
Full gjennomgående

Full gjennomgående


Dato: 07.05.2013	Konstr./Tegnet: AYMAN	Tracet:	Målestokk:	
Dato:		Godkjent:	Prosjeksjonsmåte:	
Sveiser i primærstrukturen (2/2)				Utstøtning for: _____ Erstatet av: _____
Henvisning: _____ Beregning: _____				

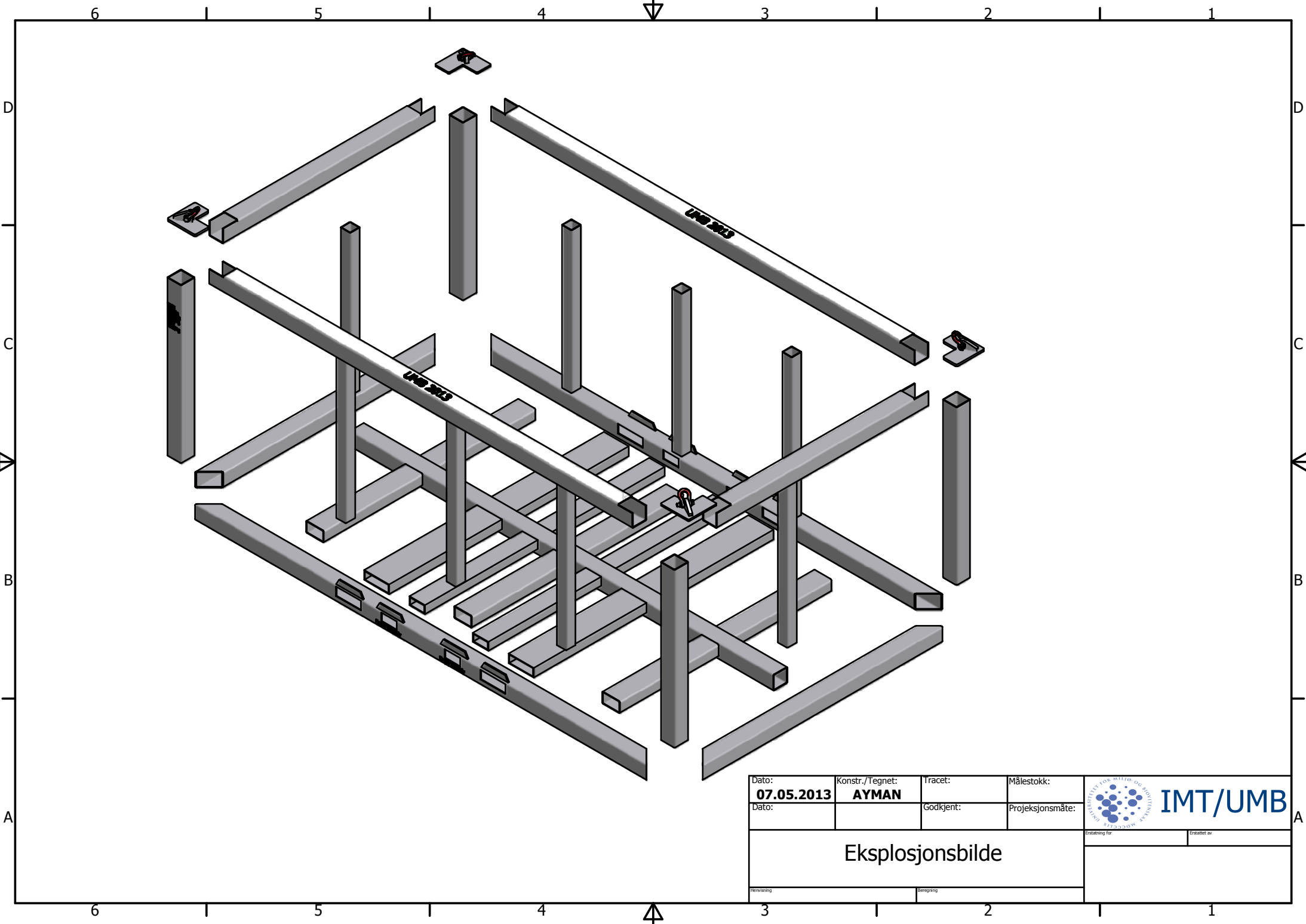
IMT/UMB


Sveiser i primærstrukturen (2/2)



Stykkliste				
Postnr.	Ant.	Navn,type,dimensjon	Materiale	Total vekt (kg)
1	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10	S355J2H	670,40
2	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10	S355J2H	328,44
3	4	Kvadratisk hulprofil 200x200x10	S355J2H	497,60
4	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10	S355J2H	664,42
5	2	Kvadratisk hulprofil 200x200x10	S355J2H	364,60
6	1	Kvadratisk hulprofil 200x200x10	S355J2H	320,82
7	8	Kvadratisk hulprofil 140x140x8	S355J2H	494,40
8	6	Rektangulær hulprofil 250x150x10	S355J2H	477,12
9	2	Gaffellomme 355x120x10	S355J2H	437,40
10	2	Gaffellomme 220x110x10	S355J2H	302
11	4	Støtteplate 400x400x25	S355J2H+Z25	93,72
12	8	Forsterkingsplate 381x70x16	S355J2H	24
13	4	Løfteøret 200x100x40	S420MLH	16,92
			Total	4691,84

Dato: 07.05.2013	Konstr./Tegnet: AYMAN	Tracet:	Målestokk:	 IMT/UMB
Dato:		Godkjent:	Prosjeksjonsmåte:	
Stykkliste				Utstating for: _____ Erstatet av: _____
Henvisning		Beregning		



Dato: 07.05.2013	Konstr./Tegnet: AYMAN	Tracet:	Målestokk:	 IMT/UMB
Dato:		Godkjent:	Projeksjonsmåte:	
Eksplisjonsbilde				Utstating for: _____ Erstatet av: _____
<small>Henvisning</small>		<small>Beregning</small>		

