



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2015 30stp

Institutt matematiske realfag og teknologi

Geir Terjesen

Regelverk og design av løfteinnretninger benyttet offshore

Rules and design of lifting equipment used offshore

Johanne Margrethe Isaksen

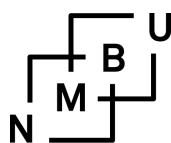
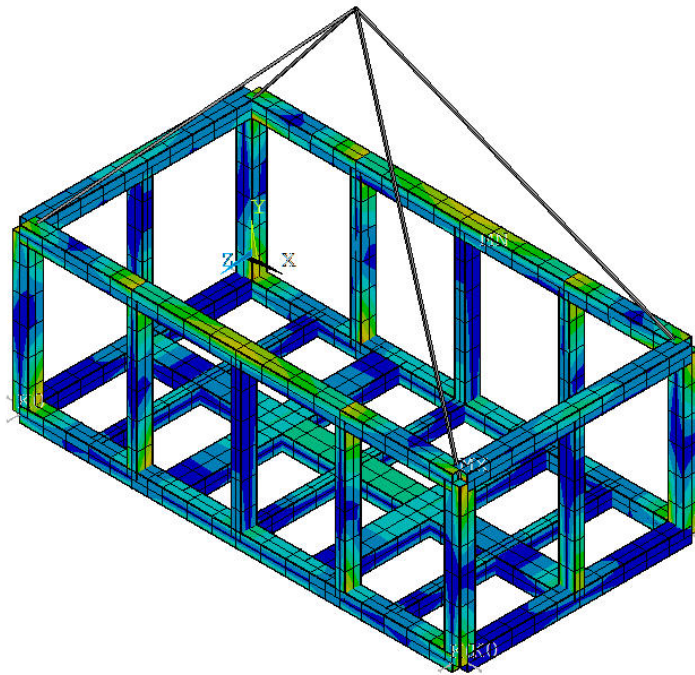
Maskin- prosess og produktutvikling

Institutt for matematiske realfag og teknologi

Regelverk og design av løfteinnretning brukt offshore

Av

Johanne Margrethe Isaksen



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave

Maskin- og produktutvikling

IMT/NMBU, 2018



Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende prosjekt i masterprogrammet i Maskin-prosess og produktutvikling ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet.

Masteroppgaven ble gjennomført våren 2018.

Av de mange oppgaver som ble foreslått som masteroppgaver, valgte jeg denne. Det som tiltalte meg var kombinasjonen av det rent konstruksjonsmessige og å sette dette inn i en større sammenheng.

Dagens samfunn er stadig mer og mer regulert gjennom lover, forskrifter og veiledninger. Det gjelder også for mekaniske innretninger. Det er utarbeidet standarder som er basert på at hvis man følger dem, så oppfylles kravene i lovverket. Disse omtales som «harmoniserte standarder».

I dette prosjektet her jeg sett på konsekvensene av å benytte ulike standarder for å konstruere den samme gjenstanden. Måten som sikkerheten behandles på er litt forskjellig selv om alle har et sterkt fokus på dette punktet. Der er også varierende i hvilken grad de gir konkrete anvisninger for utførelsen. Selv om standardene ikke er de samme, er det meste som omtales svært likt. Sluttresultatet avviker ikke mye, uavhengig av hvilken standard som blir benyttet.

Som de fleste andre har jeg erfart at problemer med bruken dataprogram kan ta mye av den tiden man skulle brukt til å komme videre i arbeidet med oppgaven.

Til hjelp i arbeidet har jeg hatt førsteamanuensis Geir Terjesen som hovedveileder. Som biveileder har senioringeniør Egil Stemsrud fungert og fra DATEK AS har Øistein Rieber bistått. Jeg vil takke disse for all hjelp og veiledning som jeg har fått under arbeidet.

Ås 15. mai 2018

Johanne Margrethe Isaksen



Sammendrag

I forbindelse med løfteoperasjoner offshore er det et behov for å designe ulike varianter av løfteinnretninger. Regelverket inneholder mange funksjonskrav som skal oppfylles men ikke hvordan de kravene skal innfris. Det er flere forskjellige standarder som kan benyttes når en skal tilfredstille kravene gitt i regelverket. Min løftekurv skal konstrueres etter DNV 2.7-3 og det skal foretas en vurdering av konsekvensene ved å benytte DNV 2.7-1 eller NORSOK R-002 i stedet.

I den oppgaven er det designet en løftekurv med 6 ton nyttelast jevnt fordelt. Kurven er opphengt i et fireparts løfteskjev og skal dessuten kunne løftes med gaffeltruck. Den skal være i henhold til DNV GL2.7-3 klasse R30. Løftekurven er konstruert og styrkeberegnet for hånd, helt etter denne standarden. Håndberegningene er verifisert mot FEM modulering i ansys. Det er utført beregninger for styrke, utmatting, knekking og støtbelastninger.

Løfteørene er sterkt fokusert i standardene. Disse er beregnet både etter DNV 2.7-3, DNV 2.7-1 og etter NORSOK R-002. Disse standardene gir litt forskjellige dimensjoner på løfteørene og tilhørende sjakler og wirer.

Løftekurven skal korrosjonsbeskyttes, overflatebehandles og merkes i henhold til standarden.

Den manuelle beregningen har generelt sett gitt høyere spenninger i materialene enn FEM modulering i ansys. Det kan skyldes at den manuelle beregningen ser på hver bjelke som fritt opplagret og tar ikke hensyn til deformasjonsbildet eller momentoverføring mellom bjelkene som er fast sveiset i hverandre. Det er valgt verdier på den sikre siden der det må gjøres vurderinger.

Min løftekurv er basert på R30, mens kravene for offshore bruk på Norsk sokkel er R60.

Det er sett på forskjellene mellom de tre standardene og hvilke konsekvenser det har for utførelsen av løftekurven.

DNV 2.7-3 er en enklere standard å bli kjent med og bruke. DNV 2.7-1 har den største lastfaktoren og har flere utdypende forklaringer som gjør den enklere å følge når man skal velge. NORSOK R-002 har flere ferdige konkrete løsninger som kan benyttes og gir da løsninger som kan godkjennes direkte.



Abstract

In connection with lifting operations offshore there is a need to design different variants of lifting devices. The regulations contain many functional requirements to be fulfilled but not how the requirements are to be met. There are several different standards that can be used to meet the requirements of the regulations. My lifting basket is designed according to DNV 2.7-3 and an assessment of the consequences of using DNV 2.7-1 or NORSOK R-002 will be made.

In this task, a lift basket with 6 tons of payload, evenly distributed. The basket is suspended in a four-part lifting set and must also be lifted with a forklift truck. It must be in accordance with DNV GL2.7-3 class R30. The lift basket is designed and manually calculated by hand in accordance with this standard. The hand calculations are verified against FEM modulation in ansys. Calculations have been performed for strength, fatigue, cracking and impact stresses.

The lifting lug are strongly focused in the standards. These are calculated according to DNV 2.7-3, DNV 2.7-1 and after NORSOK R-002. These standards provide slightly different dimensions on the lifting lugs and associated shackles and wires.

The lifting basket should be corrosion-protected, surface treated and labeled according to the actual standard.

The manual calculation generally has given higher stress in the materials than FEM modulation in ansys. This can be because the manual calculation looks at each beam as freely supported and does not take into account the deformation image or torque transmission between the beams that are welded to each other. There are selected values on the secure side where assessments must be made.

My lifting basket is based on R30, while the requirements for offshore use on the Norwegian shelf are R60.

The differences between the three standards and the consequences it has for the performance of the lift curve is considered.

DNV 2.7-3 is an easier standard to get to know and use. DNV 2.7-1 has the biggest load factor and has more elaborate explanations that make it easier to follow when you have to choose. NORSOK R-002 has several ready-made solutions that can be used, providing a solution that can be approved directly.



Innhold

1. INNLEDNING	8
1.1. Bakgrunn	8
1.2. Problemstillinger	8
1.3. Prosjekt mål.....	9
1.3.1 Hovedmål.....	9
1.3.2 Delmål	9
1.4. Begrensninger.....	9
1.5 Kvalitetssikring.....	9
1.6 Symboler og terminologi.....	10
1.7 Formler	16
2. BESKRIVELSER.....	16
2.1. Kravspesifikasjoner for løftekurven, fra oppgaven.....	16
2.2 Standarder og regelverk som benyttes ved offshore løfteoperasjoner.....	17
2.3. Konseptdrøfting (mulige løsninger/alternativer)	18
2.4 Valgt løsning.....	19
3. GRUNNLAGSBEREGNINGER, ELEMENT OG DESIGNVALG.....	20
3.1. Statiske krefter og momenter	20
3.1.2 Geometri.....	20
3.1.2 Vekt.....	21
3.1.3 Kriterier for design og dimensjonering etter DNV No.2.7-3	22
3.1.4 Statiske krefter med tilhørende sikkerhetsfaktor beregnet etter DNV 2.7-3	23
3.1.5 Statiske krefter med tilhørende sikkerhetsfaktor beregnet etter DNV 2.7-1	24
3.2 Valg av konstruksjonselementer, design og statiske beregninger.....	24
3.2.1 Bjelke beregninger.....	24
3.2.2 Støtbelastninger.....	28
3.2.5 Topplate.....	46
3.3 Knekking.....	50
3.5 Sveis.....	53
3.5.1 Sveiser etter DNV 2.7-3	53
3.5.2 Sveiser etter DNV 2.7-1	53
3.5.3 Sveiser etter NORSOK R-002.....	53
3.5.4 Valgt sveiser og dimensjonering av sveiser.....	54
3.5.5 Kontroll av spenninger i sveisen for løfteøret etter NORSOK R-002	54
3.6. Dynamiske laster og utmattingsberegninger.....	56
3.6.1 Utmattingsberegninger og beregninger for spenninger i sveisen for løfteøret etter DNV 2.7-3	56



3.6.2 Utmattingsberegninger for langsgående midtbjelke ved gaffellommer**Feil! Bokmerke ikke definert.**

4. FEM ANALYSER	57
4.1. Modellering og opplagring	57
4.1.1 Modellering	57
4.1.2 Opplagring og krefter ved løft fra løfteørene.....	58
4.1.3 Opplagring og krefter ved løft av gaffeltruck.....	59
4.1.3 Opplager og krefter for løfteører	60
4.2. Elementvalg	61
4.3. Sammenlikning mot håndberegninger	62
5.1 Robusthet, vedlikehold og framstilling	67
5.1.1 Prototypetesting i henhold til DNV 2.7-3.....	67
5.1.2 Inspeksjon av sveiser	67
5.2 Materialvalg	67
5.2.1 Materialvalg etter DNV 2.7-3.....	67
5.2.2 Materialvalg etter DNV 2.7-1.....	68
5.2.3 Materialvalg etter NORSOK R-002.....	69
5.3 Overflatebehandling og korrosjonsbeskyttelse	69
5.3.1 Overflatebehandling og korrosjonsbeskyttelse etter DNV 2.7-3 og DNV 2.7-1	69
5.3.2 Overflatebehandling etter NORSOK R-002.....	70
5.4 Merking	70
6. DISKUSJON OG PROSESSEVALUERING	72
7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	72
8. LITTERATURREFERANSER	75
9. VEDLEGG	75



1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn

Oppgavetekst er «I forbindelse med offshore løfteoperasjoner er det behov for flere varianter av løfteinnretninger. Det er imidlertid flere regelverk tilgjengelig og det kan være vanskelig å vite hvilke regler man skal forholde seg til i de enkelte tilfeller. I tillegg er det interessant å vite noe om hvor store forskjellene blir ved dimensjonering dersom flere standarder er relevante for den samme konstruksjonen. Videre er det av interesse å vite hvilke fordeler/ulempes»

1.2 Problemstillinger

Prøve ut forskjellige gjeldende standarder på en bestemt løfteinnretning for å se om det gir utslag ved beregninger avhengig av hvilken standard en benytter.

Utgangspunktet er å designe og dimensjonere en 6 tonns løftekurv for løfting av gods i forbindelse med offshore operasjoner etter føringene i DNVGL 2.7-3, Portable offshore units, DNVGL-ST-E273, April 2016. Deretter se på hva som ville vært annerledes ved å beregne etter følgende standarder:

DNVGL- ST-E271, Offshore containers, August 2017

DNV 2.22 Lifting Appliances June 2013

Lifting equipment, NORSOK STANDARDR-002, Edition 3, Mars 2017

Code for Lifting Appliances in a Marine Environment, Loyds Register, August 2013

Den siste er ikke aktuell, avtalt på møte med veileder.



1.3. Prosjektmål

1.3.1 Hovedmål

Hovedmålet i denne oppgaven er å finne fordeler og ulemper med de forskjellige standardene som gjelder for løfteinnretninger som skal benyttes offshore og komme med generelle anbefalinger basert på å prøve regelverkene på en løftekurv som skal tåle en belastning på 6 tonn.

1.3.2 Delmål

Momenter som dekkes i rapporten

- En kort presentasjon av de forskjellige standardene som blir benyttet
- Valg av design, materiale, profiltyper og korrosjonsbehandling
- Utføre Fem-analyser i ANSYS Workbench
- Styrkeberegninger og sveiseberegninger
- Valg/dimensjonering av løfteører, løfteskrev og tilbehør
- Støtbelastninger, krav om prøvelaster og utmatting
- Finne forskjeller fra den benyttede standarden og de andre standardene som kan benyttes
- Utdype fordeler og ulemper med de forskjellige standardene
- Komme med generelle anbefalinger gitt på grunnlag av erfaring fra beregning av denne løftekurven.

1.4. Begrensninger

Fokuset i denne oppgaven er å se på standarder for konstruksjon av offshore løfteinnretninger. Det er derfor ikke fokusert veldig mye på design av løftekurven. Arbeidstegninger og tekniske henvisninger for produksjon er heller ikke produsert.

1.5 Kvalitetssikring

Rapporten har vært gjennomgått som egenkontroll. Da dette er en masteroppgave er sidemanns- eller tredjepartskontroll ikke aktuelt. For enkelte detaljer er det konsultert med veileder og fagfolk i bransjen.

Løftekurven skal kontrolleres etter anvisninger i den standarden den bygges etter.



1.6 Symboler og terminologi

Alle beregninger er utført i SI-systemet. Terminologien kan variere fra standard til standard slik at det brukes forskjellige navn på den samme saken. Her er brukt terminologi fra den standarden som er aktuell for hvert enkelt kapittel.

Symboler	Enhet	Betydning
H	mm	Minste distanse fra senter av hullet til den ytre kanten av løfterøret.
ν	Grader	Vinkel mellom ståltauet og vertikalen
$\overline{\lambda}_y$	-	Redusert slankhet
$A_{løfteøre}$	mm ²	Areal løfteøre
D_H	mm	Boltehulldiameter
d_h	mm	Hulldiameteren til løfteøret
D_{Hmaks}	mm	Diameter, maks
D_{pin}	mm	Diameter av bolt
F_{bunn}	N	Kraft belastning ytrebærende bjelker i bunnrammen
f_d	MPa	tillat spenning i sveisen NORSOK R-002 J.2.5.2
F_F	N	Konstruksjonslasten ved løfting av gaffeltruck
F_{HI}	N	Horisontal støt kraft i hjørnestolpe. DNV 2.7-3
F_L	N	Konstruksjonslast løfteskrev
f_{rd}	MPa	Tillatt skjærs spenning ved kontroll mot utrivning
F_v	kN	Kraft, beregnet belastning på støttebjelker og hjørnestolper



F_{VI}	N	Vertikal støt motstand i senter av bjelkespennet
F_x	kN	Trykk kraften toppbjelke
f_y	MPa	Vertikale belastningen på støttebjelkene på midten. Flytegrense
t_{min}	mm	Minimumstykkelsen til løfterøret.
l	mm	Lengde
$L_{forløper}$	mm	Minste lengden av forløperen
l_n	mm	Totale lengden av stolpen/bjelken
$M_{b maks, toppbjelke}$	Nmm	Bøyemoment som maksimalt opptrer midt på toppbjelken
M_{HI}	Nmm	Moment som skyldes støt
M_{maks}	Nmm	Største opptredende moment
F_{bunn}	kN	Belastning ytre bjelker i bunnrammen
$F_{totalt støttebjelkene}$	kN	Vertikal kraft vertikale støttebjelker
N_{ED}	kN	Trykk kraften i langsgående toppbjelke
R_{pad}	mm	Radius løfterøret
WLL_s	Tonn	Vekt, minimums arbeidsbelastning for sjaklene
P_{LP}	N	Vertikale last, når alle punktene er likt belastet
P_p	N	Resultant lasten på løfteøret



R_e	mm	Minste tillattspenning i løfterøret i mm
R_{pad}		Radius løfterøret
t_{min}	mm	Minimumstykkelsen til løfterøret
t_p	mm	Tykkelsen til løfteøret
$V_{løfteøre}$	mm^3	Volum av løfteørene
V_{plate}	mm^3	Volum til plater
W_{COG}	Tonn	Vekt faktor for en symmetrisk jevnt fordelt last
W_{ely}	mm^3	Bjelkens elastiske tverrsnitts modul
W_{yy}	mm^3	Motstandsmoment y-y
WLL_s	N	Working Load Limit
γ_{M1}		Materialfaktoren for stavknekking
γ_{RM}		Materialfaktor
σ_b	MPa	Bøyepening i bjelke
σ_e	MPa	Tillat ekvivalent von-Mises spenning
σ_{ea}		
σ_{HI}	Nmm	Spenning pga horisontalt støt
σ_{jf}	MPa	Jevnførende von Mises spenning
σ_{maks}	MPa	Største opptredende spenning (sveis)
σ_{maks}^v	MPa	Største opptredende spenning



σ_s	MPa	Strekkspenning i hjørnestolpene
σ_w	MPa	Største opptredende spenningsvidde i sveisen
τ_{Ed}	MPa	Utrivningsspenningen
τ_{maks}	MPa	Skjærspenning
$\tan \theta$	Grader	Vinkelberegning
$\Delta\sigma_{\perp}$	MPa	Normalspenningen
A	mm ²	Areal
C	-	SN kurve
$L_{forløper}$	mm	Minste lengde forløperen
$\cos(\nu)$	Grader	Cosinus vinkel
D	mm	Diameter
DAF	-	Dynamisk forsterkende faktor
DF	-	Designfaktor
W_{yy}	mm ³	Elastisk motstandsmomentet i vertikalretning
F	kN	Konstruksjonslast
F_{air}	N	Designlast
F_{dyn}	N	Maksimum dynamisk last
f_y	N/mm ²	flytspenning
g	m/s ²	gravitasjon
l	mm	Lengde
M_b	Nmm	Største opptredende bøyemomentet
MBL	kN	Maksimum brudd last
MGW	kg	Maximal brutto vekt



MPa		Megapascal
	N	Newton
Nb		Elastisk kapasitet for bjelke utsatt for trykk
	Nmm	Moment
P	N	Maksimal last
PL	N	Andelen av konstruksjonslasten F som belastes hvert enkelt løfteøre
q	N/mm	Bjelkens egenvekt på toppbjelken
R	Kg	Maks bruttovekt av offshore container inkludert utstyr ekskludert løfteskrev.
RSF	N	Slyngekraft på løfteøret
SF_m	-	Sikkerhetsfaktoren som er spesifisert av produsenten
SKL	-	Skjevhetfaktor pga løftewirer iht, DNV2.7-3
T	Kg	Vekt Løftekurven
t	mm	Tykkelsen til løfteøret
W	Kg	Estimert vekt
WLL	Kg	Sjaklenes maksimale belastning (Working load limit)
WLL_{min}	Tonn	Minimum arbeidslast for løfteskrevet
y	mm	Avstand til senter for motstandsmoment
γ_c	-	Konsekvensfaktor
γ_p	-	Partiell lastfaktor



ε	-	Epsilon
λ	-	Slankhetsforhold
τ	MPa	Spenning i grunnmaterialet, Skjærsspenning
ϕ	-	Knekkfaktor
P_p	N	Resultantlasten på løfteøret
$l_{sjakkelsenter}$	mm	Avstand fra senteret av sjakkkel bue åpningen til hullkanten
R_{pad}	-	Radiusen til løfteørene
R_{pl}	mm	Minimumsavstanden fra senter av hullet til ytterkant av platen
D_{ch}	mm	Diameteren til kinnskivene
$F_{gaffellommer}$	N	Skjærkraften i gaffellommene
$A_{redusert}$	mm^2	Reduserte skjær arealet ved gaffellommene
$F_{opplager}$	N	Opplagskreftene for langsgående midtre bærebjelke
M_b	Nmm	Største opptredende bøye moment ved gaffellommene
V	kN	Skjærkraften
N_{ED}	kN	Dimensjonerende trykkraft
l_k	mm	Knekk lengde for bjelke
N_{cr}	N	Kritisk Euler last
α	-	Formfeil faktoren
A	mm	Diameteren på bolten i sjakkelen



$\Delta\tau_{\perp}$	N/mm ²	Skjærspenningen normalt på sveiseretningen
$\Delta\tau_{\parallel}$	N/mm ²	Skjærspenningen parallell med sveisen lengderetning
SF_m	-	Sikkerhetsfaktoren spesifisert av produsenten
DNV GL		Det norske veritas
Norsok		Petroliums industrien på Norsk sokkel

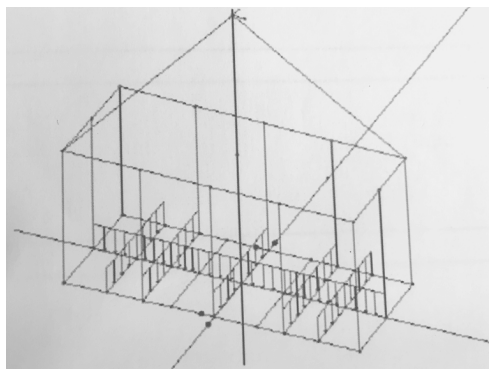
1.7 Formler

Formler står der de er benyttet i teksten. Henvisning til standarden de kommer fra fremkommer av overskriften eller teksten i avsnittet.

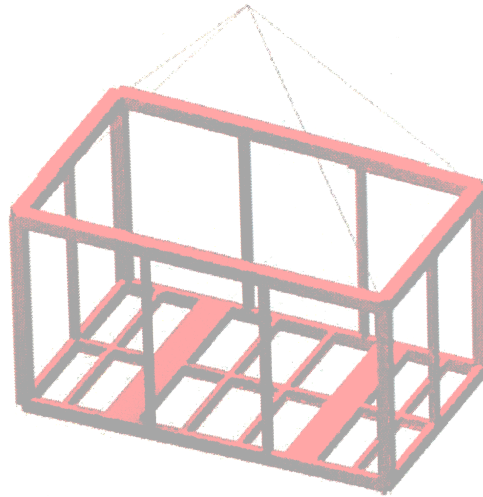
2. BESKRIVELSER

2.1. Kravspesifikasjoner for løftekurven, fra oppgaven

En 6 tonns løftekurv for løfting av gods i forbindelse med offshore operasjoner. Løftekurven skal kunne løftes med truck. Løftekurven skal ha et fireparts skrev for løft med maks arbeidsvinkel på 45 grader. Lasten fordeles jevnt på 5 tverrbjelker se figur 2-1-1 og 2-1-2. De innvendige målene for løftekurven er bredde 2 meter, lengde 4 meter og høyde 1,5 meter. Løfteforholdene skal tilfredsstille løft fra/til fartøy ClassR30 som vil si signifikant bølgehøyde på maks 3,0 meter mellom fartøy og plattform etter DNV No2.7-3, Portable offshore units.



Figur 2-1-0-1. skisse av løftekurv med last jevnt fordelt på 5 bjelker



Figur 2-1-0-2. Illustrerende skisse av løfteinnretning fra oppgaven.

2.2 Standarder og regelverk som benyttes ved offshore løfteoperasjoner

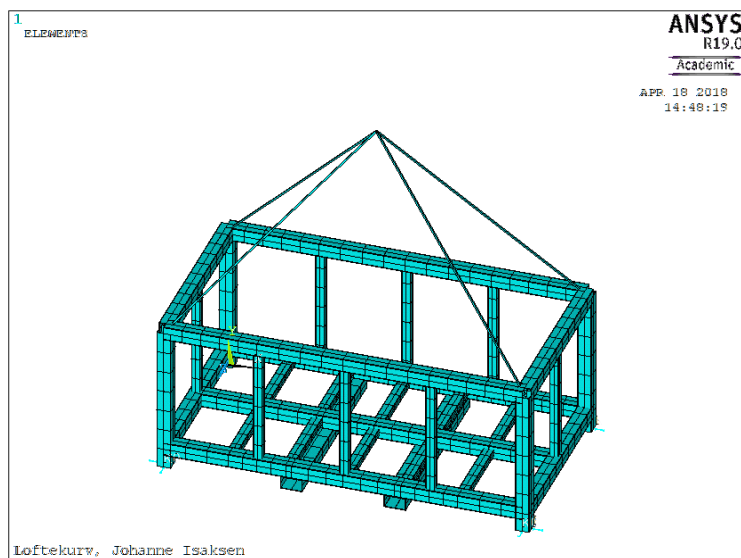
Regelverket for petroleum sektoren i Norge bestemmer hvilket nivå det skal være på sikkerheten. Regelverket sier ikke noe om hvordan dette nivået skal oppnås. Det er i veiledningen til forskriften at det gis retningslinjer om hvordan dette funksjonskravet kan innfris. Industristandarder blir på flere områder anbefalt i veiledningen for å oppnå det som kreves av regelverket. Hvis det ikke velges en anbefalt industristandard må det dokumenteres hvordan kravene er innfridd som er minimum like bra som den anbefalte standarden. I veiledningen til Innretningsforskriften § 5 som gjelder utforming av innretninger anbefales det å benytte standarden NORSOK R-002 for løfteutstyr[1]. I henhold til NORSOK R-002 annex F punkt F.3 skal offshore containere og tilhørende løfteskrev være i samsvar med DNV 2.7-1 eller EN 12079-1 og EN 12079-2. Flyttbare offshore enheter med tilhørende løfteskrev skal konstrueres og produseres i samsvar med DNV 2.7-3 i henhold til NORSOK R-002 annex F punkt F.5. I henhold til NORSOK R-002 er ikke sertifiserings kravene i DNVGL-ST-E273 eller DNVGL-ST-E271 obligatoriske. I følge NORSOK R-002 er bare flyttbare offshore enheter designet for operasjonell klasse R60 etter DNVGL-ST-2.7-3 godkjent for bruk på norsk kontinental sokkel.

Godkjenning av utstyr benyttet for transport av gods til og fra plattformer på norsk sokkel har fulgt utviklingen fra boring i Nordsjøen til installasjoner utenfor Finnmark. De skal ivareta trygghet for bemanning på plattformer, supplybåter og installasjoner i land i et værhardt og korrosivt miljø slik det er beskrevet i DNV 2.7-1. Kravene i standarden er samstemt med kravene i MSC/Cir.860 og EN 12079 part 1 og 2.



2.3. Konseptdrøfting

Det ble opprinnelig valgt å feste to bjelker på undersiden av rammen for å kunne løfte kurven med gaffel truck. Hjørnestolpene ble forlenget nedover slik at løftekurven kunne stå mer stabilt se figur 2-3.



Figur 2-0-3: Opprinnelig design forslag på løftekurven

I følge DNV 2.7-3 punkt 3.1.3 bør en unngå utstikkende deler som kan hekte seg opp ved offshoreløft. Hvis det må være elementer på løfteinnretningen som vil stikke ut skal de designes slik at det minimerer risikoen for at den hekter seg opp.

I DNV 2.7-1 punkt 4.1.3 står det at utstikkende deler på utsiden av konteiner rammen som kan hekte seg opp eller kan skade andre containere eller strukturer skal unngås. Mindre utstikkere på siden kan bli godkjent etter at spesielle vurderinger er gjort. I slike tilfeller kan beskyttende struktur eller deflektor plater forlanges. Hvis gaffel lommer stikker ut på undersiden av rammen skal en feste på deflektor plater for å forhindre at konteineren hekter seg opp. Løfteører kan stikke ut på oversiden av konteiner rammen.

Det opprinnelige designet ble gått bort fra da det ble flere utstikkende deler på undersiden av løftekurven. Deflektorplater kunne vært påført rett på undersiden av ytterkant rammen slik at det ikke ville være noen utstikkende punkter på sidene av løftekurven.

I det opprinnelige designet var de tverrgående bunnbjelkene lavere enn den langsgående bunnbjelken og bjelkene for gaffellommene. For å få plan flate slik at lasten skulle bli tatt jevnt fordelt opp ble det valgt samme høyde på de horisontale bunnbjelkene.



De vertikale stolpene var opprinnelig kvadratiske hulprofiler som var smalere enn resten av bjelkene i de ytre sidene av rammen. Det ble valgt rektangulære bjelker i den valgte løsningen for å få en jevn flate og for at side flatene i de vertikale bjelkene skal flukte med de horisontale bjelkene for å ta opp krefter og deformasjoner bedre.

2.4 Valgt løsning

Det er valgt enkle robuste løsninger i konstruksjonen. De rektangulære og kvadratiske hulprofilene er valgt på grunn av at overflaten har ingen kanter noe kan henge seg opp i, tåler mye last og er enkle å sveise fast i hverandre. Under løfteørene er det valgt å sette opp en forsterkningsplate som er 6 mm bredere enn de langsgående bjelkene og 55 mm bredere enn tverrbjelkene i toppen av rammen. Platen er 27 mm tykk, 205 mm lang, 156 mm bred og nedfelt i profilene under med buttsveis. Løfteørene skal være plassert i diagonalen retningen slik at resultantkraften treffer sentrisk i hjørnestolpene i forhold til senteraksene i profilene under. Løfteørene er designet med tanke på at det ikke skal være noen bøyepenninger i sveisen. Hjørnestolpene er de eneste bjelkene som går helt fra topp til bunn.

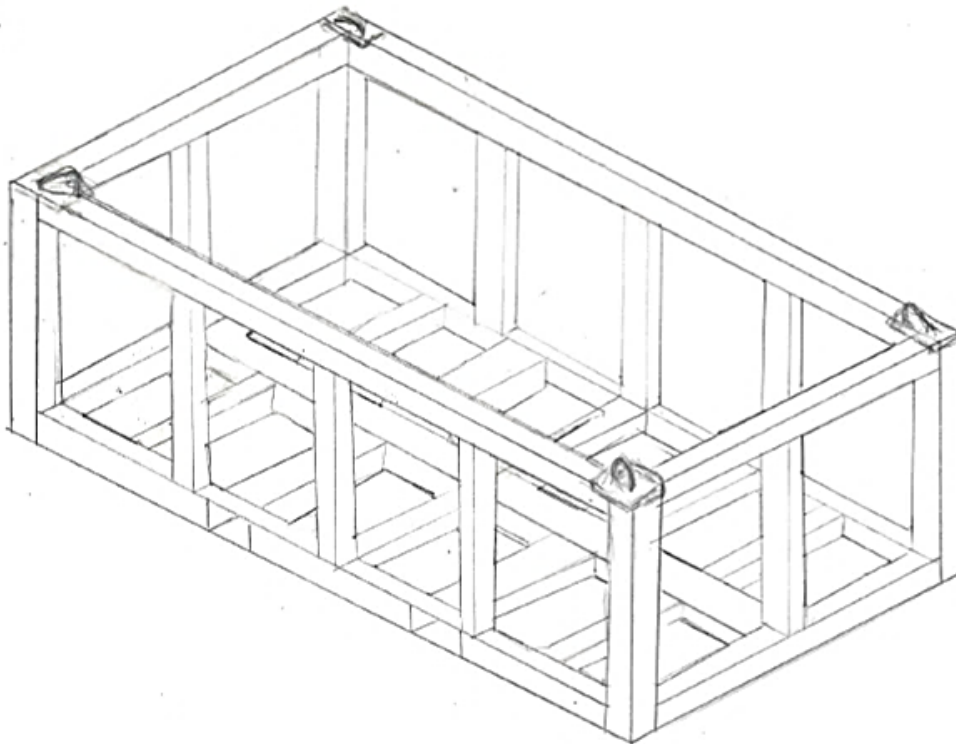


Figure 2-4 Skisse av løftekurv etter DNV 7.2-3

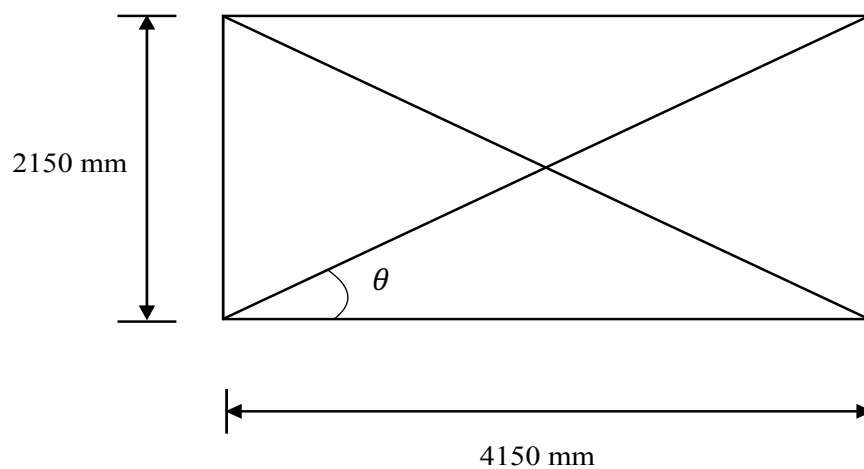


3. GRUNNLAGSBEREGNINGER, ELEMENT OG DESIGNVALG

3.1. Statiske krefter og momenter

3.1.2 Geometri

Løftekurven skal ha et fireparts løfteskrev med maks arbeidsvinkel på 45 grader. Beregner lengden av løfteskrevet når det benyttes som grunnlag for beregningene gjort i Ansys Workbench. For at løftet skal bli mest mulig stabilt er toppløkken plassert rett over tyngdepunktet til løftekurven. Den ytre lengde og bredde målene til løftekurven med kaldformede kvadratiske hulprofiler $150 \times 150 \times 6$ er lengde 4300 mm og bredde 2300 mm. For å finne høyden til løftehode fra oversiden av løftekurven og vinkelen for å finne kraften i langsgående og tverrgående retning er det gått ut fra senter av profilene se figur 3-1-2.



Figur 3-1-2: Vinkel for diagonal og mål fra senter av hjørnestolper

For å kunne dekomponere resultantkraften i aksialkreftene i horisontalplanet beregnes vinkelen

$$\tan \theta = \frac{2150 \text{ mm}}{4150 \text{ mm}} \Rightarrow \theta = 27,39^\circ$$



3.1.2 Vekt

Estimert tyngde av løftekurven på grunnlag av hovedkomponentene i løftekurven og løfteutstyr se tabell 3.1.2. I beregningene av vekten er det sett bort fra sveisefuger, utskjæring for gaffeltruck lommer, materialet til lukking av hjørnestolpeprofilene og overflatebehandling. I forenklingene for beregning av løfteørene er de sett på so trekanter uten hull. Tilnærmet volum av løfteørene er beregnet under:

$$V_{\text{løfteøre}} = 27 \text{ mm} \cdot \frac{140 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}}{2} = 13,23 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Volum til plater fra trukket de 6 mm som er allerede tatt med i beregningene for profilene:

$$V_{\text{plate}} = 210 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \cdot 21 \text{ mm} + 27 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm} \cdot 60 \text{ mm} = 67,12 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Tabell 3.1.2: Oversikt og vektberegning av primærstrukturen i løftekurven. Profiltypene med vekt er hentet Ruukki sine tabeller for hulprofiler []

Beskrivelse	Profil	Antall	Volum/ lengde	Vekt	Samlet vekt
Hjørnestolper	150x50x6	2	1,65 m	26,4 kg/m	174,24 kg
Ytre tverrgående bjelker	150x150x6	4	2 m	26,4 kg/m	211,2 kg
Langsgående bjelker	150x150x6	4	4 m	26,4 kg/m	422,4 kg
Midtre bærebjelke	150x250x6	1	4 m	35,8 kg/m	143,2 kg
Vertikale støttebjelker	100x150x6	8	1,5 m	21,7 kg/m	234,36 kg
Tverrbjelker i bunnen	150x100x6	6	0,875 m	21,7 kg/m	113,93 kg
Gaffel lommer	250x150x6	4	0,875 m	35,8 kg/m	132,46 kg
Løfteører		4	1,323*10 ⁻⁴ m ³	7850 kg/m ³	4,16 kg
Nedfelt plate under løfteørene		4	6,712*10 ⁻⁴ m ³	7850 kg/m ³	21,08 kg
Vekt til løftekurv					1457,03kg
Vekt i tonn					1,5 tonn



3.1.3 Kriterier for design og dimensjonering etter DNV No.2.7-3

Det er bare primær strukturen som skal være inkludert i beregningene av designet. Styrken til ramme elementene kan beregnes ved håndberegninger, 3-dimensjonal bjelke analyse eller FEM analyse under punkt 3.4.1.

Punkt 3.4.3 sier at den estimerte lasten brukt i beregningene ikke skal produsere jamførende von Mises stress, σ_e , høyere enn $\sigma_{ea} = 0,85 \times R_e$

Flytspenningen i S355J2H er 355 MPa. Tillatt spenning i bjelkene er beregnet til

$$\sigma_e \leq \sigma_{ea} = 0,85 \times 355 \text{ MPa} = 301,75 \text{ MPa}$$

Alle elementene som er utsatt for en trykkspenning skal verifiseres for knekking etter en anerkjent standard som benytter elastisitetsteorien punkt 3.4.4. Den største benyttede knekkfaktoren skal ikke være høyere enn 0,85.

Ved beregning av vekten til løftekurven benyttes maksimum brutto vekt, MGW punkt 3.4.9.

$$MGW = T + P$$

Hvor T er vekten til løftekurven og P er den oppgitte maksimale lasten den kan frakte.

Konstruksjonslasten F er den største av F_{air} , F_{sub} og F_{dyn} punkt 3.5.1. I beregningene legges det til en last faktor på lasten F_{air} når en skal konstruere. Denne lastfaktoren DF varierer med operasjonsklassen. Konstruksjonslasten F skal beregnes i kN.

$$F_{Air} = DF \times MGW \times g$$

For MGW mindre enn 50 tonn og operasjonsklasse R30 beregnes DF etter formelen under.

$$DF = 1,4 + 0,4 \times \sqrt{\frac{50}{MGW}}$$

For Normale forhold skal kraften F benyttes som grunnlag for styrke analysen DNV 2.7-3 punkt 3.5.3.

Det gis ingen direkte krav til nedbøyning i DNV 2.7-3. I punkt 3.4.6 i DNV 2.7-3 står det at nedbøyningen i en enkelt bestanddel ikke skal være større enn spesifisert av eier eller kjøper.



3.1.4 Statiske krefter med tilhørende sikkerhetsfaktor beregnet etter DNV 2.7-3

Løftekurvens maksimale bruttovekt MGW med 6 tonn last er beregnet under.

$$MGW = 1,5 \text{ tonn} + 6 \text{ tonn} = 7,5 \text{ tonn}$$

Lastfaktoren DF for løftekurven beregnet etter DNV 2.7-3 punkt 3.5.1:

$$DF = \left(1,4 + 0,4 \times \sqrt{\frac{50}{7,5}} \right) = 2,433$$

Konstruksjonslasten F_{Air} beregnet etter DNV 2.7-3 punkt 3.5.1

$$F_{Air} = 2,433 \times 7500 \text{ kg} \times 9,81 \frac{N}{kg} = 179\,007,975 \text{ N} = 179 \text{ kN}$$

Løftekurven skal ha et firepartsskrev for løft med maks arbeidsvinkel på 45 grader. Dette samsvarer med DNV 2.7-3 punkt 7.3.1 som sier at den normalt bør være mellom 30 grader og 45 grader.

Kraften RSF som virker i ståltauet fra hvert av de fire løftepunktene er beregnet etter formelen fra DNV 2.7-3 punkt 3.5.5.

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

Hvor ν er vinkelen mellom tauet og vertikal, SKL er en tilleggsfaktor for å få med seg effekten av unøyaktighet i vaierstropplengdene. SKL er minimum 1,33 for et firepartsløfteskrev. PL er andelen av konstruksjonslasten F som belastes hvert enkelt løfteøre.

$$RSF = \frac{1,2 \times 1,33 \times 0,25 \times 2,433 \times 7500 \text{ kg} \times 9,81 \frac{N}{kg}}{\cos(45)} = 101\,009,05 \text{ N} = 101 \text{ kN}$$

Den samlede sikkerhetsfaktoren for beregning av resultantkraften for hvert løfteøre beregnet etter DNV 2.7-3:

$$1,2 \times 1,33 \times 2,433 = 3,883$$



3.1.5 Statiske krefter med tilhørende sikkerhetsfaktor beregnet etter DNV 2.7-1

Utgangspunktet til DNV 2.7-1 punkt 4.1 er at en offshore konteiner skal kunne tåle lasting og lossing i åpent hav med bølgehøyde opptil 6 meter. Her kreves n sikkerhetsfaktor på 2,5.

For løfting med løfteskrev er konstruksjonslasten lik:

$$F_L = 2,5 \times R \times g$$

Hvor R er Massen av offshore konteineren inkludert permanent utstyr og dens last i kg ekskludert løfteskrevet.

3.2 Valg av konstruksjonselementer, design og statiske beregninger

3.2.1 Bjelke beregninger

3.2.1.1 Bærebjelker

I beregningene er det antatt at bærebjelkene er fritt opplagret med jevnt fordelt last. Kraften F fordeles på de fem tverrgående bærebjelkene. Momentet som egenvekten av bjelken gir er ikke regnet ut separat da egenvekten inngår i F.

Den jevnt fordelte lasten på tverrgående bærebjelkene er beregnet fra F:

$$q = \frac{F}{5 \times l}$$

Hvor l er de tverrgående bærebjelkenes lengde.

$$q = \frac{179 \text{ kN}}{5 \times 2000 \text{ mm}} = 17,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Den midtre langsgående bærebjelken er antatt at vil være belastet med halvparten av den totale vekten. Den jevnt fordelte lasten på langsgående midtre bærebjelke er beregnet under:

$$q = \frac{179 \text{ kN}}{2 \times 4000 \text{ mm}} = 22,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Største opptredende moment midt på bjelken for en fritt opplagret bjelke med en jevnt fordelt last:



$$M_{maks} = \frac{q \times l^2}{8}$$

Største opptredende bøyespenning σ_b i bjelke:

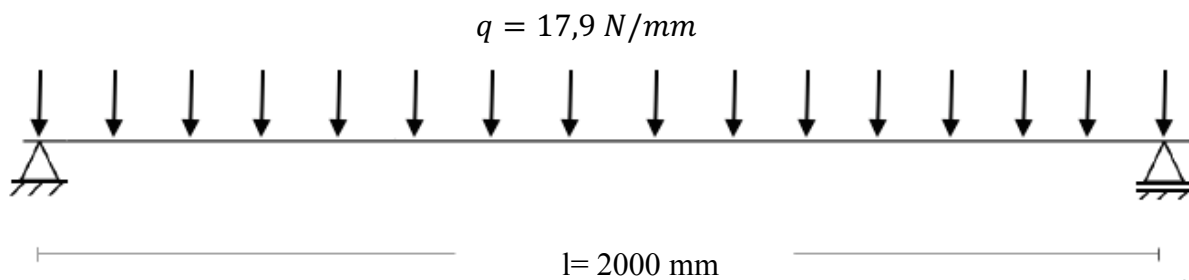
$$\sigma_b = \frac{M_{maks}}{W_{yy}}$$

Hvor W_{yy} er det elastiske motstandsmomentet i vertikalretning for bjelken.

3.2.1.2 Midtre tverrgående bærebjelke

I beregningene er de tverrgående bjelkene sett på som en hel bjelke fritt opplagret i hver ende. Det er antatt at den midtre langsgående bærebjelken er belastet med halvparten av den totale lasten jevnt fordelt over hele bjelken.

Illustrasjon under av forenklet modell av tverrgående midtbjelke med mål.



Figur 3-2-1-2 Forenklet modell av tverrgående midtbjelke

Største opptredende moment for midtre tverrgående bjelke:

$$M_{maks} = \frac{17,9 \frac{N}{mm} \times (2000 \text{ mm})^2}{8} = 8,95 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Det elastiske motstandsmomentet i vertikalretning W_{yy} for profilet $100 \times 150 \times 6$ er $W_{yy} = 111 \times 10^3 \text{ mm}^3$.

Største opptredende bøyespenning σ_b i midtre tverrgående bærebjelke:

$$\sigma_b = \frac{8,95 \times 10^6 \text{ Nmm}}{111 \times 10^3 \text{ mm}^3} = 80,63 \text{ MPa}$$



3.2.1.3 Langsgående midtre bærebjelke

Illustrasjon av forenklet modell av langsgående midtrebjelke med jevnt fordelt last med lengde mål se figur 3-2-1-3.

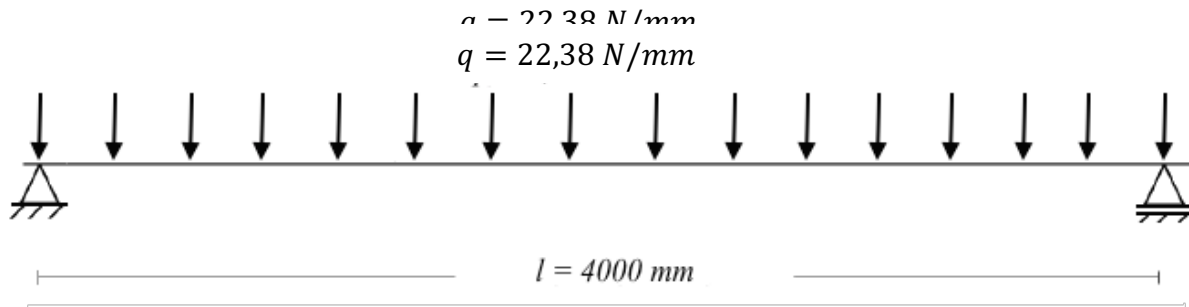


Figure 3-2-1-3 Forenklet modell med jevnt fordelt last inkludert lengdemål

Største opptredende moment M_{maks} for midtre langsgående bjelke:

$$M_{maks} = \frac{22,38 \frac{N}{mm} \times (4000 \text{ mm})^2}{8} = 44,76 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Det elastiske motstandsmomentet i vertikalretning W_{yy} for profilet $150 \times 250 \times 6$ er $W_{yy} = 236 \times 10^3 \text{ mm}^3$.

Største opptredende bøyespenning σ_b i midtre langsgående bærebjelke:

$$\sigma_b = \frac{44,76 \times 10^6 \text{ Nmm}}{236 \times 10^3 \text{ mm}^3} = 189,7 \text{ MPa}$$

3.2.1.4 Langsgående toppbjelke

Ser på bjelken som fritt opplagret i begge ender. På grunn av løfteørenes plassering er det antatt at det er kreftene som virker i samme retning som bjelken som skaper trykk og egenvekten av bjelken selv og belastningen fra de tre vertikale støttebjelkene på siden som skaper bøyemomentet.

Trykkraften i toppbjelken F_x :

$$F_x = \frac{179 \text{ kN} \times \cos 27,44}{4} = 39,72 \text{ kN}$$

Det er benyttet den samme lastfaktoren DF som for beregningene av den dimensjonerende kraften F .



Antar at hver av de fire ytre bunnbjelkene i rammen tar $\frac{1}{4}$ av den totale lasten som kommer fra de 5 tverrgående bjelkene og at lasten på dem igjen fordeles $\frac{1}{10}$ på hver hjørnestolpe og $\frac{8}{10}$ på de vertikale støttebjelkene. På langsiden er det tre vertikale støttebjelker og belastningen som støttebjelkene tar blir da fordelt med $\frac{4}{10}$ på den i midten og $\frac{2}{10}$ på hver av de andre. Antagelsene kommer konservativt ut i forhold til virkeligheten da momentet vil være mindre på grunn av at bjelkene for gaffellommene ligger lenger fra senter og bjelken ikke er fritt opplagret.

Beregning av krefter og momenter for toppbjelken:

Belastning på hver av de ytre bærende bjelkene i bunnrammen:

$$F_{bunn} = \frac{F_F}{4} = \frac{179 \text{ kN}}{4} = 44,75 \text{ kN}$$

Samlet vertikal kraft på de vertikale støttebjelkene:

$$F_{\text{totalt på støttebjelker}} = \frac{F_{bunn} \cdot 8}{10} = \frac{44,75 \text{ kN} \cdot 8}{10} = 35,8 \text{ kN}$$

Den vertikale belastningen på støttebjelken i midten:

$$F_{y,2080 \text{ mm}} = \frac{F_{\text{totalt på støttebjelker}}}{2} = \frac{35,8 \text{ kN}}{2} = 17,9 \text{ kN}$$

Beregnet belastning på de vertikale støttebjelkene på langsiden ved 1080 mm og 3080 mm:

$$F_{y,1080 \text{ mm}} = F_{y,3080 \text{ mm}} = \frac{F_{\text{totalt på støttebjelker}}}{4} = \frac{35,8 \text{ kN}}{4} = 8,95 \text{ kN}$$

Det største opptredende bøyemomentet M fra egenvekten opptrer midt på toppbjelken er beregnet under:

Den jevnt fordelte lasten fra bjelkens egenvekt på toppbjelken q :

$$q = DF \cdot g \cdot \text{egenvekten}$$

$$q = 2,433 \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,0283 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} = 0,6755 \text{ N/mm}$$

$$M_{\text{egenvekt}} = \frac{0,6755 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot (4160 \text{ mm})^2}{8} = 1,461 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$



$$M_{b \text{ maks, toppbjelke}} = 17,9 \text{ kN} \cdot 2080 \text{ mm} - 8,95 \text{ kN} \cdot 1080 \text{ mm} - 1,461 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{b \text{ maks, toppbjelke}} = 26105000 \text{ Nmm}$$

Største opptredende spenning σ_{maks} :

$$\sigma_{maks} = \frac{M_b}{W} + \frac{F_x}{A}$$

Hvor bjelkens tverrsnittareal er $A = 3360 \text{ mm}^2$ og bjelkens elastisk tverrsnittsmodul er $W_{ely} = 153 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$.

$$\sigma_{maks} = \frac{26105000 \text{ Nmm}}{153 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} + \frac{39,72 \cdot 10^3 \text{ N}}{3360 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{maks} = 170,62 \text{ MPa} + 11,82 \text{ MPa} = 182,44 \text{ MPa}$$

3.2.2 Støtbelastninger

Støtbelastninger er dynamiske belastning over et veldig kort tidsrom. Løftekurven skal dimensjoneres for støtbelastning i henhold til DNV 2.7-3.

3.2.2.1 Støtbelastninger etter DNV 2.7-3

Støtbelastninger kan lett oppstå under løft. Den primære strukturen i løftekurven skal kunne motstå et lokalt horisontalt støt i et hvilket som helst punkt. For hjørnestoper og de ytre bunnbjelkene skal støtkraften i de statiske beregnes etter formelen under fra DNV 2.7-3 punkt 3.6.2 for operasjonsklasse R30:

$$F_{HI} = 0,05 \times \text{test belastningen i tabell 5.2 i standarden.}$$

For alle andre ytre elementer av primærstrukturen skal en benytte en redusert horisontal last:

$$F_{HIR} = 0,6 \times F_{HI}$$

Hvor testbelastningen er belastningen som er benyttet i løfte test hvor alle løftepunkter er benyttet. Den oppgitte test belastningen i tabell 5.2 i DNV 2.7-3 punkt 5.2.3 for løfteinnretninger med maksimum bruttovekt MGW mindre eller lik 25 tonn er test lasten det minste av F og $2.5 \times MGW \times g$.



Hjørnestolpene er kan være utsatt for horisontalt støt. Det største bøyemomentet vil opptre om støtet inntreffer midt mellom de langsgående bjelkene.

Horisontalt støt i hjørnestolpe F_{HI} :

$$F_{HI} = 0,05 \cdot 179 \text{ kN} = 8,95 \text{ kN}$$

Momentet som skyldes støt M_{HI} :

$$M_{HI} = \frac{F_{HI} \cdot L}{4} = \frac{8,95 \text{ kN} \cdot 1700 \text{ mm}}{4}$$

$$M_{HI} = 3803750 \text{ Nmm}$$

Spenning på grunn av horisontalt støt σ_{HI} :

$$\sigma_{HI} = \frac{M_{HI}}{W} = \frac{3803750 \text{ Nmm}}{153 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 24,86 \text{ MPa}$$

I tillegg er hjørnestolpene hovedsakelig utsatt for strekkspenninger. I beregningene er det antatt konservativt at all belastningen er fordelt på de fire hjørnestolpene. Vertikal strekk kraft i hver av de fire hjørnestolpene F_v :

$$F_v = \frac{F}{4} = \frac{179 \text{ kN}}{4} = 44,75 \text{ kN}$$

Strekkspenning i hjørnestolpene σ_s :

$$\sigma_s = \frac{F_v}{A} = \frac{44,75 \text{ kN}}{3360 \text{ mm}^2} = 13,32 \text{ MPa}$$

Den største opptredende spenningen i hjørnestolene σ_{maks} :

$$\sigma_{maks} = \sigma_{HI} + \sigma_s = 24,86 \text{ MPa} + 13,32 \text{ MPa} = 38,18 \text{ MPa}$$

De langsgående toppbjelkene kan også være utsatt for horisontalt støt. Dimensjonerende støt etter standarden vil være 60 % av det som gjelder for hjørnestolpene. Beregningene som er gjort på langsgående toppbjelke er med veldig konservativ kraftfordeling. Det blir derfor ikke gjort ekstra støtberegninger for denne bjelken.



3.2.2.2 Støtbelastninger i henhold til DNV 2.7-1

I de forenklede beregningene hvor hver enkelt bjelke blir sett på separat skal det vurderes hvordan støtbelastningene fordeles utover i konstruksjonen gjennom opplagringspunktene. [DNV 2.7-1 punkt 4.2.4.]

Den ytre siden av hovedrammen skål tåle et lokalt horisontalt støt i et hvilket som helst punkt. Følgende dimensjonerende horisontal støtkraft skal benyttes etter DNV.2.7-1 punkt 4.2.4.1:

$$F_{HI} = 0,25 \times R \times g \text{ for hjørnestolper}$$

$$F_{HI} = 0,25 \times R \times g \text{ for ytre bunn side bjelker}$$

$$F_{HI} = 0,15 \times R \times g \text{ for de andre bjelkene i det ytre rammeverket.}$$

R tilsvarer MGW som benyttet tidligere.

Den tillatte spenninger ved støtbelastninger skal ikke overstige flytspenningen. Den maksimale nedbøyningen hjørnestolper og de ytre sidebjelkene med støtbelastninger skal ikke overstige:

$$y = l_n/250$$

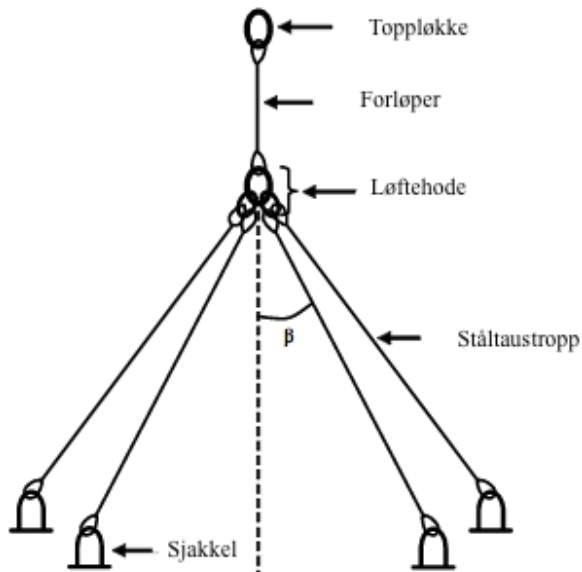
Hvor l_n er den totale lengden av stolpen eller bjelken. De ytre sidebjelkene og endebjelker i bunnen av løftekurven skal kunne motstå et vertikalt støt i senter av bjelkespennet på:

$$F_{VI} = 0,25 \times R \times g$$

Da dette ikke er et krav etter DNV 2.7-3 for min løftekurv, er disse beregningene ikke ført videre.

3.2.3.1 Løfteskrev etter DNV 2.7-3

Løftekurven skal ha et fireparts løfteskrev med arbeidsvinkel på 45 grader. Løfteskrevet består av fire stålwirer, løftehode, toppløkke og forløper se figur 3-2-3-1. Løfteskrevet blir festet løftekurven med sjakkell.



Figur 3-2-3-1. Illustrasjon av fireparts løfteskrev.

3.2.3.2 Løfthode og toppløkke beregnet i henhold til DNV 2.7-3

Styrken til løfthode og toppløkken bør korresponderende med stålstroppenes minimum bruddlast og geometrien i løfteskrevet DNV 2.7.3 punkt 7.3.5. De skal også være i samsvar med en anerkjent standard. Alternativt kan en benytte formelen fra DNV 2.7.3 punkt 7.3.3 for beregning for sjakklene sin maksimale belastning.

$$WLL \geq \frac{2,25}{SF} \times \frac{RSF}{g}$$

Hvor RSF for et enkelt løftpunkt skal benyttes formel fra DNV 2.7.3 punkt 3.5.5:

$$RSF = 1,2 \times F$$

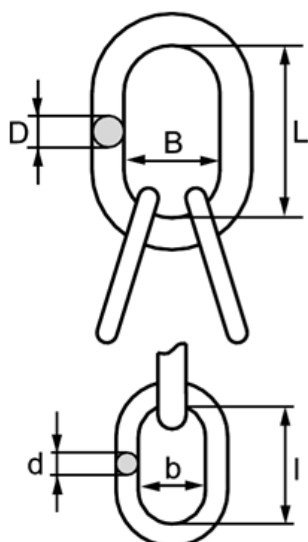
Beregning av den maksimale tillatte lasten for løfthode og toppløkke:

$$WLL \geq \frac{2,25}{4} \times \frac{1,2 \times 179 \text{ kN}}{9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 12\,317 \text{ kg} = 12,3 \text{ tonn}$$

Sikkerhetsfaktor for valgt løfthode og toppløkke er 4:1 og er i henhold til kravene i DnV 2.7-

1. Valgt løfthode og toppløkke er i legert stål klasse 8. Utført prøvelast er i henhold til DnV 2.7.1. Løfthode og toppløkken er etter standarden NS-EN 1677.

Valgt løfthode har $WLL = 12,9 \text{ tonn}$ og veier 6,4 kg. Se figur 3-2-3-2-1 under og tabell 3.2.3.2 for dimensjoner og beskrivelse.

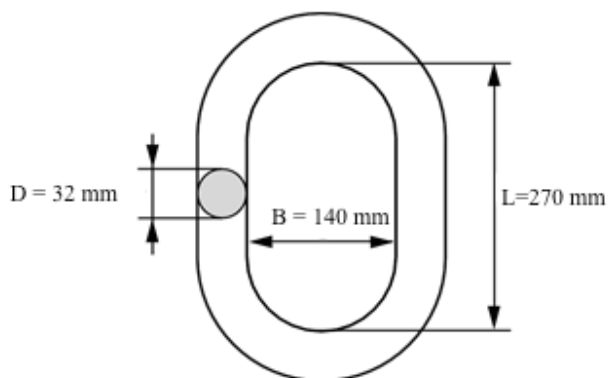


Tabell 3.2.3.2: Dimensjoner for løftehodet

B	110 mm
D	28 mm
L	210 mm
b	90 mm
d	22 mm
l	170 mm

Figur 3-2-3-2-1. Illustrasjon av løftehode[3]

I DNV 2.7-3 punkt 7.3.1 anbefales det at toppløkken so skal festes til krankroken skal ha indre dimensjoner som er minimum $270 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$. Toppløkken som er valgt har $WLL = 17,1 \text{ tonn}$ og veier $5,3 \text{ kg}$. Se figur 3-2-3-2-2 for dimensjoner.



Figur 3-2-3-2-2. Illustrasjon av toppløkke med mål[3]

3.2.3.3 Stålvaier/ Ståltaustrøpp

Ståltaustrøppenes minimum brudd last er definert etter følgende krav fra DNV 2.7.3 punkt 7.3.2:

$$MBL \geq 2,0 \times RSF$$

Hvor MBL er den dokumenterte minste bruddlasten for ståltaustrøppen etter at alle nødvendige reduksjoner grunnet ende avslutninger og bøyer.

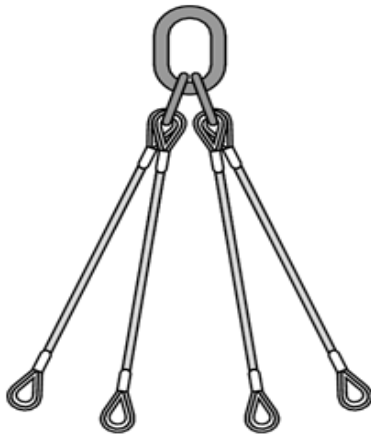
$$MBL \geq 2,0 \times 101 \text{ kN} = 202 \text{ kN}$$



Minimum diameteren til ståltau for klasse R30 for enheter som skal benyttes flere ganger er 11 millimeter DNV 2.7.3 punkt 7.3.2.

Valgt ståltau fra Certex med fiberkjerne 6 × 19-FC med strekkfasthet 1770 N/mm^2 .

Ståltauets diameter er 20 mm og har minimum bruddlast på 217 kN. Ståltauet er godkjent etter NS-EN 12385. Figur 3-2-3-3 viser ståltaustrøpp LS-473 fra Certex med løftehode i topp, kauser i begge ender og låst med taurittlås.



Figur 3-2-3-3. Illustrasjon av ståltau og løftehodet[3]

3.2.3.4 Forløper

For å enkelt kunne feste krankrok til løfteskrevet skal toppløkken kunne nå ned til 1,3 meter over bunnen av løfteenheten DNV 2.7-3 punkt 7.3.1.

Løfteskrevet har en vinkel på 45° så det vil komme lavt nok når det er ubelastet.

Forløperens minimum brudd last er definert etter følgende krav fra DNV 2.7.3 punkt 7.3.2:

$$MBL \geq 2,0 \times RSF$$

Hvor MBL er den dokumenterte minste bruddlasten for forløperen etter at alle nødvendige reduksjoner grunnet ende avslutninger og bøyer. Hvor RSF for et enkelt løftpunkt skal benyttes formel fra DNV 2.7.3 punkt 3.5.5 for forløperen:

$$RSF = 1,2 \times F$$

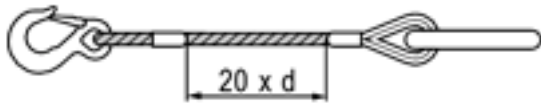
Beregnet minste bruddlast for forløper:

$$MBL \geq 2,0 \times 1,2 \times 179 \text{ kN} = 2,4 \times 179 \text{ kN} = 429,6 \text{ kN}$$



Valgt ståltau fra Certex med fiberkjerne 6 × 19-FC med strekkfasthet 1770 N/mm².

Ståltauets diameter er 30 mm og har minimum bruddlast på 489 kN. Ståltauet er godkjent etter NS-EN 12385. Lengden til avstanden mellom de to presslåsene se Figur 3-2-3-4 på forløperen må være lengere enn $20 \times 30 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$.



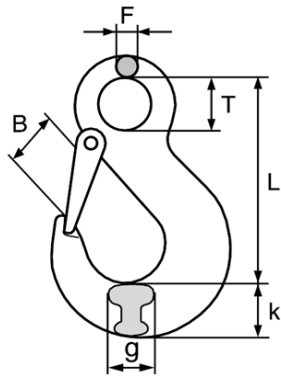
Figur 3-2-3-4. Illustrasjon av forløper festet i toppløkke med krok[3]

3.2.3.5 Krok etter DNV 2.7-3

Forløperen festes til en krok som holder fast i løftehodet.

Benytter samme fremgangsmetode som for toppløkke og løftehode. Minimum arbeidsbelastning for kroken:

$$WLL \geq 12,3 \text{ tonn}$$



Valgt krok fra Certex Crosby N320 av legert stål klasse 8. Sikkerhetsfaktor for kroken er 4:1 med lakkert overflate. Den er i henhold til standarden NS-EN 1677-2. Se figur 3-2-3-5 og tabell 3.2.3.5 for dimensjoner.

Figur 3-2-3-5. Krok

Tabell 3.2.3.5: Dimensjoner for valgt krok fra Certex Crosby N320

WLL	B	F	L	T	g	k	Vekt
16 tonn	57,5 mm	32,3 mm	256 mm	72,0 mm	49,3 mm	66,0 mm	9,42 kg



3.2.3.6 Valg av sjakkell

Løfteskrevet festes til løftekurven med sjakkell i løfteøret. Sjakkellboltene skal være sikret for å forhindre at de ikke åpner uønsket DNV 2.7.3 punkt 7.1.

Sjakkellens maksimale tillatte last skal være større enn kravet som står i DNV 2.7-3 punkt 7.3.3.

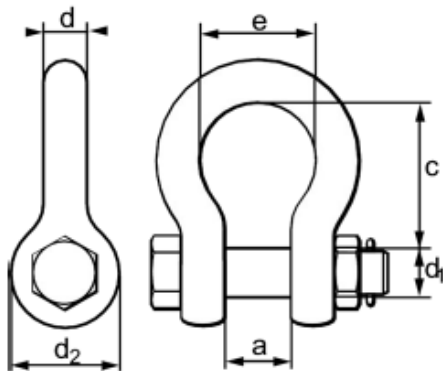
$$WLL \geq \frac{2,25}{SF} \times \frac{RSF}{g}$$

Her er SF den dokumenterte minste sikkerhetsfaktoren for sjakkellen. I beregningene skal den ikke være større enn 6. WLL (Working Load Limit) er den maksimale tillatte lasten som sjakkellen kan belastes med oppgitt i tonn.

I beregningene er SF satt til 6. Dette er ut ifra sjakkellen som er valgt fra Certex har oppgitt denne sikkerhetsfaktoren og som er godkjent av DNV 2.7.1 og etter standarden EN 13889[1].

$$WLL \geq \frac{2,25}{6} \times \frac{101\,000\text{N}}{9,81\text{N/kg}} \times \frac{1}{1000\text{kg/tonn}} = 3,86\text{ tonn}$$

Valgt sjakkell er Crosby sjakkell G-2130A, H m/mutterbolt [3].



Figur 3-2-3-6. Illustrasjon av Crosby sjakkell G-2130A, H m/mutterbolt[3]t

Tabell 3-2-3-6: Data for valgt Crosby sjakkell G-2130A, H m/mutterbolt fra Certex

WLL	a	d ₁	c	d	e	d ₂	Vekt
[tonn]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
4,75	31,8	22,4	71,5	19,1	51,0	46,0	1,23



3.2.4.1 Beregning og konstruering av løfteøret etter DNV 2.7-3

I følge DNV 2.7-3 punkt 3.8.4 skal ikke tykkelsen av løfteøret inklusiv sideskiver ikke være tynnere enn 75 % av innside bredden av beregnet sjakkell se a figur 3-2-3-6 . Diameteren på hullet bør heller ikke være mye større enn diameteren på bolten på grunn av styrke hensyn.

Minimumstykkelsen t_{min} til løfteøret:

$$t_{min} = a \cdot 0,75 = 31,8 \text{ mm} \cdot 0,75 = 23,85 \text{ mm}$$

hvor a er diameteren på bolten i sjakkelen.

$$t = 31,8 \text{ mm} \cdot 0,85 = 27,03 \text{ mm}$$

Valgt tykkelse er 27 mm.

Løfteørene er beregnet etter metodene oppgitt i DNV 2.7-3 Appendix A

Hullkantrykket finnes fra formel oppgitt i DNV 2.7-3 Appendix A punkt A.3. Hvis diameteren på bolten $D_{pin} \geq 0,94 \times D_H$ finnes hullkantrykket fra formel:

$$\sigma_e \geq 0,045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t}} \quad (11)$$

Hvor E er elastisitetsmodulen til materialet, D_H er diameteren til hullet og t er tykkelsens til løfteøret ved hullet inklusiv kinnskiver.

Den maksimale diameteren til hullet:

$$D_H \leq \frac{D_{pin}}{0,94} = \frac{22,4 \text{ mm}}{0,94} = 23,8 \text{ mm}$$

Valgt hulldiameter 23,5 mm.

Hullkantrykket er beregnet til:

$$\sigma_e \geq 0,045 \times \sqrt{\frac{101\,000 \text{ N} \times 210\,000 \text{ MPa}}{23,5 \text{ mm} \times 27 \text{ mm}}} = 260,2 \text{ MPa}$$

For å unngå utrivning av grunnmaterialet over hullet i løfteøret skal følgende kriterium oppgitt i DNV 2.7-3 Appndix A punkt A.4 være oppfylt:

$$\sigma_e \geq \frac{2 \times RSF}{(2 \times R_{pad} - D_H) \times t}$$

Hvor R_{pad} er radius på løfteøret.

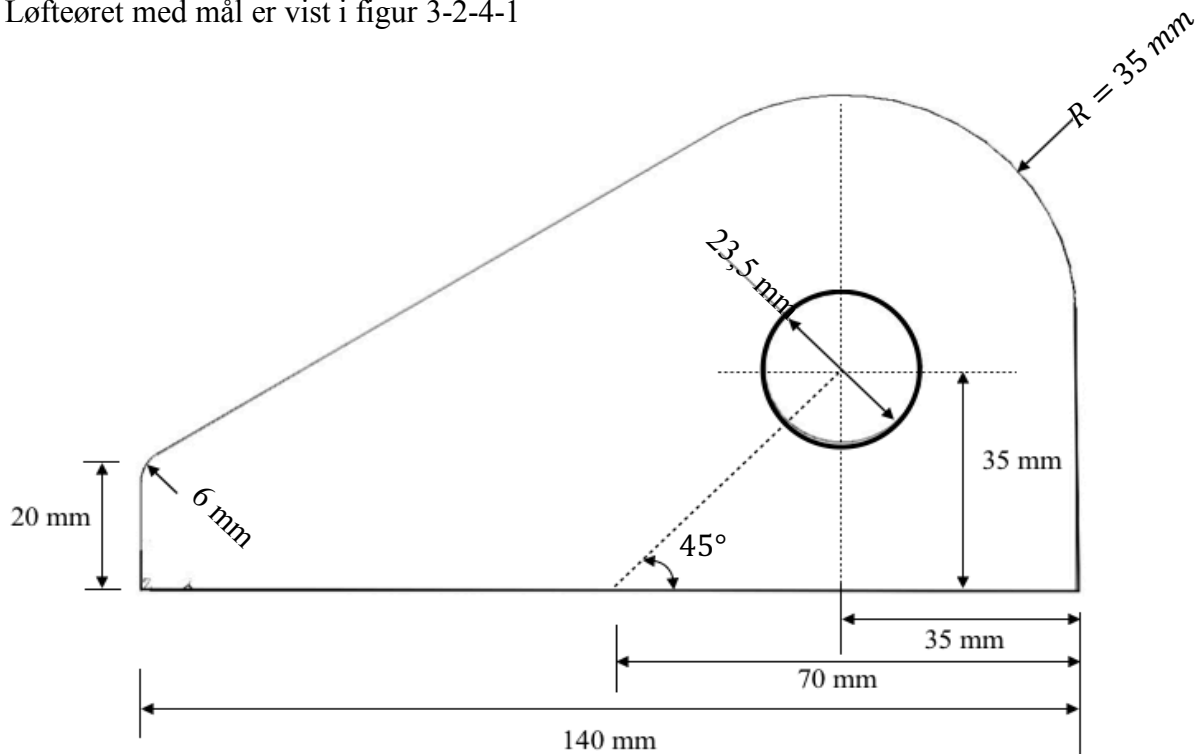
Fra kravet om utrivning finnes minste radius på løfteøret.

$$R_{pad} \geq \frac{1}{2 \times t} \times \left(\left(\frac{2 \times RSF}{\sigma_e} + D_H \times t \right) \right)$$

$$R_{pad} \geq \frac{1}{2 \times 27 \text{ mm}} \times \left(\left(\frac{2 \times 101\,000 \text{ N}}{301,8 \text{ MPa}} + 23,5 \text{ mm} \times 27 \text{ mm} \right) \right) = 24,15 \text{ mm}$$

Valgt å sette $R_{pad} = 35 \text{ mm}$

Løfteøret med mål er vist i figur 3-2-4-1



Figur 3-2-4-1: Løfteøret med mål

Kontroll av løfteøret for utrivning:

$$\sigma_e \geq \frac{2 \times 101\,000 \text{ N}}{(2 \times 35 \text{ mm} - 23,5 \text{ mm}) \times 27 \text{ mm}} = 160,9 \text{ MPa}$$



Alle relevante deler av løfteøret skal kontrolleres for strekkspenninger, skjærspenning og bøyespenninger. Den kalkulererte ekvivalente von Mises spenningen skal ikke overstige σ_e DNV 2.7-3 Appendix A punkt A.6.

Kontroll av løfteøret nederste del.

Utformingen av løfteøret er valgt på grunnlag av at den eliminerer bøyespenning i sveisen.

Strekkspenning:

$$\sigma_s = \frac{RSF}{A} = \frac{101\,000\text{ N}}{140\text{ mm} \times 27\text{ mm}} = 26,72\text{ MPa}$$

Skjærspenning:

$$\tau = \frac{RSF}{A} = \frac{101\,000\text{ N}}{140\text{ mm} \times 27\text{ mm}} = 26,72\text{ MPa}$$

Jevnførende von Mises spenning:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau^2} = \sqrt{4 \times (26,72\text{ MPa})^2} = 53,44\text{ MPa}$$

Løftepunkter skal være sveiset fast med fullt gjennomgående sveis. Hvis løftekurven kun skulle være brukt en gang eller i spesielle tilfeller kan kilsveis eller delvis gjennomgående sveis tillates DNV 2.7-3 punkt 3.2.4.

3.2.4.2 Beregning og konstruering av løfteøret etter DNV 2.7-1

3.2.4.2.1 Valg av sjakkell etter DNV 2.7-1

Minimum arbeidsbelastning for løfteskrevet for løftesettet WLL_{min} for $R=7500\text{ kg}$ er $12,50$ tonn finnes fra tabell 8-1 i DNV 2.7-1 punkt 8.3.1. Minimums arbeidsbelastning for sjakklene WLL_s for fireparts skrev beregnes etter formel fra tabell 8-2 i DNV 2.7-1 punkt 8.3.1.1.

$$WLL_s = \frac{WLL_{min}}{(3 \times \cos 45^\circ)}$$

$$WLL_s = \frac{12,50}{(3 \times \cos 45^\circ)} = 5,89\text{ tonn}$$

Fra tabell D-1 i DNV 2.7.1 Appendix D punkt D.2 som er en oversikt over standard størrelsen i henhold til EN 13889 finnes sjakkellstørrelsen se tabell X.



Tabell X: Dimensjoner for valgt standard sjakkell fra tabell D-1 fra DNV 2.7-1 appendix D

Nominell Wll	Bolt diameter	Innside bredden ved bolt	Innside lengde av sjakkell
6.5 tonn	25 mm	36 mm	76 mm

I følge DNV 2.7-1 punkt 4.4.1 skal ikke løfteørene stikke ut på utsiden av konteineren med unntak av på oversiden av toppen av konteineren. For å forhindre sideveis bøyningmomenter på løfteøret skal de plasseres slik at de står rett inn mot senteret av løfteskrevet med en maksimaltoleranse på $\pm 2,5^\circ$. Differansen i de diagonale målingene mellom løftepunktene skal ikke overstige det som er størst av 0,2 % av nominell lengde av diagonalen eller 5 mm. Hull diameteren skal passe benyttet sjakkell. Klaringen mellom sjakkell bolten og løfteørets hull skal ikke overstige 6 % av sjakkell boltens diameter. Det maksimale konsentrerte "hot spott" spenningen i hullkanten skal ikke overstige $2 \times Re$ ved konstruksjon belastningen. Tykkelsen til løfteøret ved hullet skal ikke være mindre enn 75 % av innside bredden av den benyttende sjakkell bolten. Løfteører skal sveises fast til rammen med fullt gjennomgående sveis. Hvis løftekraften er overført ned gjennom tykkelsen av en plate skal en benytte plate med spesifiserte egenskaper som gjelder gjennom plate.

Beregninger av for styrken til løfteøret er gjort etter formel 1 og formel 2 fra Appendix D punkt D.3.

Formel 1. Utrivnings spenning

$$Re \geq \frac{3 \times RSL}{2 \times H \times t - D_H \times t}$$

Formel 1 verifiserer at spenningsnivået i kanten av hullet er akseptabelt med antatt spenningskonsentrasjons faktor på 3.

Hvor:

Re = er minste tillattspenning i løfteøret i N/mm²

RSL = resulterende ståltau kraften

H = den minste distansen fra senter av hullet til den ytre kanten av løfteøret i mm



D_H = hulldiameter i mm

t = tykkelsen til løfteøret i mm

Formel 2. Kontakt spenning

$$Re \geq 23,7 \times \sqrt{\frac{RSL}{D_H \times t}}$$

Formel 2 er formelen for hullkanttrykk når bolten i sjakkelen er 6 % mindre enn hullet og begge er laget i stål.

Resulterende ståltaukraften er beregnet etter formel fra DNV 2.7-1 punkt 4.2.3.

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

Hvor n er antall løfteører og ν er vinkel mellom ståltauet og vertikalen. Hvor R er maksimum brutto vekt i kg av offshore konteiner inkludert permanent utstyr og lasten ekskludert løfteskrev.

$R = \text{MGW} = 7500 \text{ kg}$

$$RSL = \frac{3 \times 7500 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N/kg}}{(4 - 1) \times \cos 45^\circ} = 104\,051 \text{ N}$$

Beregnet maksimal hulldiameteren til løfteøret etter standard:

$$D_{Hmaks} = 25 \text{ mm} \times 1,06 = 26,5 \text{ mm}$$

Valgt hulldiameter: $D_H = 26 \text{ mm}$

Beregnet minimum tykkelse på løfteøret etter standard:

$$t_{min} = 36 \text{ mm} \times 0,75 = 27 \text{ mm}$$

Valgt tykkelse på løfteøret: $t = 28 \text{ mm}$

Fra formelen for utrivning finnes den minste avstanden fra senter av hullet løfteøret til kanten av løfteøret H :



$$H \geq \frac{3 \times RSL}{2 \times t \times Re} + \frac{D_H}{2}$$

$$H \geq \frac{3 \times 104\,051\,N}{2 \times 28\,mm \times 355 \frac{N}{mm^2}} + \frac{26\,mm}{2}$$

$$H \geq 28,7\,mm$$

Valgt $H = 35\,mm$

Kontroll av at det ikke er fare for utrivning:

$$Re \geq \frac{3 \times 104\,051\,N}{2 \times 35\,mm \times 28\,mm - 26\,mm \times 28\,mm} = 253,4\,MPa$$

Kontroll av kontakt spenningen:

$$Re \geq 23,7 \times \sqrt{\frac{104\,051\,N}{26\,mm \times 28\,mm}} = 283,34\,MPa$$

Tillatt kontaktspenning $Re = 355\,MPa$

3.2.4.3 Beregning og konstruering av løfteøret etter NORSOK R-002

3.2.4.3.1 Valg av sjakkell størrelse etter NORSOK R-002

Nødvendig sjakkellstørrelse bestemmes fra formler oppgitt i Annex F punkt F.7.3.2:

$$MBL_{(sjakkell)} \geq \frac{P_{LP} \times \gamma_{RM} \times DF}{(\cos \alpha B)}$$

hvor $\gamma_{RM} = 1,8$ for sjakkeller og $MBL_{(sjakkell)}$ er minimums brudd last for sjakkell.

Den merkede minimum Arbeidsbelastning WLL for sjakkellen beregnes etter formelen:

$$WLL_{Sjakkell} \geq \frac{MBL_{(sjakkell)}}{SF_m}$$

Hvor SF_m er sikkerhetsfaktoren som er spesifisert av produsenten.

I Annex F punkt F.7.3.1 fra eksempel på hvordan en finner belastningen i løftepunkt P_{LP} for et firepunkts løft finnes den vertikale lasten P_{LP} . Formelen under er for firepunktsløft når alle løftepunkt er likt belastet:



$$P_{LP} \approx \frac{WLL \times W_{COG} \times SKL \times DAF}{4}$$

Hvor WLL er minimum arbeidslast for løfteskrevet. W_{COG} er en vekt faktor som tar hensyn til vektfordelingen i forhold til tyngdepunktet. SKL er en skjevhets faktor på grunn av unøyaktigheter og toleranser. DAF er dynamisk forsterkende faktor som tar hensyn til krefter som kan opptre på grunnlag av løft offshore.

Maksimum arbeidsbelastningen for fireparts løfteskrev finnes fra formelen oppgitt i Annex F punkt F.7.2.3.2:

$$WLL = W \times W_{CF}$$

Hvor W er vekt av løftekurv med last ekskludert vekten av fireparts løfteskrev. W er estimert vekt. W_{CF} er en sikkerhetsfaktor som tar hensyn til at vekten er estimert.

Den estimerte vekten $W = 7,5 \text{ tonn}$. På grunnlag av at denne vekten er estimert på grunnlag av foreløpige håndkalkulerte beregninger er den satt til $W_{CF} = 1,5$.

$$WLL = 7,5 \text{ tonn} \times 1,5 = 11,25 \text{ tonn}$$

Vekt faktor W_{COG} for en symmetrisk jevnt fordelte lasten er $W_{COG} = 1,0$ oppgitt i Annex F punkt F.7.2.3.3

SKL for firepunkt løft av en løftekrok uten løfteåk er $SKL = 1,25$ er hentet i Annex F punkt F.7.2.3.4 tabell F.4.

Dynamisk forsterkende faktoren for løftekurven er beregnet fra formel oppgitt i Annex F punkt F.7.2.3.5 som gjelder for løft fra fartøy for $WLL \leq 50 \text{ tonn}$:

$$DAF = 1,09 + 0,41 \times \sqrt{\frac{50}{WLL}}$$

$$DAF = 1,09 + 0,41 \times \sqrt{\frac{50}{11,25}} = 1,95$$

Design faktoren for sjakler er funnet fra tabell F.5 i Annex F punkt F.7.2.3.8.

$$DF = \gamma_p \times \gamma_c$$



Hvor γ_p er partiell lastfaktor og γ_c er konsekvensfaktor. Oppgitt for sjakkler er $\gamma_p = 1,34$, $\gamma_c = 1,25$ og $DF = 1,68$.

Nødvendig sjakkkelstørrelse beregnes under:

$$P_{LP} \approx \frac{11,25 \text{ tonn} \times 1,0 \times 1,25 \times 1,95}{4} \approx 6,87 \text{ tonn}$$

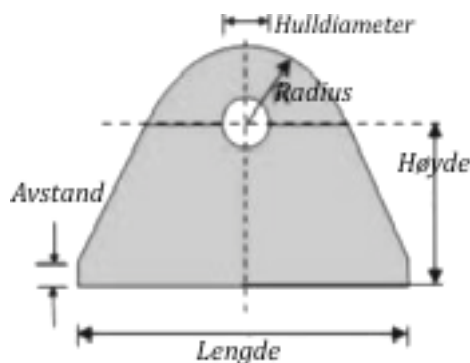
$$MBL_{(sjakkkel)} \geq \frac{6,87 \text{ tonn} \times 1,8 \times 1,68}{(\cos \alpha 45^\circ)} = 29,38 \text{ tonn}$$

Den merkede minimum Arbeidsbelastning WLL for sjakkelen med sikkerhetsfaktor $SF = 6$ som er oppgitt fra Certex for benyttede sjakkler er beregnet under:

$$WLL_{sjakkkel} \geq \frac{29,38}{6} = 4,90 \text{ tonn}$$

3.2.4.3.2 Beregning av løfteøre etter NORSOK R-002

I NORSOK R-002 Annex F som gjelder for løftekurven punkt F.7.2.4.2 står det at en bør benytte standard løfteører som er spesifisert i Annex J. I Annex J punkt J.2.1 er type 1 som er uten skinn skiver typisk for sjakkler med $WLL \leq 8,5 \text{ tonn}$ se figur 3-2-4-3-2. Dimensjoner for løfteøre type 1 for sjakkkel med $WLL = 6,5 \text{ tonn}$ er hentet fra tabell J.2 som kombinerer standard sjakkler med løfteøre dimensjoner. Det må utføres styrkeberegninger i tillegg for å verifisere at løfteørene er tilfredsstillende.



Dimensjoner for løfteører:

Hulldiameter (d_h): 28 mm

Radius (R): 38 mm

Høyde (h): 65 mm

Lengde: 160 mm

Avstand: 30 mm

Tykkelse (t_p): 30 mm

Figure 3-2-4-3-2 Løfteøre etter Norsok R-002

Løfteørene sjekkes for at det ikke er fare for utrivning etter krav i Annex J punkt J.2.5.3:



$$f_{rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{RM}} \geq \tau_{Ed}$$

Hvor f_{rd} er tillatt skjærspenning ved kontroll mot utrivning, f_y er flytspenning i materialet, τ_{Ed} er utrivningsspenningen, γ_{RM} er materialfaktor. Materialfaktoren for løfteøret som er sveiset med full gjennomsvøising er $\gamma_{RM} = 1,15$, Annex J punkt J.2.5.2.

Utrivningsspenningen τ_{Ed} for løfteøret beregnes etter formelen oppgitt i Annex J punkt J.2.5.3:

$$\tau_{Ed} = \frac{P_p}{2 \times \left(R - \frac{d_h}{2}\right) \times t_p}$$

Hvor P_p er resultant lasten på løfteøret. Resultantlasten per løfteøre er beregnet under etter formel gitt i Annex F punkt F.7.5:

$$P_p = \frac{P_{LP} \times DF}{\cos \alpha}$$

$$P_p = \frac{6,87 \text{ tonn} \times 1,68}{\cos 45^\circ} = 16,32 \text{ tonn}$$

$$P_p = 16,32 \times 1000 \text{ kg} \times 9,81 \frac{N}{kg} = 160122 \text{ N}$$

Løfteørene skal også være designet for å tåle en sideveis kraft på $0,05 \times P_p$ (tilsvarende 3° toleranse) som treffer midt på buen av sjakkelen, Annex F punkt F.7.5.

Sideveis kraft er beregnet under:

$$P_{sideveis} = 160\,122 \text{ N} \times 0,05 = 8006,1 \text{ N}$$

I Annex J punkt J.2.5.1 står det at kraften som kommer inn fra siden skal påføres i senter av sjakkell bue åpningen.

Avstanden fra senteret av sjakkell bue åpningen til hullkanten $l_{sjakkellsenter}$ er beregnet under:

$$l_{sjakkellsenter} = c - \frac{d_1}{2} - \frac{e}{2}$$



$$l_{sjakkelsenter} = 84 \text{ mm} - \frac{25,4 \text{ mm}}{2} - \frac{58,0 \text{ mm}}{2} = 42,3 \text{ mm}$$

Tillatt utrivningsspenning er beregnet under:

$$f_{rd} = \frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3} \times 1,15} = 178,2 \text{ MPa}$$

Utrivningsspenningen:

$$\tau_{Ed} = \frac{160122 \text{ N}}{2 \times \left(38 \text{ mm} - \frac{28 \text{ mm}}{2}\right) \times 30 \text{ mm}} = 111,2 \text{ MPa}$$

Hullkantrykket σ_b og tilhørende tillattspenning f_d beregnes etter formeler gitt i Annex J punkt J.2.5.4:

$$f_d = 1,5 \times \frac{f_y}{\gamma_{RM}} \geq \sigma_b$$

$$\sigma_b = \frac{P_p}{t_p \times d}$$

$$f_d = 1,5 \times \frac{355 \text{ MPa}}{1,15} = 463 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = \frac{160122 \text{ N}}{30 \text{ mm} \times 25,4 \text{ mm}} = 210,13 \text{ MPa}$$

Hullkant trykk som skyldes sideveiskraft:

$$\sigma_{b,sideveis} = \frac{6 \times P_{sideveis} \times l_{sjakkelsenter}}{4 \times \left(R - \frac{d_h}{2}\right) \times t_p^2}$$

$$\sigma_{b,sideveis} = \frac{6 \times 8006,1 \text{ N} \times 42,3 \text{ mm}}{4 \times \left(38 \text{ mm} - \frac{28 \text{ mm}}{2}\right) \times (30 \text{ mm})^2} = 23,5 \text{ MPa}$$

Hullkant trykket er mye lavere enn tillatt spenning og det er ingen fare for utrivning.



3.2.5 Topplate

Løfteørene sveises til en plate som er 27 mm tykk. Platene skal være innfelt i hvert hjørne. Løfteørene skal plasseres slik at resultantkraften går gjennom senteraksen til hjørnestolpene der den treffer senteraksen til de horisontale toppbjelkene. Dette er for å unngå bøyespenninger. Se figur 3-2-5.

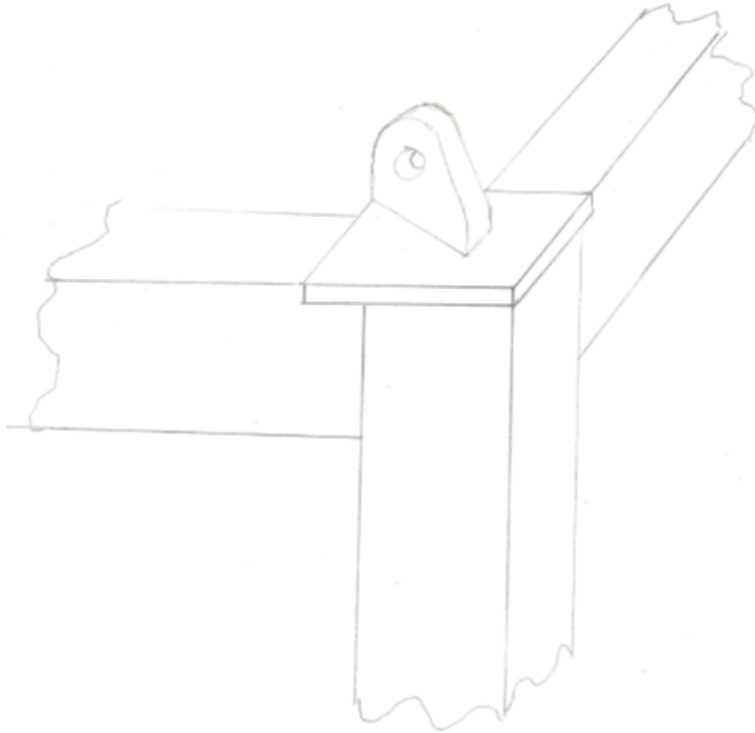


Figure 3-2-5 Innfelt topplate med løfteøre

3.2.6.1 Krav og anbefalinger for Gaffellommer etter DNV 2.7.3

Løftekurven skal kunne flyttes med truck. Ved konstruering av gaffellommer benyttes en egen konstruksjonsfaktor som er 1,65 DNV 2.7-3 punkt 3.5.7. Hvis løftekurven skal kunne løftes fullt lastet er formelen:

$$F_F = 1,65 \times MGW \times g$$

$$F_F = 1,65 \times 7\,500 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 121\,398,75 \text{ N} = 121,4 \text{ kN}$$

Krav til utforming og plassering av gaffellommene finnes i DNV 2.7-3 punkt 3.9.3.

Minimumsåpningen for gaffellommene skal være 200 mm × 90 mm. Gaffellommene skal være plassert slik at løfteinnretningen er stabil ved håndtering av gaffeltruck. Gaffellommene skal gå gjennom basen i løfteinnretningen eller være festet til basen. Hvis de er festet til



bunnbjelkene skal en benytte deflektor plater. Gaffellommene skal ha lukket topp og sider. Undersiden av gaffellommene skal være lukket eller delvis åpninger. Hvis det er åpninger i bunnen av gaffellommene skal de ikke være i veien for bunn bjelkene/ dragerne eller være mindre enn 200 mm fra innsiden av dem. Åpninger i bunnen av gaffellommene kan bli ødelagt av en gaffeltruck. Ved dimensjonering av gaffellommer og ved inspeksjon skal dette tas med i vurderinger. Hvis gaffellommene skal gå gjennom de langsgående bunnbjelkene kan det monteres på forsterknings plater på oversiden for å redusere skjærspenninger. Denne forsterkningen på oversiden skal være 100 mm eller lengre på hver side av utsiden av åpningen og være påført med en fullt gjennomgående sveis.

Gaffellommene skal være plassert så langt fra hverandre som praktisk mulig med tanke på løfteinnretningens geometri og aktuelle gaffel løft dimensjoner. For en løfteinnretning som har lengde mindre enn 6 meter og skal kunne løftes med full belastning er minimumslengden mellom sentrene av gaffellommene 25% av lengden av løfteinnretningen eller 900 mm.

Minimums lengde mellom sentrene av gaffellommene:

$$4,3 \text{ m} \times 0,25 = 1,075 \text{ m}$$

Gaffellommene plasseres gjennom langsgående bunnbjelker symmetrisk om midten med et mellomrom på 1416 mm mellomrom mellom sentrene. Sentrene skal plasseres med 708 mm fra midten av løfteinnretningen. Gaffellommene er inni et rektangulært hulprofil med dimensjonene $250 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$.

De største spenningene vil opptre ved langsgående midtre bærebjelke. I beregningene er det gjort følgende forenklinger at den midtre bjelken er belastet med $\frac{3}{4}$ av den totale lasten og at bjelken er fritt opplagret i hver gaffellomme. I beregningene er det antatt at hver gaffellomme er belastet med halvparten av $\frac{3}{4}$ lasten hver. Skjærkraften fordeles på hver overside av gaffellommene. Gaffeltruckens gafler er 1,4 meter lange uten forlengelse.

Skjærkraften i gaffellommene:

$$F_{gaffellommer} = \frac{F_F \cdot 3}{4 \cdot 2} = \frac{121\,400 \text{ N} \cdot 3}{4 \cdot 2} = 45\,525 \text{ N}$$

Skjærspenningen τ ved løft av gaffeltruck:

$$\tau = \frac{V_{gaffeltruck}}{2 \cdot A_{skjær,gaffeltruck}}$$



Arealet i selve flensen i topp og bunn av bjelken er ikke tatt med i beregningene av skjærarealet,

$$\tau = \frac{45\,525\text{ N}}{2 \cdot (250\text{ mm} \cdot 6\text{ mm})} = 15,2\text{ MPa}$$

Von Mises spenningen ved gaffellommene $\sigma_{e,løft\text{ fra gaffler}}$ er beregnet under:

$$\sigma_{e,løft\text{ fra gaffler}} = \sqrt{3 \cdot \tau^2} = \sqrt{3 \cdot (15,2\text{ MPa})^2} = 26,33\text{ MPa}$$

3.2.6.2 Kontroll av gaffellommene ved løft fra løfteørene

Kontrollerer bøyespenningen ved gaffellommene i midtre langsgående bærebjelke på grunn av at den har det største bøyemomentet. Tverrsnittet i de langsgående bjelkene er redusert der hvor gaffellomme bjelkene går gjennom. Antar at bjelken er fritt opplagret i begge ender med jevnt fordelt last

Det reduserte skjærarealet A_{redusert} ved gaffellommene:

$$A_{\text{redusert}} = 2 \cdot 250\text{ mm} \cdot 6\text{ mm} = 3000\text{ mm}^2$$

Det reduserte tverrsnitt ved gaffellommene endrer tverrsnittmodulen for bjelken og er beregnet under:

$$W_{\text{redusert}} = W_{el} - 2 \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_{\text{redusert}} = 153 \cdot 10^3\text{ mm}^3 - 2 \cdot \frac{6\text{ mm} \cdot (132\text{ mm})^2}{6} = 201000\text{ mm}^3$$

Opplagerkreftene for langsgående midtre bærebjelke:

$$F_{\text{opplager}} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{12,786 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 4000\text{ mm}}{2} = 25\,572\text{ N}$$

Største opptredende bøye moment ved gaffellommene 1417 mm:

$$M_{b,1417\text{ mm}} = 25\,572\text{ N} \cdot 1417\text{ mm} - \frac{12,786 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot (1417\text{ mm})^2}{2} = 23,4 \cdot 10^6\text{ Nmm}$$



Skjærkraften ved 1417 mm:

$$V_{1417 \text{ mm}} = 25\,572 \text{ N} - 12,786 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 1417 \text{ mm} = 7,46 \text{ kN}$$

Bøyespennning ved 1417 mm:

$$\sigma_{b,1417 \text{ mm}} = \frac{M_{b,1417 \text{ mm}}}{W_{\text{redusert}}} = \frac{23,4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{201 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 116,42 \text{ MPa}$$

Skjærspennning ved 1417 mm:

$$\tau_{1417 \text{ mm}} = \frac{V_{1417 \text{ mm}}}{A_{\text{redusert}}} = \frac{7,46 \text{ kN}}{3000 \text{ mm}^2} = 2,49 \text{ MPa}$$

Von Mises spenningen ved 1417 mm:

$$\sigma_{e,1417 \text{ mm}} = \sqrt{\sigma_{b,1417 \text{ mm}}^2 + 3 \cdot \tau_{1417 \text{ mm}}^2}$$
$$\sigma_{e,1417 \text{ mm}} = \sqrt{(116,42 \text{ MPa})^2 + 3 \cdot (2,49 \text{ MPa})^2} = 116,5 \text{ MPa}$$

Spenningen ved gaffellommene er mindre enn tillatt spenning. Den beregnede spenningen er mye høyere enn i virkeligheten på grunn av det er sveiset på profiler rundt kanten av hullene i midtbjelken som vil være avstivende på hullkanten og det vil være et mye større areal å fordele kreftene på.

3.2.6.3 Krav og anbefalinger til gaffellommer etter DNV 2.7.1

Kravene som skiller DNV 2.7-1 fra DNV 2.7-3 er at i henhold til DNV 2.7-1 punkt 4.4.6 er at gaffellommene på løftekurven skulle vært plassert med 1500 mm mellom sentrene for å kunne løftes med last siden den er lengre enn 3000 millimeter og kortere enn 6000 millimeter.

Konstruksjonslasten ved løfting av gaffeltruck beregnes etter DNV 2.7-1 punkt 4.2.3.2 sin formel:

$$F_F = 1,6 \times (R + S) \times g$$

Hvor S er massen til løfteskrevet. I beregningene etter DNV 2.7-3 er ikke massen til løfteskrevet med men har en lastfaktor på 1,65 i stedet.



3.3 Knekking

I DNV 2.7-3 punkt 3.4.4 sier at alle plater, bjelker og andre komponenter i løfteinnretningen som er utsatt for trykkspenning skal verifiseres eller vurderes for knekking og vipping. Den tillatte knekkspenningen eller knekk kapasiteten skal beregnes etter en anerkjent standard ved å benytte elastisk spennings fordeling. Den maksimale utnyttelsesfaktoren som skal benyttes er 0,85.

De mest utsatte bjelkene for knekking er de langsgående toppbjelkene som har den lengste knekk lengden. De langsgående toppbjelkene er avstivet av de vertikale støttebjelkene i det vertikale planet og er derfor mest utsatt for knekking i horisontalplanet. I beregningene er toppbjelken sett på som fritt opplagret i begge ender.

Knekkberegningene er gjort etter Eurokode 3 sitt formelverk for en uniform bjelke utsatt for trykk. Kapasitetskravet for en bjelke som er utsatt for trykk etter Eurokode 3 seksjon 6.3.1:

$$\frac{N_{ED}}{N_{b,RD}} \leq 1$$

Hvor N_{ED} er dimensjonerende trykkraft og $N_{b,RD}$ er bjelkens dimensjonerende knekklast kapasitet.

Kapasitetskrav etter beregninger gjort etter Eurokode 3 med utnyttelsesgrad etter DNV 2.7-3:

$$\frac{N_{ED}}{N_{b,RD}} \leq 0,85$$

Knekk beregningene er basert på konstruksjonslasten F etter DNV 2.7-3 punkt 3.5.1 og punkt 3.5.3. Den dimensjonerende lasten som er beregnet etter NS-EN 1990[] vil være lavere enn den beregnet etter DNV 2.7-3 punkt 3.5.1. Dette er på grunn av den høye beregnede designfaktoren $DF = 2,433$.

Trykkraften i langsgående toppbjelke er beregnet til $N_{ED} = F_v \cdot \cos 27,39^\circ = 39,733 \text{ kN}$

Kontrollregning om steg og flens vil holde for tilvirkningsklasse 3 etter eurokode 3 Del 1-1 (NS-EN 1993-1-1) []. For tverrsnittdeler som er utsatt for et jevnt trykk og bøyning er kriteriet for tverrsnittklasse 3:

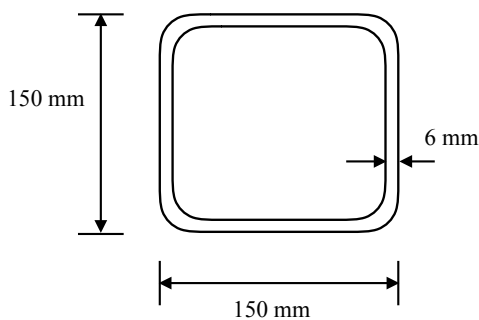


$$c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

Hvor c er netto lengde til steget som er tilnærmet lik $c \approx b - 3t$. Stegets tykkelse er t og profilets bredde er b .

Den langsgående toppbjelken er et kvadratisk hulprofil i S355. Bjelkens dimensjoner se figur 3-3 og lengden er 4150 mm.



$$\text{Tverrsnittsarealet } A = 3360 \text{ mm}^2$$

$$\text{Elastisk tverrsnittsmodul } W_{el} = 153 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Annet areal moment } I = 1146 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Figur 3-3. Illustrasjon av tverrsnitt av langsgående toppbjelke med mål.

Kontroll av tverrsnittet:

Netto lengde til steget c :

$$c \approx 150 \text{ mm} - 3 \cdot 6 \text{ mm} = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{132}{6} = 22 \leq \frac{42 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}}}{0,67} = 50,8$$

Profilet dimensjoneres elastisk etter tilvirkningsklasse 3.

Grunnberegninger for å finne den reduserte slankheten $\bar{\lambda}$ er beregnet under for å kunne finne χ fra valgt knekkkurve.

Knekk lengden for bjelken $l_k = 4160 \text{ mm}$

Kritisk Euler last N_{cr} beregnes etter formelen:



$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_k^2}$$

Hvor E er stålets elastisitetsmodul $E = 210 \cdot 10^3 \text{ MPa}$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \text{ MPa} \cdot 1146 \cdot 10^4 \text{ mm}^4}{(4150 \text{ mm})^2} = 1379,1 \text{ kN}$$

Redusert slankhet $\bar{\lambda}_y$:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{3360 \text{ mm}^2 \cdot 355}{1379,1 \cdot 10^3 \text{ N}}} = 0,930$$

Knekkurve velges fra tabell 6.2 side 58 NS-EN 1993-1-1:2005 for kaldformede kvadratiske hulprofiler er det kurve c.

Knekkfaktor:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

Formfeilfaktoren α ble funnet fra tabell 6.1 i Eurokode 3 Del 1-1. For knekkurve c er den $\alpha = 0,49$.

$$\phi = 0,5[1 + 0,49(0,930 - 0,2) + 0,930^2] = 1,1113$$

$$\chi = \frac{f_{\sigma}}{f_y} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi = \frac{1}{1,1113 + \sqrt{1,1113^2 + 0,930^2}} = 0,39$$

Elastisk kapasitet for bjelke utsatt for trykk $N_{b,Rd}$:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot f_y \cdot A}{\gamma_{M1}}$$

Hvor materialfaktoren for stavknekking er $\gamma_{M1} = 1,05$.



$$N_{b,Rd} = \frac{0,39 \cdot 355 \frac{N}{mm^2} \cdot 3360 mm^2}{1,05} = 443,68 kN$$

Beregnet utnyttelse av knekkingsmotstanden i langsgående toppbjelke:

$$\frac{39,733 kN}{443,68 kN} = 0,09 \leq 0,85$$

Den langsgående toppbjelken holder mot knekking.

3.5 Sveis

3.5.1 Sveiser etter DNV 2.7-3

Alle vesentlige deler av primær strukturen burde sveises med full gjennomsvensing.

Sveiseberegningene skal baseres på det nominelle sveise arealet og spenninger som oppstår på grunn av konstruksjonslasten. Tillatt spenning i sveiser skal ikke overstige 85% av den laveste tillatte flytspenning i base materialene. I stål strukturer hvor en benytter kilsveiser trenger ikke tillatt spenning settes lavere enn 355 MPa. DNV 2.7-3 punkt 3.4.5

Hvis en benytter kilsveiser i løfteinnretninger som skal benyttes flere ganger i vesentlige deler av primærstrukturen skal utnyttelsesfaktoren ikke settes høyere enn 0,6. For delvis gjennomsvesede buttsveiser og K- sveiser hvor kilsveisens a-mål ikke er større enn spenningsarealet for delvis gjennomsvensing under samme forutsetning er den maksimale utnyttelsesfaktoren 0,8. DNV 2.7-3 punkt 3.4.5 tabell 3.4.

3.5.2 Sveiser etter DNV 2.7-1

I følge DNV 2.7-1 punkt 4.3.1 skal alltid hoved sveiser mellom løfteøret og selve løfterammen være fult gjennomsveset.

De andre vesentlige delene av primær strukturen skal også være fult gjennomsveset. Hvis gaffellommene går igjennom bunnbjelkene i rammen kan de sveises med kilsveis. DNV 2.7-1 punkt 4.3.2.

3.5.3 Sveiser etter NORSOK R-002

I henhold til NORSOK R-002 skal det benyttes full gjennomsvensing ved løfteørene. For å redusere spenningen lokalt i sveisen i løfteørene kan det legges til en kilsveis opp på den full



gjennomsveisede buttsveisen. Tillatt spenning i sveisen etter NORSOK R-002 punkt J.2.5.2 er gitt av formelen:

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_{RM}}$$

I beregningene av sveiser skal det benyttes en materialfaktor $\gamma_{RM} = 1,15$ so m er gjeldende for full gjennomsveising og flytspenning til materialet $f_y = 355 \text{ MPa}$. Tillatt spenning etter NORSOK R-002 satt opp likt som etter DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3 under:

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_{RM}} = \frac{1 \cdot f_y}{1,15} \approx f_y \cdot 0,869$$

3.5.4 Valgt sveiser og dimensjonering av sveiser

Sveisene mellom løfteører og platene under skal være full gjennomsveisede K- sveiser. Ved full gjennomsveising vil den tillatte spenningen i sveiseforbindelsen være den samme som den tillatte spenningen i det svakeste materialet i forbindelsen under forutsetning av at sveiseavsett fra benyttet elektrode ikke har flytspenning eller bruddfasthet som er lavere. [kilde: sveis eurokode 3 TMP30]. De andre delene i løftekurven skal sveises fast med full gjennomsveisede buttsveiser med V-fuge.

3.5.5 Kontroll av spenninger i sveisen for løfteøret etter NORSOK R-002

Kontrollberegninger av sveis mellom løfteøret designet etter NORSOK R-002 og forsterkningsplaten er gjort etter Eurokode 3. K-sveisene skal være like sterk som det svakeste materialet i forbindelsen og area. Designfaktoren etter NORSOK R-002 punkt F.7.2.3.8 inneholder partiell last faktor og en konsekvensfaktor er for løfteøret $DF = 1,68$. Alle konstruksjonsfaktorer i beregningene er hentet fra NORSOK R-002. Den jevnførende von Mises spenningen i sveisen og grunnmaterialet i løfteøret er den samme og er beregnet under. I beregningene er arealet av sveisen og grunnmaterialet er antatt like store.

Dimensjonerende spenningskriterium for sveisen rundt løfteøret og grunnmaterialet i løfteøret:



$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{RM}}$$

Resultantkraften i løfteørene er $P_p = 160\,122\text{ N}$.

Dekomponert resultantkraften i løfteørene i x-retning og y-retning:

$$F_x = F_y = P_p \cdot \cos 45^\circ = 160\,122\text{ N} \cdot \cos 45^\circ = 113\,223,352\text{ N}$$

Bøyespenningen i sveis og grunnmaterialet på grunn av F_x :

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot y}{I_x} = \frac{M_b}{W} = \frac{M_b}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{113\,223,352\text{ N} \cdot 65\text{ mm}}{\frac{30\text{ mm} \cdot (160\text{ mm})^2}{6}} = 57,496\text{ MPa}$$

Strekkspenning i sveis og grunnmateriale på grunn av F_y :

$$\sigma_s = \frac{F_y}{A_{\text{løfteøre}}} = \frac{113\,223,352\text{ N}}{30\text{ mm} \cdot 160\text{ mm}} = 23,588\text{ MPa}$$

Største opptredende spenning:

$$\sigma_{total} = \sigma_s + \sigma_b = 23,588\text{ MPa} + 57,496\text{ MPa} = 81,084\text{ MPa}$$

Største opptredende skjærspenning på grunn av F_x i nøytralsonen:

$$\tau_{maks} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_x}{A_{\text{løfteøre}}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{113\,223,352\text{ N}}{30\text{ mm} \cdot 160\text{ mm}} = 35,382\text{ MPa}$$

Jevnførende Von Mises spenning i grunnmateriale og sveis i nøytralsonen:

$$\sigma_{\text{Jevnførende Von Mises}} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_{maks}^2}$$

$$\sigma_{\text{Jevnførende Von Mises}} = \sqrt{(23,588\text{ MPa})^2 + 3 \cdot (35,382\text{ MPa})^2} = 65,67\text{ MPa}$$

Tillatt spenning i sveis og grunnmaterialet:

$$f_d = \frac{355\text{ MPa}}{1,15} \approx 308,69\text{ MPa}$$



Jevnførende spenning i nøytralsonen og den beregnede totale spenningen er mye lavere enn den tillatte spenningen.

3.6. Dynamiske laster og utmattingsberegninger

Dynamisk belastning kan føre til dannelse og vekst av sprekker. Sprekkene kan over tid bli så store at de fører til et utmattingsbrudd. Utmattingsbruddet skjer vanligvis etter et stort antall lastvekslinger og spenninger som er normalt mye mindre enn materialets bruddspenning.

Løftekurven sin kapasitet mot utmatting beregnes etter standarden DNVGL RP-C203, 2016 for offshore stålkonstruksjoner. Utmattingslevetiden fastsettes på grunnlag av Wöhler-kurver også kalt S-N kurver. Hvor S står for spenningsvidden og N er antall belastningsvekslinger. Det er gjort utmattingsberegninger for løfteøret og skjøt mellom midtre tverrgående og langsgående bunnbjelke. Sveisene skal være utført med full gjennomsvैसेde K-sveiser.

Utmattingssprekken kan i K-sveiser initieres fra sveisens rot. Beregningene er basert på største opptredende spenningsvidde $\Delta\sigma_W$ i sveisen:

$$\Delta\sigma_W = \sqrt{\Delta\sigma_{\perp}^2 + \Delta\tau_{\perp}^2 + 0,2\Delta\tau_{\parallel}^2}$$

Hvor $\Delta\sigma_{\perp}$ er normalspenningen, $\Delta\tau_{\perp}$ er skjærspenningen normalt på sveiseretningen og $\Delta\tau_{\parallel}$ er skjærspenningen parallell med sveisens lengderetning.

Formel for S-N kurven:

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

$$C = 10^{\log \bar{a}}$$

Hvor \bar{a} og m er konstanter som karakteriserer SN-kurven. Data for S-N kurver i luft er hentet fra tabell 2-1 i DNVGL RP-C203.

3.6.1 Utmattingsberegninger og beregninger for spenninger i sveisen for løfteøret etter DNV 2.7-3

For løfteøret er det gått ut fra beregnet belastning for løftepunktene $RSF = 101 \text{ kN}$

Spenning og skjærspenning normalt på lengderetning:



$$\sin 45 = \cos 45 = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\Delta\sigma_{\perp} = \Delta\tau_{\perp} = \frac{RSF \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{101\,000\,N}{2 \cdot 140\,mm \cdot 26\,mm} = 13,874\,MPa$$

Skjærspenning parallell med sveisens lengderetning $\Delta\tau_{\parallel}$:

$$\Delta\tau_{\parallel} = \frac{RSF \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{A} = \frac{101\,000\,N \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{140\,mm \times 26\,mm} = 19,62\,MPa$$

Største opptredende spenningsvidde $\Delta\sigma_w$ i sveisen:

$$\Delta\sigma_w = \sqrt{2 \cdot (13,874\,MPa)^2 + 0,2 \cdot (19,62\,MPa)^2} = 21,49\,MPa$$

Fra DNVGL RP-C203 tabell A.8 for sveiste skjøter med belastede sveiser velges kurve F siden platen under løfteøret er tykkere enn 25 mm. Største opptredende spenningsvidde for løfteøret er mindre enn utmattingsgrensen for kurve F som er 41,52 MPa. Fra tabellen finnes konstantene: $\log \bar{a} = 15,091$ og $m = 5$

Antall lastvekslinger N før brudd ved rotsprekk:

$$N = 10^{15,091} \cdot 21,49^{-5} = 2,69 \cdot 10^8 \text{ sykler}$$

Så mange lastvekslinger vil det ikke være mulig å oppnå i løftekurvens levetid.

4. FEM ANALYSER

4.1. Modellering og opplagringer

4.1.1 Modellering

I tillegg til håndberegninger av primærstrukturen er det gjennomført en FEM analyse av den. FEM analysen av primærstrukturen er gjort i Ansys Mechanical Apdl 19. Løfterammen og selve løfteørene er analysert hver for seg. Kommandofilene for FEM analysen for løftekurven ved fire punkts løft, løft av gaffeltruck, løfteøre etter DNV 2.7-3, løfteøre etter 2.7-1 og



løfteøre etter NORSOK R-002 er lagt ved i vedlegg A, B, C, D og E. Det er benyttet BEAM 189 elementet i for alle bjelkene. Det er ikke tatt hensyn til støtbelastninger i Ansys.

Materialkonstanter som er benyttet i FEM beregningene i Ansys:

Elastisitetetsmodul: $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$

Poisson-tall i elastisk område: $\nu = 0,3$

Tetthet: $\rho = 7\,850\text{ kg/m}^3$

Materialkonstantene er hentet fra NS-EN 1993-1-1 (Eurokode3)

4.1.2 Opplagring og krefter ved løft fra løfteørene

Konstruksjonslasten fordeles som et jevnt overflatetrykk på de fem tverrgående bjelkene i bunnrammen se Figur 4-1-2. I følge DNV 2.7-1 appendiks C.1 for 4-punkts løft skal konteineren her løftekurven bare være opplagret i løftepunktet på toppen. Hvis modellen ikke da lar seg løse kan en sette på fjærelementer med en fjærkonstant på $k = 10\text{ N/mm}$ i hjørnene slik som det er gjort i figur 4-1-2-1. Opplagring for løftekurven ved løft fra de fire løftepunktene er vist i tabell 4.1.2.

Tabell 4.1.2: Opplagring for 4-punkt løft i henhold til DNV 2.7-1 tabell C-1 hvor x-aksen og y-aksen er byttet om. Hvor k er fjærkonstanten til fjærelementene som benyttes for opplagring.

Opplagring for løftekurven	x-trans	z-trans	y-trans	x-rot	y-rot	z-rot
Lifting point	fixed	fixed	fixed	free	free	free
Bottom corners	k =10 N/mm	k =10 N/mm	free	free	free	free

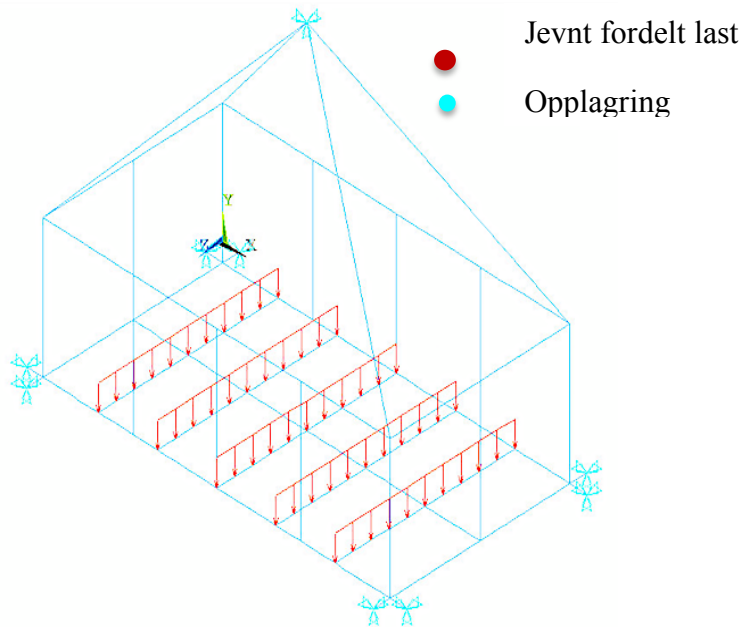
Lasten fordeles likt på alle tverrgående bærebjelkene i bunnen av løftekurven tilsvarende lastfordeling som vist i figur C-1 for firepunktsløft. Jevnt fordelt last på tverrgående bjelker:

$$q = \frac{179\text{ kN}}{5 \times 2000\text{ mm}} = 17,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$



Høyden fra senter av hjørnestolper og opp til løfte hodet:

$$h_{\text{løftehode}} = \sqrt{(2075\text{mm})^2 + (1075\text{mm})^2} = 2336\text{mm} \quad (1)$$



Figur 4-1-2-1: Opplagring og belastning på løftekurv i FEM analysen.

4.1.3 Opplagring og krefter ved løft av gaffeltruck

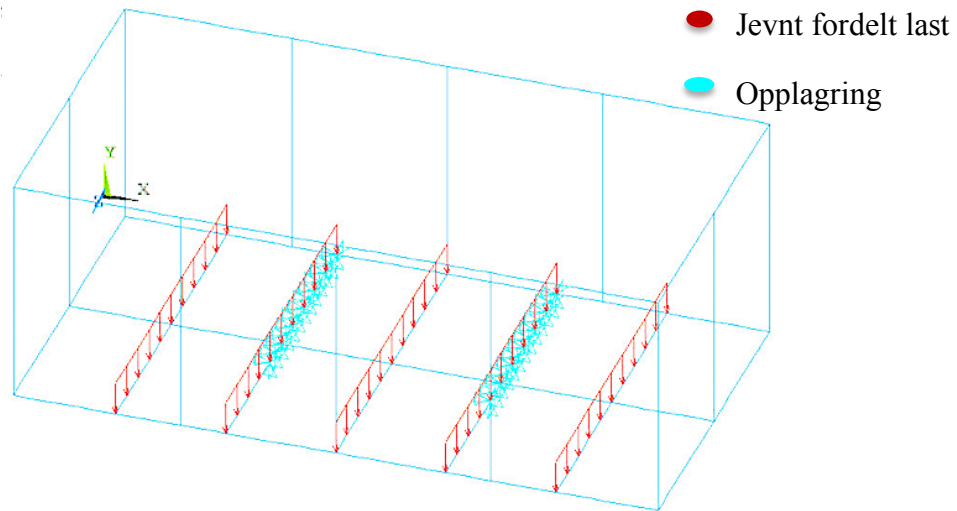
Ved løft av gaffeltruck er løftekurven belastningen:

$$F_F = 1,65 \times 7\,500\text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 121\,398,75\text{ N} = 121,4\text{ kN}$$

Den jevnt fordelte lasten ved løft av gaffeltruck:

$$q = \frac{121,4\text{ kN}}{5 \times 2000\text{ mm}} = 12,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

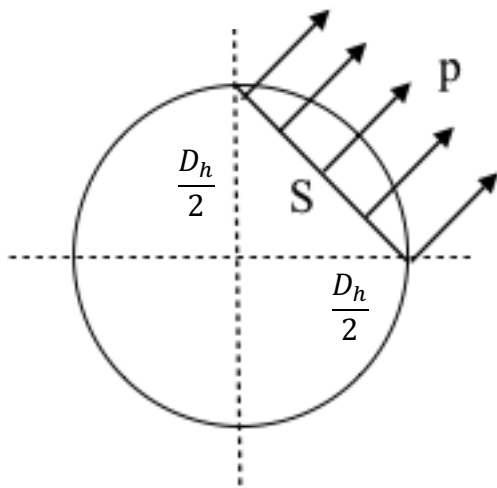
Standardlengden på gaffeltruckgaffler er 1,4 meter [kilde]. Løftekurven er opplagret i nodene i midten av gaffellommene som er kortere enn dette se figur 4-1-2-2.



Figur 4-1-2-2: Opplagringer i Ansys ved løft med gaffeltruck

4.1.4 Opplager og krefter for løfteører

Løfteørene analyseres for seg selv. Kraftene for å finne hullkantrykket blir fordelt som et overflatetrykk på det projiserte arealet i øverste kvadranten i samme retning som resultantkraften se figur 4-1-3-1 [6].



Lengden på diagonalen S er beregnet under:

$$S = \sqrt{\left(\frac{D_h}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_h}{2}\right)^2} = \frac{D_h}{\sqrt{2}}$$

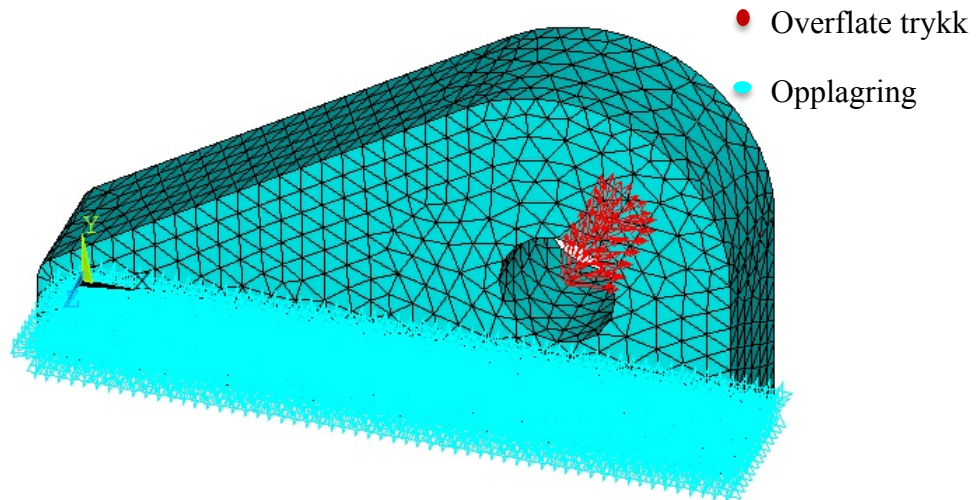
Overflatetrykket p :

$$p = \frac{RSF}{S \cdot t} = \frac{\sqrt{2} \cdot RSF}{D_h \cdot t} = \frac{\sqrt{2} \cdot 101 \text{ kN}}{23,5 \text{ mm} \cdot 27 \text{ mm}}$$

$$p = 225 \text{ N/mm}^2$$

Figur 4-1-3-1: Projisert areal for å finne hullkantrykk[kilde]

Løfteøret er opplagret på hele arealet på undersiden se figur 4-1-3-2.

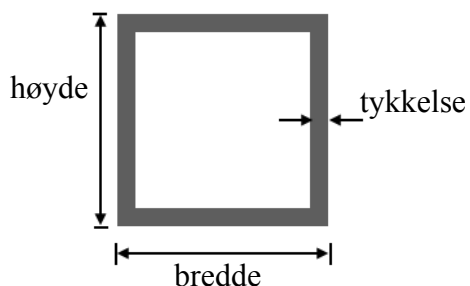


Figur 4-1-3-2: Løfteøre med opplagerbetingelser og mesh

4.2. Elementvalg

Det er benyttet BEAM 189 elementet i for alle bjelkene i løftekurven. Elementet for ståltauene er det benyttet fagverkstaven LINK 180 med tverrsnittsarealet $A = \pi \cdot (10\text{mm})^2$. COMBIN 14 elementet er benyttet for fjærer og for løfteørene er elementet SOLID 187 benyttet.

I Ansys ligger ikke standard hule rektangel bjelkeprofiler med avrundede hjørner inne. De tilnærmede rektangel hulprofilene uten radier får større tverrsnittsareal og annet arealmoment enn de har i virkeligheten. Tykkelsen på steg og flens se figur 4-2 har blitt redusert for å kompensere for manglende radier.



Oversikt over hule rektangel elementer i Ansys:

150 mm × 150 mm × 5,76 mm

150 mm × 100 mm × 5,61 mm

250 mm × 150 mm × 5,78 mm

Figur 4-2: Hul rektangel bjelkeprofil i Ansys

Elementstørrelsen er satt til 250 mm for bjelkene. Stålvaierne er kun et element hver. For å kunne tillate store deformasjoner i konstruksjonen er NLGEOM, ON.

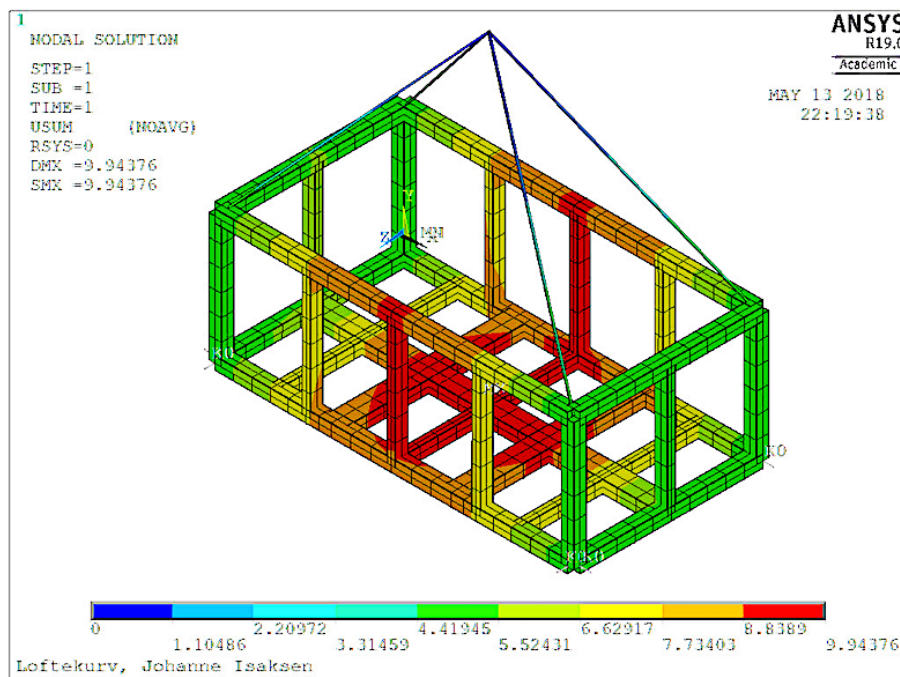


4.3. Sammenlikning mot håndberegninger

På grunn av forenklingene som er gjort i håndberegningene ligger spenningsbilde for løftekurven mye høyere i håndberegningene enn i FEM analysen kjørt i Ansys. I håndberegningene er alle bjelkene sett på som fritt opplagrede det gjør at det ikke blir overført noen momenter i håndberegningene. Det er gjort skjønnsmessig vurdering med tanke på å ivareta sikkerheten for last fordelingen for noen av bjelkene. I hånd beregningene ses alle de tverrgående bjelkene i bunnen som gjennomgående og det tas heller ikke hensyn til deformasjoner.

Den maksimale nedbøyningen i løftekurven beregnet i Ansys er tilnærmet 10 mm, se figur 4-3-1. Dette er lavere enn det som er tillatt etter DNV 2.7-1:

$$\delta = \frac{4000 \text{ mm}}{250} = 16 \text{ mm}$$

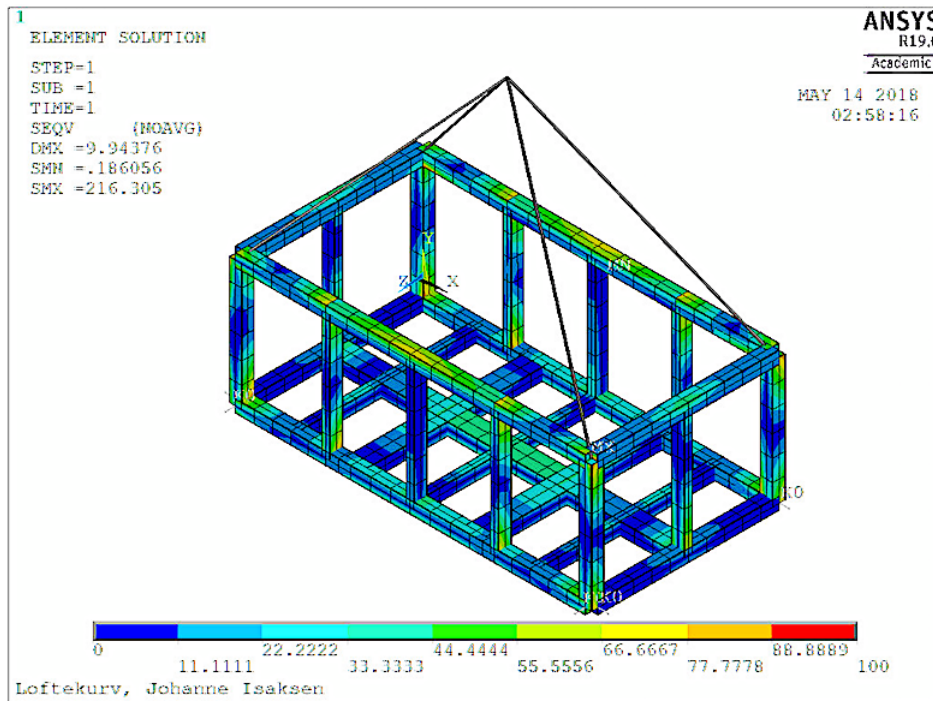


Figur 4-3-1: Nedbøyning i løftekurven ved løft oppgitt i millimeter

På oversiden av de langsgående topp bjelkene er det områder med høyere spenning på grunn av at her er bjelken utsatt for både trykk og bøyning, se figur 4-3-2.

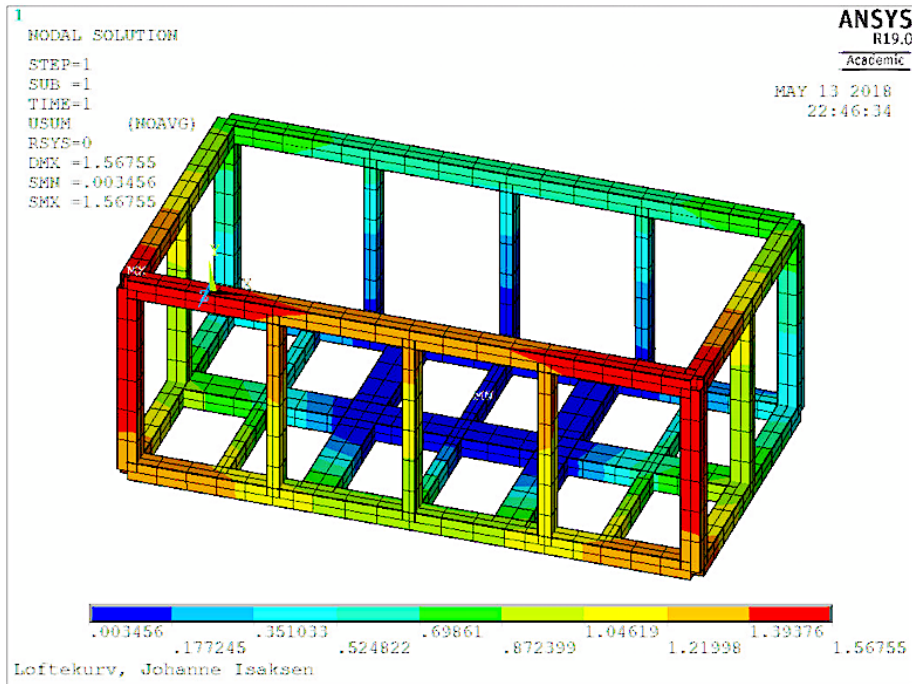


I håndberegningene er største opptredende bøyespenningen midt på den midtre tverrgående bærebjelken 81 MPa. Dette er litt høyere enn det som er beregnet i ansys se figur 4-3-2 som skyldes de generelle forenklinger som er gjort. Den langsgående midtre bærebjelken har en bøyespenning på 190 MPa. Det er vesentlig høyere enn det som er beregnet i Ansys se figur 4-3-2. Spenningen er likevel innenfor akseptabelt nivå. Dette forholdet bør det ses nærmere på, men tiden tillater ikke dette. De langsgående toppbjelkene har også vesentlig mye høyere spenning 182,5 MPa i håndberegningene enn i beregningene gjort i Ansys se figur 4-3-2.



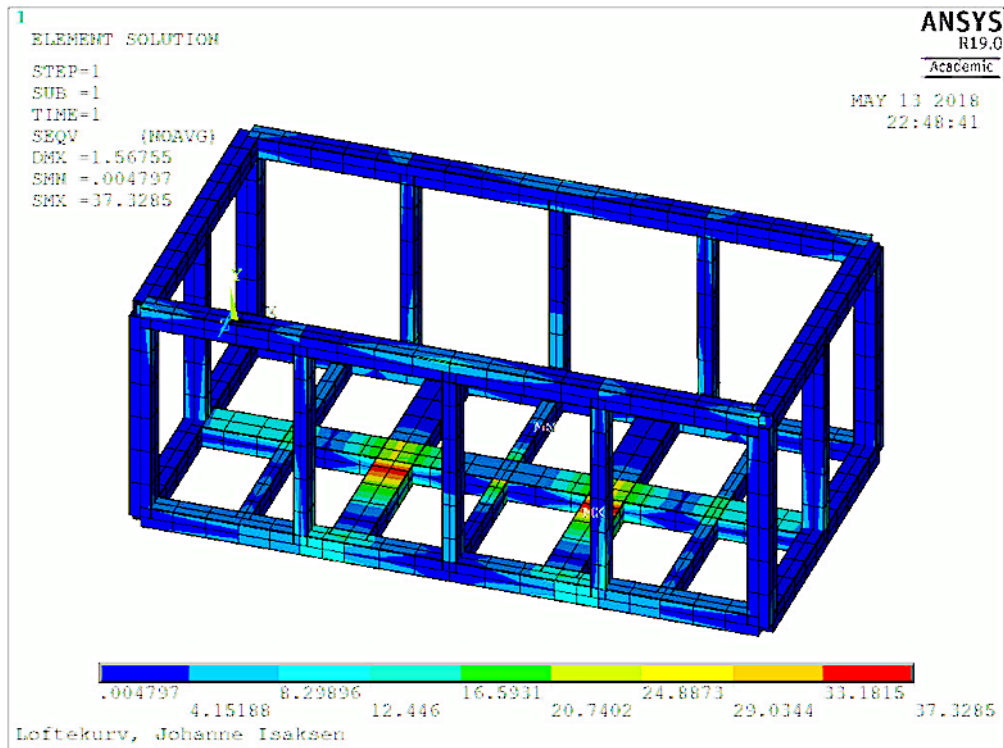
Figur 4-3-2: Figuren viser jevnførende spenning i løftekurven oppgitt i MPa, løfteskrevet er ikke inkludert i fargeskalaen.

Nedbøyningen i løftekurven ved løft av gaffeltruck er lavere enn ved løft fra løfteskrevet se figur 4-3-3. Dette skyldes at opplagringen ligger mere midt under og at lastfaktoren er 1,65 ved løft av gaffeltruck i stedet for 2,433 som den er for løft av løfteskrevet.



Figur 4-3-3: Nedbøyning ved løft av gaffeltruck i millimeter

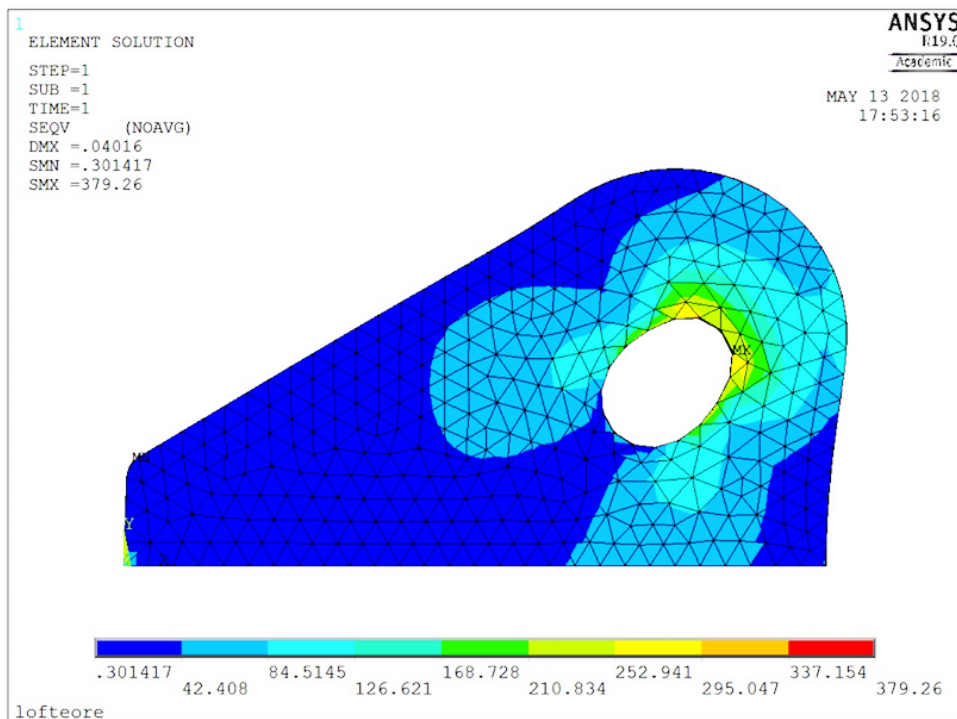
I håndberegningene er den jevnførende von Mises spenning 26,33 MPa midt på den langsgående midtre bærebjelken som tilnærmet det samme som beregnet i Ansys se figur 4-3-4. Den største spenningen i Ansys er der hvor gaffeltruck gaflene slutter og er 37,33 MPa. Den største opp tredende spenningen er mye lavere enn den tillatte spenningen.





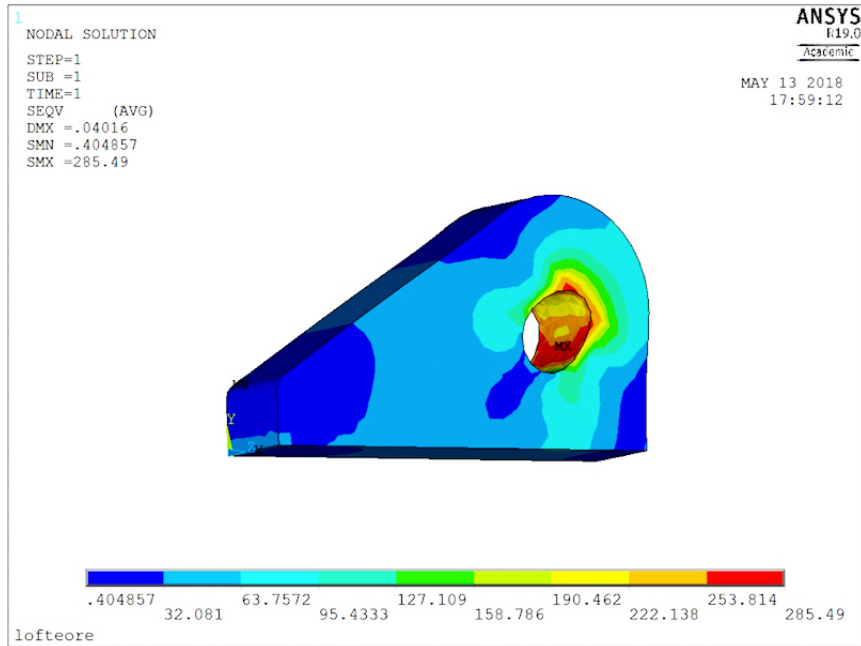
Figur 4-3-4: Jevnførende von Mises spenning i løftekurven ved løft av gaffeltruck oppgitt i MPa.

Hullkantrykket beregnet i håndberegningene i henhold til DNV 2.7-3 var 260,2 MPa. Fra figur 4-3-5 under kan en se at håndberegningene og ansys beregningene stemmer godt overens og ligger under tillatt spenning. Lokale spenningstopper som er funnet med FEM og som er høyere enn tillatt spenning, kan tillattes dersom de skyldes deformasjoner så lenge den tilhørende strukturen har kapasitet for videre fordele spenningene DNV.2.7-3 punkt 3.4.3.



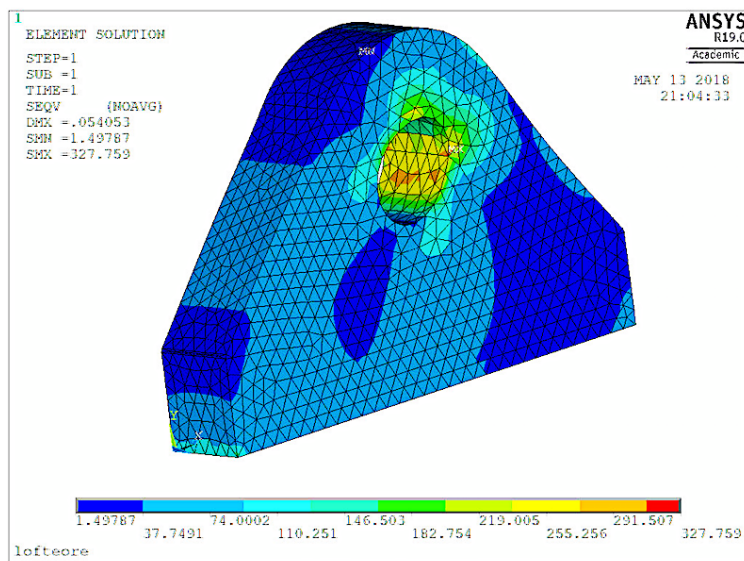
Figur 4-3-5: Hullkantrykk oppgitt i MPa i løfteøret beregnet etter DNV 2.7-3

I håndberegningene er hullkantrykket beregnet til 283,34 MPa etter formel oppgitt av DNV 2.7-3. Ansys beregningene er gjort etter en metode uten standard og største opptredende von Mises spenning ble 285,49 MPa, se figur 4-3-6. Beregningene i figur 4-3-6 er ikke like oppdelt i små elementer som i figur 4-3-7 og får derfor ikke med seg spenningskonsentrasjonene med veldig liten utstrekning.



Figur 4-3-6: Hullkantrykk oppgitt i MPa i løfteøret beregnet etter DNV 2.7-1

Kontaktspenningen for løfteøret som var anbefalt etter NORSOK R-002, var 210,13 MPa. I Ansys beregningene benyttes det ikke samme formler som benyttes etter standarden. Ansys for også med seg spenningskonsentrasjoner med svært liten utstrekning på grunn av at løfteøret er delt opp i veldig mange bitte små elementer se figur 4-3-7. Store deler av spenningsbildet i hullkanten øverst til høyre ligger mellom 150 MPa -250 MPa som er i samme størrelsesorden som håndberegningene.



Figur 4-3-7: Hullkantrykk oppgitt i MPa i løfteøret beregnet etter NORSOK R-002



5.1 Robusthet, vedlikehold og framstilling

5.1.1 Prototypetesting i henhold til DNV 2.7-3

Etter DNV 2.7-3 tabell 5.1 skal løftekurven som er i henhold til Class30 løft testes. Det skal bli utført en fire punkts løftetest. Testlasten skal være den samme som den dimensjonerende lasten F i henhold til DNV 2.7-3 tabell 5.2 og fordelingen av lasten skal være tilsvarende som den virkelige. Under testen burde løftekurven holdes i luften i 5 minutter med den samme vinkelen i løfteskrevet som ved dimensjoneringen DNV 2.7-3 punkt 5.2.1. I henhold til DNV 2.7-3 punkt 5.2.2 skal det etter testen visuelt inspiseres alle sveiser i primærstrukturen. Minimum 20 % av de mest spenningsutsatte sveisene skal også inspiseres med ikke destruktiv prøving (NDT) etter testen. Feil, mangler og permanente deformasjoner aksepteres ikke.

5.1.2 Inspeksjon av sveiser

Alle sveiser skal i henhold til DNV 2.7-3 punkt 4.4.1 bli undersøkt for sveisefeil med en ikke destruktiv test NDT. NDT skal utføres av kvalifisert personell og prosedyrer i henhold til DNVGL-CG-0051. Alle buttsveisene skal både visuelt inspiseres og utsettes for magnetpulverprøving. K-sveisene under løfteørene skal visuelt inspiseres og undersøkes med ultralyd. I henhold til DNV 2.7-3 tabell 8-1 skal visuell inspeksjon av sveiser utføres før det har gått 12 måneder siden sist gang. De andre NDT metodene skal utføres minimum en gang i løpet av 48 måneder. Hvis det har blitt gjort betydelige repprasjoner eller endringer i løftekurven skal det utføres ny løftetest, visuell inspeksjon og NDT.

5.2 Materialvalg

5.2.1 Materialvalg etter DNV 2.7-3

DNV 2.7-3 seksjon 3.2.1 sier at ved manglende oppgitt temperatur hvor enheten skal benyttes skal enhetens designes for en temperatur på -20°C . Minimum materialtykkelse for en løfteenhet med MGW større enn 1 tonn og mindre enn 25 tonn og som skal benyttes flere ganger er 6 mm for ytre rammeverk og 4 mm for resten av løftekurven DNV 2.7-3 seksjon 3.2.2. Stålet skal være i en kvalitet som er i samsvar med material kravene fra en anerkjent standard. I tillegg skal stålets kjemiske sammensetning, mekaniske egenskaper, varme egenskaper og sveisbarheten være tilfredsstillende for brukstid og under produksjon DNV 2.7-3 seksjon 3.2.3. Stålet som skal benyttes i primærstrukturen skal være testet med Charpy v-test etter en anerkjent standard som for eksempel DNVGL-OS-B101, ASTM A370.



Tabell:5.2.1

Material thickness, t , in mm	Impact test temp. in °C
$t \leq 6$	testing not required
$6 < t \leq 12$	$T_D + 10$
$12 < t \leq 25$	T_D
$25 < t \leq 50$	$T_D - 20$

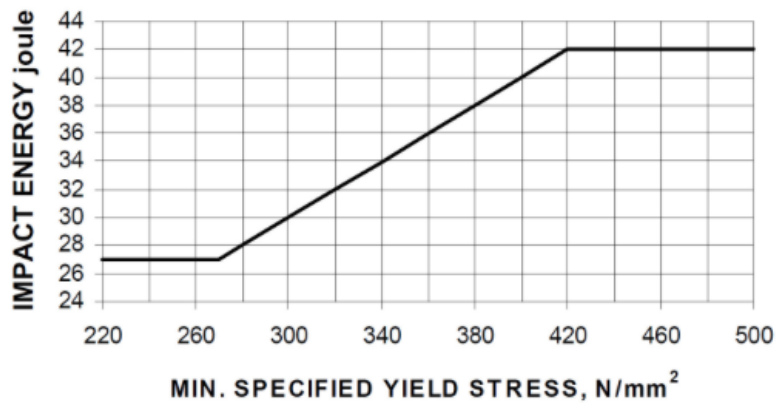


Figure 5-2-1 Slagseighet[]

Stålkvaliteten i bjelkene er valgt S355J2H. Stålkvalitet S355J2H vil si at det er hulprofiler i konstruksjonsstål som har en flytegrense på minimum 355 MPa som har minimum slagseighet på 27 J ved test temperatur på -20°C . Valgt stålkvalitet i løfteører er S355J2.

Løfte punkter skal være konstruert av spesialstål eller primærstål. Spesial stål er stål som har flytegrense på minimum 420 MPa og benyttes der hvor et brudd kan ha fatale konsekvenser. Plater utsatt for strekk belastning gjennom tykkelsen av platen skal være utført i stål kvalitet Z25 eller bedre DNV 2.7-3 punkt 3.2.4.

Stålkvalitet i forsterkningsplaten som skal være under løfteørene er valgt til S355J2.

Sjakler, kroker, ringer og wire skal være med sertifikater med full dokumentasjon av materialer og produksjon.

Generelt sett skal materialer som benyttes være med sertifikater.

5.2.2 Materialvalg etter DNV 2.7-1

De generelle kravene til materialer er de samme som i DNV 2.7-3 med krav om Charpy V-test. Det henvises til å benytte anerkjente standarder for konstruksjon av utstyr og materialer med sertifikater. Krav til sjakler etc som for DNV 2.7-3.



5.2.3 Materialvalg etter NORSOK R-002

De generelle kravene til materialer viser til å bruke anerkjente standarder og materialer med sertifikater. Krav om Charpy V-test tilsvarende DNV 2.7-3. For sjakler, løfteører etc har denne standarden mer konkrete krav og henvisninger enn DNV.

5.3 Overflatebehandling og korrosjonsbeskyttelse

Løftekurven skal benyttes offshore. Stålkonstruksjoner offshore er utsatt for korrosjon.

Korrosjon er nedbrytning av et metall og er en kjemisk eller elektrokjemisk prosess hvor positive ioner overflyttes fra metallgitteret til andre plasser i omgivelsene. Korrosjon som foregår i sjøvann går som regel mye raskere enn i luft da oksygenet tilføres som luft løst i vann og salt øker ledningsevnen. Korrosjon i vann foregår i to trinn. Trinn en er en anodisk reaksjon hvor metallet oksyderes til et oksyd idet den frigir elektroner. Det andre er en katodisk reaksjon hvor komponenter reduseres på grunn av opptak av elektroner. Det kan opptre flere ulike typer korrosjon på en gang som spenningskorrosjon, punkt korrosjon og galvanisk korrosjon. Galvanisk korrosjon kan opptre der hvor to metaller som har forskjellig edelhet er i direkte kontakt med hverandre og saltvann (elektrolytt). Da vil det edleste metallet opptre som anode og det andre som en katode. Punktkorrosjon er vanskelig å oppdage fordi den kan opptre i små hull i overflatebeskyttelsen. Spenningskorrosjon er sprekkdannelse som kan oppstå når korrosjonen av metallet i tillegg er utsatt for strekkspenninger eller fra indre spenninger i metallet.

Det er flere måter å beskytte løftekurven mot korrosjon. Korrosjonsvernet bør derfor kunne hindre selve ionestrømmen og være en offeranode i forhold til galvanisk korrosjon.

5.3.1 Overflatebehandling og korrosjonsbeskyttelse etter DNV 2.7-3 og DNV 2.7-1

Løfteinnretningen skal være konstruert for bruk i et offshore miljø. Det må derfor benyttes egnede materialer, korrosjonsbehandling og maling. Malingen skal ha egenskaper som at den sitter godt til underlaget, robust og utholdenhet. Stål overflater som skal males bør sandblåses til SA 2 ½ i samsvar med ISO 8501-1. Benyttet grunningen skal være basert på uorganisk zink, etyl, silikat eller tilsvarende DNV 2.7-3 punkt 3.2.4 og DNV punkt 4.4.13



5.3.2 Overflatebehandling etter NORSOK R-002

Valg av materialer og kombinasjoner av materialer som velges i løfteutstyr skal vurderes med tanke på risiko for hvor utsatt det er for korrosjon NORSOK R-002 punkt 5.24.1.

I henhold til NORSOK R-002 punkt 5.24.2 skal overflatebehandling og beskyttendebelegg for løfteinnretningen være i samsvar med NORSOK M-501 og/ eller ISO 12944-1.

I Appendiks A i NORSOK M-501 finnes det oversikt over overflatebehandlingssystemer som er egnet for forskjellige typer offshore konstruksjoner eller utstyr under ulike forhold. Det er valgt å benytte overflatebehandlingssystem nummer 1 som gjelder for utvendig behandling av utstyr, fartøy, rørføring og ventiler ved temperaturer mindre enn 120°C.

Overflatebehandlingssystem 1 skal være prekvalifiseringstestet etter ISO 20340.

Alle skarpe kanter, overganger og sveiser skal avrundes eller jevnes ut med sliping med en minimums radius på 2 mm før sandblåsing i henhold til NORSOK M-501 punkt 6.1.

Ståloverflater som skal males skal sandblåses i henhold til krav fra ISO 8501-1 til Sa 2 1/2. Ruheten etter sandblåserensingen kontrolleres etter krav i ISO 8503. Overflateprofilen skal være fin til medium G i henhold til ISO 8503-2.

Fargen til toppstrøket på løftekurven skal være i henhold til NORSOK M-501 appendiks B.

Det er flere forskjellige leverandører av maling som har flere godkjente overflatebehandlingssystemer som er prekvalifiserte etter NORSOK M-501 som for eksempel Teknos, International, Carboline og Jotun.

5.4 Merking

Løftekurven skal merkes på et godt synlig sted for at det skal være lett å lese for personer som står ved siden av den, DNV 2.7-3 punkt 6.1. Løftekurven skal merkes på minst to steder med MGW 7500 kg for løftekurven, Tare mass 1500 kg, pay load 6000 kg og operasjonell klasse classR30 etter DNV 2.7-3 i en kontrast farge i 50 mm skriftstørrelse i henhold til DNV 2.7-3 punkt 6.2.



Når løftekurven er sertifisert av DNV GL skal det festes en informasjonsplate og en inspeksjonsplate som er i henhold til krav etter DNV 2.7-3 punkt 6.4. Platene skal være laget av korrosjons motstandsdyktig materiale og festet slik at de ikke lett kan rives av på et godt synlig sted. Informasjonen på platene skal være permanent og være skrevet på engelsk i skriftstørrelse som er minimum 4 mm høy DNV 2.7-3 punkt 6.4.1. Benytter anbefalte formater for informasjonsplate som vist i DNV 2.7-3 figur 6-1 og inspeksjonsplate som vist i DNV 2.7-3 figur 6-2 som kan benyttes når løftekurven er sertifisert av DNV GL se figur 5-4-1 og figur 5-4-2.

PORTABLE OFFSHORE UNIT		
DNV 2.7-3		
Type of POU and Operational Class		
Name of manufacturer		
Month/year of manufacture		
Manufacturer's serial number		
Owner's identification number		
Maximum gross weight	kg at	sling angle to vertical
Tare mass	kg	°
Pay load	kg	
Design sling angle(s)		
Design temperature		°
Operational restrictions		°C
DNV GL Certificate No. and stamp		

Figur 5-4-1: Anbefalt format for informasjons plate når løftekurven er sertifisert av DNV GL

INSPECTION DATA		
PORTABLE OFFSHORE UNIT		
DNV 2.7-3		
DNV Certificate number		
Owner's identification number		
Owner's name		
Owner's international telephone no(s)		
Date of last inspection		

Figur 5-4-2: Anbefalt format for inspeksjons plate når løftekurven er sertifisert av DNV GL



6. DISKUSJON OG PROSESSEVALUERING

Jeg begynte ikke å arbeide med masteroppgaven før i februar. På grunn av eksamener i andre fag kom jeg altfor sent i gang. Det var uheldig.

Å forstå standardene tok lang tid. Det var mye å sette seg inn i og ikke lett å forstå hva de mente. Man må vende seg til måten de uttrykker seg på.

Det å gjøre forenklinger er ikke en selvsagt sak. Man må fordele vekten på konstruksjonen på en slik måte at det er mulig å regne på det. Konstruksjonen må «tas fra hverandre» til kjente elementer som kan beregnes for deretter å sette det hele sammen igjen. Her var det lett å gjøre altfor konservative vurderinger.

Ansys programmering er følsom for små feil, som ikke var lett å oppdage. Dette tok det lang tid å oppdage. Det var stor forskjell i det å jobbe i 3-D og det å jobbe i 2-D. Det var få personer å spørre om hjelp. Har hatt kurs tidligere i FEM beregninger i Ansys men ikke forstått tankegangen bak før nå rett før levering. Studentversjonen Ansys mechanical apdl 19.0 filene kan ikke leses av den versjonen som benyttes på NMBU.

Løftekurven ble redesignet flere ganger. Gaffellommer var en utfordring. Jeg måtte ta hensyn til jevn fordeling av lasten, profilhøyder, osv.

Det var lett å miste tråden, mange forskjellige beregninger og flere standarder å ta hensyn til. Man kan lett å gå litt surr.

Det benyttes uttrykk som «deflektorplate for innfesting av gaffellommer under bunnrammen», hva var det?

Skjærareal over gaffellommer ved løft av gaffeltruck, her var det vanskelig å forstå hva de mente. Burde det være satt på plater over åpningene?

Under design betingelser i DNV GL 2.7-3 punkt 3.2.4 for løftepunkt kreves det at løftepunktene skal designes av spesial eller primær stål., Her henvises det til DNVGL-OS-C101 seksjon 4 tabell C1. Denne henvisningen er sannsynligvis til en eldre versjon da denne tabellen ikke finnes lenger i den nåværende utgaven av standarden.

Det var veldig lite konkret om hvordan lasten skulle videre fordeles i konstruksjonen. Bare krav om jevnt fordelt last. Det å prøve å få det så likt som den virkelige belastningen skal være og kun på de kritiske delene var litt uklart. Standarden er veldig detaljert om hvilke



lastfaktorer som skulle benyttes. Sikkerheten i beregningene er gjort etter standarden ved å øke lasten med en faktoren som var 85% av lasten i stedet for å legge den i tillatt spenning. Løftekurven jeg beregnet var etter klasse R30 som er lavere klasse enn det som tillates etter NORSOK. Denne klassen blir utsatt for færre tester (ikke 2 punkt diagonal test) og lavere designfaktor enn den klassen som er tillatt etter NORSOK.

Løfteskrev og løfteører er lett å beregne med mange tips og konkrete metoder. De forskjellige standardene brukte forskjellige formler for å finne hullkantrykk, alle kom veldig likt ut som beregningene gjort i ansys. DNV 2.7-1 og NORSOK endte opp med samme sjakkel selv om DNV 2.7-1 hadde en høyere minimums arbeidsbelastning. NORSOK har også konkrete anbefalinger på hvordan løfteøret skal se ut. Her er det større påslag på kraften når det gjelder løfteskrev og løfteører enn resten av konstruksjonen.

7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Løftekurven er designet etter DNV GL 2.7-3. Det er valgt design, materiale, profiltyper og vurdert korrosjonsbehandling. Det er tatt standpunkt til og gjort styrkeberegninger, sveiseberegninger, støtbelastninger, krav om prøvelaster og gjort utmattingsberegninger etter DNV RP C203. Løfteører og sjakler er dimensjonert etter DNV GL 2.7-3, DNV GL 2.7-1 og NORSOK R-002. Det er også valgt løfteskrev med tilbehør. Det er også funnet fordeler og ulemper med standardene DNV GL 2.7-3, DNV GL 2.7-1 og NORSOK R-002. På grunnlag av erfaringene med å studere og dimensjonere etter standardene er det kommet med noen generelle anbefalinger.

7.1 RESULTATER OG ANBEFALINGER

Løfteørene er beregnet etter alle de tre standardene. Løfteøret som er i henhold til NORSOK R-002 trenger en ikke vurdere hvor høyt det skal være eller om det skal benyttes med skinn skiver. NORSOK R-002 anbefaler at det skal benyttes standard løfteører. Løfteøret er da ferdig med mål og hvilken type løfteøre de anbefaler ut i fra en gitt belastning. NORSOK R-002 kommer med konkrete anbefalinger når det gjelder beregninger av bestanddelene i løfteskrev og en standard for løfteørene. Konkrete anbefalinger gjør det lettere å velge, uten å måtte ta egne standpunkt og vurderinger. Det å velge en ferdig godkjent løsning gjør hele prosessen enklere og antakelig billigere. NORSOK har også egne forhåndsgodkjente



overflatebehandlingssystemer og er veldig detaljerte beskrivelser om beregning og valg av løfteskrev og løfteører.

Standarden DNV 2.7-1 er litt mindre konkret i sine anbefalinger enn NORSOK R-002. Den har ikke en nøyaktig beskrivelse av hvordan løfteøret skal se ut med alle mål som NORSOK R-002. Den har en større Lastfaktor se beregninger for sjakkelen enn NORSOK R-002. I stedet har den beskrivelser som hvordan opplagringsbetingelsene skal settes i Ansys.

DNV 2.7-3 er den letteste å lese på grunn av at den er mindre. Denne standarden er det lettere å forstå helheten i. Den er ikke like detalj fokusert og henviser ofte til DNV 2.7-1 for utdypelse

7.2 Videre arbeid

Designe ferdig løftekurven etter krav gitt i DNV 2.7-1. Flyttet gaffellommebjelkene slik at de hadde 1500 mm mellom hvert senter. Satt på forsterkningsplater over gaffellommeåpningene. Sett på om løftekurven ville tålt en lastfaktor på 2,5 og tatt med støtbelastninger i henhold til 2.7-1. Kjørt en egen FEM analyse for 2 punkt diagonalløftetest som kreves etter DNV.

Designe løftekurven etter klasse R60 som vil si signifikant bølgehøyde på 6 meter ved løft mellom fartøy og plattform. Da vil løftekurven være godkjent for å benyttes på Norsk kontinental sokkel. Forskjellene mellom krav og anbefalingene i standardene burde komme tydeligere frem siden de da vil være mer direkte sammenlignbare.

Ansys beregningene viser at konstruksjonen er konservativt beregnet. Nedbøyningen er mye lavere enn det DNV 2.7-1 krever. Se på om det eventuelt kan benyttes mindre bjelker i konstruksjonen.

Beregne en ferdig en Løftekurv beregnet etter NORSOK R-002

Gjøre flere utmattingsberegninger på løftekurven.

Tegne løftekurven i Solidworks, lage konstruksjonstegninger og sette opp en kostnadskalkyle.



8. LITTERATURREFERANSER

1. <http://www.ptil.no/innretningsforskriften/category385.html#p3>
2. <http://www.ptil.no/fakta-om-regelverket/category699.html>
3. http://www.certex.no/no/produkter/kroker-sjakler/sjakler/crosby-sjakk-g-2130a-h-mmutterbolt_n76340
4. http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/_uplji_profil_i_kvadratnog_pravougao_nog_i_kru_nog_popre_nog_preseka_1417425947610.pdf
5. <https://snl.no/korrosjon>
6. Ansys øving 12 for Ekstrabakett
https://nmbu.instructure.com/courses/789/files/38238?module_item_id=6070
7. NORSOK N-501 Surface preparation and protective coating
8. DNV-OS-B101 Metallic materials
9. DNV-OS-C101 Design of offshore steel structures
10. NORSOK R-002:2017 Lifting equipment
11. DNV GL 2.7-3 Portable offshore units
12. DNV GL 2.7-1 Offshore containers

9. VEDLEGG

A. Ansys koder for løftekurv



Vedlegg A

Ansys koder for løftekurv

```
!-----  
!Ansys Script for Loftekurv  
!-----  
!Header:  
Finish  
/clear,all  
/clear,start  
/title,Loftekurv, Johanne Isaksen  
!-----  
!      Data input lag noder for fjur  
!-----  
/prep7  
! loftekurvens mål 4150mm*2150mm*1500mm(1730mm)  
!hoyden fra toppen til loftepunkt  
hl=sqrt((2075)**2+(1075)**2)  
!hoyden til loftepunkt fra laveste punkt  
hlp=hl+1500  
! Staaltau med radius 10 mm sitt areal  
A=3.141592654*10*10  
! beregning av jevnt fordelt last  
Vekt=1.5  
Last =6  
mgw=Last+Vekt  
! design faktor  
df=1.4+0.4*sqrt(50/mgw)  
g=9.81  
kraft=df*mgw*g*1000  
q=kraft/(5*2000)  
ET,1,BEAM189  
ET,2,LINK180  
KEYOPT,2,2,1  
R,2,A,,0  
!Opplagring etter DNV 2.7.1.  
!Fjaer demper element  
ET,3,COMBIN14  
R,3,10,,,  
!Matriale 1(konstruksjonsstøl), benyttet pø bjelker  
MP,EX,1,210000  
MP,PRXY,1,0.3  
!MP,DENS1,7850E-9  
!-----  
!      Variabels  
!-----  
!Dimesjoner for profilene(SECNUM)  
SECTYPE, 2, BEAM, HREC, SQUER150x150x6, ,  
SECADATA, 150, 150, 5.76, 5.76, 5.76, 5.76  
SECTYPE, 3, BEAM, HREC, SQUER100x100x4, ,  
SECADATA, 100, 100, 3.8, 3.8, 3.8, 3.8  
SECTYPE, 4, BEAM, HREC, RECTANGEL100x150x6, ,  
SECADATA, 100, 150, 5.61, 5.61, 5.61, 5.61  
SECTYPE, 5, BEAM, HREC, RECTANGEL250x150x6, ,  
SECADATA, 250, 150, 5.78, 5.78, 5.78, 5.78
```



```
!-----  
!      GEOMETRY  
!-----  
/prep7  
! keypoints for loftekurv  
! nedre plan  
K,1,200,0,200  
K,2,859,0,200  
K,3,1275,0,200  
K,4,1567,0,200  
K,5,2275,0,200  
K,6,2983,0,200  
K,7,3275,0,200  
K,8,3691,0,200  
K,9,4350,0,200  
K,10,4350,0,1275  
K,11,4350,0,2350  
K,12,3691,0,2350  
K,13,3275,0,2350  
K,14,2983,0,2350  
K,15,2275,0,2350  
K,16,1567,0,2350  
K,17,1275,0,2350  
K,18,859,0,2350  
K,19,200,0,2350  
K,20,200,0,1275  
K,21,859,0,1275  
K,22,1567,0,1275  
K,23,2275,0,1275  
K,24,2983,0,1275  
K,25,3691,0,1275  
!topp plan  
K,26,200,1500,200  
K,27,1275,1500,200  
K,28,2275,1500,200  
K,29,3275,1500,200  
K,30,4350,1500,200  
K,31,4350,1500,1275  
K,32,4350,1500,2350  
K,33,3275,1500,2350  
K,34,2275,1500,2350  
K,35,1275,1500,2350  
K,36,200,1500,2350  
K,37,200,1500,1275  
!loftepunkt  
K,38,2275,hlp,1275  
!Knutepunkt og linjer for  opplagringer/fjaerer  
K,39,0,0,200  
K,40,200,0,0  
K,41,4350,0,0  
K,42,4550,0,200  
K,43,4550,0,2350  
K,44,4350,0,2550  
K,45,200,0,2550  
K,46,0,0,2350  
!linjer  
!linjer for nedre plan  
*DO,x,1,19
```



```
L,x,x+1
*ENDDO
L,20,1
!linjer for topplan
*DO,x,26,36
L,x,x+1
*ENDDO
L,37,26
!linjer for hjornestolper
L,1,26
L,9,30
L,11,32
L,19,36
!linjer for vertikale stottestolper
L,3,27
L,5,28
L,7,29
L,13,33
L,15,34
L,17,35
L,10,31
L,20,37
! linjer for tverrgaaende bunnbjelker
L,2,21
L,21,18
L,5,23
L,23,15
L,8,25
L,25,12
! linjer for langsgaaende midtrebjelke
*DO,x,20,24
L,x,x+1
*ENDDO
L,25,10
!forcklift pockets
L,4,22
L,22,16
L,6,24
L,24,14
!linjer for lofteskrev
L,26,38
L,30,38
L,32,38
L,36,38
!Linjer for fjaerer
L,39,1
L,42,9
L,43,11
L,46,19
L,40,1
L,41,9
L,44,11
L,45,19
!Guide keypoints for bjelkene
K,100,0,0,1E8
K,101,0,1E8,0
K,102,1E8,0,0
!-----
```



```
!      Mesh
!-----
/prep7
ESIZE,250
! Horisontale bunn bjelker
LSEL,S,,,1,20
LATT,1,,1,,101,,2
LMESH,all
LSEL,S,,,21,32
LATT,1,,1,,101,,2
LMESH,all
!Langsgaaende midtbjelke
LSEL,S,,,51,56
LATT,1,,1,,101,,5
LMESH,all
!Hjornestolper
LSEL,S,,,33,36
LATT,1,,1,,100,,2
LMESH,all
!Stolper
LSEL,S,,,37,42
LATT,1,,1,,100,,4
LMESH,all
LSEL,S,,,43,44
LATT,1,,1,,102,,4
LMESH,all
!Tverrgaaende bjelker
LSEL,S,,,45,50
LATT,1,,1,,101,,4
LMESH,all
!Gaffel lommer
LSEL,S,,,57,60
LATT,1,,1,,101,,5
LMESH,all
!Lofteskrev
LSEL,S,,,61,64
LESIZE,all,,,1
!LSEL,S,,,61,64
LATT,1,2,2
LMESH,all
!Elementer for fjaerer
LSEL,S,,,69,72
LATT,1,3,3
NUMMREG,all
LMESH,all
LSEL,S,,,65,68
LATT,1,3,3
NUMMREG,all
LMESH,all
/ESHAPE,1
EPLOT
ALLSEL
!-----
!      DOF
!-----
/solu
D,746,UX,0,,,,UY,UZ
D,747,UX,0,,,,UY,UZ
```



```
D,748,UX,0,,,,UY,UZ
D,749,UX,0,,,,UY,UZ
D,750,UX,0,,,,UY,UZ
D,751,UX,0,,,,UY,UZ
D,752,UX,0,,,,UY,UZ
D,753,UX,0,,,,UY,UZ
D,754,UX,0,,,,UY,UZ
ESEL,S,,,207,236
SFBEAM,all,1,PRES,q
ESEL,S,,,237,256
SFBEAM,all,1,PRES,q
ALLSEL,all
EPlot
```

```
!-----
!      Solver Settings
!-----
/solu
ANTYPE,0
NLGEOM,ON
solve
!-----
!      Results
!-----
/POST1
PLESOL,S,EQV,0,1,0
!Plotter global deformasjon
PLESOL,U,SUM
!Von Misesspenning i bjelker
!ALLSEL
!PLESOL,S,EQV,0,1,0
```

Ansyes koder for løftekurv løftet av gaffeltruck

```
!-----
!Ansys Script for Loftekurv
!-----
!Header:
Finish
/clear,all
/clear,start
/title,Loftekurv, Johanne Isaksen
!-----
!      Data input lag noder for fjur
!-----
/prep7
! loftekurvens mål 4150mm*2150mm*1500mm(1650mm)
Vekt=1.5
Last =6
mgw=Last+Vekt
g=9.81
kraft=1.65*mgw*g*1000
q=kraft/(5*2000)
ET,1,BEAM189
!Matriale 1(konstruksjonsstol), benyttet pø bjelker
MP,EX,1,210000
MP,PRXY,1,0.3
MP,DENS1,7850E-9
```




```
!-----  
!      Variabels  
!-----  
!Dimesjoner for profilene(SECNUM)  
SECTYPE, 2, BEAM, HREC, SQUER150x150x6, ,  
SECADATA, 150, 150, 5.76, 5.76, 5.76, 5.76  
SECTYPE, 3, BEAM, HREC, SQUER100x100x4, ,  
SECADATA, 100, 100, 3.8, 3.8, 3.8, 3.8  
SECTYPE, 4, BEAM, HREC, RECTANGEL100x150x6, ,  
SECADATA, 100, 150, 5.61, 5.61, 5.61, 5.61  
SECTYPE, 5, BEAM, HREC, RECTANGEL250x150x6, ,  
SECADATA, 250, 150, 5.78, 5.78, 5.78, 5.78  
!-----  
!      GEOMETRY  
!-----  
/prep7  
! keypoints for loftekurv  
! nedre plan  
K,1,200,0,200  
K,2,859,0,200  
K,3,1275,0,200  
K,4,1567,0,200  
K,5,2275,0,200  
K,6,2983,0,200  
K,7,3275,0,200  
K,8,3691,0,200  
K,9,4350,0,200  
K,10,4350,0,1275  
K,11,4350,0,2350  
K,12,3691,0,2350  
K,13,3275,0,2350  
K,14,2983,0,2350  
K,15,2275,0,2350  
K,16,1567,0,2350  
K,17,1275,0,2350  
K,18,859,0,2350  
K,19,200,0,2350  
K,20,200,0,1275  
K,21,859,0,1275  
K,22,1567,0,1275  
K,23,2275,0,1275  
K,24,2983,0,1275  
K,25,3691,0,1275  
!topp plan  
K,26,200,1500,200  
K,27,1275,1500,200  
K,28,2275,1500,200  
K,29,3275,1500,200  
K,30,4350,1500,200  
K,31,4350,1500,1275  
K,32,4350,1500,2350  
K,33,3275,1500,2350  
K,34,2275,1500,2350  
K,35,1275,1500,2350  
K,36,200,1500,2350  
K,37,200,1500,1275  
!linjer  
!linjer for nedre plan
```



```
*DO,x,1,19
L,x,x+1
*ENDDO
L,20,1
!linjer for topplan
*DO,x,26,36
L,x,x+1
*ENDDO
L,37,26
!linjer for hjornestolper
L,1,26
L,9,30
L,11,32
L,19,36
!linjer for vertikale stottestolper
L,3,27
L,5,28
L,7,29
L,13,33
L,15,34
L,17,35
L,10,31
L,20,37
! linjer for tverrgaaende bunnbjelker
L,2,21
L,21,18
L,5,23
L,23,15
L,8,25
L,25,12
! linjer for langsgaaende midtrebjelke
*DO,x,20,24
L,x,x+1
*ENDDO
L,25,10
!forcklift pockets
L,4,22
L,22,16
L,6,24
L,24,14
!Guide keypoints for bjelkene
K,100,0,0,1E8
K,101,0,1E8,0
K,102,1E8,0,0
!-----
!      Mesh
!-----
/prep7
ESIZE,250
! Horisontale bunn bjelker
LSEL,S,,,1,20
LATT,1,,1,,101,,2
LMESH,all
LSEL,S,,,21,32
LATT,1,,1,,101,,2
LMESH,all
!Langsgaaende midtbjelke
LSEL,S,,,51,56
```



```
LATT,1,,1,,101,,5
LMESH,all
!Hjornestolper
LSEL,S,,,33,36
LATT,1,,1,,100,,2
LMESH,all
!Stolper
LSEL,S,,,37,42
LATT,1,,1,,100,,4
LMESH,all
LSEL,S,,,43,44
LATT,1,,1,,102,,4
LMESH,all
!Tverrgaaende bjelker
LSEL,S,,,45,50
LATT,1,,1,,101,,4
LMESH,all
!Gaffel lommer
LSEL,S,,,57,60
LATT,1,,1,,101,,5
LMESH,all
NUMMREG,all
LMESH,all
/ESHAPE,1
EPLOT
ALLSEL
!-----
!      DOF
!-----
/solu
D,17,UX,0,,,,UY,UZ
D,358,UX,0,,,,UY,UZ
D,690,UX,0,,,,UY,UZ
D,691,UX,0,,,,UY,UZ
D,692,UX,0,,,,UY,UZ
D,693,UX,0,,,,UY,UZ
D,694,UX,0,,,,UY,UZ
D,695,UX,0,,,,UY,UZ
D,696,UX,0,,,,UY,UZ
D,697,UX,0,,,,UY,UZ
D,698,UX,0,,,,UY,UZ
D,704,UX,0,,,,UY,UZ
D,705,UX,0,,,,UY,UZ
D,32,UX,0,,,,UY,UZ
D,376,UX,0,,,,UY,UZ
D,718,UX,0,,,,UY,UZ
D,719,UX,0,,,,UY,UZ
D,720,UX,0,,,,UY,UZ
D,721,UX,0,,,,UY,UZ
D,722,UX,0,,,,UY,UZ
D,723,UX,0,,,,UY,UZ
D,724,UX,0,,,,UY,UZ
D,725,UX,0,,,,UY,UZ
D,726,UX,0,,,,UY,UZ
D,732,UX,0,,,,UY,UZ
D,733,UX,0,,,,UY,UZ
ESEL,S,,,207,248
SFBEAM,all,1,PRES,q
```



```
ESEL,S,,,249,268
SFBEAM,all,1,PRES,q
ALLSEL,all
EPLOT
!-----
!      Solver Settings
!-----
/solu
ANTYPE,0
NLGEOM,ON
solve
!-----
!      Results
!-----
/POST1
PLESOL,S,EQV,0,1,0
!Plotter global deformasjon
PLESOL,U,SUM
!Von Misesspenning i bjelker
!ALLSEL
!PLESOL,S,EQV,0,1,0
```

Ansyes koder for løfteøret beregnet etter 2.7-3

```
Finish
/clear,all
/title,lofteore
!-----
!      Data input
!-----
/prep7
Dhull=23.5
tykkelse=27
g=9.81
Vekt=1.5
Last =6
MGW=Last+Vekt
DF=1.4+0.4*sqrt(50/MGW)
Fluft=DF*MGW*1000*g
cos45=sqrt(2)/2
SKL=1.33
PL=0.25
RSF=1.2*SKL*PL*Fluft/(cos45)
!p=sqrt(2)*RSF/(Dhull*tykkelse)
p=RSF/(*Dhull*tykkelse)
ET,1,solid187
MP,EX,1,210000
MP,PRXY,1,0.3
!-----
!      Geometry
!-----
/prep7
K,1,0,0,0
K,2,140,0,0
K,3,140,105,0
K,4,0,20,0
*DO,x,1,3
```



```
L, x, x+1
*ENDDO
L, 4, 1
LFILLIT, 2, 3, 35, ,
LFILLIT, 3, 4, 6, ,
AL, all
CYL4, 105, 35, 11.75
ASBA, 1, 2
VOFFST, 3, 27, ,
!-----
!      MESH
!-----
AESIZE, ALL, 5
VMESH, all
!-----
!      DOF
!-----
ASEL, S, loc, y, 0
APLOT
DA, all, all,
ALLSEL, ALL
ASEL, , , , 10
SFA, ALL, 1, PRES, p
ASEL, , , , 9, 10
SFA, ALL, 1, PRES, p
ALLSEL
!-----
!      Solver settings
!-----
/solu
ANTYPE, STATIC
solve
!-----
!      Results
!-----
/POST1
PLESOL, S, EQV, 0, 1.0
```

Ansyes koder for løfteøret beregnet etter 2.7-1Finish

```
/clear, all
/title, lofteore
!-----
!      Data input
!-----
/prep7
Dhull=26
tykkelse=28
g=9.81
Vekt=1.5
Last =6
R=Last+Vekt
cos45=sqrt(2)/2
RSL=R*g*1000/(cos45)
p=sqrt(2)*RSL/(Dhull*tykkelse)
ET, 1, solid187
MP, EX, 1, 210000
MP, PRXY, 1, 0.3
```



```
!-----  
!      Geometry  
!-----  
/prep7  
K,1,0,0,0  
K,2,140,0,0  
K,3,140,105,0  
K,4,0,15,0  
*DO,x,1,3  
L,x,x+1  
*ENDDO  
L,4,1  
LFILLIT,2,3,35,,  
LFILLIT,3,4,5,,  
AL,all  
CYL4,105,35,13  
ASBA,1,2  
VOFFST,3,28,,  
!-----  
!      MESH  
!-----  
AESIZE,ALL,5  
VMESH,all  
!-----  
!      DOF  
!-----  
ASEL,S,loc,y,0  
APLOT  
DA,all,all,  
ALLSEL,ALL  
ASEL,,,,10  
SFA,ALL,1,PRES,p  
ALLSEL  
!-----  
!      Solver settings  
!-----  
/solu  
ANTYPE,STATIC  
solve  
!-----  
!      Results  
!-----  
/POST1  
PLESOL,S,EQV,0,1.0
```

Ansys koder for løfteøret beregnet etter NORSOK R-002Finish

```
/clear,all  
/title,lofteore  
!-----  
!      Data input  
!-----  
/prep7  
Dhull=28  
tykkelse=30  
g=9.81  
Vekt=1.5  
Last =6
```



```
W=Last+Vekt
Wcf=1.5
WLL=W*Wcf
DAF=1.09+0.41*sqrt(50/WLL)
cos45=sqrt(2)/2
SKL=1.25
Wcog=1
DF=1.68
PLP=(WLL*1000*g*Wcog*SKL*DAF)/4
Pp=PLP*DF/(cos45)
p=Pp/(Dhull*tykkelse)
ET,1,solid187
MP,EX,1,210000
MP,PRXY,1,0.3
MP,DENS,1,7850e-9
!-----
!      Geometry
!-----
/prep7
K,1,0,0,0
K,2,160,0,0
K,3,160,30,0
K,4,80,130,0
K,5,0,30,0
*DO,x,1,4
L,x,x+1
*ENDDO
L,5,1
LFILLIT,2,3,2,,
LFILLIT,3,4,38,,
LFILLIT,4,5,2,,
AL,all
CYL4,80,65,14
ASBA,1,2
VOFFST,3,30,,
!-----
!      MESH
!-----
AESIZE,ALL,5
VMESH,all
!-----
!      DOF
!-----
ASEL,S,loc,y,0
APLOT
DA,all,all,
ALLSEL,ALL
ASEL,,,,12
SFA,ALL,1,PRES,p
ALLSEL
!-----
!      Solver settings
!-----
/solu
ANTYPE,STATIC
solve
!-----
!      Results
```



!-----
/POST1
PLESOL,S,EQV,0,1.0



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway