



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin

ING3039

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2018 20:20	Termin:	2018 VÅR
Sluttdato:	09-05-2018 12:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3039 1 PRO-1 2018 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Navn:	Ole Kristian Lund
Kandidatnr.:	23
HVL-id:	138846@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Opphenting og sjøsikring av betongmadrasser		
Tro- og loverklæring *:	Ja	Inneholder besvarelsen konfidensiell materiale?:	Nei
Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *:	Ja		

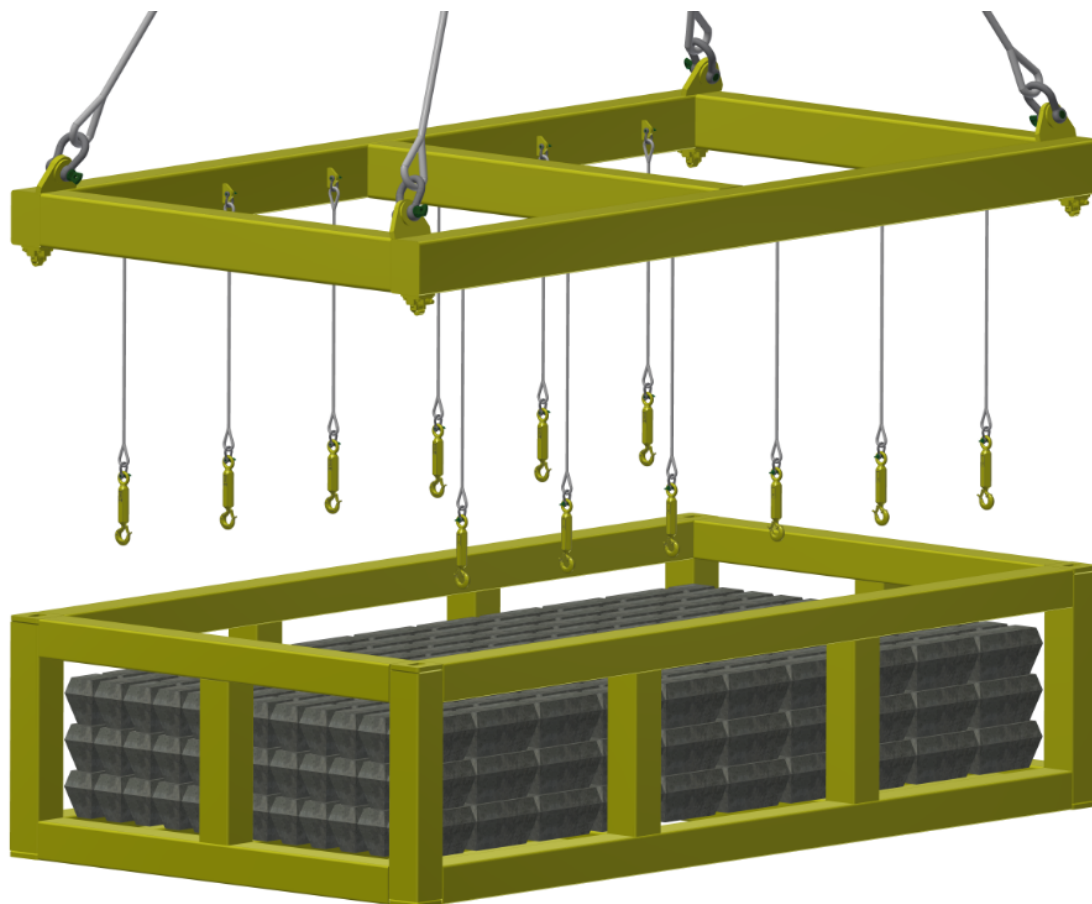
Gruppe

Gruppenavn:	Opphenting og sjøsikring av betongmadrasser
Gruppenummer:	5
Andre medlemmer i gruppen:	Mathias Meek, Nils Olav Åkre Hauge

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Opphenting og sjøsikring av betongmadrasser



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Maskin Prosess- og energiteknikk og Marin konstruksjonsteknikk

Av: Nils Olav Åkre Hauge
Ole Kristian Lund
Mathias Meek

Kandidatnr: 22
Kandidatnr: 23
Kandidatnr: 20

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Nils Olav Åkre Hauge
Ole Kristian Lund
Mathias Meek

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag, maskin
Marin Konstruksjonsteknikk
Prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: *Opphenting og sjøsikring av betongmadrasser*

Oppgavetekst:

Oppgaven omhandler å utarbeide en sikker og kostnadseffektiv metode som skal brukes til å fjerne fleksible betongmadrasser fra havbunnen, samt sjøsikring av betongmadrassene på fartøyet Edda Freya.

Innledningsvis skal det gjeldende regelverk undersøkes, det skal innhentes relevant informasjon og det skal utarbeides skisser av egne metoder både for opphenting og sjøsikring av betongmadrasser. De forskjellige metodene skal evalueres/sammenlignes opp mot hverandre, og en valgt metode skal jobbes videre med. Denne metoden/utstyret skal styrkeberegnes for hånd og ved hjelp av styrkeberegningsprogram, og tegninger skal utarbeides i både 2D og 3D i et CAD program.

Endelig oppgave gitt: Mandag 20.oktober 2017

Innleveringsfrist: Onsdag 9.mai 2018 kl. 12.00

Intern veileder: Jens Christian Lindaas – HVL, tlf 52 70 26 70

Ekstern veileder: Anders Vikebø – DeepOcean, tlf 922 04 009

Adresse ekstern veileder: Karmsundsgata 74, 5504 Haugesund

**Godkjent av
studieansvarlig:**

Dato:

Jens Chr. Lindaas
18/4 - 18

Oppgavens tittel: <i>Opphenting og sjøsikring av betongmadrasser</i>		Rapportnummer:
Utført av: Nils Olav Åkre Hauge Ole Kristian Lund Mathias Meek		
Linje Maskin, Marin konstruksjonsteknikk Maskin, Prosess- og energiteknikk		Studieretning Ingeniør
Gradering: Åpen	Innlevert dato: 9.mai 2018	Veiledere: Jens Christian Lindaas – HVL Anders Vikebø – DeepOcean

Ekstrakt

I denne bacheloroppgaven ble det designet en metode for opphenting av fleksible betongmadrasser, samt sjøsikring av madrassene på fartøyet. Metoden kan håndteres av en ROV, så en er dermed ikke avhengig av dykker.

Metoden er dimensjonert og analysert ved hjelp av håndberegninger og styrkeberegningsprogram som SAP2000 og ANSYS.

Oppgaven er gjennomført i samarbeid med DeepOcean.

Forord

I siste semester ved Høgskulen på Vestlandet avsluttes en treårig ingeniørutdanning med en obligatorisk hovedoppgave. Denne hovedoppgaven består av en skriftlig rapport og en muntlig presentasjon som gir 15 studiepoeng, og i tillegg et produkt som gir 5 studiepoeng.

Rapporten er skrevet i samarbeid med DeepOcean, og tar for seg en metode for opphenting og sjøsikring av fleksible betongmadrasser fra havbunnen. Fag som undervannsteknologi, statikk og fasthetslære, maskinkonstruksjon I og II har vært spesielt nyttige ved denne oppgaven.

Rapporten krever noe kjennskap til programmer som Inventor, ANSYS og SAP2000 da tegninger og beregninger er utført ved hjelp av disse. For håndberegninger er det hovedsakelig benyttet standarden DNVGL-ST-E273.

Vi har fått god veiledning og hjelp underveis i hele prosjektet, og ønsker derfor å rette en spesiell takk til:

Jens Christian Lindaas – Intern veileder.

Anders Vikebø – Ekstern veileder.

Jostein Førland for ide angående design av løfteøye.

Geir Halleråker for veiledning om standarder.

Ronald Walter Meyer for hjelp med analyseprogrammer.

Halvor Solbakken - ROV supervisor hos DeepOcean.

Nils Olav Åkre Hauge

Sted/dato

Nils Olav Hauge

HAUGESUND 08.05.2018

Ole Kristian Lund

Sted/dato

Ole Kristian Lund

HAUGESUND 08.05.2018

Mathias Meek

Sted/dato

Mathias Meek

HAUGESUND 08.05.2018

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Figurliste	v
Tabelliste.....	viii
Ordliste	ix
Sammendrag	xi
Summary	xii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Målsetting/problemstilling.....	1
1.3 DeepOcean	1
1.4 Løsningsprosessen.....	1
1.4.1 Fremgangsmåte.....	1
1.4.2 utfordringer underveis.....	2
1.5 Designkriterier	2
1.6 Verktøy/hjelpemidler.....	2
1.6.1 Autodesk Inventor	2
1.6.2 ANSYS.....	2
1.6.3 SAP2000.....	3
1.6.4 Autodesk AutoCAD	3
1.6.4 Matchcad.....	3
2 Teoretisk bakgrunn for oppgaven	4
2.1 Typer madrasser	4
2.1.1 Fleksible betongmadrasser	4
2.1.2 Bitumen madrasser.....	5
2.1.3 "Link-Lok" madrasser	5
2.1.4 "Fronned" madrasser	5
2.1.5 "Armorflex" madrasser.....	5
2.2 Eksisterende metoder for opptak av betongmadrasser.....	5
2.2.1 Omvendt Installasjon.....	5
2.2.2 "Intelligent Mattress Frame" (IMF)	6
2.2.3 "Speed Loader"	6
2.2.4 "Wet Storage/Recovery Basket"	6
2.2.5 "Subsea" grabb.....	7

2.2.6 “Subsea” konteiner	7
2.3 Eksisterende metoder for sjøsikring av fleksible betongmadrasser.....	7
2.3.1 Bunnramme og ”Speed Loader”	7
2.3.2 To ”Speed Loadere”	8
2.3.3 ”Twistlock”	8
2.4 Edda Freya.....	9
2.5 Undervannsmiljøet.....	9
2.6 Generelt om ROV	10
2.7 Hiv-kompensering.....	10
3 Relevante regelverk.....	12
3.1 Petroleumsloven.....	12
3.2 DNVGL-ST-E273	12
3.3 ND-EN 1993 Eurokode 3	12
3.4 NORSOK R-002	13
3.5 Sjøloven.....	13
3.6 DNV – Rules of Classification of Ships.....	13
3.7 Vegtrafikkloven.....	13
4 Brainstorming, alternativt utstyr og metoder.....	14
4.1 Nytt utstyr for opptak av fleksible betongmadrasser	14
4.1.1 Egen metode 1, opptak	14
4.1.2 Egen metode 2, opptak	15
4.1.3 Egen metode 3, opptak	15
4.2 Nytt utstyr for sjøsikring av fleksible betongmadrasser	16
4.2.1 Egen metode 1, sjøsikring	16
4.2.2 Egen metode 2, sjøsikring	16
5 Evaluering av både eksisterende utstyr/metoder og egne ideer	17
5.1 Evaluering av metoder og utstyr for opptak av betongmadrasser	17
5.1.1 Evaluering av omvendt installasjon	18
5.1.2 Evaluering av ”IMF”	18
5.1.3 Evaluering av ”Speed Loader”	19
5.1.4 Evaluering av ”Wet Storage/Recovery Basket”	19
5.1.5 Evaluering av ”Subsea grabb”	20
5.1.6 Evaluering av ”Subsea Container”	21
5.1.7 Evaluering av egen metode 1, opptak	21
5.1.8 Evaluering av egen metode 2, opptak	22
5.1.9 Evaluering av egen metode 3, opptak	22

5.2	Evaluering av metoder og utstyr for sjøsikring av betongmadrasser	23
5.2.1	Evaluering av bunnramme og "Speed Loader"	23
5.2.2	Evaluering av to "Speed Loadere"	24
5.2.3	Evaluering av "Twistlock"	24
5.2.4	Evaluering av egen metode 1, sjøsikring	24
5.2.5	Evaluering av egen metode 2, sjøsikring	25
5.3	Anbefalte løsninger	25
5.3.1	Forbedring av valgt løsning.....	26
5.3.2	Materialvalg	29
5.3.3	Korrosjonsbehandling	29
6	Beregning og dimensjonering av valgt metode.....	31
6.1	Rigging.....	31
6.1.1	Madrassløft.....	31
6.1.2	Konteinerløft	45
6.2	ANSYS beregninger	58
6.2.1	Løfteøye for madrass.....	58
6.2.2	Løfteøye for kjettingskrev.....	63
6.2.3	Festepunkt for "VI-SO Clamp"	67
6.3	Manuelle strukturberegninger	70
6.3.1	Knekkberegninger	70
6.3.2	"VI-SO Clamp"	78
6.3.3	Sveis rundt doblingsplate.....	80
6.4	SAP2000 beregninger	81
6.4.1	Løfteramme.....	82
6.4.2	Konteiner.....	85
6.4.3	Sammenligning med knekkberegninger	88
6.5	Sjøsikring.....	91
6.5.1	"Twistlock"	91
6.5.2	Ramme med "Twistlock"	98
7	Refleksjoner og kommentarer	107
7.1	Utstyr.....	107
7.1.1	Løfteramme.....	107
7.1.2	Konteiner.....	111
7.2	Sjøsikring.....	115
7.3	Beregninger	117
7.3.1	Løfteramme.....	117

7.3.2 Konteiner.....	120
7.4 Tegninger.....	121
7.4.1 2D Tegninger.....	121
7.4.2 3D Tegninger.....	122
8 Operasjonsprosedyre og vedlikehold.....	125
8.1 Operasjonsprosedyre.....	125
8.2 Vedlikehold av utstyr.....	126
9 Konklusjon og videre arbeid.....	127
Kontaktliste.....	128
Bibliografi.....	129

Figurliste

Figur 1 Fleksibel betongmadrass [9].....	4
Figur 2 Bitumen madrass [7].....	5
Figur 3 "Fronned" madrass [9].....	5
Figur 4 "Intelligent Mattress Frame" [12].....	6
Figur 5 "Speed Loader" [14].....	6
Figur 6 Grabb - konsept fra DeepOcean.....	7
Figur 7 Sjøsikring av bunnramme og "Speed loader" sett fra tverretningen.....	7
Figur 8 Sjøsikring av bunnramme og "Speed loader" sett fra lengderetning.....	8
Figur 9 Sjøsikring av "Speed loader" sett fra tverretningen.....	8
Figur 10 Sjøsikring av "Speed loader" sett fra lengderetning.....	8
Figur 11 "Twistlock" mønster. Skjermdump fra dekkareal Edda Freya.....	9
Figur 12 Edda Freya [40].....	9
Figur 13 ROV [39].....	10
Figur 14 Topprammen sett ovenfra på egen metode 1, opptak.....	14
Figur 15 Bunnramme, opptak. på egen metode 1, opptak.....	14
Figur 16 Egen metode 2, opptak sett fra langsiden.....	15
Figur 17 Eegen metode 2, opptak sett fra kortsiden.....	15
Figur 18 Skisse av egen metode 3, opptak.....	15
Figur 19 Skisse av egen metode 1, sjøsikring.....	16
Figur 20 Egen metode 2 sjøsikring, sett forfra/bakfra.....	16
Figur 21 Egen metode 2 sjøsikring, sett fra siden.....	16
Figur 22 skisse av konteiner.....	26
Figur 23 skisse av løfteramme sett fra siden.....	26
Figur 24 skisse av løfteramme sett ovenfra.....	26
Figur 25 "VI-SO Clamp".....	27
Figur 26 "VI-SO Clamp" mellom konteiner og løfteramme.....	27
Figur 27 Konteineren sett ovenfra.....	27
Figur 28 Konteineren sett fra undersiden.....	27
Figur 29 Konteineren og løfterammen koblet sammen.....	28
Figur 30 Løfterammen.....	28
Figur 31 RHS-bjelke.....	29
Figur 32 Konteiner før korosjonsbehandling.....	30
Figur 33 Konteiner etter korosjonsbehandling.....	30

Figur 34 Krefter som virker på sjakkelen illustrert	32
Figur 35 "RSF" illustrert på løfteøyet	33
Figur 36 Godstykkelse	33
Figur 37 Skjær- og bøyespenningen illustrert i det kritiske tverrsnittet	36
Figur 38 Plasseringen til snitt A og snitt B	38
Figur 39 Skjær- og bøyespenningene illustrert i snitt A	39
Figur 40 målsetting av sveisen	40
Figur 41 Dekomponering av σ_{bA} til $\tau \perp$ og $\sigma \perp$	40
Figur 42 Skjær- og bøyespenninger illustrert i snitt B	41
Figur 43 Målsetting av sveis	42
Figur 44 Krefter som virker på ROV-kroken	45
Figur 45 krefter som virker på sjakkell	47
Figur 46 "RSF" illustrert på løfteøyet for kjettingskrev	48
Figur 47 Illustrerer hvor løfteøyet vil bli utsatt for utrivning.	50
Figur 48 Skjær- og bøyespenninger i tverrsnittet	52
Figur 49 Dekomponering av "RSF"	53
Figur 50 Løfteøye	54
Figur 51 Vinklingen på kjettingskrevet	54
Figur 52 Løfteramme	54
Figur 53 Sammenhengen mellom vinklene	54
Figur 54 Løfteøye med krefter det blir utsatt for	56
Figur 55 Sveisesymbol for halv V-fuge	57
Figur 56 Løfteøye plassert over steg	57
Figur 57 Løfteøye for madrass vist med elementer	58
Figur 58 Opplagring og resultantkraft	59
Figur 59 Von Mises-spenning	60
Figur 60 Skjærspenning	61
Figur 61 Normalspenning	62
Figur 62 Opplagring og resultantkraft	63
Figur 63 Von Mises-spenning	64
Figur 64 Nærbilde av von Mises-spenningen	65
Figur 65 Skjærspenning	66
Figur 66 Festepunkt for "VI-SO Clamp" med elementer	67
Figur 67 Krefter og opplagring	68
Figur 68 von Mises-spenningene	69
Figur 69 Bjelken som er utsatt for knekking	70
Figur 70 Belastningssituasjonen på løfterammen og skjær- og bøyediagram	71
Figur 71 Dekomponering av kjetting	73
Figur 72 Løfteramme	75
Figur 73 Snitt av RHS-bjelke	75
Figur 74 "VI-SO Clamp"	79
Figur 75 Symbolforklar til "VI-SO Clamp" beregninger	79
Figur 76 Lastsituasjonen for løfterammen under betongmadrassløft i SAP2000	82
Figur 77 Nasjonale tillegg for Norge i SAP2000	83
Figur 78 Utnyttelsesfaktor for løfteramme i SAP2000 ved madrassløft	83
Figur 79 Lastsituasjon for løfteramme ved løft av konteiner i SAP2000	84
Figur 80 Utnyttelsesfaktor for løfteramme i SAP2000 ved løfting av konteiner	85
Figur 81 Lastsituasjonen for full konteiner i SAP2000	86
Figur 82 Utnyttelsesfaktor for full konteiner i SAP2000	87

Figur 83 Verdiene i SAP2000 sammenlignet mot Eurokode 3	88
Figur 84 Belastningsdiagram	89
Figur 85 Akselerasjoner og informasjon om objektet	92
Figur 86 Lastkombinasjoner	92
Figur 87 Kreftene i føttene til konteineren	93
Figur 88 Konteiner med krefter	93
Figur 89 Konteiner sett bakfra	94
Figur 90 Langsgående og vertikal kombinasjon	94
Figur 91 Konteiner sett fra styrbord side	95
Figur 92 Vertikale reaksjonskrefter	95
Figur 93 Tverrsgående reaksjonskrefter	95
Figur 94 Utnyttelsesfaktoren for "Twistlock"ene	96
Figur 95 Beregning av akselerasjoner	97
Figur 96 Kraftsituasjon for bjelken	98
Figur 97 Løfteamme med "Twistlock"	99
Figur 98 Sveis med flattstål	99
Figur 99 Sveis med stålstang	99
Figur 100 Sjøsikring av ramme	100
Figur 101 Ramme festet i dekk	102
Figur 102 Tre kneplater på hver side av rammen festet i dekket	103
Figur 103 Kneplate med lineær fordeling	103
Figur 104 Kneplate med resultantkraft	103
Figur 105 Realistisk kraft	104
Figur 106 Løfterammen	107
Figur 107 Løfterammen sett fra siden	108
Figur 108 Løfteøye og "VI-SO Clamp" sett fra siden	108
Figur 109 Løfteøyet	109
Figur 110 Endeplate	109
Figur 111 Doblingsplate til "VI-SO Clamp"	110
Figur 112 Hull til bolter	110
Figur 113 "VI-SO Clamp" med doblingsplate montert	110
Figur 114 Løfteøye for madrass	110
Figur 115 Løfteøye til madrass på innsiden av løfteramme	110
Figur 116 Konteineren	111
Figur 117 Sveisefuge på konteiner	111
Figur 118 Snitt av bjelkeprofil	111
Figur 119 Tom konteiner sett fra siden	112
Figur 120 Konteiner med tre betongmadrasser sett fra siden	112
Figur 121 Feste til "VI-SO Clamp"	112
Figur 122 Feste til "Twistlock"	113
Figur 123 "Twistlock" i låst posisjon	113
Figur 124 Feste til "Twistlock" plassert på enden av bjelken	113
Figur 125 Standardmøster ved "Twistlock" for 20 fots konteiner	114
Figur 126 Bjelke på konteiner	114
Figur 127 Plate til "Twistlock"	114
Figur 128 Konteiner sett fra undersiden	114
Figur 129 Oversiktsbilde av Edda Freya med T-Bar og skinnesystem	115
Figur 130 Tilkomst for sveiser	116
Figur 131 Avstand mellom to konteinere	116



Figur 132 Rammen treffer to T-barer.....	116
Figur 133 Rømningsvei markert i grå.....	117
Figur 134 Løfteøye for madrass	118
Figur 135 Green pin sjakkel.....	118
Figur 136 Stort løfteøye og "VI-SO Clamp" på løfterammen.....	119
Figur 137 "VI-SO Clamp"	119
Figur 138 Doblingsplate til "VI-SO Clamp".....	119
Figur 139 Festepunkt til "VI-SO Clamp" og "Twistlock"	120
Figur 140 Feste til "Twistlock"	121
Figur 141 Bjelke	121
Figur 142 Toleranser	121
Figur 143 Mønster til "Twistlock"	122
Figur 144 Betongmadrass	123
Figur 145 Green pin sjakkel.....	123
Figur 146 Crosby ROV-krok.....	124
Figur 147 Rigging og stropper med ROV-krok.....	124
Figur 148 Løfteramme og konteiner låst sammen	125
Figur 149 Konteiner fylt med madrasser	125
Figur 150 "VI-SO Clamp" låses	126
Figur 151 Løfterammen og full konteiner	126

Tabelliste

Tabell 1 Relevant regelverk.....	12
Tabell 2 Evaluering av omvendt installasjon.....	18
Tabell 3 Evaluering av "IMF"	18
Tabell 4 Evaluering av "Speed Loader"	19
Tabell 5 Evaluering av "Wet Storage/Recovery Basket"	19
Tabell 6 Evaluering av "Subsea grabb"	20
Tabell 7 Evaluering av "Subsea Container"	21
Tabell 8 Evaluering av egen metode 1, opptak.....	21
Tabell 9 Evaluering av egen metode 2, opptak.....	22
Tabell 10 Evaluering av egen metode 3, opptak.....	22
Tabell 11 Evaluering av bunnramme og "Speed Loader"	23
Tabell 12 Evaluering av to "Speed Loadere"	24
Tabell 13 Evaluering av "Twistlock".....	24
Tabell 14 Evaluering av egen metode 1, sjøsikring.....	24
Tabell 15 Evaluering av egen metode 2, sjøsikring.....	25
Tabell 16 Sammenligning av metodene.....	25
Tabell 17 evaluering av oppgradert metode	28
Tabell 18 Symbolforklaring til designlast beregning	31
Tabell 19 symbolforklaring til resultantkraft beregning.....	32
Tabell 20 Symbolforklaring til sjakkel beregning.....	33
Tabell 21 Symbolforklaring til dimensjonering av godstykkelse beregning	34
Tabell 22 Symbolforklaring til lagertrykk beregninger	34
Tabell 23 Symbolforklaring til utrivning beregning.....	36
Tabell 24 Symbolforklaring kritisk tverrsnitt beregning.....	36
Tabell 25 Symbolforklaring til maksimalt a-mål beregning	38
Tabell 26 Symbolforklaring til beregninger i snitt A.....	39

Tabell 27 Symbolforklaring til beregninger i snitt B.....	42
Tabell 28 Symbolforklaring til stroppe beregninger.....	44
Tabell 29 Symbolforklaring til ROV-krok beregning.....	45
Tabell 30 Symbolforklaring til designlast beregning.....	46
Tabell 31 Symbolforklaring til "RSF" beregning.....	46
Tabell 32 Symbolforklaring til sjakkell beregning.....	47
Tabell 33 Symbolforklaring til godstykkelse bergening.....	48
Tabell 34 Symbolforklaring til lagertrykk beregninger.....	48
Tabell 35 Symbolforklaring til utriving beregninger.....	50
Tabell 36 Symbolforklaring til sveis rundt kinnplater beregning.....	51
Tabell 37 Symbolforklaring til kritisk tverrsnitt beregninger.....	52
Tabell 38 Symbolforklaring til «VI-SO clamp» beregning.....	68
Tabell 39 Symbolforklaring til knekkberegninger av bjelke.....	72
Tabell 40 Symbolforklaring til løftepunkt beregning.....	86
Tabell 41 Nøkkelverdiene i sammenligningen mellom håndberegninger og dataassisterte beregningene.....	89
Tabell 42 Symbolforklaring til elastiske knekkberegninger.....	90
Tabell 43 Symbolforklaring til sjøsikring i langskipsretning beregninger.....	101
Tabell 44 Symbolforklaring til effektiv sveiselengde beregning.....	102
Tabell 45 Symbolforklaring til sveisberegninger i tverrskipsretning.....	104

Ordliste

Forkortelser/engelske ord	Definisjon
HVL	Høgskulen på Vestlandet
CAD	Computer Aided Design
Trenching	Grøfting/graving
Survey	Kartlegging
Seabed Mapping	Sjøbunnskartlegging
Seabed Intervention	Sjøbunnsintervensjon
IMR	Inspection, Maintenance & Repair Inspeksjon, Vedlikehold & Reperasjon
Renewable	Fornybar/Fornyelse
Transmission	Overføring
DNV	Det Norske Veritas
Bitumen	Hydrokarboner
"In situ"	På stedet
ROV	Fjernstyrt undervannsfarkost



IMF	Intelligent Mattress Frame
Wet storage	Oppbevaring under vann
Recovery basket	Opphentingskurv
Twist lock	Sjøsikringsutstyr
TMS	Tether Management System
NDT	Ikke ødelegende utprøving
PTIL	Petroleumstilsynet
Masterlink	Ring for sammenkobling av kjettingskrev
Torque Tool	Momentverktøy
MPI	Magnetpulverprøving
UT	Ultralydprøving

Sammendrag

I forbindelse med olje- og gassindustrien er der plassert over 40 000 betongmadrasser på havbunnen i Nordsjøen. Disse betongmadrassene blir brukt til å beskytte rørledninger og annen infrastruktur på havbunnen. Når olje- og gassfeltene avslutter produksjonen krever Petroleurstilsynet at alle betongmadrassene må fjernes.

Dette bachelorprosjektet presenterer en tids- og kostnadseffektiv metode for å løfte opp flere betongmadrasser, samt sjøsikring ombord på fartøyet Edda Freya.

Eksisterende metoder ble gjennomgått og evaluert, før gruppen skisserte egne løsninger både for opptak og sjøsikring av betongmadrassene. En evalueringsprosess i samarbeid med ekstern veileder hos DeepOcean gjorde at gruppen bestemte seg for en metode å jobbe videre med. For håndberegningene ble det undersøkt relevante regelverk og standarder for “Subsea”-løft. I løpet av beregningsprosessen ble det gjort forbedringer på designet slik at produktet skulle tåle den belastningen gruppen mente var nødvendig. Det er også laget en dekkplan for sjøsikringen av betongmadrassene på fartøyet Edda Freya.

Det er brukt 3D programmet Autodesk Inventor for å skissere produktet, samt styrkeberegningsprogrammene SAP2000 og ANSYS for å kontrollere strukturen og de kritiske punktene på løsningen. Sjøsikringen er beregnet ved hjelp av Matchcad.

Summary

Related to the oil and gas industry, over 40 000 concrete mattresses have been placed on the seabed of the North Sea. These concrete mattresses work as protection for pipelines and other infrastructure on the seabed. When a petroleum field shuts down, the Petroleum Safety Authority of Norway demands removal of all concrete mattresses.

This bachelor thesis presents a time saving and profitable method for decommissioning and sea fastening of concrete mattresses aboard the vessel Edda Freya.

Existing methods were reviewed and evaluated before the group sketched a solution. In a design review with DeepOcean's external supervisor one of the methods was decided to be developed further. Acknowledged rules and standards have been used regarding the hand calculations. During the hand calculations the method was reviewed and redesigned to withstand applied forces. A proposed deck layout for sea fastening of concrete mattresses on Edda Freya has been produced.

The computer aided design program Autodesk Inventor has been used to make a 3D model of the solution. For strength calculations both SAP2000 and ANSYS have been used to check both the structure in general and several critical points. Mathcad has been used for sea fastening.



1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

På havbunnen i Nordsjøen er det estimert at det er 40 000 betongmadrasser. [1] Petroleumsløven krever at operatørselskapene skal ha en avslutningsplan for fjerning og opprydding minimum to til fem år før løyvet går ut. Herav må alle betongmadrassene som er blitt plassert på havbunnen fjernes. [2] Med tanke på at madrassene i utgangspunktet er designet for å bli lagt ned på havbunnen og ikke for fjerning, kreves det nye metoder for opphenting av madrassene. Dagens metoder fungerer for et fåtall madrasser, men er ikke tids- og kostnadseffektiv for større mengder. En del av dagens løsninger er også helt dykkeravhengig, noe bransjen ønsker å unngå.

1.2 Målsetting/problemstilling

Formålet med denne oppgaven er at DeepOcean Haugesund ønsker å utvikle en sikker og kostnadseffektiv metode for opphenting av fleksible betongmadrasser, samt sjøsikring av betongmadrassene på fartøyet. Det skal ikke være nødvendig med dykkere, og ved bruk av ROV må metoden være ROV vennlig. Egen metode for både opphenting og sjøsikring skal designes og dimensjoneres i henhold til regler og standarder.

1.3 DeepOcean

DeepOcean Group ble etablert i 2011, etter sammenslåing av IMR, DeepOcean og CTC Marin Projects. Selskapet har pr dags dato en flåte bestående av 14 skip, 48 ROV'er og 16 maskiner for "Trenching". DeepOcean opererer på tvers av hele verden, og er fordelt på 6 forskjellige avdelinger: "Survey & Seabed Mapping", "Seabed Intervention", "Subsea Installation", IMR, "Decommissioning og Renewables" og "Transmission". Innenfor "Decommissioning" har selskapet et ønske om å utvikle et tids- og kostnadseffektivt produkt for fjerning av betongmadrasser på havbunnen, samt forbedre sjøsikring av betongmadrasser. [3] [4]

1.4 Løsningsprosessen

1.4.1 Fremgangsmåte

Etter første møte med DeepOcean ble det presentert flere problemstillinger som gruppen kunne velge mellom. Etter grundig evaluering med intern veileder falt valget på den problemstillingen gruppen mente var mest interessant. Etterpå startet prosessen med å innhente relevant informasjon for å begynne på oppgaven. Gruppen evaluerte de eksisterende metodene, for så å begynne å skissere egne metoder. Ut i fra evaluering med ekstern veileder fra DeepOcean ble det valgt en løsning som gruppen skulle jobbe videre med. Det ble så utført flere små oppgraderinger for å optimalisere produktet best mulig. Grove håndberegninger ble gjort for å dimensjonere produktet før det ble tegnet i 3D programmet Inventor. SAP2000 ble til å dimensjonere strukturen, og ANSYS ble benyttet for å sjekke kritiske punkter til løsningen.



1.4.2 utfordringer underveis

Den første store utfordringen kom da gruppen skulle gjøre håndberegninger på produktet. Det ble brukt en god del lengre tid enn planlagt på å finne diverse standarder og lover som ville være relevant for å designe produktet. Spesielt sikkerhetsfaktorer var vanskelig å finne. Etter samtale med ekstern veileder fikk gruppen den hjelpen som var nødvendig for å finne standarden som var relevant for å kunne starte med dimensjoneringen.

En annen utfordring gruppen fikk var hvordan "Twistlock"-ene som skal brukes under sjøsikringen skal kunne åpnes og lukkes på best mulig måte. Dette skyldes at konteineren har et ytre mål på 6500 mm på langsiden, mens avstanden normalt er 5853 mm fra hverandre på standardene. Dette gjør at "Twistlock"-ene blir liggende 323 mm under konteineren, og det vil ikke være like lett å åpne/lukke låsene. Løsningen på dette ble å bruke et forlegningsrør til å manøvrere "Twistlock"-en for å løse/åpne den. Dette vil derfor ikke bli et stort problem.

Da metoden var bestemt og gruppen var i gang med beregninger oppstod et nytt problem. Planen var å bruke "Twistlock"-systemet for "Subsea" løft, men etter hvert fant gruppen ut at systemet gruppen hadde tenkt å bruke ikke var godkjent for løft, men kun for sjøsikring. Dermed måtte gruppen finne en ny festemekanisme som var godkjent for "Subsea"-løft. Etter møte med ekstern veileder ble gruppen enig om å bruke "VI-SO Clamp" som løsning på denne utfordringen.

1.5 Designkriterier

Da oppgaven ble gitt av DeepOcean hadde de visse kriterier for metoden. Disse kriteriene var:

- Betongmadrassen skal ikke løftes i løkkene over vann.
- Ikke avhengig av dykker.
- ROV vennlig.
- Utnytte dekksplassen til Edda Freya best mulig.
- Ingen skader på personell eller utstyr.

I tillegg ønsket DeepOcean at metoden skulle være effektiv ved opphenting av flere betongmadrasser. Betongmadrassene skal ikke gjenbrukes, så om de blir deformert/ødelagt spiller ingen rolle.

1.6 Verktøy/hjelpemidler

1.6.1 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor er et program som blir hyppig brukt i industrien. Programmet inngår i læreplanen til maskiningeniør-linja ved HVL campus Haugesund og er derfor et naturlig valg som tegneprogram i denne oppgaven. Inventor er et 3D program og ble brukt til å fremstille den endelige løsningen. Det ble både laget en 3D modell og tegninger.

1.6.2 ANSYS

FEM-programmet ANSYS ble brukt til å utføre beregninger på den endelige løsningen. Beregningene ble etter hvert sammenlignet med de manuelle håndberegningene. ANSYS beregningene blir fremstilt som en modell hvor områdene som opplever spenning er fargelagte. Rødt viser de høyeste strekkspenningene og blått viser de laveste spenningene.



1.6.3 SAP2000

SAP2000 er et styrkebergningsprogram som er endel av pensum på studiet. I denne oppgaven blir det brukt for å beregne knekking på løsningen. Dette gjøres ved å finne utnyttelsesfaktoren på bjelkene til løsningen. Knekkbergningsprogrammet ble sammenlignet med manuelle beregninger.

1.6.4 Autodesk AutoCAD

AutoCAD er et 2D tegneprogram, som blir mye brukt i industrien. Programmet er endel av pensum på studiet, som gjorde at det var naturlig å bruke dette programmet til å tegne 2D tegningene i oppgaven.

1.6.4 Matchcad

Matchcad er et beregningsprogram hvor en selv kan sette inn formler, tekst og grafer slik at det kun trengs å sette inn en "input" verdi. Dette vil bli kodet slik at de oppdateres mens du skriver inn verdiene dine. Programmet vil utføre og dokumentere beregningene i tillegg til at det har standard matematisk notasjon. I oppgaven blir det brukt til å beregne sjøsikring. Programmet er ikke en del av pensum i studie, men blir brukt i denne oppgaven da DeepOcean benytter dette programmet.

2 Teoretisk bakgrunn for oppgaven

I dette kapittelet vil teorien som er viktig for denne oppgaven bli beskrevet.

2.1 Typer madrasser

Betongmadrasser kom på markedet på 70-tallet. I starten ble de brukt til å stabilisere og støtte rørledninger i tillegg til annen infrastruktur på havbunnen. Designet på disse madrassene var veldig enkelt. Det var først og fremst lerreposer som var fylt med bitumen og småstein. Problemet med disse madrassene var at det hendte at innholdet i posen ble sprøtt og posen raknet, samt at de var vanskelig å flytte på.

På 80-tallet kom de første betongmadrassene på markedet kalt "Link-Lok". Disse var mer fleksible og robuste, og fikk et mye større bruksområde. Problemet med "Link-Lok" madrassene var at de var veldig dyre å produsere og inneholdt hydrokarboner. Dette gjorde at den fleksible betongmadrassen ble introdusert, og er pr i dag den vanligste madrassen i offshoreindustrien. [5]

Opgaven til betongmadrasser er først og fremst å beskytte infrastrukturen på havbunnen. Det kan være beskyttelse mot:

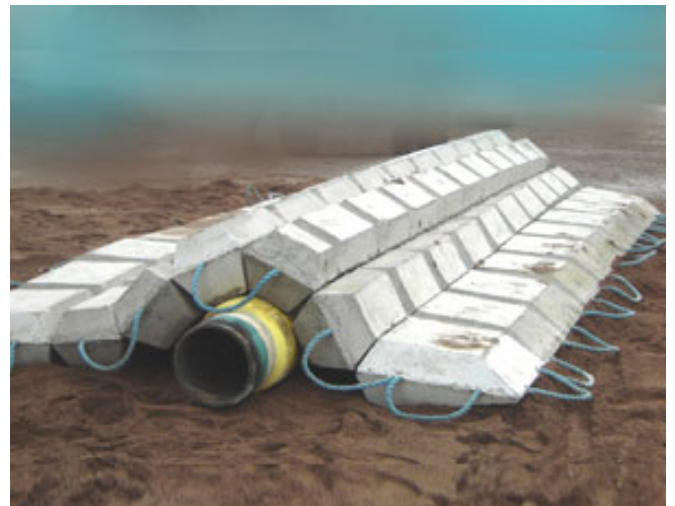
- Fallende gjenstander
- Trålere/anker
- Erosjon

I tillegg gir det økt vekt og stabilitet for infrastrukturen.

2.1.1 Fleksible betongmadrasser

Fleksible betongmadrasser består av flere betongblokker, som er koblet sammen ved hjelp av polypropelentaue, som vist i Figur 1. Fordelene med slike madrasser er fleksibiliteten, slik at den kan følge konturene av rørledningen. Madrassene har en standard dimensjon på 6x3m og tykkelsene varierer fra 150 mm, 300 mm eller 450 mm. Tettheten for standard betongmadrasser er fra 2400 kg/m^3 til 3900 kg/m^3 og vekten er fra 5 til 20 tonn i luften. [6]

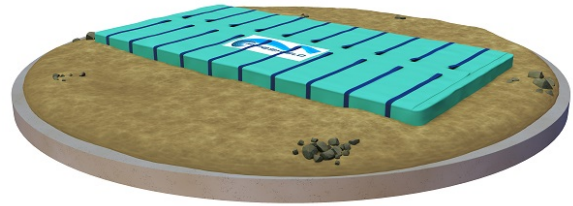
Madrassene kom ut i offshore industrien på 80-tallet og er i dag de mest brukte madrassene i offshore industrien. Det antas at fra 2010 til 2015 ble det lagt ned 21 000 betongmadrasser i Nordsjøen [6]



Figur 1 Fleksibel betongmadrass [9]

2.1.2 Bitumen madrasser

Opprinnelig bagger utformet som madrasser med bitumen som fyllmasse, se Figur 2. Dette var de første madrassene som ble introdusert, og kom i starten av 1970-tallet. [7] På 1990-tallet ble det forbudt å bruke disse madrassene, fordi en ikke ønsket å re-introdusere hydrokarboner til havet. [8] Det ble så produsert en ny type forsterkede madrasser med en annen fyllmasse som oppgradering.



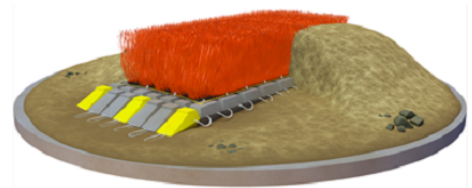
Figur 2 Bitumen madrass [7]

2.1.3 "Link-Lok" madrasser

"Link-Lok" er en type madrasser som består av plastpottet fylt med betong. Plastpottene er sammenkoplet ved polypropylentau eller nylontau, og har dermed fått navnet link-lok. Som ved de fleksible betongmadrassene kan tykkelsen på madrassene og tettheten på betongen varriere for å oppnå vekt fra 5 til 20 tonn pr madrass. Fra 1990 har disse madrassene blitt lite brukt da de er dyre å produsere. [8]

2.1.4 "Fronded" madrasser

"Fronded" madrass er en type betongmadrass utstyrt med kunstig sjøgress/tang (oftest polypropylen) på overflaten. Disse blir mest brukt i sørlige deler av Nordsjøen. Dette er fordi i de sørlige områdene der det er relativt grunt vann, vil tidevannsstrømmer og mobile sandbanker føre til ekstra erosjon. Dette kunstige sjøgresset er til for å samle opp sedimenter for å lage en naturlig bank som en ekstra beskyttelse for rørene/strukturene. [9] [10]



Figur 3 "Fronded" madrass [9]

2.1.5 "Armorflex" madrasser

"Armorflex" madrassene ligner en del på de fleksible madrassene. Forskjellen mellom disse madrassene er at det ikke er polypropylentau mellom betongen, men ståltråd. Vekten på "Armorflex" madrassene er mellom 5 og 20 tonn. De blir ikke brukt på nyere prosjekter, men kan finnes på eldre installasjoner [11].

2.2 Eksisterende metoder for opptak av betongmadrasser

For å designe en optimal løsning for opptak av betongmadrasser ønsket en å finne alle de eksisterende metodene, for å se hvordan problemet var løst tideligere.

2.2.1 Omvendt Installasjon

Omvendt installasjon bruker en installasjonsramme der en ved hjelp av en arbeids-ROV eller dykker fester ROV krokar fra installasjonsrammen sammen med løkkene på betongmadrassene. Deretter løfter kranen på fartøyet opp installasjonsrammen med betongmadrassen hengende under. [11]

2.2.2 "Intelligent Mattress Frame" (IMF)

"IMF" baseres på samme prinsipp som omvendt installasjon. Forskjellen på disse metodene er at "IMF" er utstyrt med fire "Thrustere" og sonar navigasjonssystem som gjør at den ikke er avhengig av dykker eller ROV ved plassering av madrassene, se Figur 5. [12] Ved opptak av madrasser er det derimot helt nødvendig med en ROV eller dykker for å få festet stroppene i madrassen og deretter i låssystemet på "IMF"en. Madrassene kan så løftes helt opp på skipet. [12]



Figur 4 "Intelligent Mattress Frame" [12]

2.2.3 "Speed Loader"

En "Speed Loader" består av en nettingstruktur av stål som ligger mellom to stålbjelker, som vist i Figur 5. Ved opphenting av betongmadrasser er stålbjelkene festet med stropper til en toppramme (Top Spreader Frame) som igjen er festet til en stålkabel fra fartøyets kran. "Speed Loader"en senkes ned på havbunnen og kobles fra kroken/kjettingen (se Figur 5). Betongmadrassene plasseres med stor nøyaktighet oppå hverandre i nettingstrukturen. Deretter tilkobles topprammen ("Top Spreader Frame") før en hever speed loaderen opp i fartøyet. Nettingen kan varieres i størrelse slik at den passer til de ulike størrelsene på betongmadrassene. [13]



Figur 5 "Speed Loader" [14]

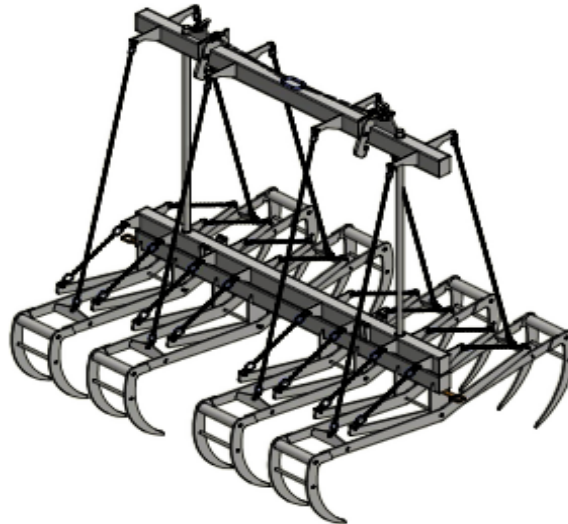
Antall madrasser som kan flyttes varierer ut fra vektbegrensningene på "Speed Loader"en. "Subsea Protection System" (SPS) har utviklet en "Speed Loader" som har en lastekapasitet på 25 tonn. Med en betongegenvekt på 2.4 kg/dm^3 vil dette tilsvare tre betongmadrasser med mål på $6 \times 3 \times 0.15 \text{ m}$, eller fem betongmadrasser med mål $6 \times 3 \times 0.3 \text{ m}$. [14]

2.2.4 "Wet Storage/Recovery Basket"

Pipeshield har utviklet en bunnramme som kan brukes til både nedsenkning, lagring på havbunnen og opphenting av betongmadrasser. Ved opphenting vil bunnrammen konfigureres til en basket/konteiner som betongmadrassene plasseres i. Nyttelasten er på 66 tonn. [15]

2.2.5 "Subsea" grabb

"Subsea" grabben kommer i flere forskjellige utgaver. De mest brukte grabbene for opptak av betongmadrasser er med fingre på hver side eller en sirkulær grabb som er designet for å gripe rundt hele madrassen. Figur 6 viser et konsept av en grabb DeepOcean har tegnet.



Figur 6 Grabb - konsept fra DeepOcean

2.2.6 "Subsea" konteiner

"Subsea" konteiner fungerer på samme måte som en vanlig konteiner, men er spesialdesignet for undervannsbruk. Konteineren blir senket ned på havbunnen ved hjelp av kranen på fartøyet. På havbunnen blir betongmadrassene plassert oppi konteineren før den igjen heves til fartøyet.

"Subsea" konteiner kan produseres i ulike dimensjoner for å tilpasse seg størrelsene på betongmadrassene. Antall madrasser pr løft varierer med plassen eller nyttelasten til konteineren. [16]

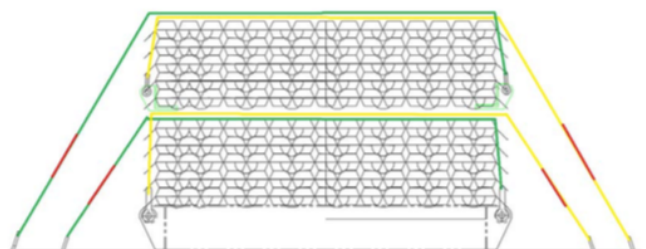
2.3 Eksisterende metoder for sjøsikring av fleksible betongmadrasser

Last som betongmadrasser er det viktig å sjøsikre godt på dekket. Det virker flere krefter på betongmadrassene, noe som kan resultere i store skader både på materiell og personell hvis de ikke sikres godt nok.

2.3.1 Bunnramme og "Speed Loader"

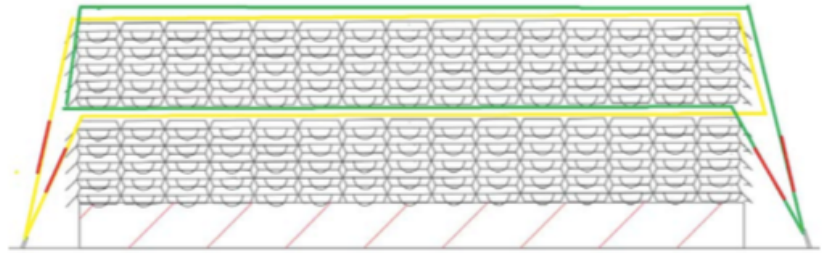
I bunn er det en bunnramme med fem madrasser, og en "Speed Loader" med fem madrasser oppå. Totalt er det 10 madrasser (150 mm), en bunnramme og en "Speed Loader". [17]

Det brukes her fire 13 mm kjettinger med kjettingstrammer for å feste i tverretningen. På dekket er kjettingen festet i løfteører som er sveist fast i dekket. Se Figur 7 for prinsippskisse.



Figur 7 Sjøsikring av bunnramme og "Speed loader" sett fra tverretningen

For lengderetningen plasseres det først en kjetting fra hver side på toppen av den første stabelen (bunnramme med fem madrasser), så plasseres ”Speed Loader”en med madrassene før en trekker kjettingen over og tilbake og fester den i samme punkt, som i Figur 8.

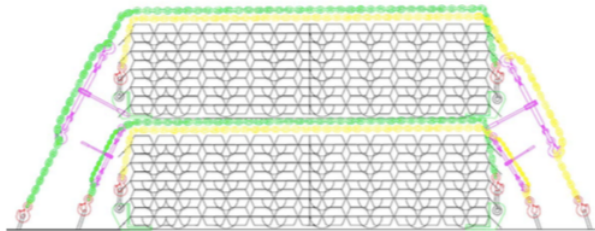


Figur 8 Sjøsikring av bunnramme og ”Speed loader” sett fra lengderetning

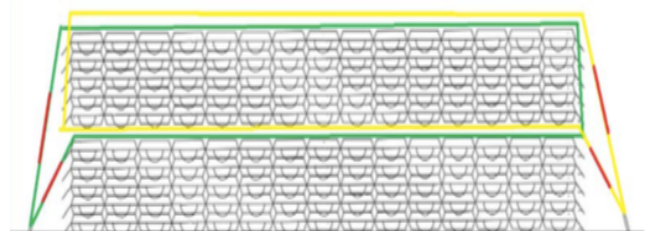
2.3.2 To ”Speed Loadere”

Her er det to ”Speed Loader”ene plassert oppå hverandre, se Figur 10 og Figur 9. Hver av de to ”Speed Loader”ene inneholder fem madrasser. Tilsammen er det da 10 madrasser (150mm) og to ”Speed Loadere”. [17]

Madrassene festes på samme måte som ved en bunnramme og en ”Speed Loader” (se kapittel 2.3.1.)



Figur 9 Sjøsikring av ”Speed loader” sett fra tverretningen



Figur 10 Sjøsikring av ”Speed loader” sett fra lengderetning

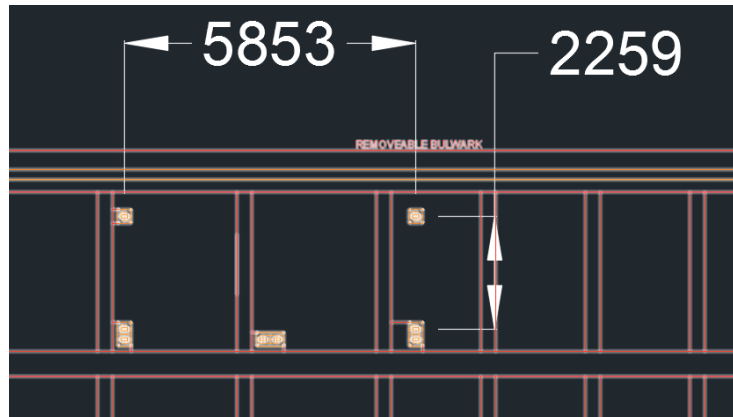
2.3.3 ”Twistlock”

Ved ”Twistlock”-metoden blir betongmadrassene plassert i en konteiner som låses fast i dekket ved hjelp av ”Twistlock”-systemet. ”Twistlock”-systemet er en standardisert konteinerlås som brukes for sikring av konteinerer. Metoden kan brukes både til sjøsikring av konteineren, samt sikring på lasteplan under landtransport. [18]

”Twistlock”-systemet fungerer ved at det i hvert hjørne av konteineren er en hul del (feste) som ”Twistlock”en kan plasseres i. ”Twistlock”-delen som går inn i denne hule delen er et rektangel som kan roteres i den hule delen for å låses. På dekket er det likt som på hjørnene av konteineren. Dermed plasseres ”Twistlock”en i den hule delen på dekket og i den hule delen på konteineren, roteres og dermed låses konteineren fast i dekket.

Da ”Twistlock”-systemet er en standardisert låsmekanisme har det et fast mønster på hvor de er plassert. Avstandene mellom ”Twistlock”-festene på dekket og på en lastebil vil dermed være like. Avstandene mellom festepunktene på en 20 fots konteiner er på langsiden 5853 mm, og på kortsidene 2259 mm, som vist i

Figur 11. Disse målene har en toleranse på 6 mm. [19]



Figur 11 "Twistlock" mønster. Skjermdump fra dekkareal Edda Freya

2.4 Edda Freya

Edda Freya er et fartøy som DeepOcean tidligere har brukt ved opptak av betongmadrasser, så det tas derfor utgangspunkt i dette fartøyet i oppgaven. Fartøyet ble bygget i 2016, og har et dekkareal på hele 2 300 m² som inkluderer en kran med kapasitet på 400 tonn, og en på 70 tonn. [20] Figur 12 viser et bilde av Edda Freya.



Figur 12 Edda Freya [41]

2.5 Undervannsmiljøet

Ved arbeid på havbunnen er det flere ting en må ta hensyn til at utstyret skal tåle.

- Utstyret må tåle det hydrostatiske trykket, som øker med ca. 1 bar (0,1N/mm²) hver tiende meter.
- Korrosjon kan være et stort problem ved arbeid i sjøvann. Dette er først og fremst for utstyr som installeres på havbunnen. En kan oppnå beskyttelse mot korrosjon ved riktig materialvalg, men dette er ofte så dyrt at det benyttes maling eller katodisk beskyttelse mot korrosjon.
- Sjøvann er et elektrisk ledende medium. Dette gjør at elektriske ledninger, kabler og annet elektrisk utstyr som kan kortslutte ved direkte kontakt med sjøvann, må ha en spesiell isolasjon.
- På havbunnen er det ofte svært dårlig sikt. Særlig på dybder mer enn 100m, hvor dagslyset forsvinner. I tillegg gjør havstrømmer at bunnsedimenter virvles. Dette gjør at utstyret bør ha lys installert.

- Sjøvannet er et inkompressibelt medium kontra luft som er et kompressibelt medium. Dette kan bety at utstyr som fungerer på havoverflaten ikke nødvendigvis fungerer på havbunnen. [21]

2.6 Generelt om ROV

Remotely Operated Vehicle (ROV) er en undervannsfarkost som blir styrt fra havoverflaten. Se Figur 13.

ROV systemet består av:

1. Selve ROV'en
2. Kabelsystem med eller uten TMS ("Tether Management System")
3. Håndteringssystem for sjøsetting av farkosten
4. Kontrollkonteiner

Typiske arbeidsoppgaver for ROV er generell observasjon,

- Visuell inspeksjon
- Inspeksjon ved hjelp av NDT
- Havbunnskartlegging
- Rengjøring
- Kutting
- Ventiloperasjoner
- Feste og løsne skruer og muttere
- Utskifting av komponenter
- Assistanse i forbindelse med installasjon og vedlikehold for undervannssystemer.



Figur 13 ROV [40]

ROV'en kan deles inn i forskjellige klasser

- Observasjon
- Arbeid
- Survey
- Inspeksjon

Ved installasjon og demontering av betongmadrasser er arbeids ROV et nyttig hjelpemiddel. [21]

2.7 Hiv-kompensering

Hiv-kompensering fungerer slik at ved visse operasjoner reduseres eller oppheves virkningene av at skipet beveger seg i bølgene (hiv). Disse operasjonene vil her fungere på kran- og modulhåndteringssystemet for ROV. Det eksisterer to hiv-kompenseringssystemer: [21]

Aktiv

Den mest avanserte metoden som har en virkningsgrad på over 90 %. Fungerer ved at sensorer registrerer bevegelse/akselerasjon skipet er utsatt for. En datamaskin bearbejder informasjonen som igjen gir pådrag til et hydraulisk system som er koblet mot en vinsj eller en sylinder. [21]



Passiv

Fungerer ved at et elastisk element strekkes ut eller komprimeres ut i fra kraftpåvirkningen fra lasten. Et eksempel kan være en hydraulisk sylinder som bruker en hydraulisk akkumulator (gasspute). [21] [22]

Kranene på Edda Freya har et aktiv hiv-kompenserinssystem, ref. vedlegg E.

3 Relevante regelverk

Det ble sett på flere forskjellige lovverk og standarder for å finne ut hvilke som var relevante for å designe og dimensjonere utstyret. Gruppen fant flere mulige standarder, men etter samtale med ekspert hos DeepOcean ble det valgt å bruke DNVGL-ST-E273 da denne ville være den mest riktige å bruke for ”Subsea”-løft. En av standardene som ble vurdert var NORSOK R002, men den er ikke designet for ”Subsea”-løft.

Tabell 1 Relevant regelverk

Regelverk	Beskrivelse
Petroleumsloven Lov om petroleumsvirksomhet	Omhandler myndighetenes forvaltning av petroleumssressursene på norsk kontinentalsokkel.
DNVGL-ST-E273 2.7-3 Portable offshore units	Omhandler standard for design og sertifisering av nye offshoreenheter.
ND-EN 1993 Eurokode 3	Omhandler krav til stålkonstruksjoners kapasitet, bestandighet og brannmotstand.
NORSOK R-002	Omhandler standard for løfteutstyr, særlig nybyggingsprosjekter.
Sjøloven Lov om sjøfarten	Omhandler rettsregler som angår skipsfart og sjøveistransport.
DNV – Rules for Classification of Ships, January 2016	Omhandler regler for klassifisering av skip.
Vegtrafikkloven Loven om vegtrafikk	Loven gjelder all trafikk med motorvogn. Den gjelder også annen ferdsel, men da bare på veg eller på området som har alminnelig trafikk med motorvogn.

3.1 Petroleumsloven

Gruppen tok kontakt med Petroleumstilsynet (PTIL) angående å legge igjen betong på havbunnen. De henviste til Petroleumsloven og Miljødirektoratets krav om at alt som blir lagt ned på havbunnen skal fjernes. Det finnes spesielle unntak, men å legge igjen betong fra betongmadrassen var ikke mulig.

3.2 DNVGL-ST-E273

Etter samtale med ekstern veileder ble gruppen satt i kontakt med en ekspert ang. lovverk hos DeepOcean. Gruppen hadde et møte med eksperten, og ble enig om å dimensjonere og designe metoden i henhold til standarden ”DNVGL-ST-E273”. Denne tar for seg hvordan alle deler på utstyret skal dimensjoneres.

3.3 ND-EN 1993 Eurokode 3

Under testing i SAP2000, blir hele konstruksjonen testet opp mot kravene som stilles i Eurokode 3.



3.4 NORSOK R-002

NORSOK R-002 er en designstandard for løfteutstyr for flytende og faste installasjoner. Den tar føre seg de tekniske kravene til løfteutstyret, ved hjelp av en egen beregningsdel. Den delen tar føre seg hvordan en skal beregne på sjakler og løfteøyer som er relevant i denne oppgaven. Standarden ble brukt til å designe løfteøynene, for så å sjekke om løfteøynene var innenfor kravene til valgt standard (DNV 2.7-3). Dette var på grunn av NORSOK R002 ikke er laget for “Subsea”-løft.

3.5 Sjøloven

I sjølovparagraf §131 står det: *”Skipsføreren skal før reisen begynner, sørge for at skipet er i sjødyktig stand, herunder at det er tilstrekkelig utrustet, bemannet og proviantert og i forsvarlig stand til mottakelse, befordring og bevaring av lasten. Skipsføreren skal påse at lasten blir behørig stuert, at skipet ikke blir overlastet, at dets stabilitet er betryggende, og at lukene blir forsvarlig lukket og skalket.”* [23] Dette tilsier at det er skipsføreren som har det overordnede ansvaret for at betongmadrassene er sikret godt nok under transporten.

3.6 DNV – Rules of Classification of Ships

Under kapittelet om sjøsikring (ref. kapittel 7.2) er denne loven brukt for å finne tillatt spenning.

3.7 Vegtrafikkloven

Ifølge norske lover må en ha følgebil for last som er bredere enn 3 m eller lengre enn 23.5 m. [24] Dersom lasten er bredere enn 3.5 m (Hordaland, Sogn og Fjordane, Nordland, Troms eller Finnmark) eller 4 m ellers i Norge må en ha politieskorte. Da ytre mål på konteineren ikke er bredere enn 3.5 m, er dette noe en slipper i hele Norge. [25] [26]

4 Brainstorming, alternativt utstyr og metoder

DeepOcean ønsket at det skulle bli tatt hensyn til disse kravspesifikasjonene for å finne den beste løsningen:

- Ingen dykker
- Ikke løfte etter løkkene på betongmadrassen over vann
- Bra egnet for sjøsikring
- Sikkerhet
- Utnytte dekkskapasiteten til Edda Freya
- ROV vennlig

4.1 Nytt utstyr for opptak av fleksible betongmadrasser

For å finne den beste løsningen har gruppen analysert de eksisterende metodene, og prøvd å finne en løsning som vil fungere bedre. Det er tatt hensyn til kravspesifikasjonene gitt av bedrift, samt begrensninger gruppen selv har tatt for å forenkle designprosessen.

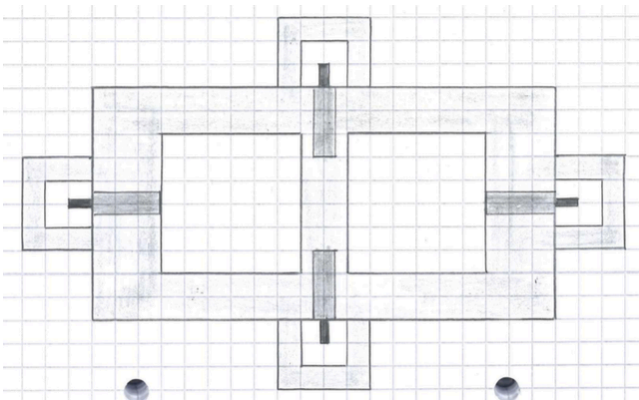
De viktigste hensynene det er lagt vekt på:

- Kravene gitt av DeepOcean
- ROV vennlig
- Krankapasitet
- Lover og regler

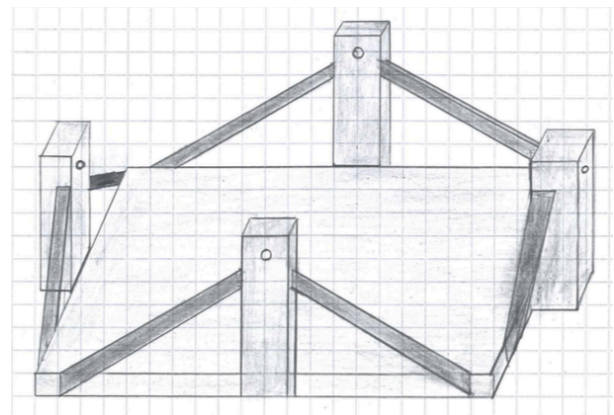
Her vil det bli presentert forskjellige nye metoder for opptak av fleksible betongmadrasser som gruppen vurderte å jobbe videre med.

4.1.1 Egen metode 1, opptak

Denne metoden er en videreutvikling av DeepOcean sin “Intelligent Mattress Frame” (“IMF”), se Figur 14. Forskjellen mellom “IMF” og denne metoden er at det nå kan legges ned eller løftes opp flere madrasser samtidig. Metoden går ut på at madrassene vil bli lagt oppå hverandre mellom søylene på bunnrammen (Figur 15) ved hjelp av “IMF”en, som igjen kobles til løfterammen. Koblingen fungerer ved hjelp av hydrauliske sylindre på løfterammen som skyver sylindrene inn i hull på søylene i bunnrammen. Ved hjelp av en kran på skipet vil madrassene og rammene bli løftet opp på dekk. På dekket lagres madrassene på bunnrammen som kobles direkte i dekket på skipet.



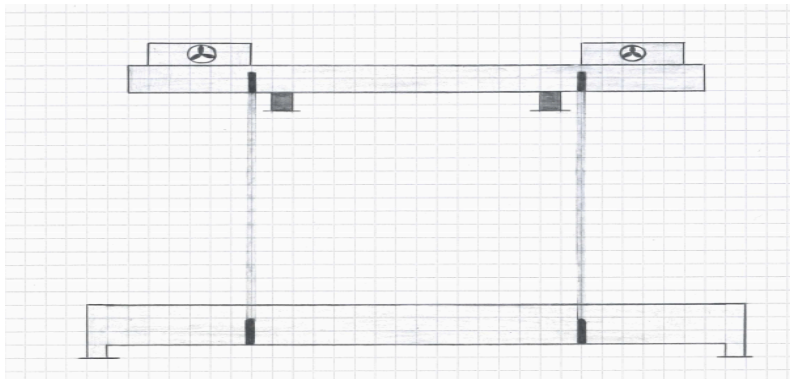
Figur 14 Topprammen sett ovenfra på egen metode 1, opptak.



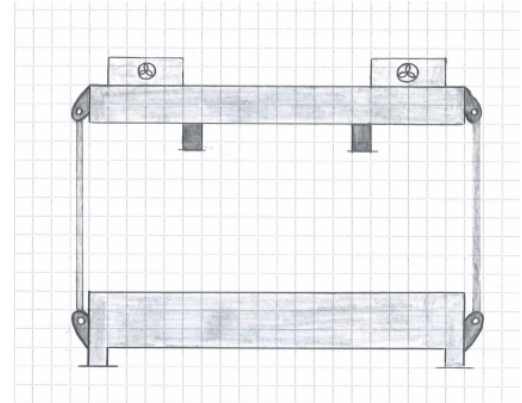
Figur 15 Bunnramme, opptak. på egen metode 1, opptak.

4.1.2 Egen metode 2, opptak

Her har gruppen tatt utgangspunkt i Pipeshield sin "Wet Storage And Recovery Basket". Gruppen har prøvd å gjøre denne metoden mer effektiv ved at "IMF" (DeepOcean sin) skal brukes som løfteramme. Rammen skal i denne metoden kunne løfte betongmadrasser fra havbunnen over til bunnrammen og senere koble seg på bunnrammen ved hjelp av stropper. IMF blir koblet til en kran på skipet og kan løfte madrassene opp på skipet. Figur 16 viser en skisse over hvordan løsningen ser ut fra kortsiden, mens Figur 17 viser hvordan den ser ut fra langsiden.



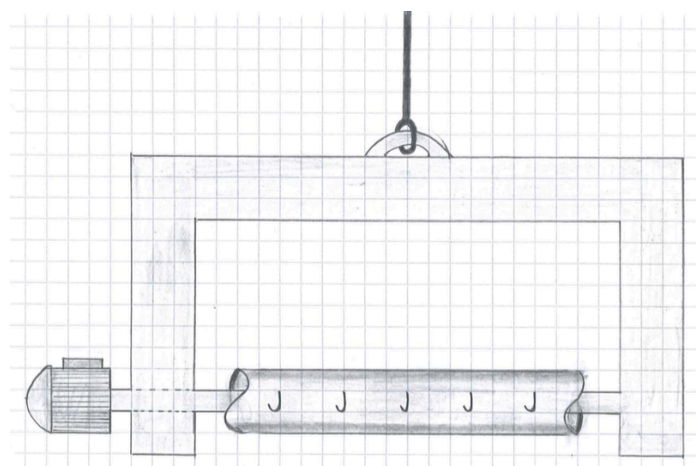
Figur 16 Egen metode 2, opptak sett fra langsiden



Figur 17 Eegen metode 2, opptak sett fra kortsiden

4.1.3 Egen metode 3, opptak

Metoden går ut på at madrassene skal rulles sammen. Dette skal gjøres ved hjelp av en hydraulisk/elektrisk motor som er koblet til rammen. Inni rammen er det en sylinder hvor madrassene skal rulles rundt, se Figur 18. Ved hjelp av løkkene til madrassene vil de bli koblet til sylindere. Den hydrauliske/elektriske motoren vil drive sylindere rundt og rammen vil være koblet på kranen til skipet. Etter at rammen er løftet opp til skipet vil madrassene rulles ut på dekket.



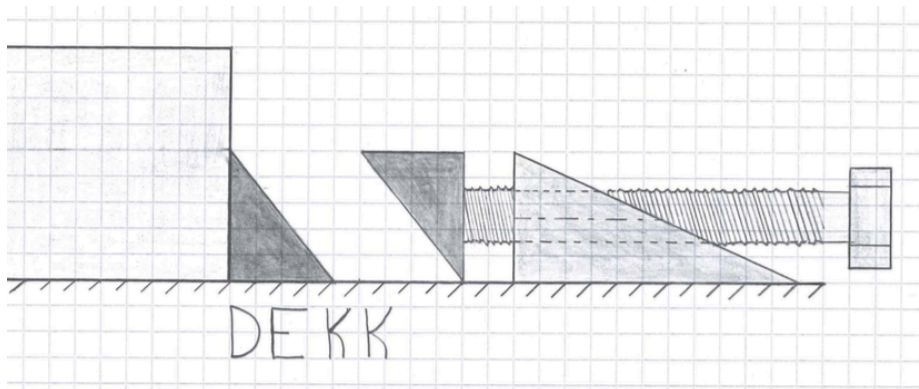
Figur 18 Skisse av egen metode 3, opptak

4.2 Nytt utstyr for sjøsikring av fleksible betongmadrasser

For å finne en enkel og god metode for sjøsikring av betongmadrasser ble de eksisterende metodene grundig analysert. Det vil her presenteres forskjellige nye metoder for sjøsikring av fleksible betongmadrasser.

4.2.1 Egen metode 1, sjøsikring

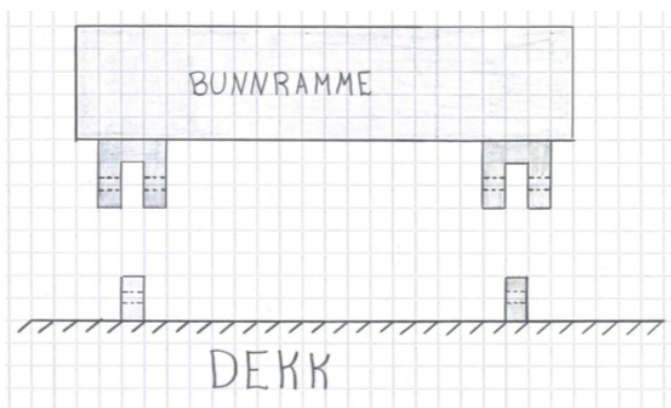
Denne metoden baserer seg på at gjenstanden (typisk bunnramme) som skal sjøsikres blir klemmt ned mot dekk og låst fast i både x- og y-retning ved hjelp av bevegeskruer som i Figur 19. Festebraketten til bevegeskruen sveises fast på dekk samt at motholdet på gjenstanden sveises fast i gjenstanden.



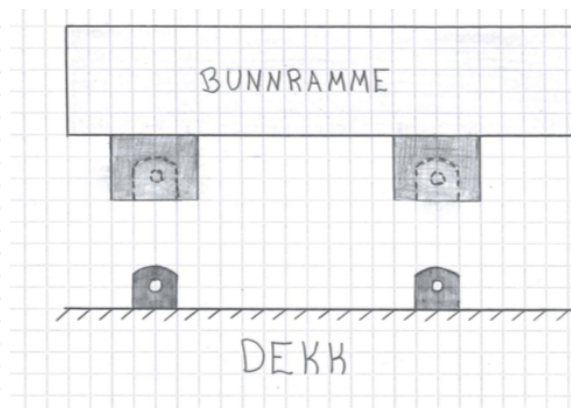
Figur 19 Skisse av egen metode 1, sjøsikring

4.2.2 Egen metode 2, sjøsikring

Med denne metoden senkes gjenstanden som skal sjøsikres ned på fester som er sveist fast i dekket. Det tres en bolt gjennom både gjenstanden og hver av festene. Det kan eventuelt brukes andre festemidler enn bolter. På Figur 20 ser en hvordan løsningen vil se ut forfra/bakfra og på Figur 21 ser en hvordan den vil se ut fra siden.



Figur 20 Egen metode 2 sjøsikring, sett forfra/bakfra



Figur 21 Egen metode 2 sjøsikring, sett fra siden

5 Evaluering av både eksisterende utstyr/metoder og egne ideer

I dette kapittelet blir de eksisterende og egne utstyr/metoder evaluert opp mot hverandre både for opptak og sjøsikring av betongmadrasser. Dette er for å finne den beste løsningen.

5.1 Evaluering av metoder og utstyr for opptak av betongmadrasser

For å evaluere metodene ble det satt opp flere vurderingskriterier for å finne den beste løsningen. Kriteriene som ble valgt var:

- Effektivitet
- Sikkerhet
- Kostnad
- Håndterbar
- Sjøsikring
- Oppbygning

Effektivitet:

Det er store dybdeforskjeller der betongmadrassene er plassert. Ved grunne vann vil det gjerne lønne seg med en metode som løfter opp en og en madrass, men på større dybder vil det gjerne lønne seg å plassere flere madrasser i noe før opphenting til fartøyet. Gruppen har her valgt å fokusere mest på å hente opp betongmadrasser på dypt vann.

Sikkerhet:

DeepOcean ønsker en metode der en ikke løfter betongmadrassene i løkkene opp gjennom plaskesonen og over dekket. Når produktet skal løftes ut av plaskesonen og over på dekk, kan det ved en ulykke få store konsekvenser. Røret under betongmadrassen må heller ikke komme til skade.

Kostnad:

Det ønskes laves mulig investeringskostnad.

Håndterbar:

Hvor vanskelig metoden er å bruke. Er metoden f.eks avhengig av en ROV?

Sjøsikring:

Her menes hvor enkle madrassene er å sjøsikre når de er kommet opp på dekket.

Oppbygning:

Her menes hvor enkelt utstyret er, f.eks om det er avhengig av et hydraulisk system.

5.1.1 Evaluering av omvendt installasjon

Tabell 2 Evaluering av omvendt installasjon.

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan kun løfte opp en og en madrass om gangen.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Sikkerhet	Dårlig da en må løfte opp madrassene etter løkkene.	★★☆☆☆☆☆☆☆☆ 2/10
Kostnad	Ingen ekstra kostnad da DeepOcean allerede har løfteramme. Da det ikke er anbefalt å løfte i løkkene over vann, anbefales det å ta en grundig sjekk av løkkene før de brukes. Dette kan ta litt tid hvis mange madrasser. [10]	★★★★★★★★☆☆ 8/10
Håndterbar	Kan oppstå problemer for ROV'en å feste kroken i løkkene på madrassen, samt å plassere løfterammen over madrassen som skal hentes opp.	★★★★★☆☆☆☆☆ 5/10
Sjøsikring	Madrassene vil bli plassert oppå hverandre på dekket, men det benyttes kjetting for å sikre dem. Lite plasseffektivt da det ved kjettinger tar en del større plass enn bare madrassene.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Oppbygning	Er ikke avhengig av noe hydragulisk/elektrisk utstyr.	★★★★★★★★☆☆ 7/10

5.1.2 Evaluering av "IMF"

Tabell 3 Evaluering av "IMF".

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan kun løfte opp en og en madrass om gangen.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Sikkerhet	Dårlig da en må løfte opp madrassene etter løkkene.	★★☆☆☆☆☆☆☆☆ 2/10
Kostnad	Ingen ekstra kostnad da DeepOcean har IMF'en. Da det ikke er anbefalt å løfte i løkkene over vann, anbefales det å ta en grundig sjekk av løkkene før de brukes. Dette kan ta litt tid hvis mange madrasser. [10]	★★★★★★★★☆☆ 8/10
Håndterbar	Kan oppstå problemer for ROV'en å feste kroken i løkkene på madrassen, men ellers god. Vil være lett å plassere i vann da den er utstyrt med "Thruster".	★★★★★★★★☆☆ 7/10

Sjøsikring	Madrassene vil bli plassert oppå hverandre på dekket, men det benyttes kjetting for å sikre dem. Lite plasseffektivt da det ved kjettinger tar en del større plass enn bare madrassene.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Oppbygning	Har her et hydraulikksystem som ikke vil være til noe hjelp ved opptak, men mulighet for å plassere seg rett over madrassen ved hjelp av thrusterene.	★★★★★☆☆☆☆☆ 5/10

5.1.3 Evaluering av "Speed Loader"

Tabell 4 Evaluering av "Speed Loader"

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan løfte opp flere madrasser samtidig.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10
Sikkerhet	Kan her falle biter av betongen gjennom nettingstrukturen og ned på dekk.	★★★★★☆☆☆☆☆ 5/10
Kostnad	Lav leiekostnad og eventuelt rimelig å produsere. [27]	★★★★★☆☆☆☆☆ 6/10
Håndterbar	Er avhengig av et utstyr for å plassere madrassene i "Speed Loader"en. Lett å laste madrassene på land, siden en kan løfte dem i "Speed Loader"en.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Sjøsikring	Kan lagre madrassene i "Speed Loader"en under transporten. Deretter vil "Speed Loaderne" festes med kjetting i dekket. Det er også mulig å stable flere speed loader oppå hverandre.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10
Oppbygning	Er ikke avhengig av noe hydraulisk/elektrisk system.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10

5.1.4 Evaluering av "Wet Storage/Recovery Basket"

Tabell 5 Evaluering av "Wet Storage/Recovery Basket"

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan løfte opp flere madrasser samtidig, men vil bli et ekstra unødvendig løft da en ikke kan bruke utstyret som tar madrassene i basketen til å løfte opp basketen til fartøyet.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10
Sikkerhet	Ganske sikker da madrassene ligger i en slags konteiner ("Basket") opp til fartøyet.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10

Kostnad	Utstyret vil koste en del mer enn ved de andre metodene, dersom madrassene skal sjøsikres i "Basket"en.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Håndterbar	Er avhengig av et utstyr som plasserer madrassene i basketen. Vil være vanskelig å utnytte plassen i basketen. Dette på grunn av det vil være vanskelig å plassere madrassene nøyaktig. Må konfigureres fra opprinnelig produkt.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Sjøsikring	Madrassene kan oppbevares i basketen under transporten, men det går ikke an å stable flere basketer oppå hverandre.	★★★★★★☆☆☆☆ 6/10
Oppbygning	Er ikke avhengig av noe hydraulisk/elektrisk system. Kan også konfigureres til sjøsetting av madrassene.	★★★★★★☆☆☆☆ 7/10

5.1.5 Evaluering av "Subsea grabb"

Tabell 6 Evaluering av "Subsea grabb"

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan her bare løfte opp en og en madrass, med mindre den blir brukt for å plassere madrassene i en konteiner/basket ved havbunnen.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Sikkerhet	Ved løft direkte til fartøyet kan det løsne biter/deler av madrassen som kan treffe dekket eller i verste fall personer. Kan også gjøre skade på røret.	★★★☆☆☆☆☆☆☆ 2/10
Kostnad	Det er vanskelig å si hvor høy kostnaden blir, men det antas at den blir høy.	★★★★★★☆☆☆☆ 5/10
Håndterbar	Er avhengig av at madrassen ikke oppløses/rakner. Vil være mange forskjellige bevegelige deler som trenger vedlikehold. Samt det hydrauliske/elektriske systemet for å åpne å lukke grabben.	★★★★★☆☆☆☆☆ 4/10
Sjøsikring	Vil være krevende da madrassene kan bli ødelagt av grabben, men kan eventuelt plasseres i en konteiner.	★★★★☆☆☆☆☆☆ 3/10
Oppbygning	Er her avhengig av et hydraulisk/elektrisk system for å åpne og lukke grabben.	★★★★★★☆☆☆☆ 5/10

5.1.6 Evaluering av "Subsea Container"

Tabell 7 Evaluering av "Subsea Container"

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan løfte opp flere madrasser samtidig, men vil bli et ekstra unødvendig løft da en ikke kan bruke utstyret som tar madrassene i basketen til å løfte opp basketen til fartøyet.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Sikkerhet	Ganske sikker, da madrassene ligger i en slags basket opp til fartøyet.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Kostnad	Bruk av spesialbestilte containere antas å gi en ganske høy kostnad.	★★★★☆☆☆☆ 3/10
Håndterbar	Er avhengig av et utstyr som plasserer madrassene i containeren.	★★★★☆☆☆☆ 4/10
Sjøsikring	Madrassene kan oppbevares i containeren under transporten.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Oppbygning	Er ikke avhengig av noe hydraulisk/elektrisk system.	★★★★★★★☆☆ 6/10

5.1.7 Evaluering av egen metode 1, optak

Tabell 8 Evaluering av egen metode 1, optak

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan løfte opp flere madrasser på et løft, samtidig som en kan bruke løfterammen både til å plassere betongmadrassene i bunnrammen og løfte opp den opp til fartøyet.	★★★★★★★☆☆ 8/10
Sikkerhet	Ganske sikker da madrassene ligger i bunnrammen opp til fartøyet.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Kostnad	Det vil koste en del å lage bunnrammen, samt modifisere IMF'en.	★★★★☆☆☆☆ 4/10
Håndterbar	Kan oppstå problemer for ROV'en å feste kroken i løkkene på madrassen, men ellers god.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Sjøsikring	Madrassene kan oppbevares i bunnrammen under transporten.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Oppbygning	Er avhengig av et hydraulisk system.	★★★★★★★☆☆ 5/10

5.1.8 Evaluering av egen metode 2, opptak

Tabell 9 Evaluering av egen metode 2, opptak

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Kan løfte opp flere madrasser på et løft, samtidig som en kan bruke løfterammen både til å plassere betongmadrassene i bunnrammen og løfte den opp til fartøyet.	★★★★★★★☆☆ 8/10
Sikkerhet	Madrassene ligger på bunnrammen, og stropper hindrer madrassene fra å skli på langsiden. Madrassene er ikke sikret på kortsiden.	★★★★★☆☆☆☆ 5/10
Kostnad	En må først og fremst kjøpe bunnrammen, for så å modifisere IMF'en.	★★★★★☆☆☆☆ 5/10
Håndterbar	Kan oppstå problemer for ROV'en å feste kroken i løkkene på madrassen, samt feste stroppene som binder bunnrammen og IMF'en sammen.	★★★★★☆☆☆☆ 5/10
Sjøsikring	Madrassene kan oppbevares på bunnrammen under transporten.	★★★★★★★☆☆ 7/10
Oppbygning	Er avhengig av et hydraulisk system og thrustere.	★★★★★☆☆☆☆ 4/10

5.1.9 Evaluering av egen metode 3, opptak

Tabell 10 Evaluering av egen metode 3, opptak

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Effektivitet	Dårlig, da det kan ta lang tid å feste alle løkkene med låsemekanismen på sylindren, samt at en bare kan løfte opp en og en madrass.	★★★★☆☆☆☆☆☆ 4/10
Sikkerhet	Gjennom plaskesonen kan deler/biter av madrassen falle av. Madrassen må ha liten nok bøyeradius for å rulles rundt.	★★☆☆☆☆☆☆☆☆ 2/10
Kostnad	Antar at det vil koste en del å lage produktet, samt å kjøpe en elektromotor som vil tåle trykket ved operasjonsdybde.	★★★★★☆☆☆☆ 5/10
Håndterbar	Kan oppstå problemer for ROV'en når den skal feste løkkene i låsemekanismen på sylindren.	★★★★★☆☆☆☆ 4/10

Sjøsikring	Vil være krevende da madrassene kan bli ødelagt under løftet, men kan eventuelt plasseres i en konteiner.	★★★☆☆☆☆ 3/10
Oppbygning	Er avhengig av en hydraulisk/elektrisk motor.	★★★★★☆☆ 5/10

5.2 Evaluering av metoder og utstyr for sjøsikring av betongmadrasser

Vurderingskriterier:

- Enkelhet
- Sikkerhet
- Plass
- Kostnad

Enkelhet: Her menes hvor enkelt utstyret festes. Må det gjøre noe forarbeid (eks. sveising) før plassering av utstyr?

Sikkerhet: Her menes hvor god sikringen er. Tar den høyde for høye laster?

Plass: Hvor stor plass metoden tar i forhold til betongmadrassen.

Oppbygning: Hvordan oppbygningen på metoden er. Den må være enkel å vedlikeholde, og må ikke være vanskelig å sette sammen.

Kostnad: Hvor stor investeringskostnaden blir.

5.2.1 Evaluering av bunnramme og "Speed Loader"

Tabell 11 Evaluering av bunnramme og "Speed Loader"

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Enkelhet	Må få sveist fast punkter til øyeboltene som kjettingen festes i. Må bruke flere kjettinger for å få låst madrassene.	★★★★★☆☆ 6/10
Sikkerhet	Bruker kjettinger med kjettingstrammere for å feste madrassene. Er avhengig av å stramme kjettingstrammerene riktig for å sikre riktig. Kan eventuelt feste bunnrammen direkte i dekket.	★★★★★☆☆ 6/10
Plass	Må ha en viss vinkel på kjettingene for å hindre at madrassene ikke flytter på seg.	★★★★☆☆☆☆ 4/10

Kostnad	Er avhengig av en bunnramme og en speedloadere, men ellers er metoden rimelig.	★★★★★★★☆☆ 8/10
---------	--	----------------

5.2.2 Evaluering av to "Speed Loadere"

Tabell 12 Evaluering av to "Speed Loadere"

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Enkelhet	Må få sveist fast punkter til øyboltene som kjettingen festes i. Må bruke flere kjettinger for å få låst madrassene.	★★★★★★★☆☆ 6/10
Sikkerhet	Bruker kjettinger med kjettingstrammere for å feste madrassene. Er avhengig av å stramme kjettingstrammerene riktig for å sikre godt nok.	★★★★★☆☆☆☆ 5/10
Plass	Må ha en viss vinkel på kjettingene for å hindre at madrassene ikke flytter på seg.	★★★★☆☆☆☆☆☆ 4/10
Kostnad	Er avhengig av to speedloadere, men ellers er metoden rimelig.	★★★★★★★☆☆ 8/10

5.2.3 Evaluering av "Twistlock"

Tabell 13 Evaluering av "Twistlock".

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Enkelhet	Er avhengig av feste til "twistlock" på dekket.	★★★★★★★☆☆ 8/10
Sikkerhet	Får låst av konteineren i alle retninger.	★★★★★★★☆☆ 8/10
Plass	Bruker ikke mer plass enn størrelsen på selve konteineren. Kan også brukes for å stable opp hverandre.	★★★★★★★★☆☆ 10/10
Kostnad	Metoden er avhengig av at konteineren har "twistlock", samt at dekket er tilrettelagt for det.	★★★★★★★☆☆ 6/10

5.2.4 Evaluering av egen metode 1, sjøsikring

Tabell 14 Evaluering av egen metode 1, sjøsikring

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Enkelhet	Avhengig av punkter på dekket som en kan sveise låsemekanismen fast i. Samt sveise et mothold på gjenstanden. Metoden er avhengig av geometrien på gjenstanden som skal sikres.	★★★★★★★☆☆ 5/10

Sikkerhet	Får låst gjenstanden i x- og y-retning, men er avhengig av å stramme bevegelesskruen riktig.	★★★★★☆☆☆☆☆ 5/10
Plass	Låsemekanismen bruker litt ekstra plass på sidene av gjenstanden.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10
Kostnad	Må investere i låsemekanismen, samt mothold på gjenstanden som skal sjøsikres.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10

5.2.5 Evaluering av egen metode 2, sjøsikring

Tabell 15 Evaluering av egen metode 2, sjøsikring

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Score 1-10
Enkelhet	Metoden er avhengig av at gjenstanden har forhåndsmonterte fester, samt at gjenstanden må plasseres med ekstremt høy nøyaktighet for å få bolten gjennom festene.	★★★★☆☆☆☆☆☆ 3/10
Sikkerhet	Får festet gjenstanden i alle retninger.	★★★★★☆☆☆☆☆ 8/10
Plass	Tar ikke opp større plass enn selve gjenstanden som skal sikres.	★★★★★☆☆☆☆☆ 10/10
Kostnad	Ikke noe spesielt utstyr som må investeres i.	★★★★★☆☆☆☆☆ 7/10

5.3 Anbefalte løsninger

For å velge den endelige løsningen for opptak av betongmadrasser, ble de forskjellige kriteriene vektlagt etter hva bedriften ville ha mest fokus på.

Ifølge eksternt veileder har DeepOcean blitt kontaktet for å hente opp flere hundre madrasser, og det blir derfor lagt mer vekt på effektivitet enn f.eks investeringskostnaden.

De viktigste kriteriene ble gradert høyere enn resten. Det vil si at scoren på de forskjellige vurderingskriteriene ble multiplisert med et tall etter hvor høyt de ble vektet. Dermed ble:

- Effektiviteten ganget med 1.25
- Sikkerheten ganget med 1.5

Resten av vurderingskriteriene ble ganget med 1.0

I Tabell 16 tilsvarer ”5.1.1” delkapittel 5.1.1 (Evaluering av omvendt installasjon), og så videre.

Tabell 16 Sammenligning av metodene

Vurderingskriterier:	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.1.4	5.1.5	5.1.6	5.1.7	5.1.8	5.1.9
Effektivitet	5	5	8.75	8.75	5	8.75	10	10	5
Sikkerhet	3	3	7.5	10.5	3	10.5	10.5	7.5	3
Kostnad	8	8	6	4	5	3	4	5	5
Håndterbar	5	7	4	4	4	4	7	5	4

Sjøsikring	4	4	7	6	3	7	7	7	3
Oppbygning	7	5	7	7	5	6	5	4	5
Total poengsum:	32	32	40.25	40.25	25	39.25	43.5	38.5	25

Ut fra poengsummen gitt over, ble metode 5.1.7 (Egen metode 1) valgt for videre arbeid. Gruppen følte likevel at metoden for opptak ikke var god nok, og ønsket derfor å se på forbedringer spesielt på bunnrammen, samt muligheten for å fjerne det hydrauliske systemet.

Metodene for sjøsikring ble ikke evaluert på samme måte som metodene for opptak, da det ble tidlig klart at den eksisterende metoden "Twistlock" ville være den som fungerte best for metoden som ble valgt for opptak. "Twistlock"-systemet er universelt og kan derfor brukes både til sjøsikring og til lastsikring ved transport på land.

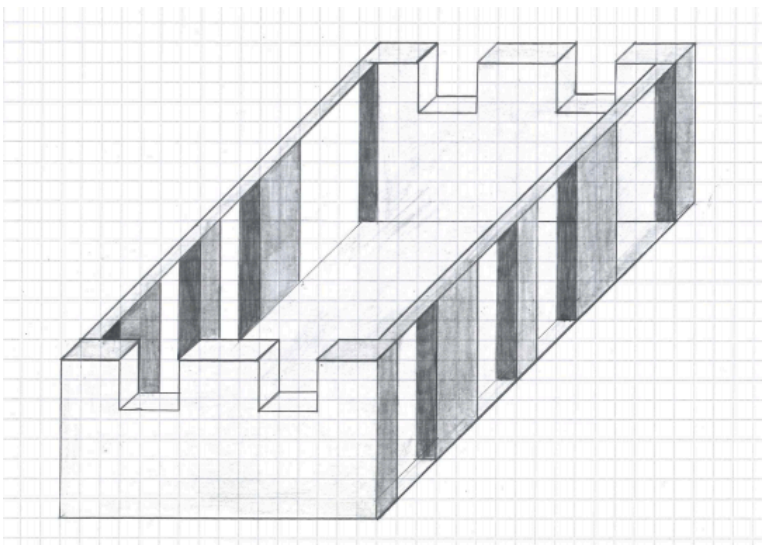
5.3.1 Forbedring av valgt løsning

Metode 5.1.7, første oppgradering

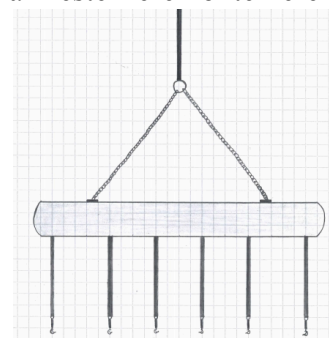
Det første som ble gjort var å velge vekk "IMF"en, slik at metoden ikke var avhengig av et hydraulikksystem. "IMF"en ble byttet til en løfteramme uten hydraulikksystem (Figur 24), men med kjetting/wire hengende ned fra siden med ROV-kroker i enden, se Figur 23. Bunnrammen ble også endret slik at den ble mer lik en konteiner, men uten fullstendige sidevegger som vist i Figur 22. Dette fordi når madrassene plasseres i bunnrammen/konteineren ved hjelp av ROV-krokene fra løfterammen, skal en ROV enkelt komme til fra siden for å hekte av ROV-kroken fra løkken på madrassen.

Når madrassene er plassert i konteineren, vil løfterammen kobles sammen med konteineren ved at løfterammen plasseres i nedhakkert på kortsidene av konteineren. Der vil det være en sylinder som en ROV kan "slide" borttil for å låse løfterammen og konteineren sammen.

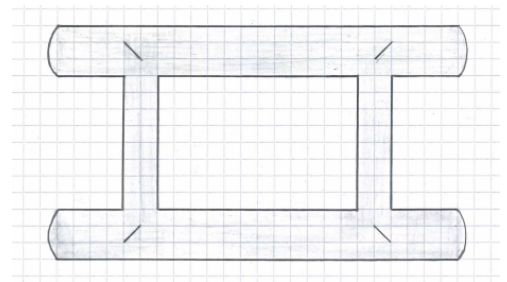
For best mulig sjøsikring av metoden falt valget på å bruke "Twistlock" for å feste konteineren direkte på dekket. Det ble også valgt å bruke "Twistlock" slik at en kan feste flere containere oppå hverandre for å spare dekksplass.



Figur 22 skisse av konteiner.



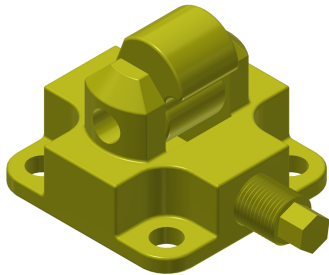
Figur 23 skisse av løfteramme sett fra siden.



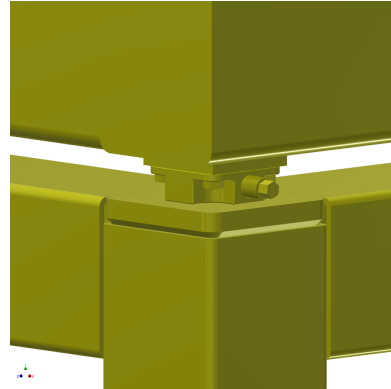
Figur 24 skisse av løfteramme sett ovenfra.

Metode 5.1.7, andre oppgradering

Etter møte med DeepOcean ble gruppen enig med ekstern veileder om å heller bruke "VI-SO Clamp"-systemet (ref. Figur 25) for å feste løfterammen sammen med konteineren. [28] Dette er fordi "Twistlock"-systemet ikke er beregnet for løft, men kun sjøsikring. "VI-SO Clamp" kan brukes i de samme festene som "Twistlock"-systemet bruker, og fungerer ved at en "klo" plasseres inn i feste på konteineren og skrues inntil slik at de låses fast, se Figur 26. "VI-SO Clamp"en er festet på hvert hjørne på undersiden av løfterammen.

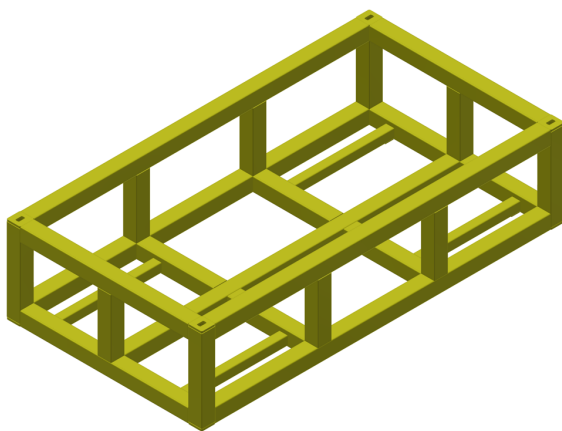


Figur 25 "VI-SO Clamp"

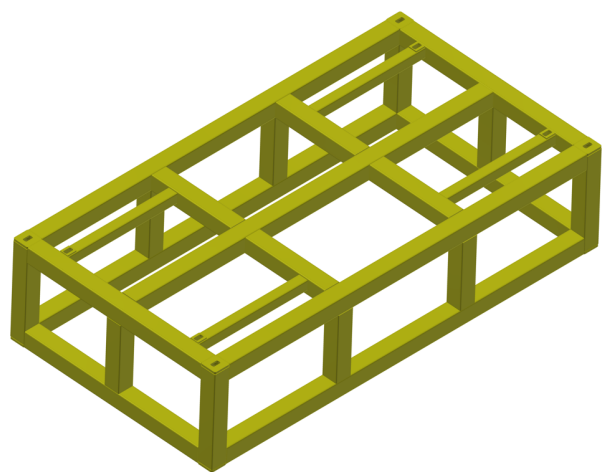


Figur 26 "VI-SO Clamp" mellom konteiner og løfteramme

Konteineren har fire "Twistlock"-fester på toppen som vist i Figur 27. Disse kan brukes både til å feste løfterammen ved opphenting av konteineren og til å feste en ekstra konteiner på toppen ved transport. Konteineren har også åtte "Twistlock"-fester under, som vist i Figur 28. Ett feste i hvert hjørne som kan bli brukt til å feste en ekstra konteiner i høyden, og fire fester til standardmålet til "Twistlock"-systemet.

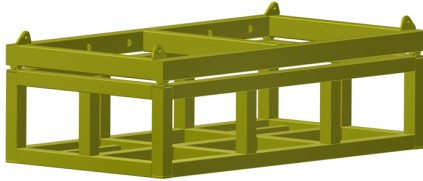


Figur 27 Konteineren sett ovenfra

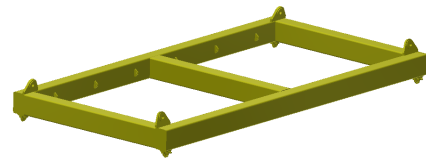


Figur 28 Konteineren sett fra undersiden

Design på løfterammen ble også endret. Den ble gjort like bred og lang som konteineren, som vist i Figur 29. For å ta opp kreftene best mulig ble det satt inn tre støtter mellom bjelkene på langsiden. En på midten, og en på hver ende, se Figur 30.



Figur 29 Konteineren og løfterammen koblet sammen



Figur 30 Løfterammen

Ytre mål på konteineren:

Kortsiden 3500 mm
Langsiden 6500 mm
Høyden 1550 mm

Ytre mål på løfterammen:

Kortsiden 3500 mm
Langsiden 6500 mm
Høyden 713 mm

Gruppen ønsket å sjekke om den oppgraderte metoden får høyere poengsum enn hva metoden hadde i utgangspunktet (43,5 poeng). Vektleggingen av kriteriene er gjort likt som i Tabell 16.

Tabell 17 evaluering av oppgradert metode

Vurderingskriterier:	Begrunnelse	Score 1-10	Vektlagt vurdering
Effektivitet	Ikke gjort noen forbedringer på effektiviteten.	★★★★★★★☆☆ 8/10	10
Sikkerhet	Er blitt forbedret ved at det er flere støtter på siden av konteineren som hindrer madrassen i å skli.	★★★★★★★☆☆ 8/10	12
Kostnad	Trenger ikke å modifisere "IMF"en, men bygge en enkel konstruksjon selv.	★★★★★☆☆☆☆ 5/10	5
Håndterbar	Ikke gjort noen forbedringer.	★★★★★★★☆☆ 7/10	7
Sjøsikring	Bruker "twistlock" systemet som er veldig sikkert.	★★★★★★★☆☆ 8/10	8
Oppbygning	Er ikke avhengig av noen hydrauliske eller elektriske komponenter.	★★★★★★★☆☆ 7/10	7
Total poengsum:			49

Poengsummen etter oppgraderingene har gått fra 43,5 opp til 49. Gruppen mener selv metoden er blitt vesentlig forbedret, og er dermed enig i poengsummen den oppgraderte versjonen har fått.

5.3.2 Materialvalg

Etter samtale med ekstern veileder ble det bestemt å bruke konstruksjonsstålet S355, siden det er et material som er vanlig å bruke på offshoreutstyr. Konstruksjonsstålet S355 har en flytegrense på 355 N/mm^2 og en tetthet på 7850 kg/m^3 .

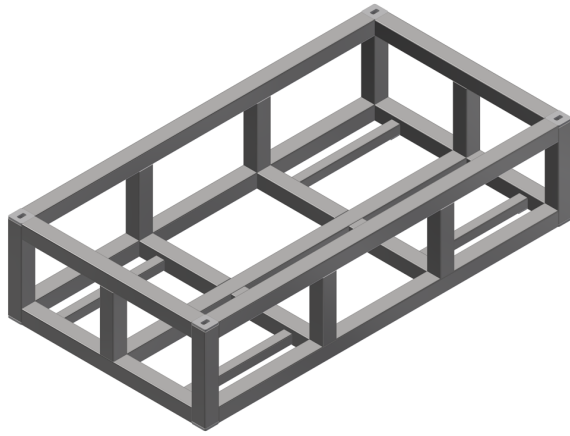
For bjelkene på løfteramen ble det vurdert å enten bruke H-bjelker eller RHS-bjelker. Valget falt på RHS-bjelker da disse tar bedre opp krefter i begge retninger. Det som er viktig å tenke på med valg av RHS-bjelker, er at de er hule innvendig se (Figur 31). Med tanke på at løfterammen skal senkes ned på muligens flere tusen meter dyp, vil bjelkene da bli utsatt for trykk på flere hundre bar. For å hindre implosjon er det derfor veldig viktig å punktere bjelken, slik at vann kan sige inn i bjelken og utligne trykket.



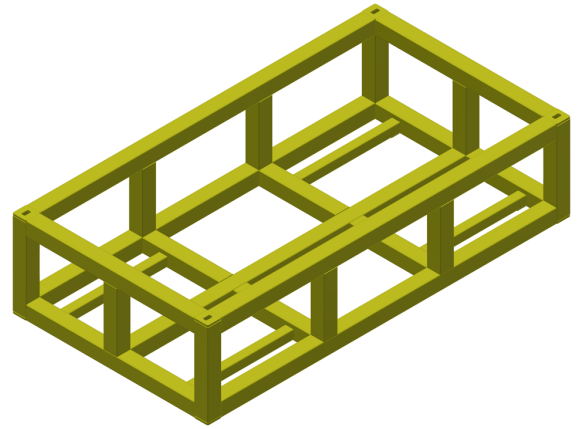
Figur 31 RHS-bjelke

5.3.3 Korrosjonsbehandling

Siden gruppen valgte å bruke konstruksjonsstålet S355 som ikke er korrosjonsbestandig, var en avhengig av å beskytte utstyret mot korrosjon. Gruppen valgte da å gi hele produktet (bortsett fra kjetting/vaier) en "Subsea Primer", samt en gul (RAL 1003) "Subsea Coating" som er en overflatebehandling som skal redusere korrosjonsdannelse. Dette er fordi både løfterammen og konteineren kun skal være midlertidig i vann. Gulfargen gjør også utstyret bedre synlig. Hvis konteineren/utstyret må bli stående på havbunnen over en lengre periode kan det vurderes å benytte offeranoder som f.eks sink for ekstra korrosjonsbeskyttelse. [29] På Figur 32 ser én konteineren før den har fått korrosjonsbehandling, og på Figur 33 ser én konteineren etter den har fått korrosjonsbehandling.



Figur 32 Konteiner før korrosjonsbehandling



Figur 33 Konteiner etter korrosjonsbehandling

6 Beregning og dimensjonering av valgt metode

I dette kapittelet vil den valgte løsningen bli dimensjonert med hånd- og dataassisterte beregninger.

Det ble, i samarbeid med senioringeniør hos DeepOcean, bestemt at det skulle designes etter DNV GL standarden DNV 2.7-3. I denne standarden bruker man en designfaktor på 2,5 for å regne ut en designlast som det dimensjoneres etter. Denne designfaktoren består av en "Dynamic Amplification Factor", DAF, på 2, en reduksjonsfaktor på 0,9 som tar høyde for oppløft når et legeme blir nedsenket i vann, samt en generell faktor på 1,4. Bruken av designfaktoren 2,5 er diskutert i vedlegg C. DNV 2.7-3 oppgir egne designfaktorer for løft i luft, her er faktorene for alle operasjonsklasser (blant annet bestemt av signifikant bølgehøyde) mindre enn faktoren for undervannsløft. Faktoren for undervannsløft blir dimensjonerende.

DNV 2.7-3 tar også for seg dimensjonering av løfteslings, utnyttelsesgrad for sveiser og en egen metode for beregning av løfteøyer, noe som passer veldig bra til denne oppgaven.

6.1 Rigging

Løfterammen skal brukes til å løfte madrasser opp i konteineren og til å løfte konteineren fylt med madrasser.

6.1.1 Madrassløft

Løfterammen kan brukes på alle de tre forskjellige madrassstørrelser, ref. kapittel 2.1.1. Det naturlige blir derfor å dimensjonere i forhold til at løfterammen skal kunne løfte den tyngste betongmadrassen. I møte med ROV-supervisor hos DeepOcean ble det fortalt at det var vanlig å bruke fire av løftepunktene på hver side av betongmadrassen. Det ble derfor bestemt at løsningen i dette prosjektet skal kunne løfte madrassene med til sammen åtte løftepunkt selv om løfterammen har 12 løftepunkt. De fire ekstra punktene gjør at ROV-piloten kan vurdere hvilke løftepunkt på madrassen som er intakt og variere hvor krokene skal festes, eventuelt bruke alle 12 løftepunktene hvis ønskelig.

Formel (1) bestemmer designlasten som virker på hvert løftepunkt fra madrassen. [30] I beregningene er det sett på en situasjon hvor lasten er likt fordelt på alle løftepunktene. Her brukes en last på 20 tonn, som er massen til den største madrassstypen.

Tabell 18 Symbolforklaring til designlast beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
F_{sub}	Designlast	?	N
MGW	Maksimal totalmasse	20 000	kg
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	$\frac{m}{s^2}$
Antall løftepunkt	Antall løftepunkt som blir brukt	8	-

$$F_{sub} = 2,5 \times \frac{MGW}{\text{antall løftepunkt}} \times g \quad (1)$$

$$F_{sub} = 2,5 \times \frac{20\,000\text{kg}}{8} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ [N]}$$

$$F_{sub} = \underline{61\,313\text{N}}$$

Dette vil si at hvert løfteøye må tåle minimum 61 313 N.

Resultantkraft, "RSF"

Det brukes stropper fra løfteøyene til ROV-krokene etter anbefaling fra ekstern veileder hos DeepOcean. Bakgrunnen for dette er at det er lettere for ROVen å håndtere stropper kontra kjetting eller wire. DNV 2.7-3 bestemmer at det skal legges på en generell faktor på 1,2 når det beregnes hvilken kraft som virker på løftepunktene. Det blir i dette tilfellet forenklet litt og antatt at stropene henger rett ned fra løfterammen til madrassen. Forenklingen fører til at det ikke vil være en vinkel mellom løfteslings og vertikal akse og det vil derfor bare virke krefter i z-retning.

"RSF", som blir regnet ut i formel (2), brukes til å dimensjonere løfteøyene, sjaklene, stropene og krokene. [30]

Tabell 19 symbolforklaring til reultantkraft beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
"RSF"	Resultantkraft	?	N
F_{sub}	Designlast	61 313	N

$$"RSF" = 1,2 \times F_{sub} \quad (2)$$

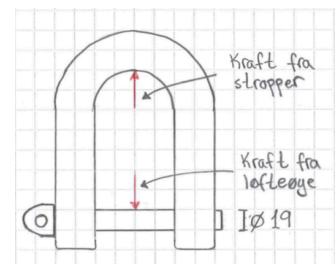
$$"RSF" = 1,2 \times 61\,313 \text{ [N]}$$

$$"RSF" = \underline{73\,576\text{N}}$$

Med en faktor på 1,2 må hvert løftepunkt dermed tåle minimum 73 576 N.

6.1.1.1 Sjakkell

Til valg av sjakkell brukes formel (3), hentet fra DNV 2.7-3, for å finne en passende størrelse. Her er "WLL" den tillatte lastekapasiteten, oppgitt av leverandør. "RSF" er samme som tidligere og SF er sikkerhetsfaktoren som leverandør har brukt til å bestemme sin lastekapasitet. Figur 34 viser hvor kreftene fra stropene og løfteøyet virker på sjakkelen.



Figur 34 Krefter som virker på sjakkelen illustrert

Formel (3) benyttes for å finne hva sjakkelen må kunne løfte. I formelen benyttes DNV sin sikkerhetsfaktor på 2,25 som deles på leverandøren sin sikkerhetsfaktor som i dette tilfellet er seks, finnes i vedlegg F. [30]

Tabell 20 Symbolforklaring til sjakkell beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
"WLL"	Tillatt last	?	kg
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
SF	Sikkerhetsfaktor	6	-
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	$\frac{m}{s^2}$

$$"WLL" > \frac{2,25}{SF} \times \frac{"RSF"}{g} \quad (3)$$

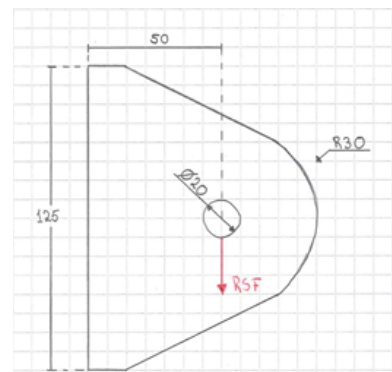
$$"WLL" > \frac{2,25}{6} \times \frac{73\,576N}{9,81\frac{m}{s^2}} [kg]$$

$$"WLL" = \underline{2\,813kg}$$

Sjakkelen må ha en "WLL" på minimum 2 813 kg. Dermed velges en sjakkell med "WLL" på 3 250 kg ut i fra vedlegg F.

6.1.1.2 Løfteøye

Når det skal designes løfteøyer definerer standarden at det skal sjekkes for lagertrykk, utrivning i godset over lageret, sveisen rundt kinnplatene og det mest kritiske tverrsnittet under lageret. Løfteøyene designes foreløpig etter Norsok standard R-002 sin mal, og sjekkes deretter i henhold til DNV 2.7-3.

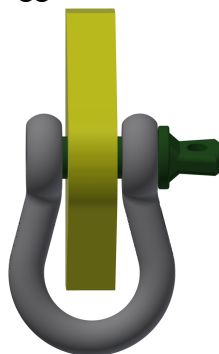


Figur 35 "RSF" illustrert på løfteøyet.

Godstykkelse

DNV 2.7-3 bestemmer at godstykkelsen til løfteøyet ikke skal være mindre enn 75 % av mellomrommet mellom bena på sjakkelen (Verdien c i vedlegg F).

Formel (4) finner den minste tillatte tykkelsen til løfteøyet. Mellomrommet mellom bena, ref. Figur 36, til sjakkelen er funnet fra vedlegg F.



Figur 36 Godstykkelse

Tabell 21 Symbolforklaring til dimensjonering av godstykkelse beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
t	Maksimal platetykkelse	?	mm
c_{sjakk}	Mellomrom mellom bena til sjakkelen	27	mm

$$t = c_{sjakk} \times 0,75 \quad (4)$$

$$t = 27mm \times 0,75 [mm]$$

$$t = \underline{20,3mm}$$

Platetykkelse for løfteøye designet for 3,25 tonn er 22 mm, noe som er mer enn 20,3 mm. [31]

Lagertrykk

Det skal sjekkes at lageret tåler trykket som oppstår fordi sjakkelen blir dratt mot lagerveggen.

Det er et generelt krav i standarden om at spenning aldri skal overstige 85% av flytegrensen. Det brukes S355 stål, som har en flytegrense på 355 MPa. Formel (5) finner den modifiserte spenningsgrensen.

Tabell 22 Symbolforklaring til lagertrykk beregninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
σ_e	Tillatt ekvivalent Von Mises-spenning	?	MPa
Re	Flytegrense	355	MPa
D_{pin}	Sjakkelpinnens diameter	19	mm
D_H	Lagerhullets diameter	?	mm
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
E	Elastitetsmodul	210	MPa
t	Godstykkelse til løfteøyet	22	mm

$$\sigma_e = Re \times 0,85 \quad (5)$$

$$\sigma_e = 355 \times 10^6 MPa \times 0,85 [MPa]$$

$$\sigma_e = \underline{302MPa}$$

Tillatt spenning er 302MPa.

DNV 2.7-3 spesifiserer at dersom diameteren til sjakkelpinnen er mindre enn 94% av lagerdiameter skal det brukes en egen formel for å beregne lagertrykket. Det sjekkes derfor først forholdet mellom sjakkelpin og lagerdiameter. Sjakkelpinnens diameter er hentet fra vedlegg F og elastitetsmodulen er hentet fra DNV 2.7-3.



$$\frac{D_{pin}}{D_H} = \frac{19mm}{22mm} = 0,86 \quad (6)$$

Siden $\frac{D_{pin}}{D_H} < 0,94$ skal lagertrykket beregnes etter formel (7).

Formel (7) beregner høyeste tillatte von Mises-spenning som oppstår i lageret, og sjekker at den ikke overskrider den tillatte ekvivalente von Mises-spenningen. [30]

$$\sigma_e \geq 0,18 \times \sqrt{\frac{"RSF" \times \left(\frac{1}{D_{pin}} - \frac{1}{D_H} \right) \times E}{t}} \quad (7)$$

$$\sigma_e \geq 0,18 \times \sqrt{\frac{73\,576N \times \left(\frac{1}{19mm} - \frac{1}{22mm} \right) \times 210 \times 10^3 MPa}{22mm}} [MPa]$$

$$\sigma_e \geq \underline{404MPa}$$

$$302MPa < 404MPa$$

Siden lagertrykket overskrider den modifiserte flytegrensen må lagerdiameteren endres slik at formel (9) kan brukes. [30]

$$\frac{D_{pin}}{D_H} = \frac{19mm}{20mm} = 0,95 \quad (8)$$

Den nye lagerdiameteren er nå 20mm. Formel (9) brukes så til å regne ut det nye lagertrykket. [30]

$$\sigma_e \geq 0,045 \times \sqrt{\frac{"RSF" \times E}{D_H \times t}} \quad (9)$$

$$\sigma_e \geq 0,045 \times \sqrt{\frac{73\,576N \times 210 \times 10^3 MPa}{20mm \times 22mm}} [MPa]$$

$$\sigma_e \geq \underline{267MPa}$$

$$302MPa \geq 267MPa$$

Beregningene fra formel (9) viser at det nye lagertrykket er innenfor kriteriet.

Utrivning

Materialet over tverrsnittet skal sjekkes for utrivning. Dette gjøres, i følge DNV 2.7-3, ved å sjekke om skjærspenningene i tverrsnittet over lageret i lasteretning overstiger den tillatte von Mises-spenningen. Løfteøyets radius er 30 mm.

Formel (10) brukes for å sjekke løfteøyet mot utrivning. [30]

Tabell 23 Symbolforklaring til utrivning beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
σ_e	Tillatt ekvivalent von Mises-spenning	302	MPa
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
R_{pad}	Radius til løfteøyet	30	mm
D_H	Lagerhullets diameter	20	mm
t	Godstykkelse til løfteøyet	22	mm

$$\sigma_e \geq \frac{2 \times "RSF"}{(2 \times R_{pad} - D_H) \times t} \quad (10)$$

$$\sigma_e \geq \frac{2 \times 73\,576\text{N}}{(2 \times 30\text{mm} - 20\text{mm}) \times 22\text{mm}} \text{ [MPa]}$$

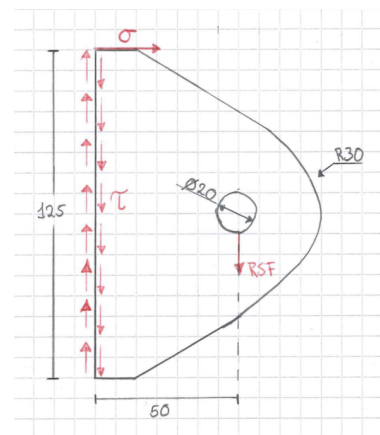
$$\sigma_e \geq \underline{167\text{MPa}}$$

$$302\text{MPa} \geq 167\text{MPa}$$

Også her er kriteriet i standarden oppfylt.

Kritisk tverrsnitt

I henhold til DNV-standarden må en undersøke om det mest kritiske tverrsnittet tåler skjær- og bøyespenningen det blir utsatt for. Figur 37 viser hvordan spenningene virker i tverrsnittet. Forenklingen som ble gjort i forbindelse med beregning av "RSF" gjør at det kun er krefter i z-retning. "RSF" skaper ikke bare skjærspenning, men også bøyespenning på grunn av eksentrisiteten mellom selve lageret og det mest kritiske tverrsnittet. Avstanden fra senterhull til bjelken er 50 mm og løfteøyet lengde er 125 mm.



Figur 37 Skjær- og bøyespenningen illustrert i det kritiske tverrsnittet.

Tabell 24 Symbolforklaring kritisk tverrsnitt beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
M_b	Bøymoment	?	Nmm
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
l	Avstand fra senterhull til bjelken	50	mm
W	Motstandsmoment	?	mm ³
b	Bredde	22	mm
h	Lengde	125	mm

σ_b	Bøyesspenning	?	MPa
τ	Skjærspenning	?	MPa
σ_j	Jevnføringspenning	?	MPa
A	Areal	?	mm^2

Finner det maksimale bøyemomentet i tverrsnittet ved hjelp av formel (11). [32]

$$M_b = "RSF" \times l \quad (11)$$

$$M_b = 73\,576N \times 50mm \text{ [Nmm]}$$

$$M_b = \underline{3\,678\,800Nmm}$$

Formel (12) beregner motstandsmomentet for det aktuelle tverrsnittet. [32]

$$W = \frac{b \times h^2}{6} \quad (12)$$

$$W = \frac{22mm \times (125mm)^2}{6} \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$W = \underline{57\,292mm^3}$$

Setter inn resultatene fra formel (11) og formel (12) for å finne bøyesspenningen i tverrsnittet. [32]

$$\sigma_b = \frac{M}{W} \quad (13)$$

$$\sigma_b = \frac{3\,678\,800Nmm}{57\,292mm^3} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_b = \underline{64,2MPa}$$

Benytter formel (14) til å finne skjærspenningene som oppstår i det samme tverrsnittet. Formelen er enkelt og greit kraft delt på areal der "RSF" er den aktuelle kraften. [32]

$$\tau = \frac{"RSF"}{A} = \frac{"RSF"}{b \times h} \quad (14)$$

$$\tau = \frac{73\,576N}{22mm \times 125mm} \text{ [MPa]}$$

$$\tau = \underline{26,8MPa}$$

Formel (15) benyttes for å kombinere bøyesspenning og skjærspenning slik at jevnføringspenningen finnes. [32]

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2} \quad (15)$$

$$\sigma_j = \sqrt{(64,2MPa)^2 + 3 \times (26,8MPa)^2} [MPa]$$

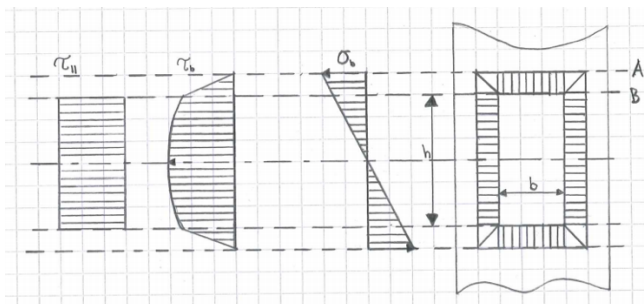
$$\sigma_j = \underline{79,2MPa}$$

$$302MPa \geq 79,2MPa$$

Tverrsnittet vil dermed tåle skjær- og bøyekreftene det blir utsatt for.

Sveis rundt løfteøyer for madrass

Løfteøyene skal sveises til løfterammen. Beregningene for sveising av løfteøyer ble utført på et tidspunkt der bjelkene til løfterammen ikke var valgt. Det ble antatt at veggtykkelsen på bjelkene ikke ble mindre en 10 mm og derfor et maksimalt a-mål på 7 mm. Figur 38 viser plasseringen til snitt A og snitt B. For snitt A antas at det at snittet kun vil bli utsatt for bøyespennning. Snitt B, som blir utsatt for litt mindre bøyespennning, blir også utsatt for skjærspennning. Det snittet som opplever de største spenningene blir dimensjonerende. I DNV 2.7-3 spesifiseres en utnyttelsesfaktor på 0,6 for sveis som da blir lagt på toppen av det generelle kravet for utnyttelsesfaktor.



Figur 38 Plasseringen til snitt A og snitt B.

Finner maksimalt a-mål ved å bruke formel (16) som er en noe forenklet formel for beregning av a-mål.

Tabell 25 Symbolforklaring til maksimalt a-mål beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
a_{maks}	Maksimalt a-mål	?	mm
t	Bjelkens veggtykkelse	10	mm

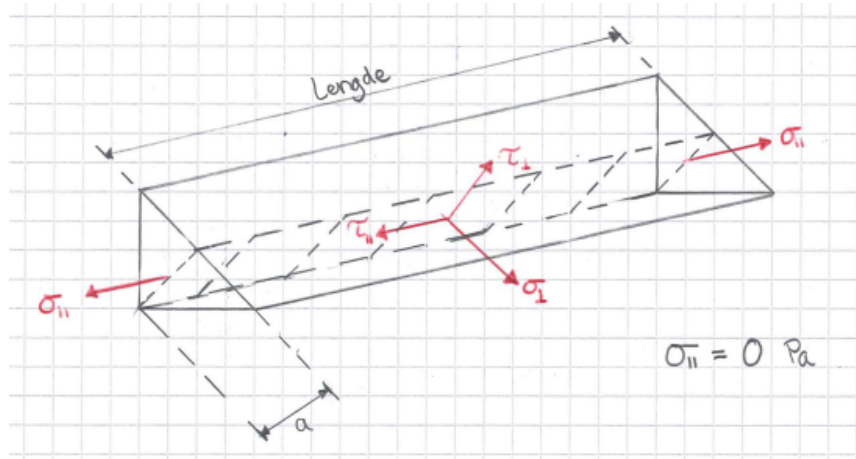
$$a_{maks} = 0,7 \times t \tag{16}$$

$$a_{maks} = 0,7 \times 10mm [mm]$$

$$a_{maks} = \underline{7mm}$$

Snitt A

Snitt A vil kun bli utsatt for bøyespenning. Figur 39 viser hvor bøyespenningen virker i sveisen. Den kan finnes ved å regne ut bøyemomentet og kombinere det med motstandsmomentet. En bruker kraft ganger arm prinsippet for å finne bøyemomentet som oppstår i snitt A. Armen vil være avstanden fra lageret og inn til sveisen.



Figur 39 Skjær- og bøyespenningene illustrert i snitt A.

Ved hjelp av formel (17) finnes bøyemomentet i snitt A. [32]

Tabell 26 Symbolforklaring til beregninger i snitt A

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
M_{bA}	Bøyemoment i snitt A	?	Nmm
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
l	Avstand fra senterhull til bjelken	50	mm
W_{xA}	Motstandsmoment i snitt A	?	mm^3
B	Stor bredde i tversnittet	36	mm
H	Stor høyde i tversnittet	139	mm
b	Liten bredde i tversnittet	22	mm
h	Liten høyde i tversnittet	125	mm
σ_{bA}	Bøyespenning i snitt A	?	MPa
σ_{\perp}	Normal bøyespenning	?	MPa
σ_j	Jevnføringsspenning	?	MPa
τ_{\perp}	Normal skjærspenning	?	MPa
τ_{\parallel}	Parallell skjærspenning	?	MPa

$$M_{bA} = "RSF" \times l \quad (17)$$

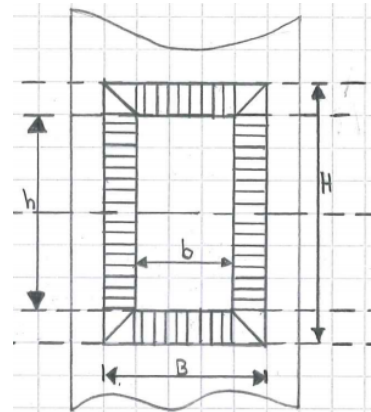
$$M_{bA} = 73\,576\,N \times 50\,mm \text{ [Nmm]}$$

$$M_{bA} = \underline{3\,678\,800\,Nmm}$$

I formel (18) regnes motstandsmomentet ut. Figur 40 viser hva bokstavene betyr. [32]

$$W_{xA} = \frac{BH^3 - bh^3}{6 \times H} \quad (18)$$

$$W_{xA} = \frac{(b + 2a) \times (h + 2a)^3 - bh^3}{6 \times (h + 2a)}$$



Figur 40 målsetting av sveisen.

$$W_{xA} = \frac{(22\,mm + 2 \times 7\,mm) \times (125\,mm + 2 \times 7\,mm)^3 - 22\,mm \times (125\,mm)^3}{6 \times (125\,mm + 2 \times 7\,mm)} \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$W_{xA} = \underline{64\,405\,mm^3}$$

I formel (19) kombineres bøyemomentet og motstandsmomentet og resultatet blir bøyespenningen. [32]

$$\sigma_{bA} = \frac{M_{bA}}{W_{xA}} \quad (19)$$

$$\sigma_{bA} = \frac{3\,678\,800\,Nmm}{64\,405\,mm^3} \text{ [MPa]}$$

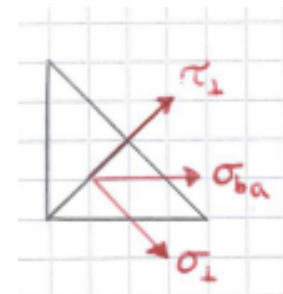
$$\sigma_{bA} = \underline{57,1\,MPa}$$

Bøyespenningen brukes videre for å finne jevnføringspenningen. Som vist på Figur 41 gjøres σ_{bA} om til σ_{\perp} og τ_{\perp} . Pytagoras' setning brukes til å utlede et uttrykk for både σ_{\perp} og τ_{\perp} . Det er rett og slett krefter som blir dekomponert. Figur 41 viser at σ_{\perp} og τ_{\perp} blir like store.

$$\sigma_{bA} = \sqrt{2} \times \sigma_{\perp} \quad (20)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \quad (21)$$



Figur 41 Dekomponering av σ_{bA} til τ_{\perp} og σ_{\perp} .

Formel (20) settes inn i formel (21) og det forkortes der det kan slik at den nye formelen for jevnføringspenningen står igjen. [32]

$$\sigma_j = \sqrt{4\sigma_{\perp}^2} = 2 \times \sigma_{\perp} \quad (22)$$

$$\sigma_j = \sqrt{2} \times \sigma_{bA}$$

$$\sigma_j = \sqrt{2} \times 57,1 \text{MPa} [\text{MPa}]$$

$$\sigma_j = \underline{80,8 \text{MPa}}$$

Formel (23) sjekker at utnyttelsesfaktoren er innenfor kravet på 0,6. [30]

$$UF = \frac{\sigma_j}{\sigma_e} \quad (23)$$

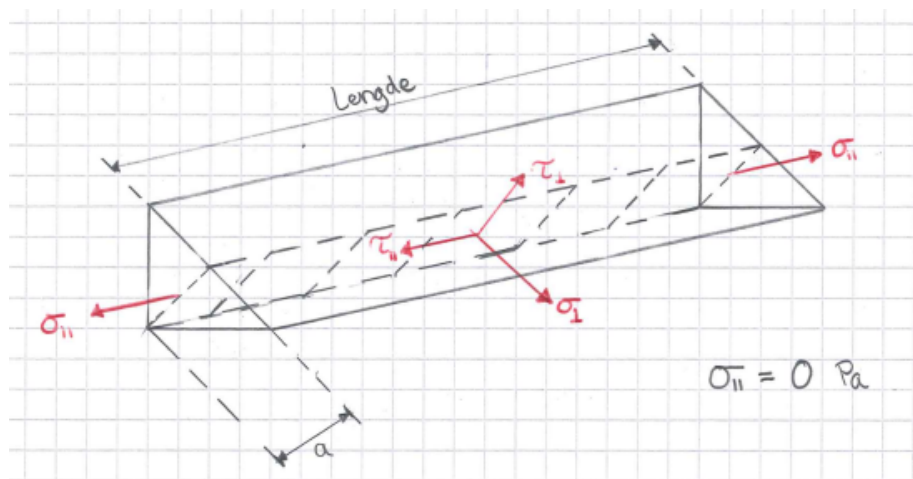
$$UF = \frac{80,8 \text{MPa}}{302 \text{MPa}}$$

$$UF = \underline{0,27}$$

Utnyttelsesfaktoren på 0,27 er godt innenfor kravet til DNV 2.7-3.

Snitt B

Snitt B vil bli utsatt for mindre bøyespenning enn snitt A, men her blir det også tatt opp skjærspenninger. Figur 42 viser hvor spenningene virker i sveisen. Figuren viser også at σ_{\parallel} blir 0. Dette er fordi arealet av tverrsnittet til planet som a og l danner er tilnærmet lik 0. Dekomponeringen av bøyespenningen blir lik som i snitt A, men i dette snittet vil kraften, som virker i sveisens lengderetning, også skape en τ_{\parallel} .



Figur 42 Skjær- og bøyespenninger illustrert i snitt B.

Lengden på kraftarmen har stor innvirkning på hvilket snitt som blir dimensjonerende. Det vil derfor være viktig å sjekke jevnføringspenningen i begge snitt.

Tabell 27 Symbolforklaring til beregninger i snitt B

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
W_x	Generelt motstandsmoment	?	mm^3
I_x	Generelt treghetsmoment	?	mm^3
W_{xA}	Motstandsmoment i snitt A	64 405	mm^3
W_{xB}	Motstandsmoment i snitt B	?	mm^3
h	Liten høyde på tversnittet	125	mm
a	A-målet til sveisen	7	mm
“RSF”	Resultantkraft	73 576	N
M_{bB}	Bøyemoment i snitt B	?	Nmm
σ_{bB}	Bøyespennning i snitt B	?	MPa
τ_{\parallel}	Parallell skjærspennning	?	MPa
σ_j	Jevnføringsspennning	?	MPa

Bruker den generelle formelen for motstandsmoment til å utlede et uttrykk for W_{xB} med hensyn på W_{xA} . [32]

$$W_x = I_x \times \frac{2}{h} \quad (24)$$

$$W_{xA} = I_x \times \frac{2}{h+2 \times a} \rightarrow I_x = \frac{W_{xA} \times (h+2 \times a)}{2} \quad (25)$$

$$W_{xB} = I_x \times \frac{2}{h} \rightarrow I_x = \frac{W_{xB} \times h}{2} \quad (26)$$

Setter $I_x = I_x$ for å kombinere de to ligningene og ender opp med formel (27)

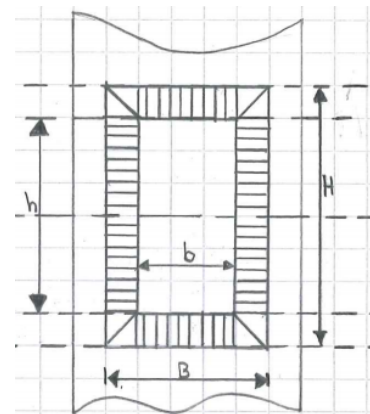
$$W_{xB} = \frac{W_{xA} \times (h+2 \times a)}{h} \quad (27)$$

$$W_{xB} = \frac{64\,405\,mm^3 \times (125mm + 2 \times 7mm)}{125mm} [mm^3]$$

$$W_{xB} = \underline{71\,618mm^3}$$

Siden både kraft og kraftarm er den samme her som det er i tilfellet for snitt A så vil bøyemomentet også være likt.

$$M_{bB} = M_{bA} = \underline{3\,678\,800Nmm}$$



Figur 43 Målsetting av sveis



Beregner bøyespenningen på samme måte som for snitt A, men med nytt motstandsmoment.

$$\sigma_{bB} = \frac{M_b}{W_{x b}} \quad (28)$$

$$\sigma_{bB} = \frac{3\,678\,800\text{ Nmm}}{71\,618\text{ mm}^3} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{bB} = \underline{51,4\text{ MPa}}$$

Finner de parallelle skjærspenningene som snitt B blir utsatt for i motsetning til snitt A ved å bruke formel (29), som hovedsakelig består av kraft delt på areal.

$$\tau_{\parallel} = \frac{\text{"RSF"}}{2 \times a \times h} \quad (29)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{73\,576\text{ N}}{2 \times 7\text{ mm} \times 125\text{ mm}} \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{42\text{ MPa}}$$

$$\sigma_{bB} = \sqrt{2} \times \sigma_{\perp} \quad (30)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \quad (31)$$

$$\sigma_j = \sqrt{4 \times \left(\frac{\sigma_{bB}}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3\tau_{\parallel}^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{4 \times \left(\frac{51,4\text{ MPa}}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3 \times (42\text{ MPa})^2} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_j = \underline{103\text{ MPa}}$$

Sjekker at utnyttelsesfaktoren til sveisen er innenfor kravene til DNV 2.7-3.

$$UF = \frac{\sigma_j}{\sigma_e} \quad (32)$$

$$UF = \frac{103\text{ MPa}}{302\text{ MPa}}$$

$$UF = \underline{0,34}$$

Utnyttelsesfaktoren på 0,34 er innenfor kravet til DNV 2.7-3 på 0,6. [30]

6.1.1.3 Stropper

Det brukes stropper mellom løfteøye og ROV-krok av den enkle grunn at wire er mye stivere og vanskeligere å håndtere for en ROV.

Formel (33) benyttes for å finne hvilke stropper som skal benyttes. [30] Her regnes først den minste "MBL" (minste kraft som skal til for at stroppen skal ryke) stroppen kan ha. For å finne "MBL" benytter DNV en sikkerhetsfaktor på to. Etter at "MBL"en er funnet deles den på leverandørens sikkerhetsfaktor, som i dette tilfellet er syv, slik at det kan velges stropper som tåler løftet. Informasjon om stroppene finnes i vedlegg H.

Tabell 28 Symbolforklaring til stroppe beregninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
"MBL"	Minste kraft for at stroppene ryker	?	N
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
"WLL"	Tillatt last	?	Nmm
SF	Sikkerhetsfaktor til leverandøren	7	-
g	Tyngdeakselerasjonen	9,81	$\frac{m}{s^2}$

$$"MBL" \geq 2 \times RSF \quad (33)$$

$$"MBL" \geq 2 \times 73\,576\,N \quad [N]$$

$$"MBL" = \underline{147\,152\,N}$$

$$"WLL" = \frac{"MBL"}{SF \times g} \quad (34)$$

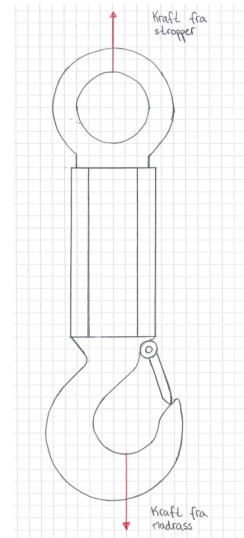
$$"WLL" = \frac{147\,152\,N}{7 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \quad [kg]$$

$$"WLL" = \underline{2\,143\,kg}$$

Utifra vedlegg H velges det å bruke Perma sine gule tre tonns stropper.

6.1.1.4 ROV-krok

Etter samtale med ekstern veileder ble det bestemt at ROV-kroken skulle beregnes som en sjakkel, fordi kraftsituasjonen vil være lik som for en sjakkel. Utregningene er blitt gjort etter DNV 2.7-3. I formelen har DNV en egen sikkerhetsfaktor på 2,25 som nevnt tidligere. Denne deles på leverandøren sin sikkerhetsfaktor, som i dette tilfellet er fire, ref. Vedlegg G. På Figur 44 kan en se hvor kreftene vil virke på kroken.



Figur 44 Krefter som virker på ROV-kroken.

”RSF”en som ble regnet ut i formel (2) benyttes fortsatt. I formel (35) beregnes det hvor stor kapasiteten til ROV-kroken. [30]

Tabell 29 Symbolforklaring til ROV-krok beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
"WLL"	Tillatt last	?	N
"RSF"	Resultantkraft	73 576	N
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	$\frac{m}{s^2}$
SF	Leverandørens sikkerhetsfaktor	4	-

$$"WLL" > \frac{2,25}{SF} \times \frac{"RSF"}{g} \quad (35)$$

$$"WLL" > \frac{2,25}{4} \times \frac{73\,576\text{N}}{9,81 \frac{m}{s^2}} [kg]$$

$$"WLL" = \underline{4\,219kg}$$

Dermed må ROV-kroken ha en kapasitet på over 4 219 kg. Det ble derfor valgt Crosby sin ROV-krok som har en kapasitet på 5,4 tonn, ref. vedlegg G.

6.1.2 Konteinerløft

Designlast for konteiner

I denne situasjonen for rigging skal løfterammen dimensjoneres med hensyn på at det skal hentes opp to 20 tonns madrasser i konteineren. Det antas også at konteineren har en masse på 10 tonn, selv om den realistiske massen kommer til å havne under dette. Det betyr at løfterammen skal dimensjoneres for å løfte 50 tonn. Dette vil være litt konservativt, men det må også antas litt ekstra vekt på grunn av sjakler, ROV krok og stropper som ikke er tatt med i vekten på strukturen til løfterammen. Det antas også at løfterammen har en masse på 10 tonn, slik at samlet masse som løfteøyene utsettes for blir 60 tonn.

Det blir, som i situasjonen der løfterammen løfter en madrass, regnet ut en vekt der legemet er nedsenket i vann. Denne vekten brukes videre i beregningene. Som tidligere nevnt har DNV 2.7-3 en designfaktor på 2,5 for å finne designlasten. Designfaktoren består av DAF på 2, en reduksjonsfaktor på grunn av oppløftet som oppstår når et legeme blir nedsenket i vann på 0,9 og en generell faktor på 1,4. [30]

Tabell 30 Symbolforklaring til designlast beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
F_{Sub}	Designlast	?	N
"MGW"	Maksimal totalmasse	60 000	kg
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	$\frac{m}{s^2}$

$$F_{sub} = 2,5 \times "MGW" \times g \quad (36)$$

$$F_{sub} = 2,5 \times 60\,000\,kg \times 9,81\,m/s^2 \quad [N]$$

$$F_{sub} = \underline{1\,471\,500N}$$

Resultantkraft, "RSF"

Det blir brukt et fireparts kjettingskrev til å løfte løfterammen. Det blir tatt utgangspunkt i at kjettingene ut i fra løfteøyene danner en vinkel på 30 grader med vertikalaksen. Løfteøyene er plassert over løftepunktene for konteineren for å minimalisere bøyemoment under løft av konteiner. Dette ser gruppen for seg er en realistisk lastsituasjon.

Formel (37) brukes til å beregne "RSF". [30] Denne formelen er litt annerledes fra "RSF"-formelen for de andre løftepunktene der lasten henger rett ned i enkle punkter. Denne formelen tar høyde for at det er et fireparts kjettingskrev, at lasten fordeler seg på alle fire løftepunktene, en "Skew Load Factor" som kan finnes i DNV 2.7-3 og en sikkerhetsfaktor på 1,2. Den tar også høyde for at det er en viss vinkel mellom kjetting og vertikal akse. I beregningene tas det utgangspunkt i at lasten er fordelt jevnt mellom alle løfteøynene. Skjev last faktoren, "SKL", tar høyde for at lasten kan fordele seg ujevnt.

Tabell 31 Symbolforklaring til "RSF" beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
"RSF "	Resultantkraft	?	N
F_{Sub}	Designlast	1 471 500	N
"SKL"	Skjev last faktor	1,1	-
Pl	Andel av vekten	0,25	%
$Cos(v)$	Cosinus til vinkel	30	°

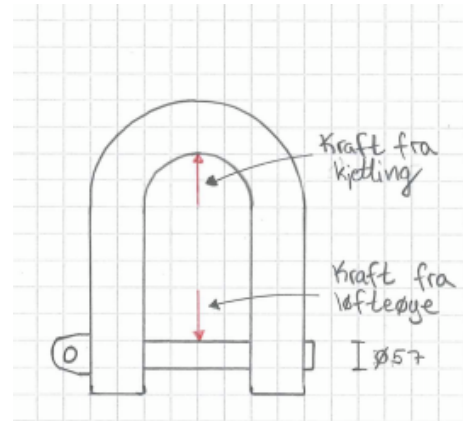
$$"RSF" = \frac{1,2 \times F_{sub} \times "SKL" \times PI}{\cos(v)} \quad (37)$$

$$"RSF" = \frac{1,2 \times 1\,471\,500\,N \times 1,1 \times 0,25}{\cos(30^\circ)} [N]$$

$$"RSF" = \underline{560\,717\,N}$$

6.1.2.1 Sjakkell

Til valg av sjakkell brukes formel (38), hentet fra DNV 2.7-3, for å finne en passende størrelse. [30] Her er "WLL" den tillatte lastekapasiteten, oppgitt av leverandør. "RSF" er samme som over, og SF er sikkerhetsfaktoren som leverandør har brukt til å bestemme sin lastekapasitet. I Figur 45 kan en se hvor kreftene fra stroppene og løfteøyet virker på sjakkelen.



Figur 45 krefter som virker på sjakkell.

Tabell 32 Symbolforklaring til sjakkell beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
"WLL"	Tillat last	?	kg
SF	Sikkerhetsfaktor	6	-
"RSF"	Resultantkraft	560 717	N

$$"WLL" > \frac{2,25}{SF} \times \frac{RSF}{g} \quad (38)$$

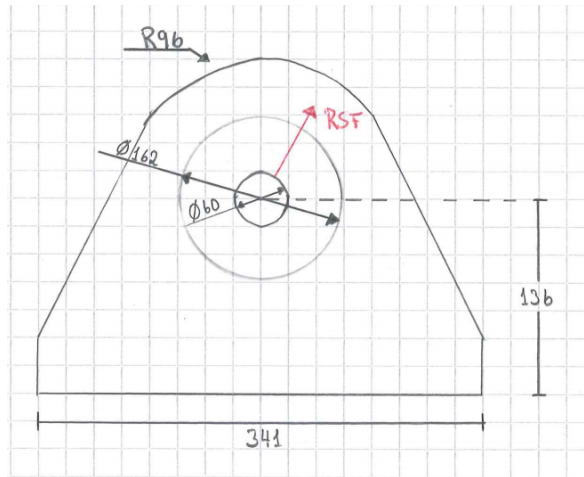
$$"WLL" > \frac{2,25}{6} \times \frac{560\,717\,N}{9,81\,m/s^2} [kg]$$

$$"WLL" = \underline{21\,434\,kg}$$

Sjakkelen må ha en "WLL" på minst 21 434kg. Ut i fra vedlegg F velges sjakkelen med en "WLL" på 35 tonn.

6.1.2.2 Løfteøye

Det vil være fire løfteøyer på løfterammen, ett i hvert hjørne. Løfteøyene konstrueres på samme måte som i kapittel 6.1.1.2, men her med større kraft og en annen vinkel.



Figur 46 "RSF" illustrert på løfteøyet for kjettingskrev.

Godstykkelse

DNV 2.7-3 bestemmer at godstykkelsen til løfteøyet ikke skal være mindre enn 75% av mellomrommet mellom bena på sjakkelen. [30] Mellomrommet finnes i vedlegg F.

Formel (39) finner den minste tillatte tykkelsen. [30]

Tabell 33 Symbolforklaring til godstykkelse bergening

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
t	Minimum platetykkelse	?	mm
$c_{sjakkell}$	Mellomrom mellom bena til sjakkelen	83	mm

$$t = c_{sjakkell} \times 0,75 \quad (39)$$

$$t = 83\text{mm} \times 0,75 \text{ [mm]}$$

$$t = \underline{62,3\text{mm}}$$

Tykkelsen på løfteøyet designet for sjakkell på 35 tonn er 70 mm, noe som er mer enn 62,3 mm. [31]

Lagertrykket

Det skal sjekkes at lageret tåler trykket som oppstår fordi sjakkelen blir dratt mot lagerveggen. Det maksimale trykket ble regnet til 302 MPa i formel (5).

Tabell 34 Symbolforklaring til lagertrykk beregninger.

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
D_{pin}	Sjakkelpinnens diameter	57	mm
D_H	Lagerhullets diameter	?	mm
σ_e	Tillatt ekvivalent Von Mises-spenning	302	MPa

"RSF"	Resultantkraft	560 717	N
E	Elastitetsmodul	210	MPa
t	Godstykkelsen til løfteøyet	70	mm

Det sjekkes først om forholdet mellom lagerdiameter og diameter på sjakkell er mindre enn 0,94. Diameter til sjakkell er funnet i vedlegg F.

$$\frac{D_{pin}}{D_H} = \frac{57mm}{62mm} = 0,92 \quad (40)$$

Siden $\frac{D_{pin}}{D_H} < 0,94$ skal lagertrykket beregnes etter formel (41).

Formel (41) beregner von Mises-spenningen som oppstår i lageret og sjekker at den ikke overskrider den tillatte ekvivalente von Mises-spenningen. Elastitesmodulen er hentet fra DNV 2.7-3. [30]

$$\sigma_e \geq 0,18 \times \sqrt{\frac{RSF \times \left(\frac{1}{D_{pin}} - \frac{1}{D_H} \right) \times E}{t}} \quad (41)$$

$$\sigma_e \geq 0,18 \times \sqrt{\frac{560\,717N \times \left(\frac{1}{57mm} - \frac{1}{62mm} \right) \times 210 \times 10^3 MPa}{70mm}} \quad [MPa]$$

$$\sigma_e \geq \underline{278MPa}$$

$$302MPa \geq 278MPa$$

Lagertrykket er tett opp mot grensen og det endres derfor lagerdiameter slik at forholdstallet blir minst 0,94.

$$\frac{D_{pin}}{D_H} = \frac{57mm}{60mm} = 0,95 \quad (42)$$

Den andre formelen (43) benyttes deretter til å beregne det nye lagertrykket. [30]

$$\sigma_e \geq 0,045 \times \sqrt{\frac{RSF \times E}{D_H \times t}} \quad (43)$$

$$\sigma_e \geq 0,045 \times \sqrt{\frac{560717N \times 210 \times 10^3 MPa}{60mm \times 70mm}} \quad [MPa]$$

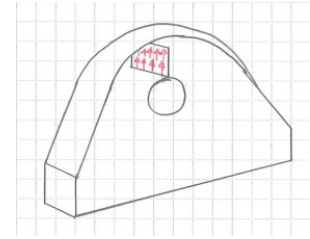
$$\sigma_e \geq \underline{238MPa}$$

$$302MPa \geq 238MPa$$

Formel (43) viser at lagertrykket er innenfor kriteriet.

Utrivning

Materialet over tverrsnittet skal sjekkes for utrivning, ref. Figur 47. Dette gjøres, i følge DNV 2.7-3, ved å sjekke om skjærspenningene i tverrsnittet over lageret i lastretning overstiger den tillatte von Mises-spenningen. Løfteøyets radius er 96 mm, men det skal beregnes en verdi R_{pad} etter formel (44). [30] R_{pad} er en gjennomsnittsradius som tar høyde for at det er to forskjellige tykkelser.



Figur 47 Illustrerer hvor løfteøyet vil bli utsatt for utrivning.

Tabell 35 Symbolforklaring til utrivning beregninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
R_{pad}	Gjennomsnittsradius	?	mm
R_{pl}	Radiusen til platen	96	mm
t_{pl}	Tykkelsen til platen	40	mm
R_{ch}	Radius til kinnplaten	81	mm
t_{ch}	Tykkelsen til kinnplaten	15	mm
t	Tykkelsen til løfteøyet	70	mm
σ_e	Tillatt ekvivalent Von Mises-spenning	302	MPa
“RSF”	Resultantkraft	560 717	N

$$R_{pad} = \frac{R_{pl} \times t_{pl} + 2 \times R_{ch} \times t_{ch}}{t} \quad (44)$$

$$R_{pad} = \frac{96mm \times 40mm + 2 \times 81mm \times 15mm}{70mm} \quad [mm]$$

$$R_{pad} = \underline{89,57mm}$$

$$\sigma_e \geq \frac{2 \times RSF}{(2 \times R_{pad} - D_H) \times t} \quad (45)$$

$$\sigma_e \geq \frac{2 \times 560\,717N}{(2 \times 89,57mm - 60mm) \times 70mm} \quad [MPa]$$

$$\sigma_e \geq \underline{134MPa}$$

$$302MPa \geq 134MPa$$

Kriteriene for utrivning er oppfylt.

Sveis rundt kinnplater

Det skal sjekkes at sveisen rundt kinnplatene er innenfor DNV 2.7-3. Det benyttes a-mål som er oppgitt i Norsok R-002. [31]

Sveis rundt kinnplater skal oppfølge følgende kriterier: [30]

$$\sigma_e \geq \frac{RSF \times t_{ch}}{t \times D_{ch} \times a \times UF} \quad (46)$$

Tabell 36 Symbolforklaring til sveis rundt kinnplater beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
σ_e	Tillatt ekvivalent von Mises-spenning	302	MPa
“RSF”	Resultantkraft	560 717	N
t_{ch}	Tykkelsen til kinnplaten	15	mm
t	Tykkelsen til løfteøyet	70	mm
D_{ch}	Diameteren til kinnplaten	210	MPa
a	A-mål til sveis	7	mm
UF	Utnyttelsesfaktor	0,6	-

Det er også bestemt at sveis i henhold til DNV 2.7-3 skal ha en utnyttelsesfaktor på maksimalt 0,6. [30]

$$\sigma_e \geq \frac{RSF \times t_{ch}}{t \times D_{ch} \times a \times UF} \quad (46)$$

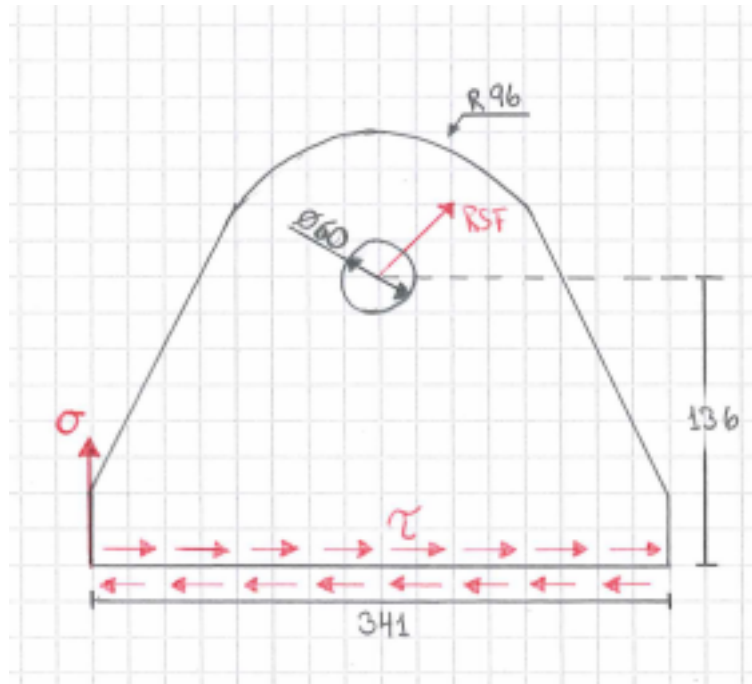
$$\sigma_e \geq \frac{560717N \times 15mm}{70mm \times 162mm \times 7mm \times 0,6} [MPa]$$

$$\sigma_e \geq \underline{177MPa}$$

Sveisen rundt kinnplatene er i henhold til standarden.

Kritisk tverrsnitt

I henhold til DNV 2.7-3 må en undersøke om det mest kritiske tverrsnittet tåler von Mises-spenningen det blir utsatt for. Det vil bli skjærspenning både i parallell- og normalretning i tillegg til bøyespenning på grunn av eksentrisiteten mellom selve lageret og det mest kritiske tverrsnittet. Det vil også oppstå normalspenninger i det samme tverrsnittet. Figur 48 viser spenningsbildet i tverrsnittet. Avstand fra senterhull til bjelken er 136 mm og lengden på løfteøyet er satt til 341 mm. Siden “RSF” er kraften som virker i samme retningen som kjettingen drar blir man nødt å dekomponere den for å finne kreftene som virker i x- og y-retning. [30]



Figur 48 Skjær- og bøyespenninger i tverrsnittet.

Tabell 37 Symbolforklaring til kritisk tverrsnitt beregninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
F_y	Kraft i y-retning	?	N
“RSF”	Resultantkraft	560 717	N
ν	Vinkel mellom vertikal akse og “RSF”	30	°
F_x	Kraft i x-retning	?	N
M	Bøyemoment	?	Nmm
l	Avstand fra senterhull til kritisk tverrsnitt	136	mm
W	Motstandsmoment	?	N
b	Liten bredde i tverrsnittet	40	mm
h	Liten høyde i tverrsnittet	341	mm
σ_b	Bøyespenning	?	MPa
τ_{\parallel}	Parallell skjærspennig	?	MPa
τ_{\perp}	Normal skjærspenning	?	MPa
σ_N	Normalspenning	?	MPa
σ_j	Jevnføringspenning	?	MPa

I formel (47) og (48) dekomponeres "RSF". [32]

$$F_y = RSF \times \cos(\nu) \quad (47)$$

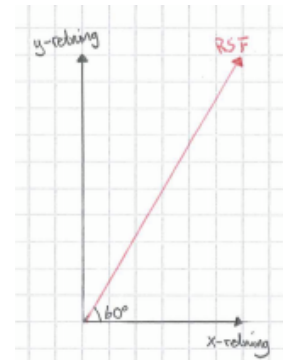
$$F_y = 560\,717N \times \cos(30^\circ) [N]$$

$$F_y = \underline{485\,595N}$$

$$F_x = RSF \times \sin(30) \quad (48)$$

$$F_x = 560\,717N \times \sin(30) [N]$$

$$F_x = \underline{280\,359N}$$



Figur 49 Dekomponering av "RSF"

Finner det maksimale bøyemomentet i tverrsnittet ved hjelp av formel (49). [32]

$$M = F_x \times l \quad (48)$$

$$M = 280\,359N \times 136mm [Nmm]$$

$$M = \underline{38\,128\,824Nmm}$$

Formel (50) beregner motstandsmomentet for det aktuelle tverrsnittet. [32]

$$W = \frac{b \times h^2}{6} \quad (50)$$

$$W = \frac{40mm \times (341mm)^2}{6} [mm^3]$$

$$W = \underline{775\,207mm^3}$$

Setter inn resultatene fra formel (49) og formel (50) for å finne bøyepeningen i tverrsnittet. [32]

$$\sigma_b = \frac{M}{W} \quad (51)$$

$$\sigma_b = \frac{38\,128\,824Nmm}{775\,207mm^3} [MPa]$$

$$\sigma_b = \underline{49,2 MPa}$$

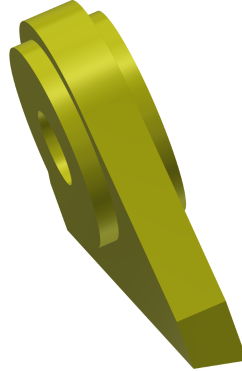
Benytter formel (52) til å finne de parallelle skjærspenningene som oppstår i det samme tverrsnittet. [32]

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_x}{A} = \frac{F_x}{b \times h} \quad (52)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{280\,359N}{40mm \times 341mm}$$

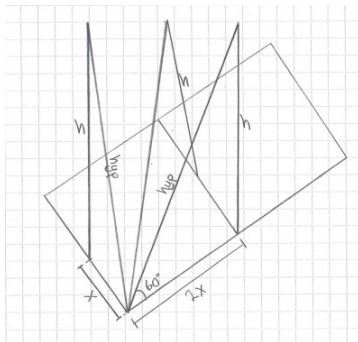
$$\tau_{\parallel} = \underline{20,6MPa}$$

Det ble anbefalt av DeepOcean å tilte løfteøyet slik at det kunne plasseres over steget på bjelken, ref. Kapittel 7.1.1. Dette fører til at det blir en vinkel andre veien også (se Figur 50 Løfteøye).

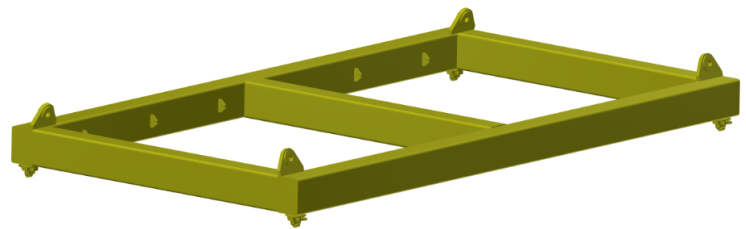


Figur 50 Løfteøye

Kreftene må dekomponeres for å finne ut hvilke krefter som virker i x-retning denne veien. Først må graden av tilting bestemmes. Det er ønskelig med en vinkel på tilnærmet 60° , derfor brukes den til å finne ut hvor mye løfteøyet må tiltes. Figur 51 viser hvordan vinklingen til den ene kjettingen i kjettingskrevet deles opp i to vinkler. Løfterammen vises i Figur 52.

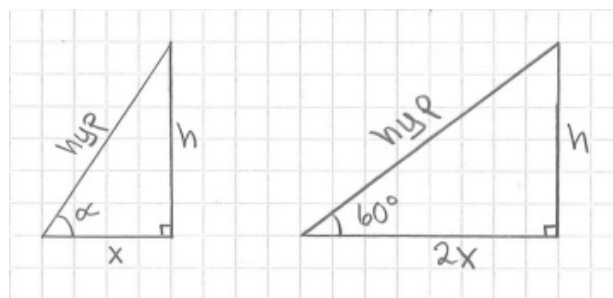


Figur 51 Vinklingen på
kjettingskrevet



Figur 52 Løfteramme

Figur 53 viser sammenhengen mellom de to vinklene og hvordan tiltingen til løfteøyet kan bestemmes ut i fra 60° vinkelen.



Figur 53 Sammenhengen mellom vinklene

Bruker enkel geometriregning for å finne den ukjente vinkelen.

$$\tan(\alpha) = \frac{h}{x} \quad (53)$$

$$\tan(60^\circ) = \frac{h}{2x}$$

$$\frac{\tan(\alpha)}{2} = \frac{h}{2x} \quad (54)$$

Kombinerer de to ligningene og sitter igjen med formel (55).

$$\tan(\alpha) = 2 \times \tan(60^\circ) \quad (55)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(2 \times \tan(60^\circ))$$

$$\alpha = \underline{73,898^\circ}$$

Siden det er tiltingen som skal produseres i et verksted settes den til 75° . Vinkelen som ble satt til 60° vil nå være litt over 60° , men samtidig ganske nær. Det antas at det er greit å fortsatt bruke 60° i beregningene.

Siden F_y fortsatt er den samme, brukes den til å beregne F_x som for dette tilfellet virker i samme retning som tiltingen.

$$F_x = \frac{F_y}{\tan(75)} \quad (56)$$

$$F_x = \frac{485\,595\text{N}}{\tan(75)} \quad [N]$$

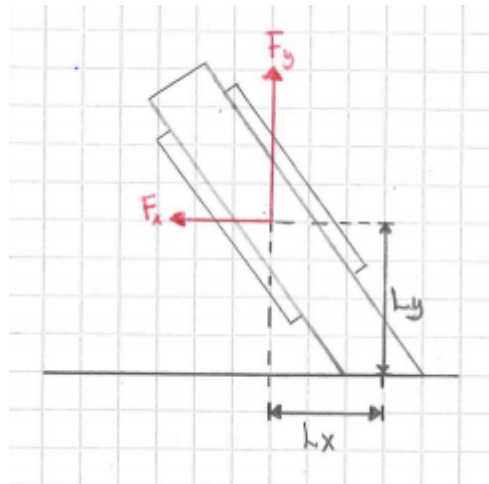
$$F_x = \underline{130\,115\text{N}}$$

Siden løfteøyet er orientert slik at resultantkraften danner en 15° vinkel med vertikal akse den andre veien vil det også oppstå skjærspenninger normalt på det kritiske tverrsnittet.

$$\tau_{\perp} = \frac{130\,115\text{N}}{40\text{mm} \times 341\text{mm}} \quad [MPa] \quad (57)$$

$$\tau_{\perp} = \underline{9,5\text{MPa}}$$

Figur 54 viser hvordan momentet skapt av F_x og F_y motvirker hverandre ut i den andre retningen. Forholdet mellom F_x og F_y vil alltid være det samme som forholdet mellom L_x og L_y . Dette vil føre til at $F_x \times L_y$ alltid vil være det samme som $F_y \times L_x$. Med andre ord skapes det ikke et moment den andre veien.



Figur 54 Løfteøye med krefter det blir utsatt for

Her benyttes formel (58) til å finne normalspenningene som oppstår på grunn av den vertikale kraften F_y . [32]

$$\sigma_N = \frac{F_y}{A} = \frac{F_y}{b \times h} \quad (58)$$

$$\sigma_N = \frac{485\,595\text{N}}{40\text{mm} \times 341\text{mm}} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_N = \underline{35,6\text{MPa}}$$

Formel (59) benyttes for å kombinere bøyespenning, normalspenning og begge skjærspenningene og dermed finne jevnføringspenningen. [32]

$$\sigma_j = \sqrt{(\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \times (\tau_{\parallel} + \tau_{\perp})^2} \quad (59)$$

$$\sigma_j = \sqrt{(49,2\text{MPa} + 35,6\text{MPa})^2 + 3 \times (20,6\text{MPa} + 9,5\text{MPa})^2} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_j = \underline{99,5\text{MPa}}$$

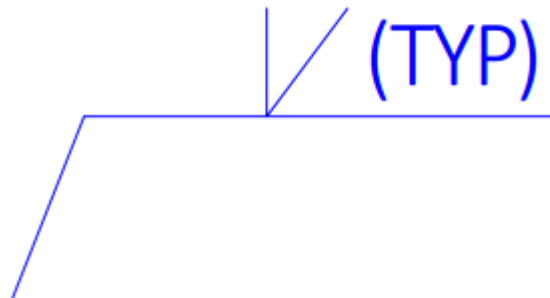
$$302\text{MPa} \geq 99,5\text{MPa}$$

Tverrsnittet vil tåle spenningene det utsettes for.

Sveis rundt løfteøyet

Sveisen for de store løfteøyene skal være en fugesveis. Løfteøyet plassering og tilting gjør at det blir vanskelig å få til en skikkelig kilsveis rundt løfteøyet slik som for det minste løfteøyet. En slik sveis krever mer maskinering i forkant av sveisingen enn en vanlig kilsveis og vil mest sannsynlig være dyrere.

Fugesveis vises i 2D-tegningene med symbolet vist i Figur 55. Dette symbolet betyr at hele tykkelsen på platen skal fuges. Ofte blir det lagt på en kilsveis utpå fugesveisen i tillegg, men da må dette angis i sveisesymbolet.



Figur 55 Sveisesymbol for halv V-fuge

Siden løfteøyet fullsveises blir det kritiske tverrsnittet for sveisen det samme som det kritiske tverrsnittet for løfteøyet. Det vil derfor bli akkurat samme beregningene. Eneste forskjellen er en utnyttelsesfaktor på 0,8 for sveis med delvis innbrenning (siden det ikke er en faktor for full innbrenning) som legges på den generelle utnyttelsesfaktoren. Formel (60) sjekker utnyttelsesfaktoren for sveisen.

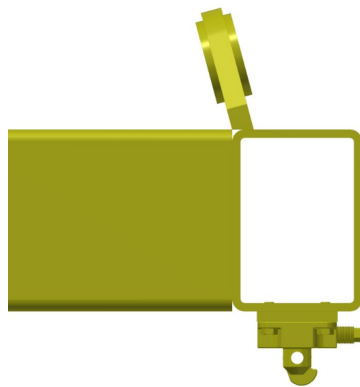
$$UF = \frac{\sigma_j}{\sigma_e} \quad (60)$$

$$UF = \frac{99,5MPa}{302MPa}$$

$$UF = \underline{0,33}$$

Utnyttelsesfaktoren på 0,33 viser at sveisen skal holde med god margin.

Det forenkles med å anta at tykkelsen på flensen under løfteøyet ikke blir dimensjonerende fordi løfteøyet er plassert over steget til bjelken og det dermed oppnås full innbrenning i bjelken også, ref. Figur 56



Figur 56 Løfteøye plassert over steg

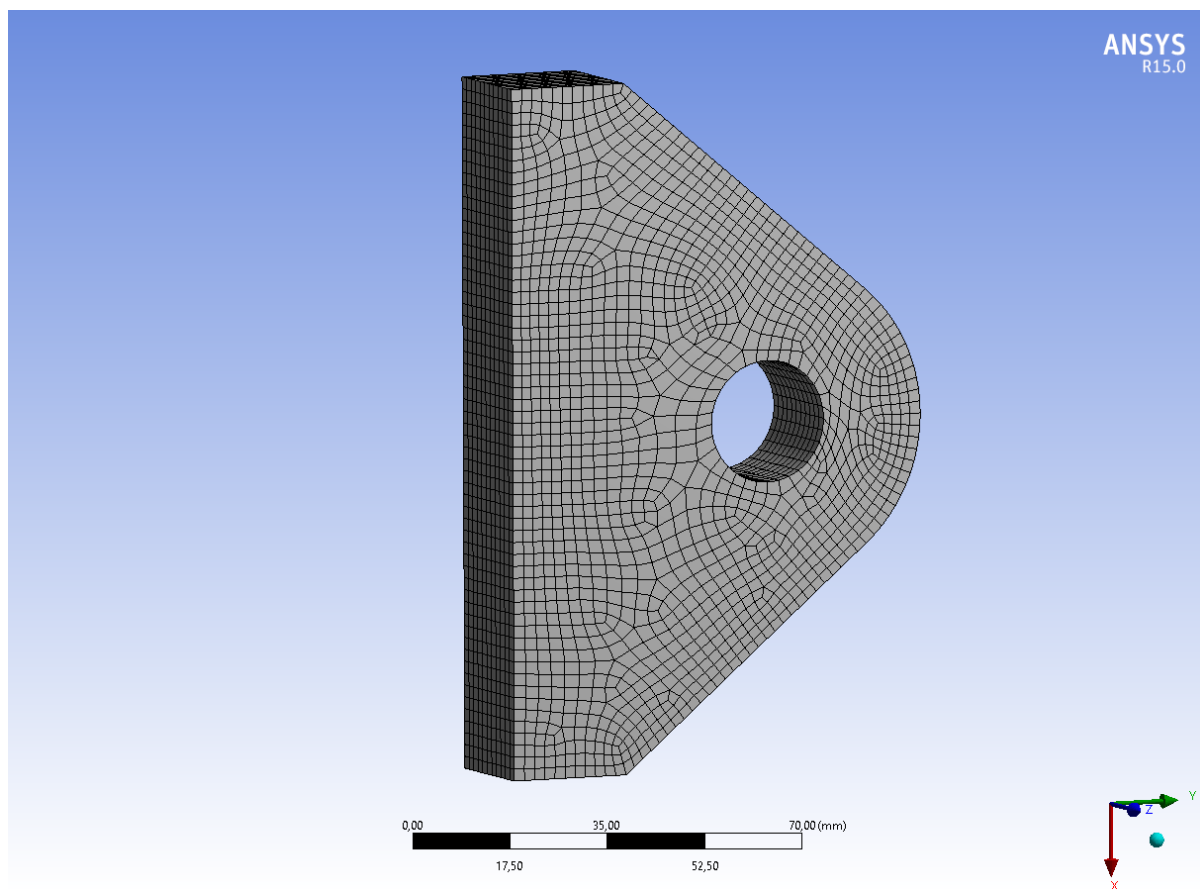
6.2 ANSYS beregninger

I dette kapitlet sjekkes spenningene som oppstår i begge løfteøynene, og resultatet sammenlignes med de manuelle beregningene. Hullet, som "VI-SO Clamp"en, og senere "Twistlock"en skal festes i, dimensjoneres ved hjelp av ANSYS. Programmet fargelegger den delen som sjekkes slik at det er enkelt å se hvordan spenningsfordelingen er. Alle delene tegnes i "Inventor" for så å importeres til ANSYS. Analysemodellen "Static Structural" velges for alle tilfellene.

6.2.1 Løfteøye for madrass

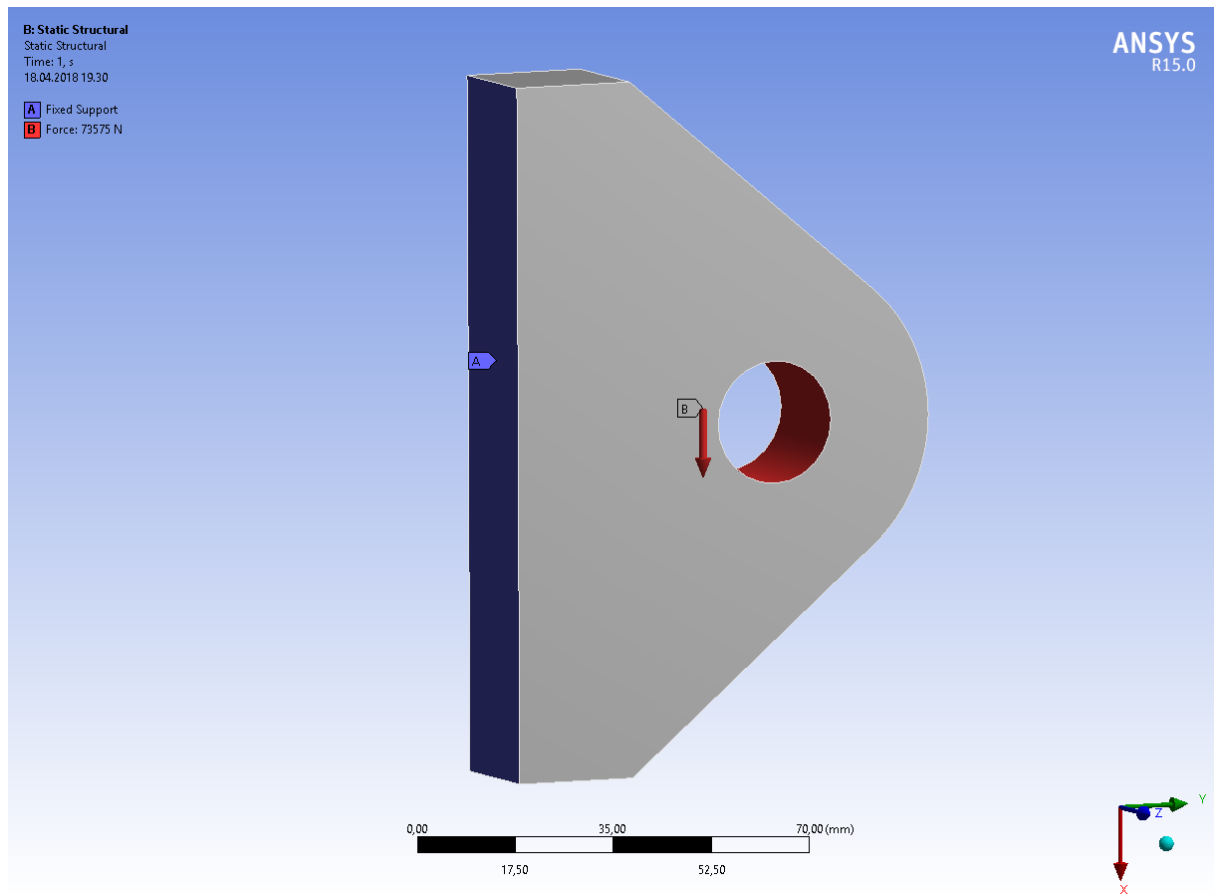
Betingelser

Geometrien hentes fra tegningen laget i Inventor. Etter det velges "Generate Mesh". Her er det mulig å velge størrelsen på de små elementene som beregnes og påvirker hverandre. I dette tilfellet blir det valgt fin "Mesh". Se Figur 57.



Figur 57 Løfteøye for madrass vist med elementer

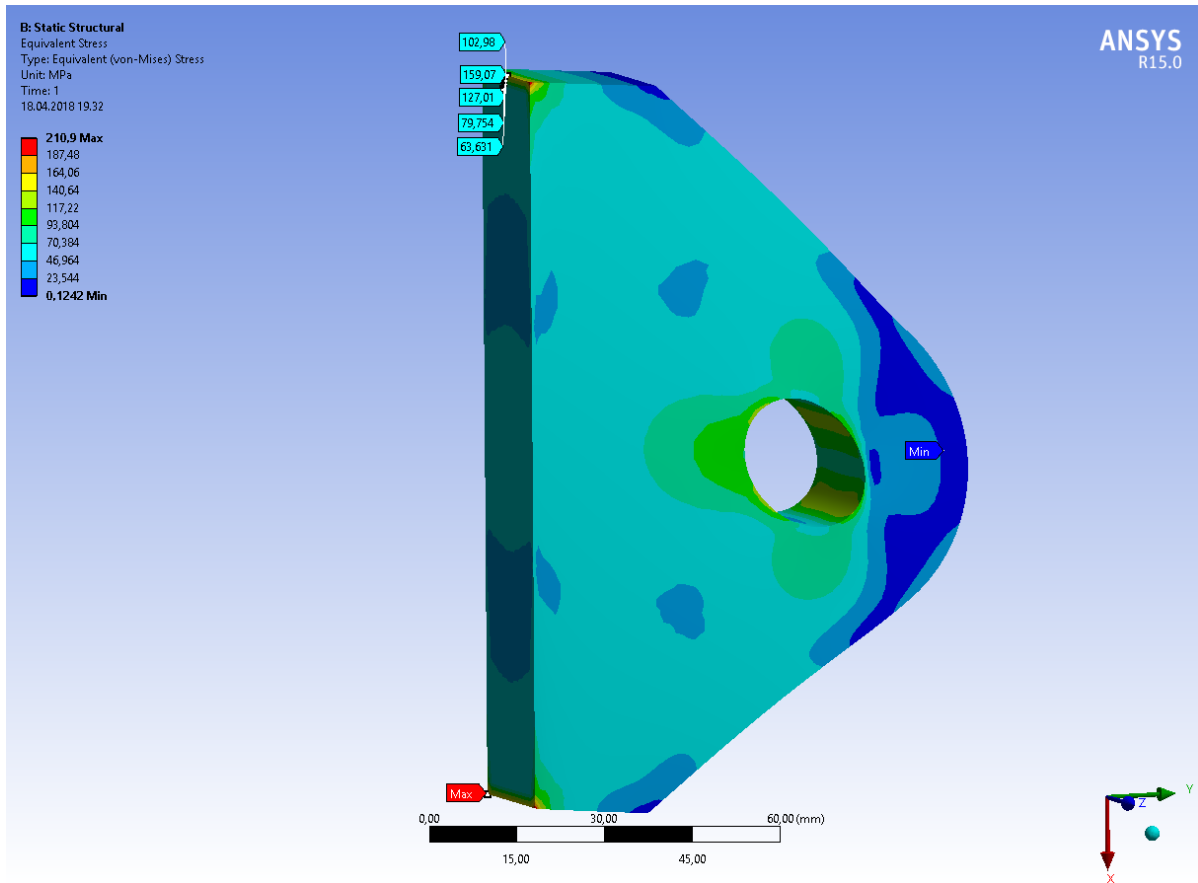
I neste steg ble det lagt på en kraft som virker nedover fra lageret (rødt felt i Figur 58). Kraften er den samme som i håndberegningene, 73 575 N. Det blå feltet i Figur 58 indikerer hvor løfteøyet er fast opplagret.



Figur 58 Opplagring og resultantkraft

Analyse

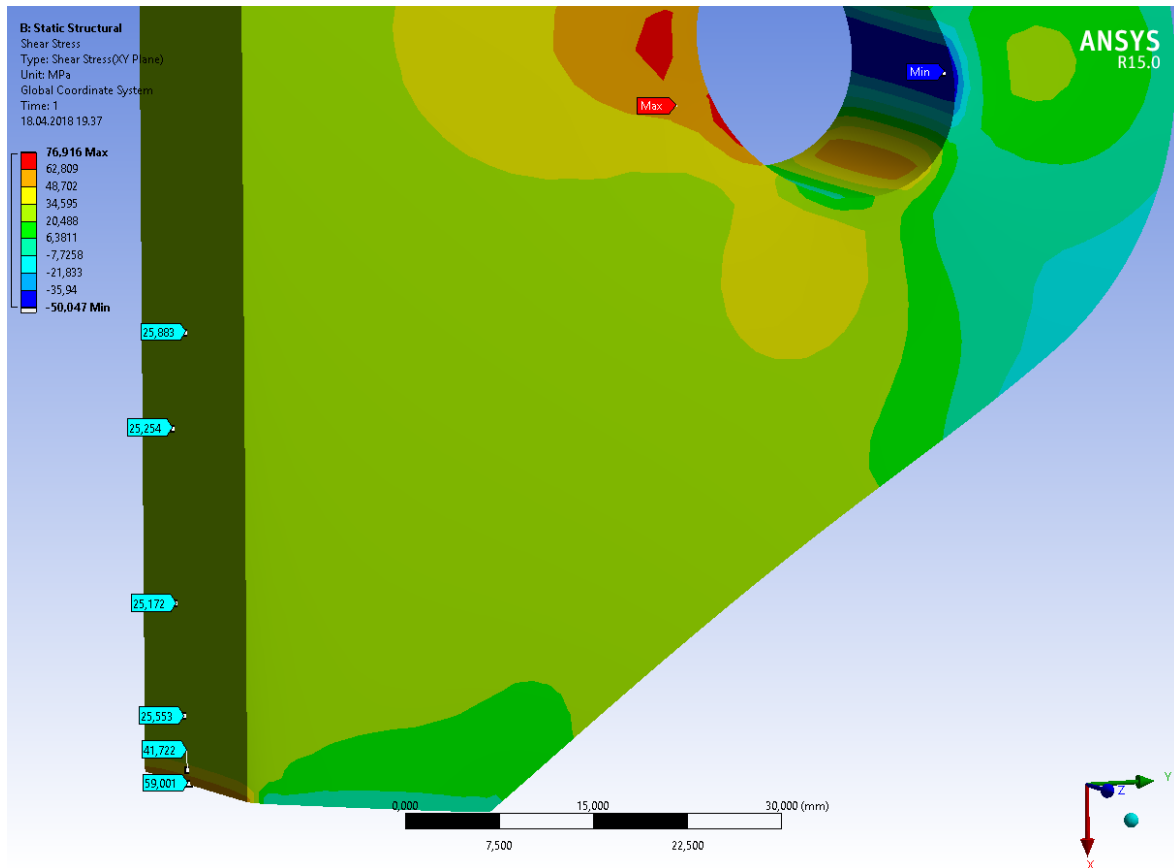
Figur 59 viser ekvivalent spenning etter von Mises-kriteriet. Skarpe kanter og hjørner kan skape unormalt høye verdier i ANSYS. Figur 59 viser at maksimalspenningen oppstår i et hjørne. Ekvivalent spenning er i dette tilfellet en kombinasjon av bøyespenningen og skjærspenningen som kraften i lageret skaper. Den lokalt høye spenningen har et ganske stort avvik fra de manuelle håndberegningene hvor ANSYS har fått 210 MPa og håndberegningene har fått 79 MPa. Avviket blir noen lavere dersom en ser på de globale spenningene og ikke de lokale spenningene. For å sjekke om spenningene er reelle kjøres en analyse av normalspenningen og skjærspenningen og disse evalueres i tillegg til den ekvivalente spenningen.



Figur 59 Von Mises-spenning

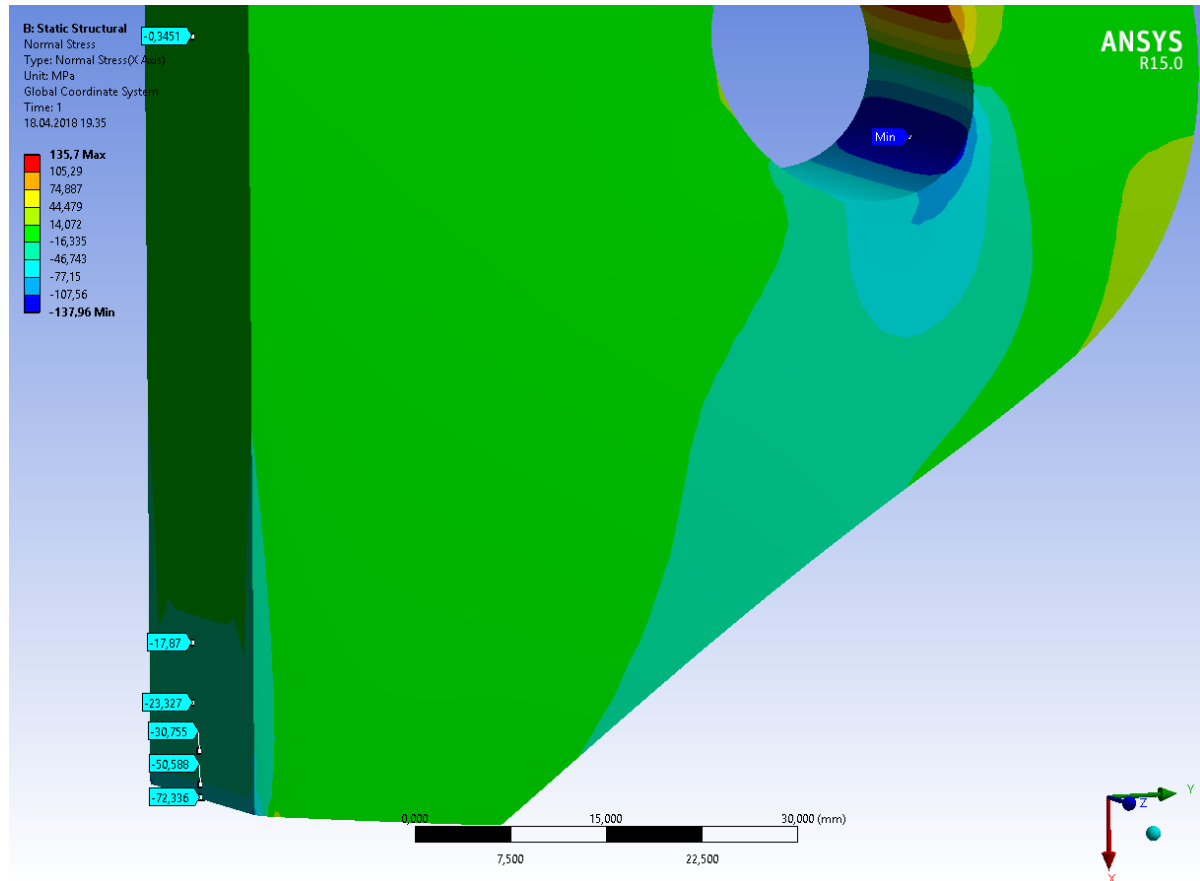
Analysen av skjærspenningen viser at tverrsnittet har økende skjærspenning nær kanten. Formel (61) som er brukt i de manuelle beregningene antar en uniform spenningsfordeling. Dette vil føre til et større og større avvik jo nærmere en kommer kanten. Figur 60 viser at skjærspenningen i ANSYS-analysen stabiliserer seg inn mot midten av tverrsnittet. Verdien stabiliserer seg på en spenning rundt 25,5 MPa, noe som ikke avviker mye fra 26,8 MPa i håndberegningene.

$$\tau = \frac{"RSF"}{A} \quad (61)$$



Figur 60 Skjærspenning

Analysen av normalspenningen viser en fordeling som samsvarer med de manuelle beregningene der det begynner på 0 MPa i midten og stiger ut mot kanten. Det vil være trykkspenninger i den ene enden og strekkspenninger i andre enden. Enden som er fremstilt i Figur 61 opplever trykkspenninger. Avviket er heller ikke stort for normalspenningen med ca $64,2 \text{ MPa}$ for håndberegninger (formel 13), og ca 70 MPa for ANSYS-beregninger.



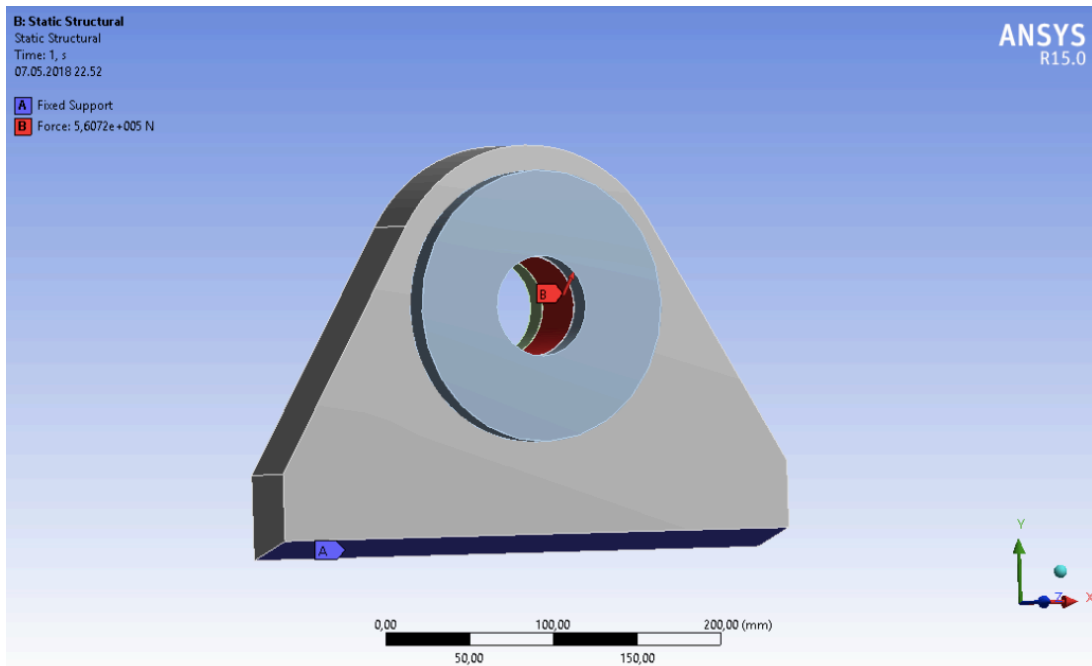
Figur 61 Normalspenning

Det konkluderes med at avviket i ekvivalent spenning etter von Mises-kriteriet skyldes en blanding av at skjærspenningsfordelingen er antatt uniform i de manuelle beregningene, og at "Mesh"-elementenes påvirkning på hverandre i nærheten av skarpe kanter kan skape høye verdier. Lokale spenninger er i de nevnte kantene og hjørnene der elementenes påvirkning på hverandre kan skape urealistiske spenninger. Det tillates ofte å overstige flytgrensen for lokale spenninger.

6.2.2 Løfteøye for kjettingskrev

Betingelser

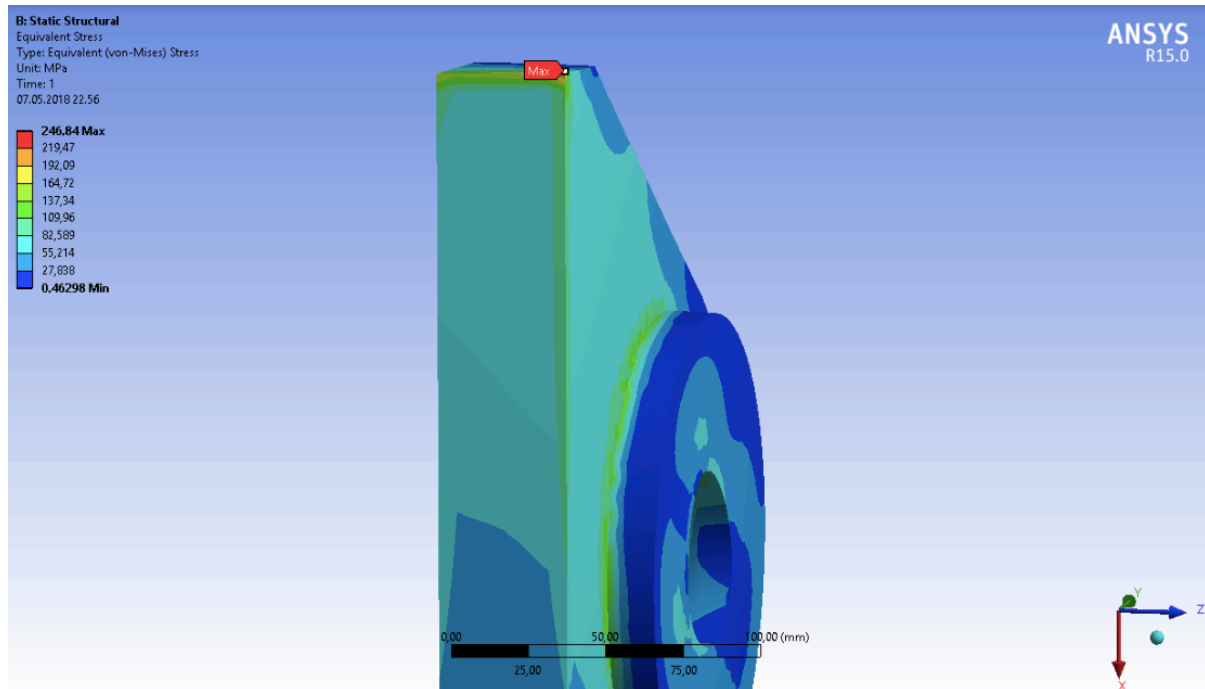
Det er generert ”mesh” på samme måte i dette tilfellet, som for løfteøyet for madrass. På Figur 62 er kraft og lagerbetingelse vist med henholdsvis rød- og blåfarge. Kraften er lagt inn som en komponent i x-retning og en komponent i y-retning. Som vist i kapittel 6.1.2.2 er $F_y = 485\,595\text{ N}$ og $F_x = 280\,359\text{ N}$. Dette gir en kraft på $560\,717\text{ N}$ 30° ned fra vertikal akse. Lagerbetingelsen er fast innspent, siden denne komponenten er sveist fast i løfterammen.



Figur 62 Opplagring og resultantkraft

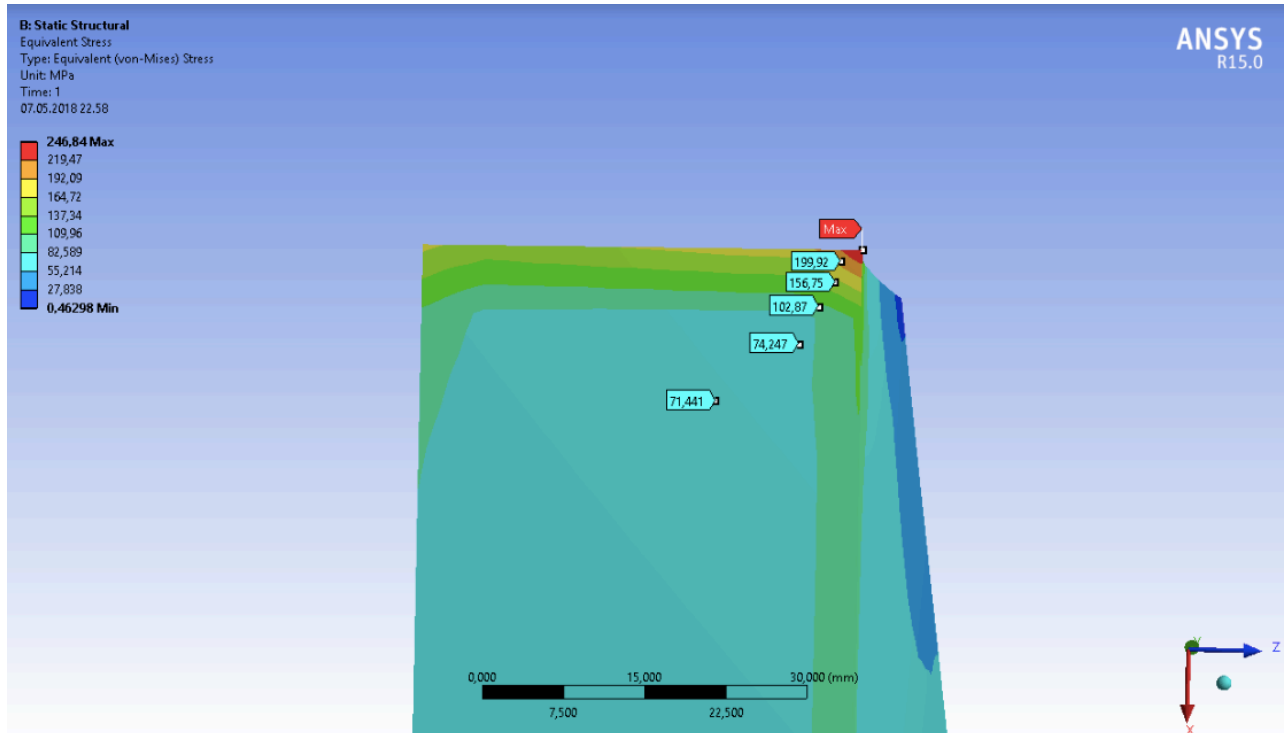
Analyse

Figur 63 viser ekvivalent spenning etter von Mises-kriteriet. I likhet med det andre løfteøyet er det også her skarpe kanter og hjørner som skaper store spenninger i ANSYS. Figur 63 viser at maksimalspenningen oppstår i et hjørne. I dette tilfellet er ekvivalent spenning en kombinasjon av normalspenning forårsaket av F_y , bøyenspenning forårsaket av F_x i tillegg til skjærspenninger i begge retninger. For å sjekke om spenningene er reelle er det greit å kjøre en analyse av normal- og skjærspenningen og evaluere dem i tillegg til den ekvivalente spenningen.



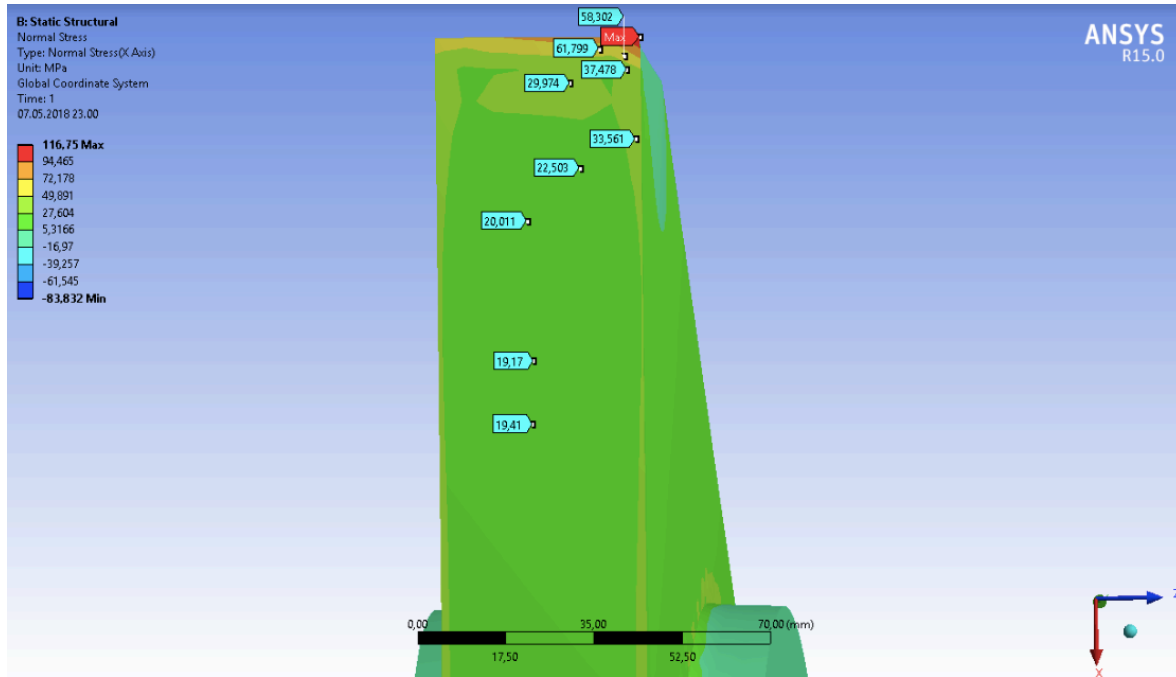
Figur 63 Von Mises-spenning

Ved å zoome inn på hjørnet som opplever de største spenningene går det an å se at det her er lokale spenninger som havner på 247 MPa. Se Figur 64. De lokale spenningene i dette tilfellet ses på som ikke reelle og det fokuseres derfor mer på de globale spenningene. For de globale spenningene kan det virke som verdien ligger på litt over 70 MPa. Håndberegningene gir en von Mises-spenning på 99,5 MPa. For å få et bedre innblikk på hvorfor spenningsbildet ser slik ut kjøres det en skjærspenningsanalyse.



Figur 64 Nærbilde av von Mises-spenningen

Figur 65 viser litt av det samme mønsteret som vises i analysen av ekvivalent von Mises-spenning. For håndberegningene er det antatt at skjærspenningen er uniform. ANSYS viser at skjærspenningen øker inn mot kanten i stedet for å være lik over hele tverrsnittet. Det at spenningen øker mot kanten både i x- og z-retning indikerer at ANSYS har regnet på skjærspenning i begge retningene. Måten ANSYS beregner skjærspenninger på gjør at det kan være litt vanskelig å gi et eksakt avvik mellom håndberegninger og ANSYS beregninger.



Figur 65 Skjærspenning

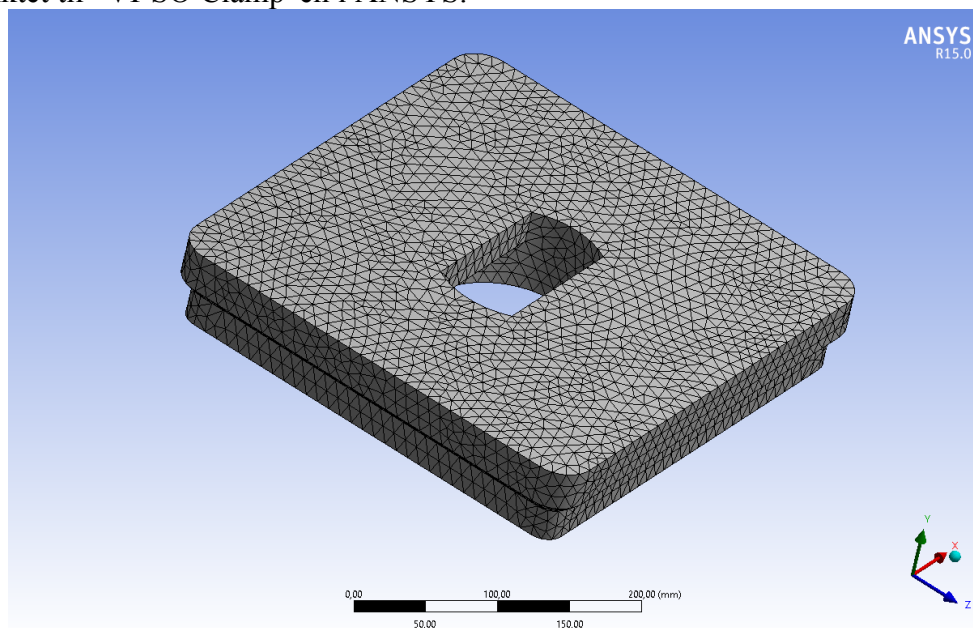
Basert på analysen av ANSYS-beregningene konkluderes det med at håndberegningene stemmer overens med ANSYS-beregningene selv om ANSYS-beregningene viser en noe høyere lokal spenning. De globale spenningene på rundt 75 MPa kontra håndberegningene på 99,5 MPa er med på å underbygge påstanden om at håndberegningene og ANSYS beregningene ikke er så langt fra hverandre.

6.2.3 Festepunkt for "VI-SO Clamp"

Etter mye prøving og feiling ble det til slutt designet et festepunkt som både tåler belastningene som "VI-SO Clamp"en påfører, i tillegg til at konteinerne skal kunne stables på hverandre med "Twistlock" mellom seg ved sjøsikring. I dette tilfellet ble det bare utført ANSYS-beregninger og det er derfor ikke noen håndberegninger å sammenligne med.

Betingelser

Det ble i likhet med de andre beregningene valgt fin "mesh" for denne delen. Figur 66 viser festepunktet til "VI-SO Clamp"en i ANSYS.



Figur 66 Festepunkt for "VI-SO Clamp" med elementer

Platen er laget slik at fugen til sveisen blir maskinert på forhånd og det var derfor naturlig å velge den flaten som "Fixed Support". Det kunne vært lagt til "Frictionless Support" på den delen av platen som stikker ned i bjelken, men siden det er så avhengig av fine toleranser ble det valgt bort. Kraften ble, som vist på Figur 67, lagt til på flaten som "VI-SO Clamp"en går i inngrep med. Det kan diskuteres om denne kraften skulle blitt lagt til å en flate som er litt mindre en hele den flaten som er valgt i Figur 67. "VI-SO Clamp"en vil ha et litt mindre avtrykk en det som er vist. Noe som kan skape et høyere bøyemoment. Formel (61) viser hvordan kraften som virker i løftepunktet er regnet ut. Her er det antatt at konteineren har en masse på 7,5 tonn og en kapasitet på 30 tonn. Lasten ganges med designlastfaktoren til DNV 2.7-3 på 2,5.

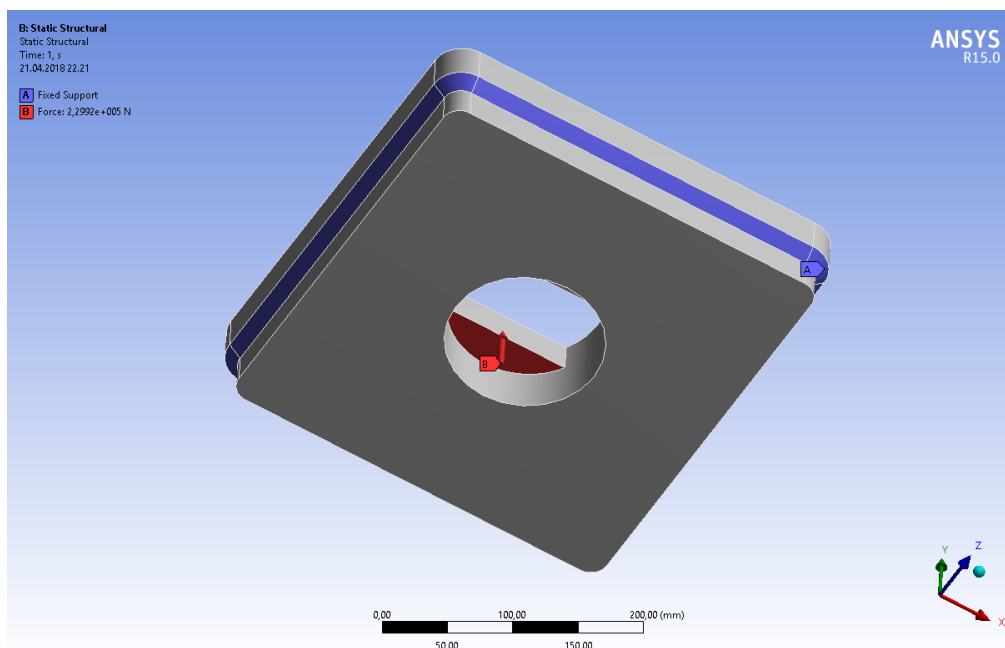
Tabell 38 Symbolforklaring til «VI-SO clamp» beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
F	Kraft	?	N
m_{kont}	Masse til konteiner	7 500	kg
m_{kap}	Kapasitet til konteiner	30	$^{\circ}$
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	$\frac{m}{s^2}$
n	Antall løftepunkt	4	-

$$F = \frac{(m_{kont} + m_{kap}) \times g \times 2,5}{n} \quad (62)$$

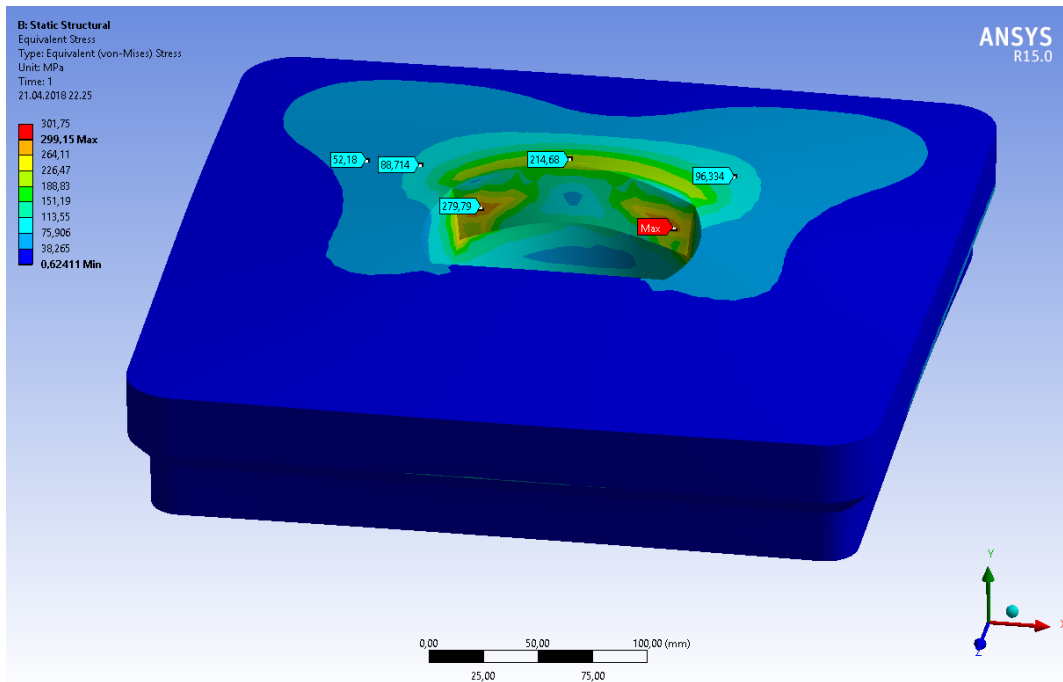
$$F = \frac{(7\,500\,kg + 30\,000\,kg) \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 2,5}{4}$$

$$F = \underline{229\,922\,N}$$



Figur 67 Krefter og opplagring

For denne delen, hvor det ikke sammenlignes med håndberegninger kjøres det kun en analyse for ekvivalent von Mises-spenning. Figur 68 viser at den største spenningen som oppstår er på 299,15 MPa noe som er innenfor kravet om en utnyttelsesfaktor på 0,85. Det vises også at den lastpåførte siden er den som opplever de største spenningene, noe som er helt naturlig.



Figur 68 von Mises-spenningene

6.3 Manuelle strukturberegninger

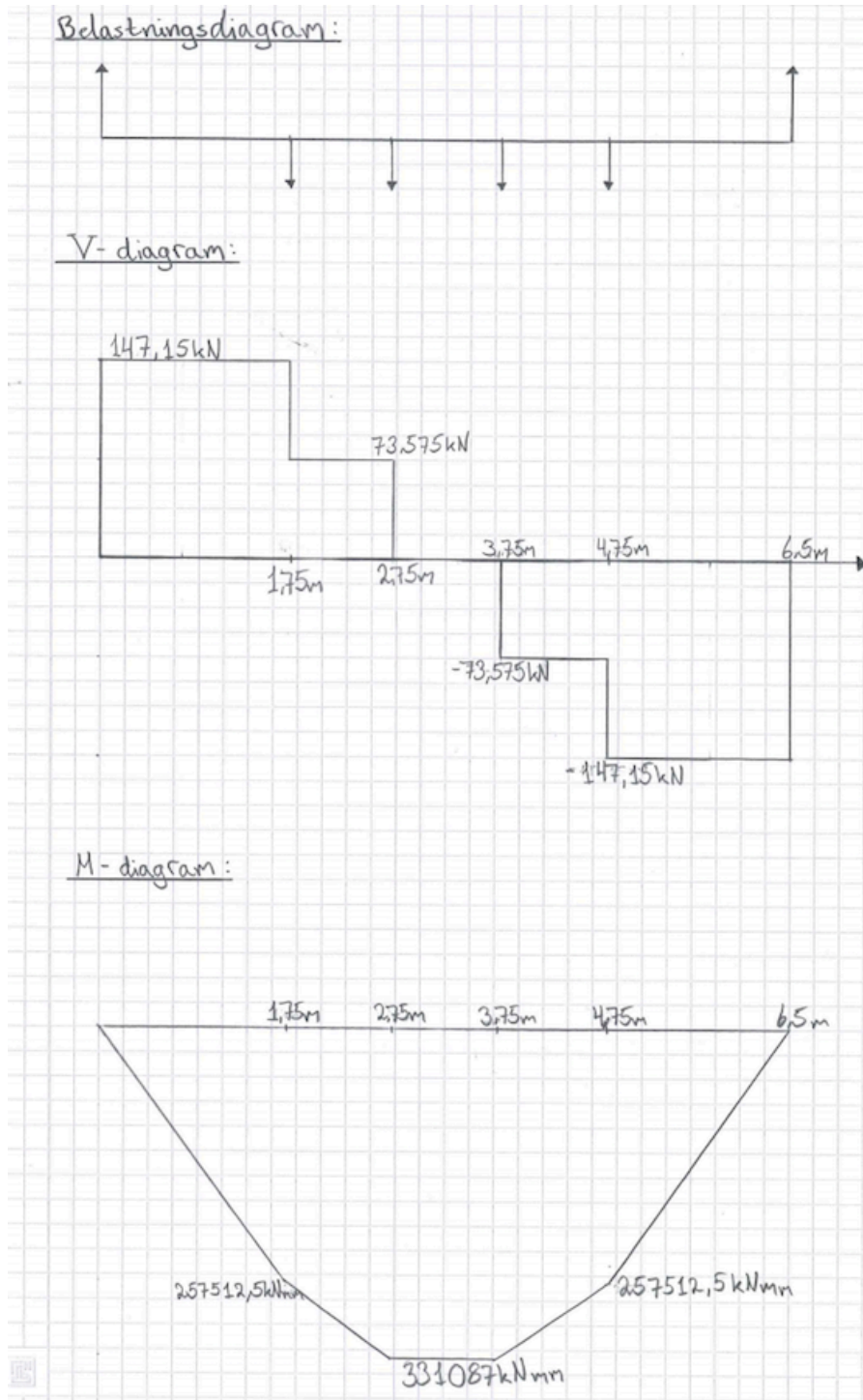
6.3.1 Knekkberegninger

Knekkberegninger av bjelke



Figur 69 Bjelken som er utsatt for knekking

Løfterammen vil ved løft av en madrass bli utsatt for ulike krefter. Her er hver av de to bjelkene som bærer madrassene sett på som en separat bjelke. Det er tatt utgangspunkt i at madrassen er festet i de fire innerste løfteøyene, som da vil være den ”verste” måten å feste på med tanke på moment. Løfteøyene vil dra bjelkenene både oppover og mot hverandre, men siden det er tre bjelker mellom dem som stiver av rammen ses det bort i fra kreftene som drar bjelkene mot hverandre. Lastsituasjonen er vist Figur 70. Her er også skjæradiagram og momentdiagram representert. Bjelken sjekkes opp mot Eurokode 3 for knekking for så å bli sammenlignet med SAP2000 sine beregninger i kapittel 6.4.1. Verdiene i Figur 70 er verdiene som brukes for maksimalt moment og beregning av normalkrefter.



Figur 70 Belastningssituasjonen på løfterammen og skjær- og bøylediagram.

$$M_{ed} = 331,087 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

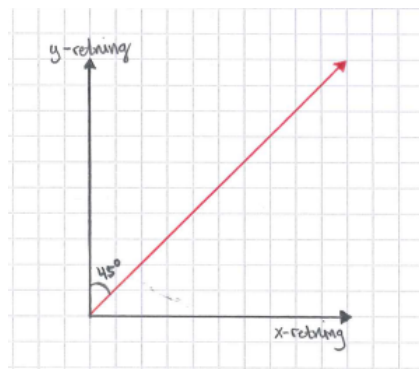
$$V_{ed} = 147,15 \text{ kN}$$

Tabell 39 Symbolforklaring til knekkberegninger av bjelke

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
M_{ed}	Moment på bjelken	331 087 000	Nmm
V_{ed}	Skjærkraft bjelken blir utsatt for	147 150	N
N_{ed}	Normalkraft bjelken blir utsatt for	147 150	N
L	Bjelkens lengde	6 500	mm
L_{cr}	Knekk lengde	6 500	mm
V_{Rd}	Tillatt skjærkraft	?	N
$V_{pl.Rd}$	Tillatt skjærkraft (Plastisk)	?	N
A_v	Knekkareal	?	mm ²
H	Stor høyde i tversnittet	250	mm
B	Stor bredde i tversnittet	350	mm
f_y	Flytegrense	355	MPa
γ_{M0}	Materialfaktor	1,05	-
A	Areal	?	mm ²
h	Liten høyde i tversnittet	218	mm
b	Liten bredde i tversnittet	318	mm
$N_{c.Rd}$	Tillatt normalkraft	?	N
k	Forsterkningsfaktor	?	-
$M_{c.Rd}$	Momentkapasitet	?	Nmm
χ_y	Reduksjonsfaktor	?	-
γ_{M1}	Partial faktor	1,05	-
k_{yy}	Forsterkningsfaktor	?	-
$M_{y.Ed}$	Moment bjelken blir utsatt for	$331,087 \times 10^6$	Nmm
χ_{LT}	Reduksjonsfaktor for vipping	1	-
W_y	Motstandsmoment om sterk akse	?	mm ³
$W_{pl.y}$	Plastisk motstandsmoment	?	mm ³
k_{yz}	Forsterkningsfaktor	?	-
W_z	Motstandsmoment om svak akse	?	mm ³
C_c	Største trykkpåkjennte tverrsnittsdeler	?	mm
t	Veggtykkelse	16	mm

ε	Faktor for materialkvalitet	?	-
λ_c	Største trykkpåkjennte tverrsnittsdels slankhet	?	-
χ_y	Reduksjonsfaktor	?	-
λ_y	Relativ slankhet	?	-
ϕ_y	Parameter	?	-
α_y	Imperfeksjonsfaktor fra knekkingskurve	0,49	-
i_0	Tregghetsmoment	?	mm^4
i	Tregghetsradius	?	mm
C_{my}	Ekvivalent momentfaktor	0,9	-

Figur 71 illustrerer at når kjettingen har en vinkel på 45° vil $V_{ed} = N_{ed}$.



Figur 71 Dekomponering av kjetting

$$N_{ed} = V_{ed} = \underline{147,15 \text{ kN}}$$

Det tas utgangspunkt i at vinkelen mellom kjetting og vertikal akse er 45° selv om det senere ble endret til 60°

Bjelken i dette tilfellet er en leddlagret bjelke og vil derfor har samme knekk lengde som faktisk lengde.

$$L_{cr} = L = \underline{6\,500mm}$$

Det startes med å finne ut hvilken tverrsnittsklasse bjelken er. Tverrsnittsklasse bestemmer blant annet om bjelken kan antas å plastifisere eller om det må regnes med elastisk motstandsmoment. Det plastiske motstandsmomentet vil være høyere enn det elastiske motstandsmomentet og en bjelke som kan antas å plastifisere kan derfor ta opp mer moment enn en bjelke som ikke gjør det. Tverrsnittsklassen bestemmes hovedsakelig av tverrsnittets slankhet der tykkelsen på de trykkpåkjennte delene spiller en stor rolle. Flytegrensen er også med å bestemme bjelkens slankhet.



I følge Eurokode 3 skal det sjekkes at ikke skjærkraften som virker på bjelken overskrider skjærkapasiteten til tverrsnittet, som vist i formel (63). [33]

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 0,5 \quad (63)$$

Dersom kriteriet ikke oppfylles må momentkapasiteten reduseres som vist i EC3-1-1:7.2.8. [33]

$$V_{Ed} = 147,15kN$$

$$V_{Rd} = V_{pl.Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} \quad (64)$$

$$A_v = \frac{A \times H}{B + H} \quad (65)$$

$$A = B \times H - b \times h = B \times H - ((B - 2 \times t) \times (H - 2 \times t)) \quad (66)$$

$$A = 250mm \times 350mm - ((250mm - 2 \times 16mm) \times (350mm - 2 \times 16mm)) [mm^2]$$

$$A = \underline{18\,176mm^2}$$

$$A_v = \frac{A \times H}{B + H} \quad (65)$$

$$A_v = \frac{18\,176mm^2 \times 350mm}{250mm + 350mm} [mm^2]$$

$$A_v = \underline{10\,603mm^2}$$

$$V_{Rd} = V_{pl.Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} \quad (64)$$

$$V_{Rd} = V_{pl.Rd} = \frac{10\,603mm^2 \times 355N/mm^2}{1,05 \times \sqrt{3}} [kN]$$

$$V_{Rd} = V_{pl.Rd} = \underline{2\,069,9kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{147,15kN}{2\,069,9kN} \quad (67)$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \underline{0,07}$$

0,07 er godt innenfor kravet på 0,5

Videre skal det utføres en knekkkontroll av hele bjelken. Den skal kunne bære kombinasjonen av normalkraft og moment uten å bli instabil.

Knekkingskontrollen er gitt i formel (68).

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c.Rd}} + k \times \frac{M_{Ed}}{M_{c.Rd}} \leq 1 \quad (68)$$

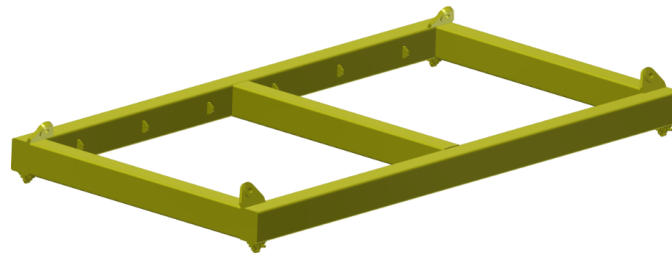
I formel (68) er k en forsterkningsfaktor som skal ta høyde for normalkraftens momentbidrag. Tverrsnittsklassen bestemmer hvordan formelen for knekkingskontroll brukes.

EC3-1-1: 6.3.3 har to interaksjonsformler som dekker knekkingskontrollen for tverrsnittsklasse 1,2 og 3. Formel (69) og formel (70). [33]

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times A \times f_y} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times W_y \times f_y} + k_{yz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_z \times f_y} \leq 1 \quad (69)$$

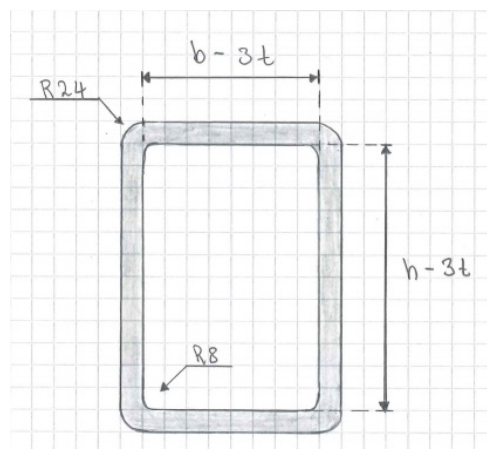
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times A \times f_y} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times W_y \times f_y} + k_{zz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_z \times f_y} \leq 1 \quad (70)$$

Her må alle nødvendige variabler bestemmes eller finnes før de så settes inn i de to gjeldene formlene. Så lenge svaret er under 1 er bjelken riktig dimensjonert. Siden bjelken antas å være avstivet av de 3 bjelkene som går mellom hver av de lange bjelkene, ref. Figur 72, kan det ses bort fra formel (70). Den ser på hva som skjer når det oppstår knekking om svak akse og vipping. Den anvendte formelen i dette kapittelet tar for seg knekking om sterk akse og vipping. Siden dette er en RHS-bjelke og vipping ikke er aktuelt settes $\chi_{LT} = 1$. Det siste leddet i formlene faller også bort da det ikke er noe bøyemoment om svak akse.



Figur 72 Løfteramme

Det jobbes videre med formel (69) hvor det startes med å finne den største trykkpåkjennte delen. Figur 73 viser at både steg og flens sjekkes.



Figur 73 Snitt av RHS-bjelke



$$C_c = \max [(b - 3t), (h - 3t)] \quad (71)$$

$$C_c = \max [(250\text{mm} - 3 \times 16\text{mm}), (350\text{mm} - 3 \times 16\text{mm})]$$

$$C_c = \underline{302\text{mm}}$$

Det sjekkes så den trykkpåkjennte delens slankhet for å kunne bestemme tverrsnittsklasse.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (72)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}}$$

$$\varepsilon = \underline{0.814}$$

$$\lambda_c = \frac{C_c}{t} \times \frac{1}{\varepsilon} \quad (73)$$

$$\lambda_c = \frac{302\text{mm}}{16\text{mm}} \times \frac{1}{0.814}$$

$$\lambda_c = \underline{23}$$

I følge Tabell 5.2 i EC3-1-1 vil denne slankheten svare til tverrsnittsklasse 1 fordi $\lambda_c \leq 33$. For tverrsnittsklasse 1 og 2 vil hele tverrsnittet bli plastifisert før noen trykkpåkjennte tverrsnittsdeler får lokal knekking. [34] [33]

Det skal beregnes en reduksjonsfaktor, χ_y , ved hjelp av formel (74).

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} \quad (74)$$

Her trengs både en relativ slankhet, λ_y , og en parameter, ϕ_y , for å finne reduksjonsfaktoren. Som vist i formel (75) trengs det også en imperfeksjonsfaktor fra knekkingskurve, α_y , for å finne parameteren, ϕ_y .

$$\phi_y = \frac{1}{2} \times ((1 + \alpha_y \times (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)) \quad (75)$$

Knekkingskurven finnes i tabell 6.2 i EC3-1-1 og settes til $\alpha_y = 0,49$. Relativ slankhet regnes ut i formel (76). Her trengs treghetsradiusen, i . Som vist i formel (77) trengs knekkingsarealet, A_c , og treghetsmomentet, i_0 , for å finne i . For tverrsnittsklasse 3 og nedover er knekkingsarealet lik tverrsnittsarealet. Arealet er beregnet i forbindelse med skjærkapasitet i formel (66). [33]

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} \times \frac{1}{93.9 \times \varepsilon} \quad (76)$$

$$i = \sqrt{\frac{i_0}{A_c}} \quad (77)$$



$$A_c = A = \underline{18\,176\text{mm}^2}$$

$$i_0 = \frac{(B \times H^3) - (b \times h^3)}{12} = \frac{(B \times H^3) - ((B - (2 \times t)) \times (H - (2 \times t))^3)}{12} \quad (78)$$

$$i_0 = \frac{(250\text{mm} \times (350\text{mm})^3) - ((250\text{mm} - (2 \times 16\text{mm})) \times (350\text{mm} - (2 \times 16\text{mm}))^3)}{12} \text{ [mm}^4]$$

$$i_0 = \underline{309\,035\,818,7\text{mm}^4}$$

$$i = \sqrt{\frac{309\,035\,818,7\text{mm}^4}{18\,176\text{mm}^2}} \text{ [mm]} \quad (77)$$

$$i = \underline{130,39\text{mm}}$$

Treghetsradiusen brukes så til å finne den relative slankheten.

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} \times \frac{1}{93,9 \times \epsilon} \quad (76)$$

$$\lambda_y = \frac{6\,500\text{mm}}{130,39\text{mm}} \times \frac{1}{93,9 \times 0,814}$$

$$\lambda_y = \underline{0,652}$$

Den relative slankheten og imperfeksjonsfaktoren brukes så for å finne parameteren som skal være med å bestemme den endelige reduksjonsfaktoren, χ .

$$\phi_y = \frac{1}{2} \times ((1 + \alpha_y \times (\lambda_y - 0,2)) + \lambda_y^2) \quad (75)$$

$$\phi_y = \frac{1}{2} \times ((1 + 0,49 \times (0,652 - 0,2)) + 0,652^2)$$

$$\phi_y = \underline{0,823}$$

Benytter formel til å finne reduksjonsfaktoren.

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} \quad (74)$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,823 + \sqrt{0,823^2 - 0,652^2}}$$

$$\chi_y = \underline{0,755}$$

For å sjekke kriteriet i formel (69) mangler det å finne motstandsmoment, W_y , og forsterkningsfaktoren k_{yy} .

I følge tabell 6.7 i EC3-1-1 skal det benyttes det plastiske motstandsmomentet når det er snakk om tverrsnittsklasse 1 og 2. [33]

$$W_y = W_{pl,y} = \frac{(B \times H^2) - (b \times h^2)}{4} = \frac{(B \times H^2) - ((B - (2 \times t)) \times (H - (2 \times t)))^2}{4} \quad (79)$$

$$W_y = \frac{(250\text{mm} \times (350\text{mm})^2) - ((250\text{mm} - (2 \times 16\text{mm})) \times (350\text{mm} - (2 \times 16\text{mm})))^2}{4} [\text{mm}^3]$$

$$W_y = \underline{2\,144\,992\text{mm}^3}$$

Formel (80), for k_{yy} , finnes i [34]. Siden det i dette tilfellet er en stav med forskyvelige endepunkter kan C_{my} settes til 0,9.

$$k_{yy} = c_{my} \times \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times A \times f_y} \right) \quad (80)$$

$$k_{yy} = 0,9 \times \left(1 + (0,652 - 0,2) \times \frac{147150\text{N}}{\frac{0,755 \times 18176\text{mm}^2 \times 355\text{N/mm}^2}{1,05}} \right)$$

$$k_{yy} = \underline{0,917}$$

Setter så alt inn i formel (69), uten det siste leddet. Her er $\chi_{LT} = 1$ siden vipping er uaktuelt.

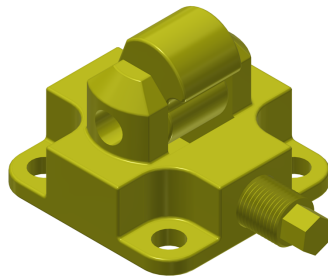
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times A \times f_y} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times W_y \times f_y} \leq 1 \quad (69)$$

$$\frac{147150\text{N}}{\frac{0,755 \times 18176\text{mm}^2 \times 355\text{N/mm}^2}{1,05}} + 0,917 \times \frac{331,087 \times 10^6\text{Nmm}}{\frac{1 \times 2144992\text{mm}^3 \times 355\text{N/mm}^2}{1,05}} = 0,45$$

I følge knekkingskontrollen og skjærkapasitetskontrollen er bjelken riktig dimensjonert.

6.3.2 "VI-SO Clamp"

"VI-SO Clamp", ref. Figur 74, er en klemme som brukes til å løfte konteineren. Klemmen sitter på undersiden og festes til konteineren ved å føre den ned i et hull som også passer "Twistlock", ref. kapittel 5.3.1, for så å betjene "kloen" ved hjelp av en bevegelseskruer. Når konteineren står på havbunnen er det meningen at en ROV skal betjene bevegelseskruen med et "Torque Tool", ref. vedlegg M. Den skal skrues til med ca 70 Nm, ref. vedlegg K, så her er det viktig å justere utstyret.



Figur 74 "VI-SO Clamp"

Grunnen til at "VI-SO Clamp" brukes som løfteutstyr er at koblingen blir helt stram, i motsetning til en twistlock som ville hatt litt vandrings i alle retninger.

Det ble bestemt i samråd med ekstern veileder at "VI-SO Clamp" skulle betraktes som en del av strukturen når det skulle utføres beregninger på den. Det er oppgitt en kapasitet mot oppadvirkende krefter i vedlegg K. Det står ingenting at dette er en grense som fører til flyt eller ikke, men det står at denne grensen har en sikkerhetsfaktor på 1,67 mot minimum bruddgrense. Det antas for dette tilfellet, siden det bare er oppadvirkende krefter, at overskridelse av kapasiteten tilsvarer overskridelse av flygrensen.

Det sjekkes hvor mye last som løftes i konteineren og likehvel ikke utnytte mer en 85% av kapasiteten til "VI-SO Clamp"en. Formel (81) gjør den oppgitte kapasiteten om fra pound til kg. Et pound tilsvarer 0,454kg.

Figur 75 Symbolforklar til "VI-SO Clamp" beregninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
$m_{kap.v}$	Kapasiteten til "VI-SO Clamp"	64 000	lb
$F_{kap.v}$	Kapasiteten til "VI-SO Clamp"	?	N
m_k	Konteinerens masse	5000	kg
g	Tyngdeakselerasjonen	9,81	$\frac{m}{s^2}$
$m_{kap.k}$	Kapasiteten til konteineren	?	kg
n	Antall "VI-SO Clamp"	4	-

$$F_{kap.v} = m_{kap.v} \times 0,454 \frac{kg}{lb} \times g \quad (81)$$

$$F_{kap.v} = 64\,000 lb \times 0,454 \frac{kg}{lb} \times 9,81 m/s^2$$

$$F_{kap.v} = \underline{285\,039 N}$$

Kapasiteten til hver “VI-SO Clamp” er 285 039N. Formel (82) regner ut kapasiteten til konteineren. Har legges designlastfaktoren på, i tillegg til den maksmale utnyttelsen av flytkapasiteten, 0,85. Kapasiteten ganges med antall løftepunkt før massen av selve konteineren trekkes fra til slutt. Den egentlige masse til konteineren er i følge tegningene 4950 kg og settes derfor til 5000 kg.

$$m_{kap.k} = \frac{F_{kap.v} \times 0,85 \times n}{g \times 2,5} - m_k \quad (82)$$

$$m_{kap.k} = \frac{285039N \times 0,85 \times 4}{9,81m/s^2 \times 2,5} - 5000kg$$

$$m_{kap.k} = \underline{34\,516kg}$$

Siden 7 madrasser á 5 000 kg akkurat ikke går settes kapasiteten til 30 000kg.

6.3.3 Sveis rundt doblingsplate

Sveiseforbindelsen mellom doblingsplaten til “VI-SO Clamp”en og bjelken beregnes. Dette blir en simpel sveiseberegning hvor den eneste kraften som virker forårsaker strek i en kilsveis. Det er angitt i 2D-tegningene (ref. vedlegg A) at det skal sveises en sveis med a-mål på 10mm hele veien rundt platen.

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
F	Kraft	229 922	N
l	Lengden på platen	155	mm
a	A-målet til sveisen	10	mm
τ_{\perp}	Normal skjærspenning	?	MPa
σ_{\perp}	Normal strekkspenning	?	MPa
σ_j	Jevnføringspenning	?	MPa

Arealet av planet som a-målet og lengden av sveisen danner finnes i formel (83). Arealet ganges med 4 fordi det sveises på alle fire sidene. Det tas ikke høyde for at det kan være endeokrater siden det sveises helt rundt.

$$A = a \times 4 \times l \quad (83)$$

$$A = 10mm \times 4 \times 155mm [mm^2]$$

$$A = \underline{6\,200mm^2}$$

Kraften må først dekomponeres for å finne de normale strekkspenningene og skjærspenningene, ref. kapittel 6.1.1.2, snitt A. Setter inn arealet fra formel (83) inn i formel (84) og finner normal strekkspenning, som er lik normal skjærspenning.



$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \times A} \quad (84)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{229\,922\text{N}}{\sqrt{2} \times 6200\text{mm}^2} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{\perp} = \underline{26,2 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \underline{26,2 \text{ MPa}}$$

For å finne jevnføringsspenningen (85) setter en inn normal strekkspenning og normal skjærspenning. Her settes $\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} \quad (85)$$

$$\sigma_j = \sqrt{4 \times \sigma_{\perp}^2} = 2 \times \sigma_{\perp}$$

$$\sigma_j = 2 \times 26,2 \text{ MPa [MPa]}$$

$$\sigma_j = \underline{52,4 \text{ MPa}}$$

Formel (86) sjekker utnyttelsesfaktoren til sveisen.

$$UF = \frac{\sigma_j}{\sigma_e} \quad (86)$$

$$UF = \frac{52,4 \text{ MPa}}{302 \text{ MPa}}$$

$$UF = \underline{0,17}$$

Utnyttelsesfaktoren på 0,17 er dermed godt innenfor kravet på 0,6 i henhold til DNV 2.7-3. [30]

6.4 SAP2000 beregninger

Beregningsprogrammet SAP2000 har blitt brukt til å dimensjonere selve strukturen, både på løfterammen og konteineren. SAP2000 fungerer slik at det velges en type bjelke, defineres lagerbetingelser og legges til en last. Løsningen ble sjekket opp mot Eurokode 3 i tillegg til at lasten som ble lagt inn var designlasten som ble regnet ut i henhold til DNV 2.7-3. Dette vil gi en ekstra sikkerhetsfaktor i forhold til om det hadde blitt beregnet for hånd. Det er alltid viktig å være på den sikre siden, og eneste konsekvensen av den ekstra sikkerhetsfaktoren vil være at det gjerne velges en bjelke som er litt større enn den en hadde trengt. Siden det først må legges inn en bjelke, for så å legge til en kraft, baserte fremgangsmåten seg på prøving og feiling. Det ble valgt en bjelketype som virket å være vanlig i tegneprogrammet Inventor. Valget falt til slutt på RHS-profilen 350X250X16 for løfterammen og SHS-profilen 250X250X10 for konteineren. Kapasiteten til konteineren har senere blitt redusert til 30 tonn på grunn av "VI-SO Clamp"-ene mellom konteiner og løfteramme. Konteineren er likevel dimensjonert for en kapasitet på 40 tonn slik at den kan brukes dersom det senere vil komme en sterkere "VI-SO Clamp"-løsning på markedet.

6.4.1 Løfteramme

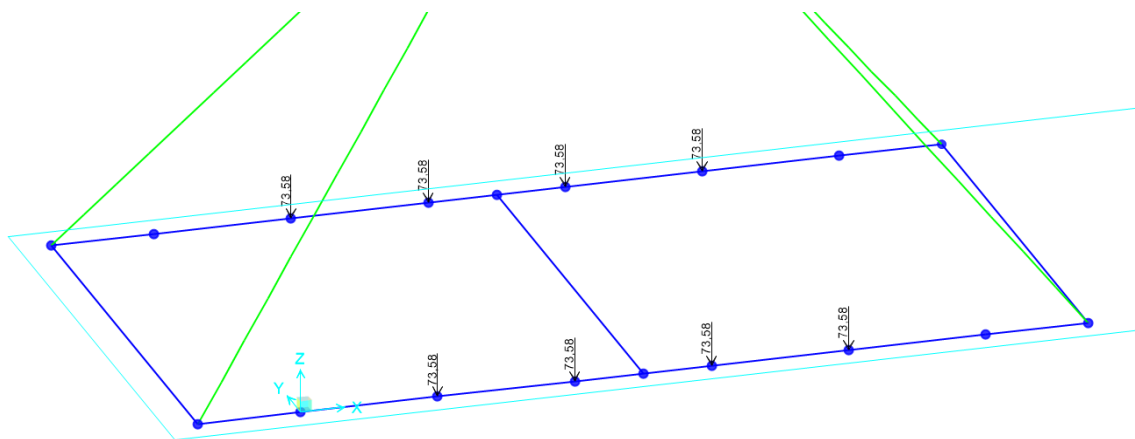
Løfterammen ble både sjekket for løft av den største madrassstypen (20 tonn) og for løft av konteiner. Det viste seg at det var madrassløft som ble dimensjonerende, noe som skyldes at kreftene for konteinerløft virker rett under løfteøyene for kjettingskrevet mens kreftene for madrassløft virker lenger inne på bjelken. Det er tegnet på kabler for å gjenspeile den virkelige situasjonen med løfteskrev. Kablene vil, i likhet med et løfteskrev, skape en normalkraft på bjelketverrsnittet. Momentkapasiteten til bjelken reduseres på grunn av knekklasten/normalkraften påført av løfteskrevet.

Madrassløft

Løfterammen sjekkes først for løft av 20 tonns madrass. Momentet som oppstår fordi madrassen festes nær midten på en 6,5 meter lang bjelke vil bli dimensjonerende for dette tilfellet. Det vil også oppstå en knekklast i den momentbelastede bjelken.

Lastsituasjon

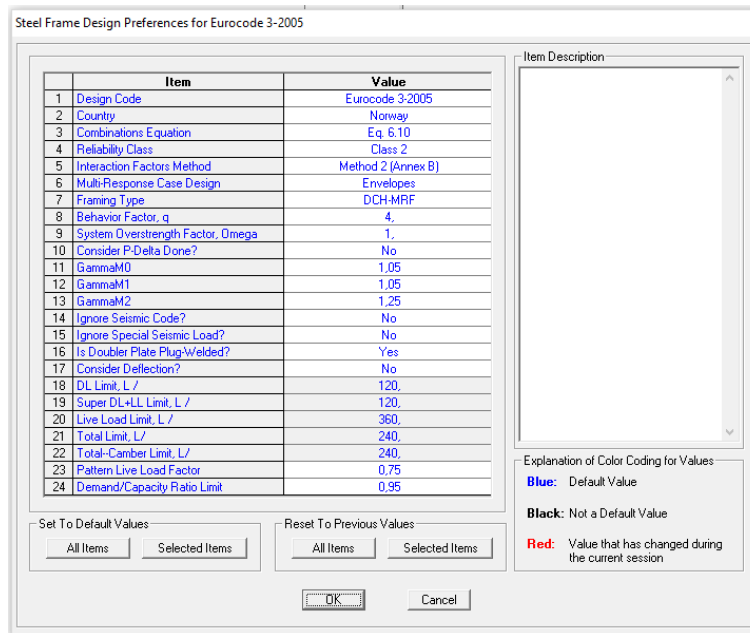
Som vist i Figur 76 ble det lagt til en kraft på 73,576 kN, ref. formel (2), på hver av de åtte innerste løfteøyene. Det er spesifisert i brukermanualen at operatøren skal kunne bruke fire løfteøyne på hver side. Løfterammen er dimensjonert slik at den tåler det verst tenkelige valget av løfteøyne. Dette gjør at operatøren kan velge fritt hvilke løfteøyne som brukes.



Figur 76 Lastsituasjonen for løfterammen under betongmadrassløft i SAP2000

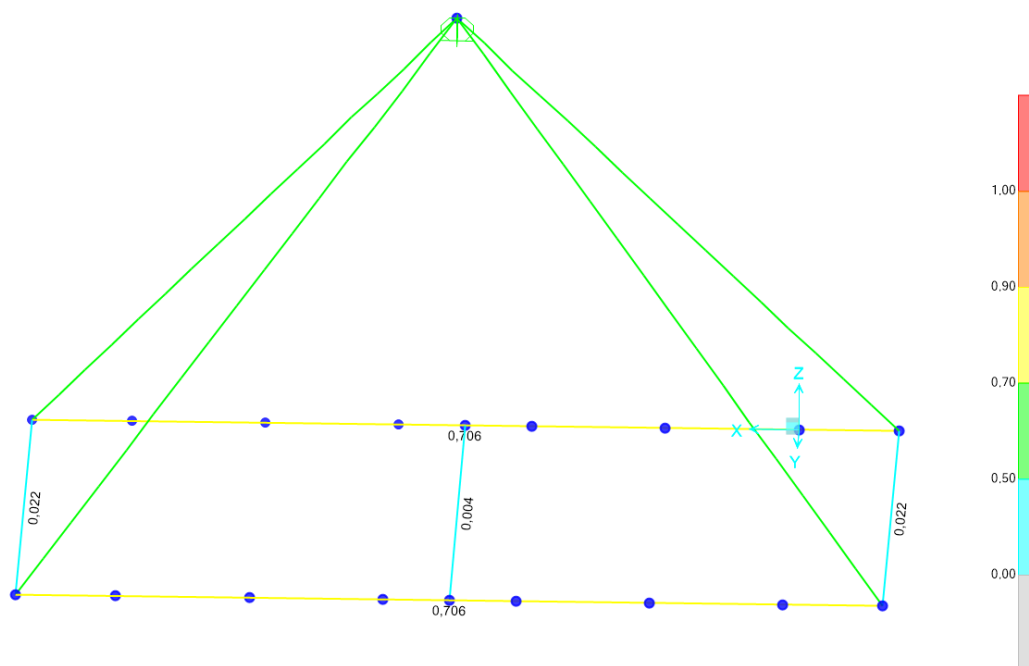
Kodesjekk

I SAP2000 kan det som nevnt kjøres en kodesjekk. Ved kjøring av kodesjekk leveres det et resultat i form av utnyttelsesfaktorer. Det ble valgt å sjekke konstruksjonen opp mot Eurokode 3. I tillegg kan det velges nasjonale tillegg. I Figur 77 ser man at det er valgt nasjonale tillegg for Norge. Hvorvidt dette nasjonale tillegget er relevant for undervannsoperasjoner er uvisst. Det nasjonale tillegget vil eventuelt bare gjøre løsningen enda mer konservativ.



Figur 77 Nasjonale tillegg for Norge i SAP2000

SAP2000 leverer resultatene i farger slik at det er enkelt å lokalisere bjelkene som er overbelastet. Utnyttelsesfaktoren i dette tilfellet blir, som vist i Figur 78, 0,706 i den mest belastede bjelken. I denne utnyttelsesfaktoren ligger det både sikkerhetsfaktorer fra Eurokode 3 og designlast fra DNV 2.7-3. DNV 2.7-3 sier at utnyttelsesfaktoren for struktur skal være under 0,85, noe den mest belastede bjelken er. Den mest belastede bjelken er med andre ord både innenfor kravet og ganske konservativt beregnet.



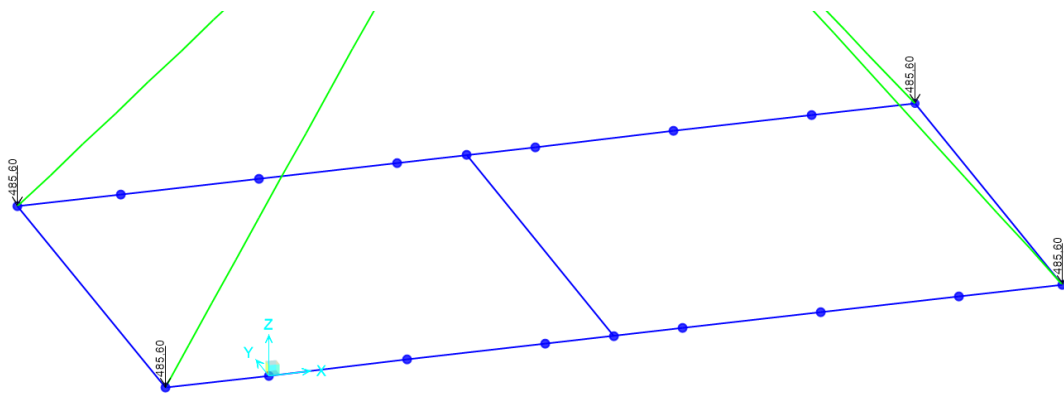
Figur 78 Utnyttelsesfaktor for løfteramme i SAP2000 ved madrassløft

Konteinerløft

Den samme strukturen sjekkes for løft av konteiner (50 tonn). Den sjekkes opp mot Eurokode 3 her også.

Lastsituasjon

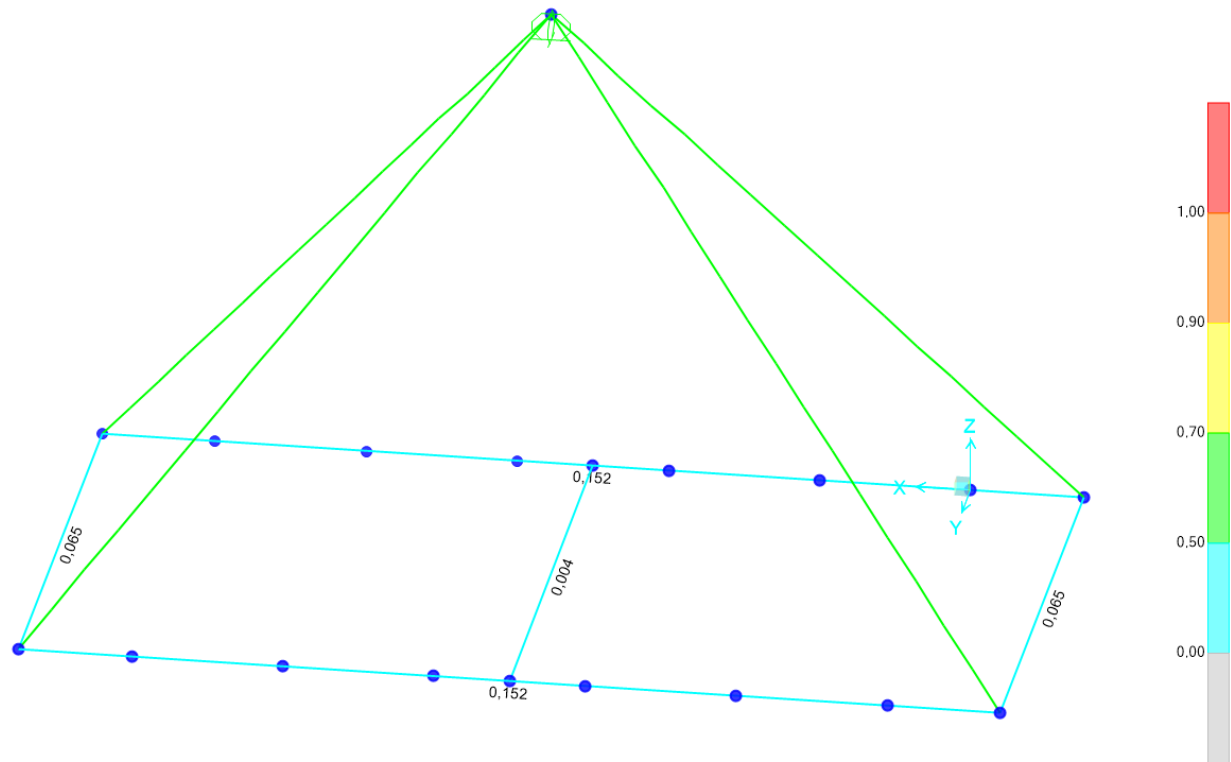
Her legges det til 4 punktlaster på 485 600N, ref. formel (36), som representerer lasten som overføres fra konteineren til løfterammen. Denne lasten vil virke rett under løfteøynene for løfteskrev og vil derfor ikke skape like mye moment som situasjonen for madrassløft. 485 600N tilsvarer vekten til en full konteiner pluss vekten til løfterammen. I ettertid har det vist seg at det ikke er nødvendig å ta høyde for egenvekt (i dette tilfellet løfterammens vekt), da SAP2000 legger på egenvekt selv. Denne situasjonen viser seg å ikke være dimensjonerende for løfterammen og det har derfor liten betydning at egenvekten er tatt høyde for to ganger. Ved løft av konteiner er det heller ikke tatt høyde for konteinerens stivhet. Noe som vil redusere knekklasten på de lengste bjelkene til løfterammen. Beregningene er derfor litt mer konservative enn de hadde trengt å vært, men siden det ikke blir dimensjonerende uansett, gjøres det ikke noe med.



Figur 79 Lastsituasjon for løfteramme ved løft av konteiner i SAP2000

Kodesjekk

Løsningen sjekkes opp mot Eurokode 3 med det nasjonale tillegget for Norge på akkurat samme måte som situasjonen for madrassløft. Figur 80 viser at den mest belastede bjelken vil i dette tilfellet vil ha en utnyttelsesfaktor på 0,152, noe som er godt innenfor kravet som er 0,85.



Figur 80 Utnyttelsesfaktor for løfteramme i SAP2000 ved løfting av konteiner

6.4.2 Konteiner

I dette avsnittet sjekkes strukturen til konteineren, med de samme kriteriene som strukturen til løfterammen. De små bjelkene som brukes til å feste hullene til “Twistlock”-ene med, ref. kapittel 7.3.2, er ikke tatt med i SAP2000 beregningene. SHS-profilen 250X250X10 ble til slutt valgt.

Lastsituasjon

I dette tilfellet er det lagt til lagerbetingelser i stedet for krefter i konteinerens løftepunkt. Lagrene vil gi samme effekten, men man slipper å regne ut kreftene som eventuelt skulle vært lagt til i dette punktet. Etter samtale med intern veileder kom en frem til at det skulle legges til linjelaster på bjelkene i bunnen av konteineren for å gjenspeile virkeligheten best mulig. Formel (87) viser hvordan linjelasten ble regnet ut. Figur 81 viser modellen med påsatt linjelast. Lastsituasjonen er for full konteiner.

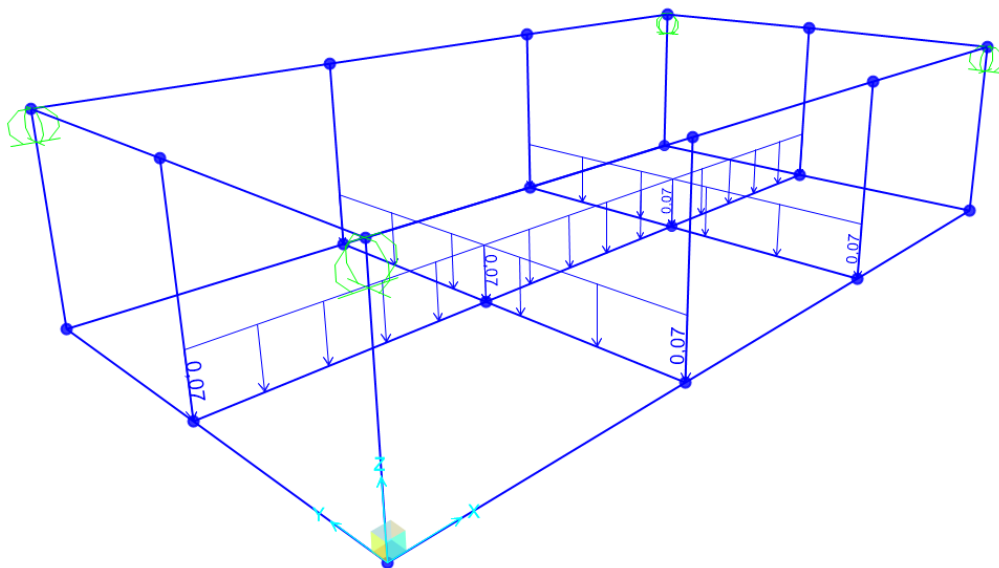
Tabell 40 Symbolforklaring til løftepunkt beregning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
q	Linjelast	?	$\frac{N}{mm}$
m	Kapasitet til "VI-SO Clamp"	40 000	kg
g	Tyngdeakselerasjonen	9,81	$\frac{m}{s^2}$
L	Total lengde	13 500	mm

$$q = \frac{m \times g \times 2,5}{L} \quad (87)$$

$$q = \frac{40000kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 2,5}{6500mm + 2 \times 3500mm}$$

$$q = 72,7 \frac{N}{mm} = 0,0727 \frac{kN}{mm}$$



Figur 81 Lastsituasjonen for full konteiner i SAP2000



6.4.3 Sammenligning med knekkberegninger

I SAP2000 går det ann å sjekke hvilke verdier programmet har fått når det har sjekket en spesifikk bjelke opp mot en kode (i dette tilfellet Eurokode 3). Figur 83 representerer verdiene som SAP2000 har fått når det har sjekket den samme bjelken som er regnet på i kapittel 6.3.1 opp mot Eurokode 3.

Frame : 7	X Mid: 2500,000	Combo: DSTL2	Design Type: Beam
Length: 1000,000	Y Mid: 0,000	Shape: TUB0350X250X16	Frame Type: DCH-MRF
Loc : 500,000	Z Mid: 0,000	Class: Class 1	Rolled : No
Country=Norway	Combination=Eq. 6.10	Reliability=Class 2	
Interaction=Method 2 (Annex B)	MultiResponse=Envelopes	P-Delta Done? No	
GammaM0=1,05	GammaM1=1,05	GammaM2=1,25	
An/Ag=1,00	RLLF=1,000	PLLF=0,750	D/C Lim=0,950
Aeff=18176,000	eNy=0,000	eNz=0,000	
A=18176,000	Iyy=309035818,7	iyy=130,393	We1,yy=1765918,964
It=344132977,	Izz=181183018,7	izz=99,841	We1,zz=1449464,149
Iw=0,000	Iyz=0,000	h=350,000	Weff,yy=1765918,96
E=210,000	fy=0,355	Fu=0,510	Wp1,yy=2144992,000
			Wp1,zz=1690592,000
			Av,z=8000,000
			Av,y=12211,200
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS			
Location	Ned	Med,yy	Med,zz
500,000	-188,515	512010,926	-635,974
			Ued,z
			-1,653
			Ued,y
			0,290
			Ted
			0,000
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)			
D/C Ratio:	0,760	= 0,041 + 0,719 + 0,000	< 0,950
			OK
			= NEd/(Chi_y NRk/GammaM1) + kyy (My,Ed+NED eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1)
			+ kyz (Mz,Ed+NED eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.61)
AXIAL FORCE DESIGN			
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-188,515	6145,219	6145,219
	Np1,Rd	Nu,Rd	Ncr,T
	6145,219	6674,227	1030577,262
			Ncr,TF
			15160,068
			An/Ag
			1,000
	Curve	Alpha	Ncr
Major (y-y)	c	0,490	15160,068
MajorB(y-y)	c	0,490	15160,068
Minor (z-z)	c	0,490	1502091,963
MinorB(z-z)	c	0,490	1502091,963
Torsional TF	c	0,490	15160,068
			LambdaBar
			0,652
			Phi
			0,824
			Chi
			0,754
			Nb,Rd
			4632,949
			4632,949
			1,000
			6145,219
			6145,219
			0,754
			4632,949
MOMENT DESIGN			
	Med	Med,span	Mc,Rd
	Moment	Moment	Capacity
Major (y-y)	512010,926	512010,926	725211,581
Minor (z-z)	-635,974	-635,974	571581,105
			Mu,Rd
			725211,581
			Mn,Rd
			725211,581
			Mb,Rd
			725211,581
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT
LTB	d	0,760	0,061
			PhiLT
			0,449
			ChiLT
			1,000
			C1
			1,000
			Mcr
			204331056,3
	kyy	kyz	kzy
Factors	1,018	0,598	0,611
			kzz
			0,996
SHEAR DESIGN			
	Ued	Uc,Rd	Stress
	Force	Capacity	Ratio
Major (z)	1,653	2383,618	0,001
Minor (y)	0,290	1561,594	0,000
			Status
			Check
			OK
			OK
			Ted
			Torsion
			0,000
			0,000
	Up1,Rd	Eta	LambdaBarW
Reduction	2383,618	1,200	0,283
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS			

Figur 83 Verdiene i SAP2000 sammenlignet mot Eurokode 3

Mange av verdiene er like. Spesielt verdiene for tverrsnittsegenskapene er like. For lasten derimot, har SAP2000 lagt på en faktor som ikke er blitt lagt på i de manuelle beregningene. Nøkkelverdiene er presentert i Tabell 41.

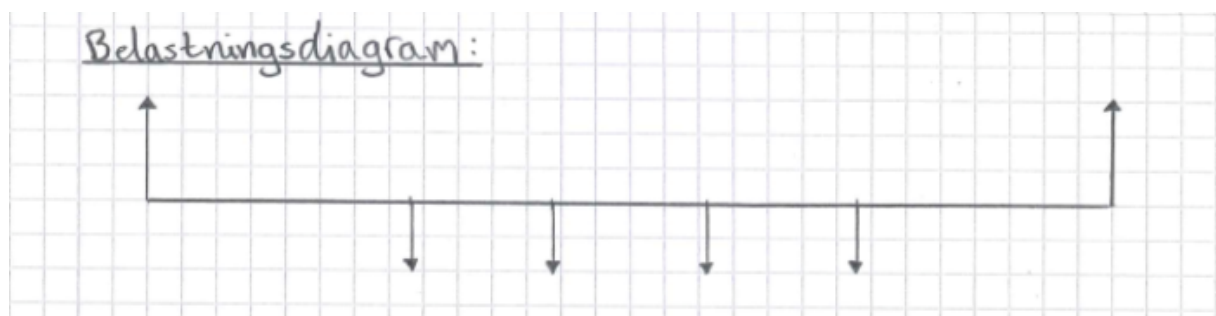
Tabell 41 Nøkkelverdiene i sammenligningen mellom håndberegninger og dataassisterte beregningene

	Manuelle beregninger	SAP2000	Avvik
M_{Ed}	$331,087 \times 10^6 Nmm$	$512010,926 \times 10^6 Nmm$	35,34%
N_{Ed}	147,15kN	188,515kN	21,94%
W_y	$2144992mm^3$	$2144992mm^3$	0%
i	130,39mm	130,393mm	$\approx 0\%$
α	0,49	0,49	0%
ϕ	0,823	0,824	$\approx 0\%$
λ_y	0,652	0,652	0%
χ	0,755	0,754	$\approx 0\%$
χ_{LT}	1	1	0%
k_{yy}	0,917	1,018	9,92%

Tabell 41 viser at de eneste merkverdige avvikene i sammenligningen mellom manuelle og dataassisterte beregninger er normalkraften og momentet. Det betyr at SAP2000 har brukt de samme formlene som er brukt i de manuelle beregningene. χ_{LT} , som er reduksjonsfaktoren for vipping, viser at SAP2000 også har sett på vipping som uaktuelt. Det er et avvik i forsterkningsfaktoren k_{yy} av den grunn at normalkraften er ulik. Formel (88) viser at k_{yy} avhenger av N_{Ed} .

$$k_{yy} = c_{my} \times \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}} \right) \quad (88)$$

Utnyttelsesfaktoren til SAP2000 (0,76) og utnyttelsesfaktoren til de manuelle beregningene (0,45) avviker med 40 %, noe som er ganske mye. Avviket skyldes utelukkende den forskjellige lastsituasjonen, ettersom alle tverrsnittsfaktorene er like. Avviket på 35,34 % mellom de manuelle beregningene og SAP2000 beregningene av N_{Ed} skyldes at SAP2000 legger på en lastfaktor på de fire kreftene som virker på bjelken, ref. Figur 84, i tillegg til at SAP2000 tar høyde for egenvekt. De manuelle beregningene tar ikke høyde for egenvekt.



Figur 84 Belastningsdiagram

Vinkelen, 45° , er like både i de manuelle beregningene og i SAP2000 beregningene, så den skal ikke spille noen rolle. Bøyemomentet, som heller ikke er likt, avhenger uansett ikke av vinkelen på kjettingskrevet.

DNV 2.7-3 krever at det utføres knekkberegning på deler av konstruksjonen som utsettes for trykkspenning. Det står at knekkberegningene skal utføres i henhold til anerkjent standard. Det

står også at det skal anvendes elastisk spenningsfordeling. Noe som betyr at kodesjekken til SAP2000 ikke er helt tilstrekkelig.

For å ta høyde for at SAP2000 beregningene, som er lagt til grunn for dimensjoneringen av løsningen, er beregnet med plastisk spenningsfordeling regnes deler av de manuelle beregningene på nytt. Det er ikke store forandringene som trengs for å gå fra plastisk spenningsfordeling til elastisk spenningsfordeling da alle de slankhetsavhengige faktorene går fra tvernsnittsklasse 1 til 3 (hvor det antas elastisk spenningsfordeling). Motstandsmomentet er det eneste som trengs å forandre.

Tabell 42 Symbolforklaring til elastiske knekkberegninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
$W_{el,y}$	Elastisk motstandsmoment	?	mm^3
I_0	Treghetsmoment	309 035 818,7	mm^4
H	Stor høyde	350	mm
N_{Ed}	Normalkraften bjelketverrsnittet blir utsatt for	147 150	N
χ_y	Reduksjonsfaktor	0,755	-
A	Areal	18 176	mm^2
f_y	Flytegrense	355	MPa
γ_{M1}	Partial faktor	1,05	-
k_{yy}	Forsterkningsfaktor	0,917	-
$M_{y,Ed}$	Momentet bjelken blir utsatt for	$331,087 \times 10^6$	Nmm
χ_{LT}	Reduksjonsfaktor	1	-

$$W_{el,y} = I_0 \times \frac{2}{H} \quad (89)$$

$$W_{el,y} = 309\,035\,818,7 \text{ mm}^4 \times \frac{2}{350 \text{ mm}}$$

$$W_{el,y} = \underline{1\,765\,918,964 \text{ mm}^3}$$

Benytter den samme interaksjonsformelen som i kapittel 6.3.1, men bytter ut det plastiske motstandsmomentet med det elastiske.

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \times W_{el,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (90)$$

$$\frac{147150N}{\frac{0,755 \times 18\,176 \text{ mm}^2 \times 355 \text{ N/mm}^2}{1,05}} + 0,917 \times \frac{331,087 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1 \times 1\,765\,918,964 \text{ mm}^3 \times 355 \text{ N/mm}^2}{1,05}} = \underline{0,54}$$

Formel (90) viser at bjelken fortsatt er innenfor DNV sitt krav om en utnyttelsesfaktor på 0,85. Vinkelen på kjettingskrevet har i ettertid blitt endret til 60° , noe som gjør at beregningene blir enda mer konservative. Dersom det antas at avviket mellom manuelle og SAP2000 beregninger holder seg på 40% ville utnyttelsesfaktoren i SAP2000 havnet på 0,9. Dette er over kravet om en utnyttelses faktor på 0,85, men det er også med en vinkel på 45° og ikke 60° . De manuelle beregningene vil være de mest riktige siden DNV 2.7-3 har siden egen måte å regne ut designlast, og det konkluderes derfor med at bjelken er riktig dimensjonert.

6.5 Sjøsikring

Sjøsikring er hovedsakelig regnet ut ved hjelp av beregningsprogrammet Mathcad. DeepOcean bruker Mathcad til egne sjøsikringsrapporter og det var derfor naturlig å bruke det samme programmet i bachelorrapporten som skrives i samarbeid med DeepOcean. Mathcad er ikke en del av pensum, men har en enkel oppbygning. En kort innføring fra DeepOcean var nok til å kunne bruke programmet forholdsvis effektivt.

Mathcadmalen krever at det settes inn akselerasjoner i tverrskips-, langskips- og vertikalretning i punktet hvor objektet befinner seg. For å finne akselerasjonene som oppstår brukes det en Excelmal tilpasset Edda Freya, ref. Figur 95. I Excelmalen under er det på forhånd fylt ut informasjon om skipet (for eksempel fysiske størrelser), informasjon om stamp- og rullbevegelser, og en bølgekoeffisient. Det fylles ut hvor objektet som skal sjøsikres befinner seg på skipet. Her fylles det ut distanse fra akterenden og distanse fra senterlinjen. I dette tilfellet er det beregnet akselerasjoner for de bakerste punktene i båten, hvor de største verdiene vil oppstå. Resultatene, a_t , a_l og a_v , tas med videre til Mathcadmalen.

I tillegg til å sjekke om "Twistlock"-ene tåler belastningen de utsettes for benyttes det manuelle beregninger for de stedene på dekket til Edda Freya som ikke har "Twistlock" tilgjengelig. Både akselerasjoner og tillatt spenning er i henhold til "DNV Rules for classification of ships, Jan 2016". [35]

6.5.1 "Twistlock"

Det eneste man trenger å fylle ut i mathcadmalen er de tre akselerasjonene, massen til objektet, lengden mellom de fire "Twistlock"-ene (det brukes standardmål for 20 fots konteiner i dette tilfellet) og høyden til objektets tyngdepunkt over dekk. Se Figur 85. Massen til objektet er blitt satt til 100 tonn, da det er valgt å sette to konteinere oppå hverandre på sjøsikringen. Disse beregningene ble gjort ganske tidlig i prosjektet og da var det antatt at hver konteiner skulle ha en totalmasse på 50 tonn inkludert betongmadrasser. Dette gjør at utregningene på sjøsikring er relativt konservative.

Accelerations	
$a_t := 4.94 \frac{m}{s^2}$	$a_l := 2.39 \frac{m}{s^2}$
$a_v := 10.88 \frac{m}{s^2}$	$g = 9.807 \frac{m}{s^2}$
Input	
Mass of object:	$m := 100000 \text{ kg}$
Length between feet in x-direction:	$L_x := 6 \text{ m}$
Length between feet in y-direction:	$L_y := 2.4 \text{ m}$
Height from deck to COG:	$H_{COG} := 1.7 \text{ m}$

Figur 85 Akselerasjoner og informasjon om objektet

Mathcad starter med å beregne kreftene som oppstår i tverrskips-, langskips- og vertikalretning. Se Figur 86. P_{TV} er en kraft som vil virke nedover og motvirke det momentet på objektet som akselerasjonen i tverrskipsretning skaper. Videre beregner det kreftene som virker i langskipsretning og vertikalkraften som virker hver gang skipet beveger seg opp og ned i bølgene. $P_{VL.max}$ og $P_{VL.min}$ representerer situasjonene der skipet beveger seg henholdsvis opp og ned i bølgene.

Load combinations	
Vertical force combined with transverse force:	$P_{VT} := g \cdot m = 980.665 \text{ kN}$
Transverse force combined with vertical force:	$P_{TV} := 0.67 \cdot a_t \cdot m = 330.98 \text{ kN}$
Vertical force (max.) combined with longitudinal force:	$P_{VL.max} := (g + 0.5 \cdot a_v) \cdot m = (1.525 \cdot 10^3) \text{ kN}$
Vertical force (min.) combined with longitudinal force:	$P_{VL.min} := (g - 0.5 \cdot a_v) \cdot m = 436.665 \text{ kN}$
Longitudinal force combined with vertical force:	$P_{LV} := 0.67 \cdot a_l \cdot m = 160.13 \text{ kN}$

Figur 86 Lastkombinasjoner

I avsnittet ”Transverse and vertical combination” (ref. Figur 87) beregnes kreftene som oppstår i hver fot som følge av kombinasjonen av transvers og vertikal akselerasjon. Se Figur 87.

Transverse and vertical combination

Min. vertical reaction force (side A):

$$RT_A := \frac{P_{VT} \cdot 0.5 \cdot L_Y - P_{TV} \cdot H_{COG}}{L_Y} = 255.888 \text{ kN}$$

Min. vertical reaction force (Foot A1):

$$RT_{A1} := 0.6 \cdot RT_A = 153.533 \text{ kN}$$

Max. vertical reaction force (Side B):

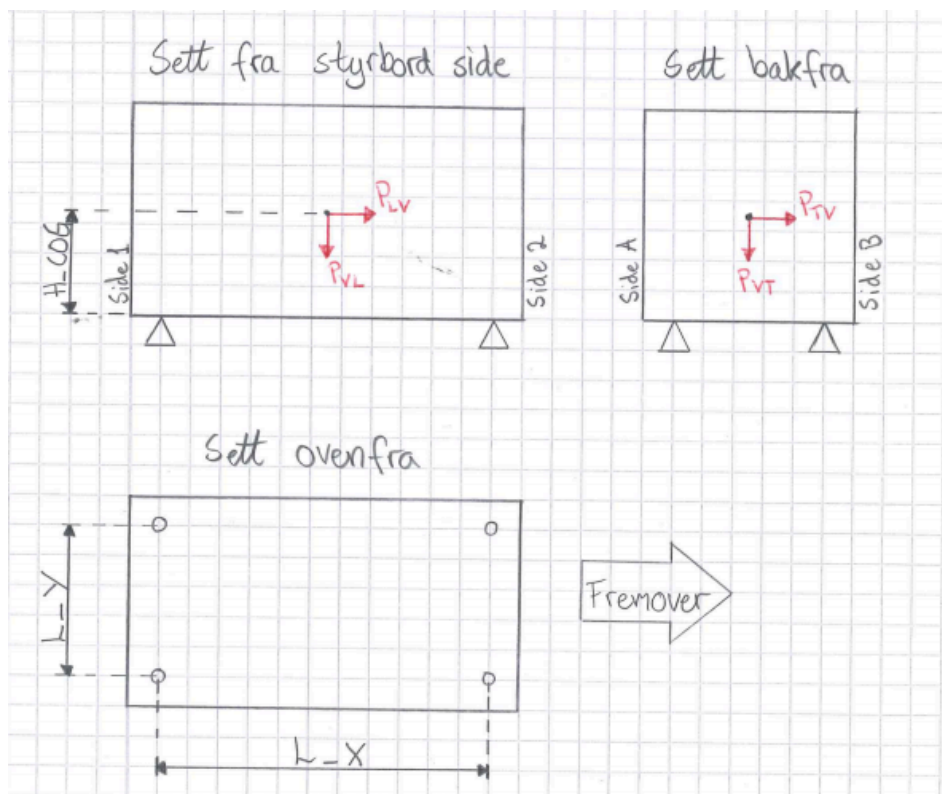
$$RT_B := \frac{P_{VT} \cdot 0.5 \cdot L_Y + P_{TV} \cdot H_{COG}}{L_Y} = 724.777 \text{ kN}$$

Max. vertical reaction force (Foot B2):

$$RT_{B2} := 0.6 \cdot RT_B = 434.866 \text{ kN}$$

Figur 87 Kreftene i føttene til konteineren

Det settes opp momentlikevekt om side B for å finne reaksjonskreftene for side A, og motsatt for å finne for side B. I dette spesifikke tilfellet peker side A ut mot babord side, mens side B peker ut mot styrbord side. Situasjonen er illustrert i Figur 88.



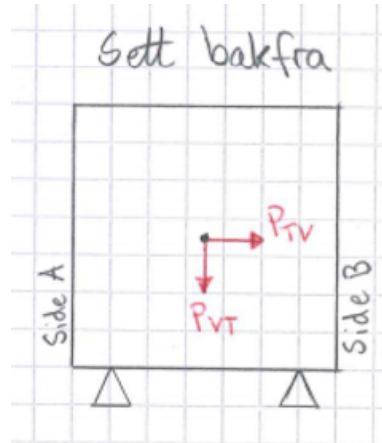
Figur 88 Konteiner med krefter

Hvilken side som opplever de største kreftene avhenger av hvor på båten objektet er plassert, men fremgangsmåten vil bli helt lik uansett (den ene siden vil oppleve de minimale reaksjonskreftene og den andre vil oppleve de maksimale). I formel (91) finner man den maksimale vertikale reaksjonskraften (den som vil være dimensjonerende).

$$RT_B := \frac{P_{VT} \times 0,5 \times L_Y + P_{TV} \times H_{COG}}{L_Y} \quad (91)$$

Formel (91) stammer fra formel (92), som er satt opp som momentlikevekt om side A.

$$\sum M_A = P_{VT} \times 0,5 \times L_Y + P_{TV} \times H_{COG} - RT_B \times L_Y = 0 \quad (92)$$



Figur 89 Konteiner sett bakfra

Her er likevekten satt opp slik at positiv omløpsretning vil være med klokken. RT_B er den eneste ukjente i ligningen. Siden det antas at massesenteret er midt mellom de to sidene vil $P_{VT} \times 0,5 \times L_Y$ representere momentet som tyngdekraften skaper. H_{COG} er den høyden massesenteret befinner seg i. Som en slags sikkerhetsfaktor antas det en 60/40 kraftfordeling mellom festepunktene på hver side. Formel (93) regner ut kraften som da vil virke i hver "fot" på den mest belastede siden av konteineren.

$$RT_{B2} := 0,6 \times RT_B \quad (93)$$

Avsnittet "Longitudinal And Vertical Combination" (ref. Figur 90) tar for seg akkurat det samme som det forrige avsnittet, men her i langskipsretning i stedet for tverrskipsretning. Det beregnes både en maksverdi og en minimumsverdi i dette avsnittet.

<u>Longitudinal and vertical combination</u>	
Min. vertical reaction force (side 1):	$RL_1 := \frac{P_{VL.min} \cdot 0.5 \cdot L_X - P_{LV} \cdot H_{COG}}{L_X} = 172.962 \text{ kN}$
Min. vertical reaction force (Foot A1):	$RL_{A1} := 0.6 \cdot RL_1 = 103.777 \text{ kN}$
Max. vertical reaction force (Side B):	$RL_2 := \frac{P_{VL.max} \cdot 0.5 \cdot L_X + P_{LV} \cdot H_{COG}}{L_X} = 807.703 \text{ kN}$

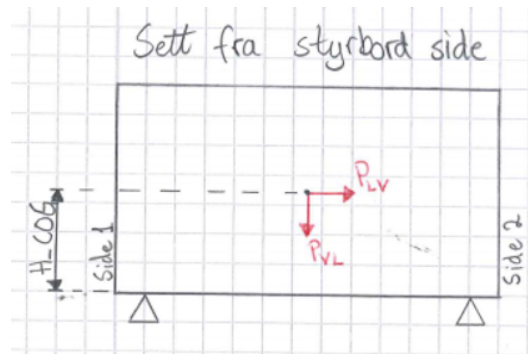
Page 1 of 2

SEAFASTENING OF UNITS ON DECK - Item X

DEEPOCEAN

Max. vertical reaction force (Foot B2):	$RL_{B2} := 0.6 \cdot RL_2 = 484.622 \text{ kN}$
---	--

Figur 90 Langsgående og vertikal kombinasjon



Figur 91 Konteiner sett fra styrbord side

Neste avsnitt (ref. Figur 92) sammenligner resultatene fra de to foregående kapitlene for å finne ut hvilke av dem som blir dimensjonerende. Den første formelen finner den maksimale vertikale kraften (nedover). Formel nummer to sjekker hvilken av festepunktene som opplever den minste vertikale kraften ved å sjekke begge minimumsverdiene for vertikal reaksjonskraft fra de to foregående kapitlene. Formel nummer tre sjekker om noen av festepunktene vil oppleve krefter som virker oppover. Så lenge svaret i formel nummer to er positivt vil svaret i formel nummer tre bli 0.

<u>Max. and min. vertical reaction forces</u>	
Max. vertical reaction force:	$V_{max} := \max(RT_{B2}, RL_{B2}) = 484.622 \text{ kN}$
Min. vertical reaction force:	$V_{min} := \min(RT_{A1}, RL_{A1}) = 103.777 \text{ kN}$
Max. uplift force:	$V_{Uplift} := \text{if}(V_{min} \geq 0, 0 \text{ kN}, -V_{min}) = 0 \text{ kN}$

Figur 92 Vertikale reaksjonskrefter

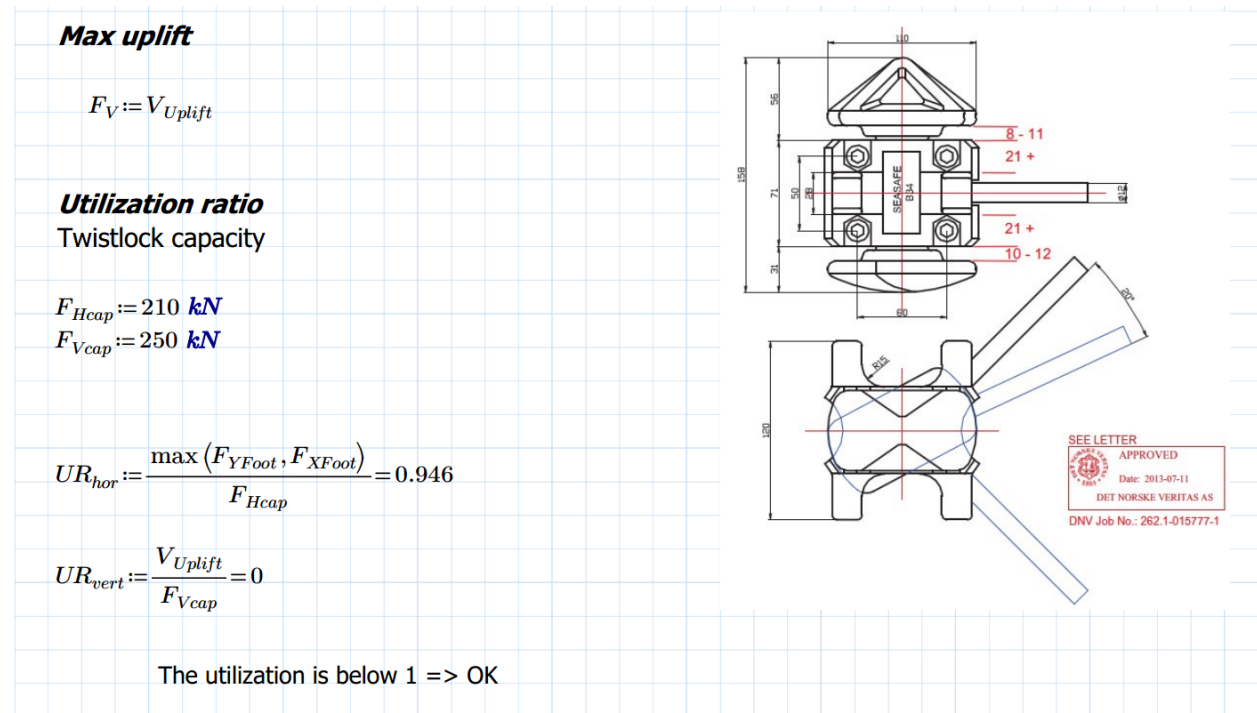
De to neste avsnittene, "Transverse reaction forces" og "Max. longitudinal reaction forces" (ref. Figur 93), beregner den horisontale reaksjonskraften i hver av retningene. Det antas enda en 60/40 fordeling mellom opplagringene.

<u>Transverse reaction forces</u>	
Max. transverse reaction force in one foot:	$T_{max} := 0.6 \cdot P_{TV} = 198.588 \text{ kN}$
<u>Max. longitudinal reaction forces</u>	
Max. longitudinal reaction force in one foot:	$L_{max} := 0.6 \cdot P_{LV} = 96.078 \text{ kN}$

Figur 93 Tverrgående reaksjonskrefter

Neste del i mathcadmalen (ref. Figur 94) sjekker de beregnede kreftene opp mot egenskapene til utstyret som skal brukes, som i dette tilfellet er "Twistlock". Nederst i dokumentet sjekkes det om "Twistlock"-ene vil tåle de horisontale og de vertikale kreftene som oppstår. Det sjekkes bare for de vertikale kreftene som virker oppover og ikke de som virker

nedover. "Twistlock"-ene har en modifisert kapasitet, der det er lagt inn en sikkerhetsfaktor. I dette tilfellet vil utnyttelsesfaktoren bli 0,946, noe som er under 1, og er derfor forsvarlig sikret.



Figur 94 Utnyttelsesfaktoren for "Twistlock"-ene



	DNV Rules January 1999 Pt.3 Ch.1 Sec.4B	ACCELERATIONS Version 10.5 Hull, Sept. 2006	Sign: Time: 23:32 Date: 18.03.30
	Ship Id: Edda Freya		

INPUT

Single point:

L = 150,000 m
 B = 27,000 m
 D = 12,000 m
 T = 7,000 m
 V = 16,000 kn
 C_n = 0,585 [-]
 GM = 3,000 m
 k_r = 10,530 m

x = 0,00 Dist. from AP
 y = 0,00 Dist. from CL
 z = 9,10 Dist. from BL

Rule values:

kr = 1,89
 GM = 10,53

Even transv. distr. of mass
 Not Tank or Bulk
 Bilge keel
 None

Roll damping
 Service restriction

RESULTS

PITCH motion (Q = 10⁻⁸)

Period T_p = 7,04 s (B500)
 Angle θ = 0,19 rad = 10,76 degrees
 Rotation axis x_p = 67,50 m from AP

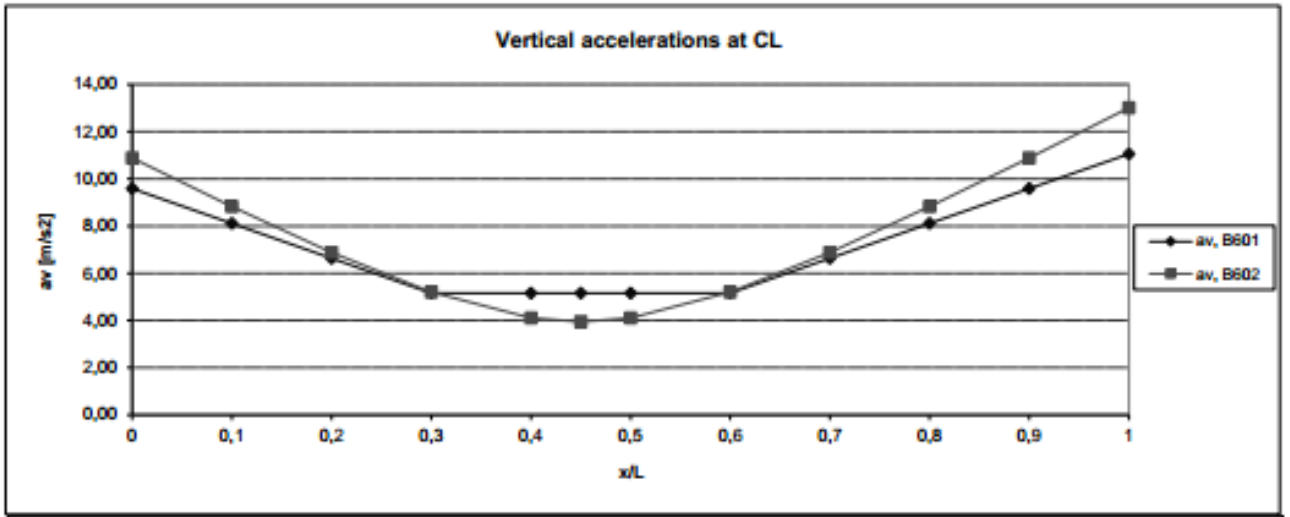
ROLL motion (Q = 10⁻⁸)

Period T_R = 12,16 s (B400)
 Angle φ = 0,46 rad = 26,57 degrees
 Rotation axis z_r = 6,00 m above BL

Wave coefficient: C_w = 8,91
 Acc. parameter: a₀ = 0,44

a_x = 0,66 m/s² (B301)
 a_y = 1,29 m/s² (B302)
 a_z = 3,95 m/s² (B303)

Combined accelerations, a _i & a _t :				Combined, vertical accelerations in CL, a _v :			
		At D	Custom:		B601	B602	
Dist. above BL	z _{int}	12,00	9,10	m	At AP	9,58	10,88
Transv. roll:	(B701) a _{xy}	0,74	0,38	m/s ²	At LJ2	5,16	4,10
Long. pitch:	(B801) a _{px}	0,90	0,47	m/s ²	At FP	11,06	13,01
Transv. comb:	(B700) a _t	5,29	4,94	m/s ²	Dist. from AP: x _{ap}	0 m	9,58
Long. comb:	(B800) a _t	2,81	2,39	m/s ²	Dist from CL: y _{cl}	0 m	10,88

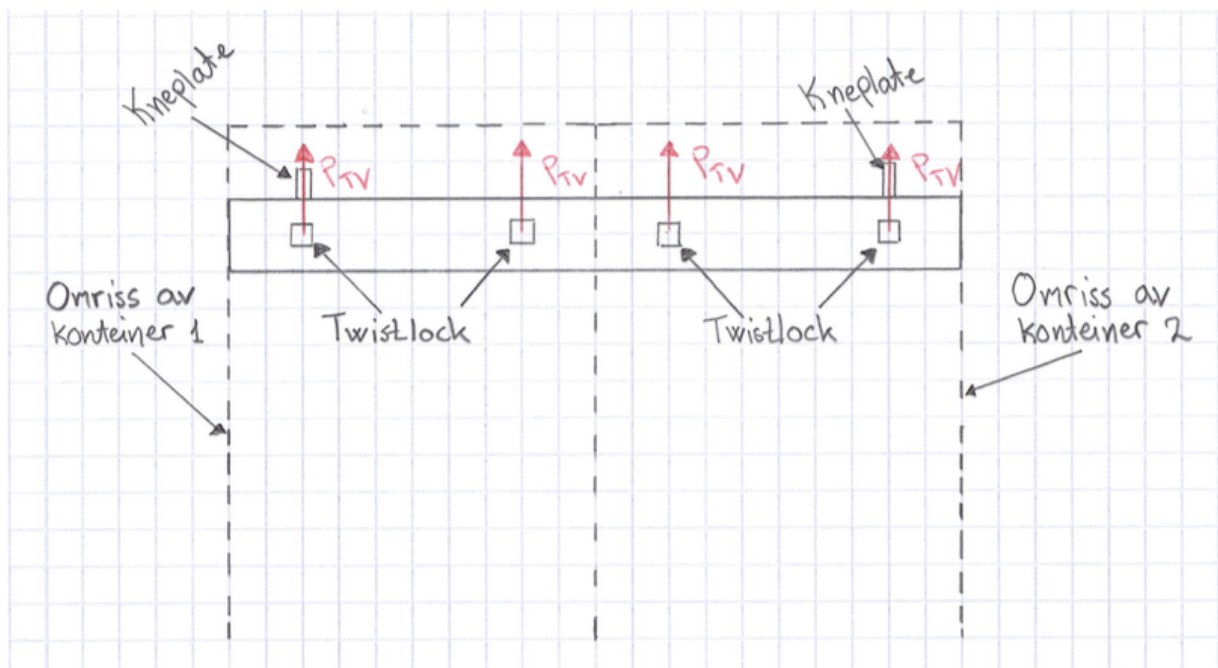


Vertical acceleration, a _v , at CL [m/s ²]											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
	9,58	8,11	6,63	5,16	5,16	5,16	5,16	6,63	8,11	9,58	11,06
	10,88	8,82	6,88	5,20	4,10	4,10	5,20	6,88	8,82	10,88	13,01
											x/L
											[m]
											B601
											B602

Figur 95 Beregning av akselerasjoner

6.5.2 Ramme med "Twistlock"

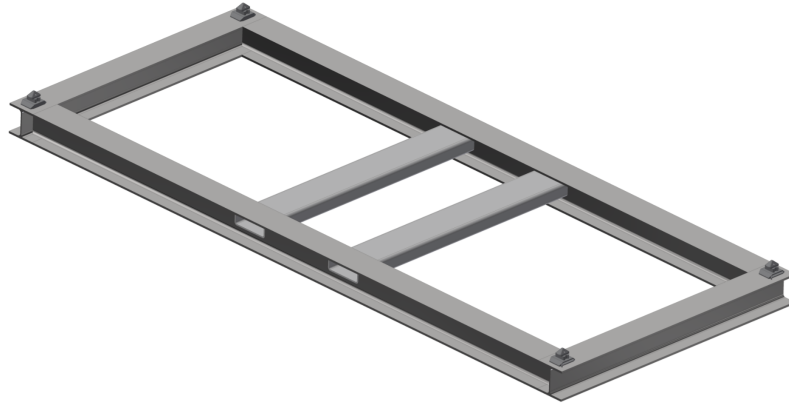
Flere metoder ble vurdert for tilfeller der "Twistlock" ikke er tilgjengelig. En vanlig metode for å sikre containere på dekk er å sveise to RHS-bjelker i dekk for så å sveise fast kneplater og stoppere i bjelken som hindrer containeren i å bevege seg. Det ble vurdert å sveise slike bjelker i T-Barene på skipet for så å feste "Twistlock"ene på bjelkene. Det kan bli et problem med avstiving av bjelkene dersom det ikke er en T-Bar å feste bjelken i midt på bjelken. Som Figur 96 viser vil det oppstå et stort moment i bjelken dersom den bare er opplagret i endene. Her er det tegnet inn en kneplate i hver ende av av bjelken, som brukes til å feste bjelken i T-Baren. Avstanden mellom kneplaten og inn til "Twistlock"en som er festet omtrent midt på bjelken gjør at det vil oppstå et stort moment i bjelken. Kraften som virker i hver av "Twistlock"ene vil i dette tilfellet være $0,6 \times P_{TV}$, fordi det antas en 60/40 fordeling. Dette gjør at bjelken må sjekkes og dimensjoneres i tillegg til at kneplatene og stopperene i langskipsretning (ikke tegnet inn) må sjekkes.



Figur 96 Kraftsituasjon for bjelken.

Et annet problem vil være å få "Twistlock"ene til å treffe på rett plass. Siden slike bjelker ofte gjenbrukes kan det også bli et problem dersom bjelkene er skjeve.

I samarbeid med DeepOcean ble det bestemt at det skal brukes en form for ramme med "Twistlocker" på for å sjøsikre containerne der hvor det ikke er "Twistlocker" i dekket. Slike rammer er mye brukt på britisk sektor. DeepOcean vurderer å ta i bruk slike rammer selv, men tenker å først utvikle en slags justeringsmulighet. Da DeepOcean ikke hadde en 3D-modell av rammen ble det tegnet en i Inventor. Figur 97 viser hvordan en slik ramme vil se ut.

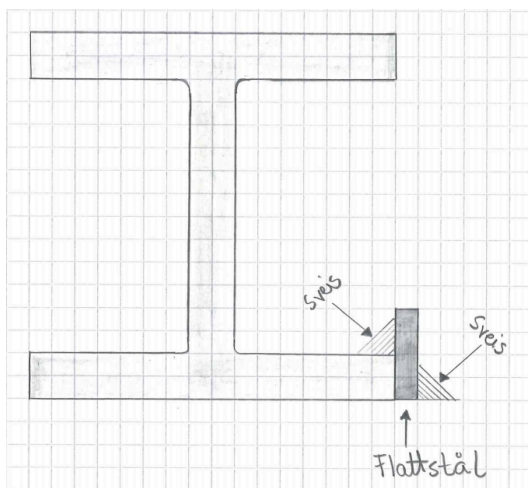


Figur 97 Løfteamme med "Twistlock"

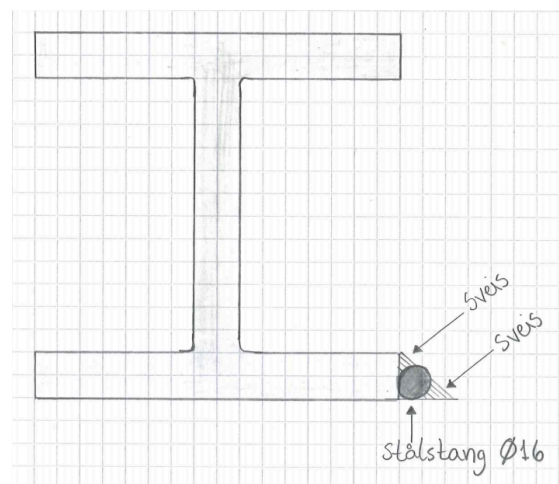
Rammen er utstyrt med truckklommer på midten for avstiving og enklere mobilisering. Rammen kommer til å veie litt og det vil derfor være fordelaktig å kunne flytte den rundt på kaien med truck. Andre løsninger med hull til "Twistlocker" slik at rammen kunne blitt stablet på hverandre, kunne for eksempel også vært ønskelig, men det tas ikke hensyn til i denne rapporten.

Som Figur 97 viser er "Twistlock"-ene plassert direkte over steget på bjelken for at kreftene skal gå gjennom denne siden det er her bjelken er stivest.

Rammen skal festes i dekk med kneplater for å ta opp kreftene i tverrskipsretning i tillegg til å sveises fast i T-barene for å ta opp kreftene i langskipsretning. I teorien skal den nedre flensen på HEB-bjelken kunne sveises direkte i T-baren, men i praksis vil ikke alltid rammen ligge helt nedpå T-baren av den grunn at tredekket kan stikke litt opp enkelte plasser. Dette løses med å enten legge en Ø16 mm stålstang ved siden av flensen og sveise langs denne både på bjelke og T-bar. En annen løsning er å legge flattstål ved siden av flensen og sveise dette fast i både bjelke og T-bar. Figur 98 viser løsningen med flattstål og Figur 99 viser løsningen med stålstang.



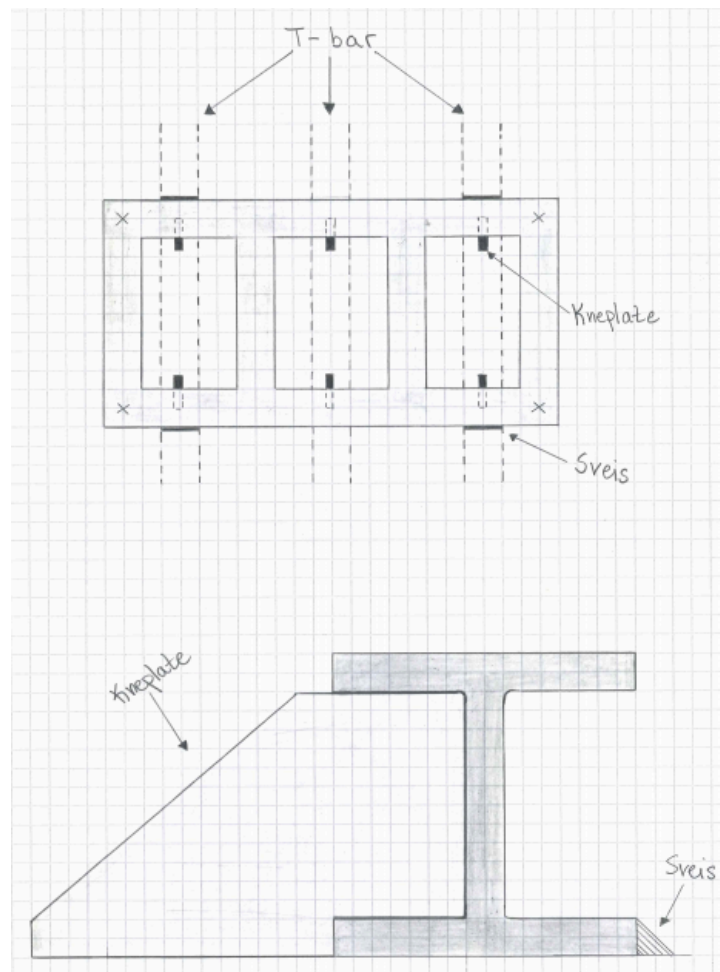
Figur 98 Sveis med flattstål



Figur 99 Sveis med stålstang

Ulempen med stålstangen er at det er vanskeligere å holde kontroll på hva a-målet vil bli når det ikke er en ren kilsveis slik som for flattstålet. Ulempen med flattstålet er at det kan være vanskeligere å komme til med sveiseapparat. Det legges ikke for stor vekt på hvilken metode som velges. Det kan antas for enkelhets skyld her etter at metoden med stålstang velges.

Kneplatene festes slik som vist på Figur 100.



Figur 100 Sjøsikring av ramme

Kneplatene sveises fast i T-bar og bjelke. Platene som brukes har en tykkelse på 10 mm og for å regne litt konservativt er a-målet satt til 6 mm. A-mål på 6 mm brukes både på kneplatene og på stålstengene.

Krefter i langskipsretning

Det sjekkes først om rammen er tilstrekkelig sikret i langskipsretning. Her er det stålstengene som skal ta alle kreftene. Selv om kneplatene vil hjelpe også i langskipsretning, siden de er sveiset fast i både T-bar og bjelke, antas det at alle krefter blir tatt opp som skjærspenninger i sveisen på langs av rammen. Det brukes de samme akselerasjonene som ble beregnet i tilfellet hvor det festes "Twistlock"er rett i dekk. Dermed vil også de samme kreftene oppstå i langskip og tverrskipsretning. Siden det ikke er noe oppløft vil alle kreftene overføres som parallelle skjærspenninger.

Det sjekkes for 100 mm sveis med et a-mål på 6 mm i tillegg til endekrater på hver ende av sveisen. Effektiv sveiselengde blir regnet ut i formel (94).

Tabell 43 Symbolforklaring til sjøsikring i langskipsretning beregninger

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
L_{eff}	Effektiv sveiselengde	?	mm
L	Lengde av sveis	100	mm
a	A-mål for sveis	6	mm
τ_{\parallel}	Parallell skjærspenning	?	MPa
F_H	Horisontal kraft	961 00	N
n	Antall sveiser	2	-
σ_j	Jevnføringspenning	?	MPa

$$L_{eff} = L - 2 \times a \quad (94)$$

$$L_{eff} = 100\text{mm} - 2 \times 6\text{mm} \text{ [mm]}$$

$$L_{eff} = \underline{88\text{mm}}$$

L_{max} fra Figur 93 (kapittel 6.5.1) brukes for kreftene også i dette tilfellet, selv om rammene med "Twistlock" på ikke blir plassert like langt bak på skipet som akselerasjonene i Figur 93 er hentet ut for. Formel (95) finner skjærspenningene som oppstår i sveisen. For enkelhets skyld kalles L_{max} her F_H siden det er snakk om horisontale krefter. Det sveises 2 sveiser på hver side av rammen, ref. Figur 100. n representerer antall sveiser på hver side av rammen.

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_H}{n \times a \times L_{eff}} \quad (95)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{961\,00\text{N}}{2 \times 6\text{mm} \times 88\text{mm}} \text{ [MPa]} \quad (\text{x})$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{90,983\text{MPa}}$$

"DNV Rules for classification of ships" tillater en spenning på 222,4MPa. [35] Dette er samme standard som DeepOcean bruker for sine egne sjøsikringsrapporter.

Den tillate flytegrensen sjekkes opp mot von Mises-spenningen som oppstår i sveisen.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \quad (96)$$

$$\sigma_j = \sqrt{0^2 + 3 \times \tau_{\parallel}^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{3} \times \tau_{\parallel}$$

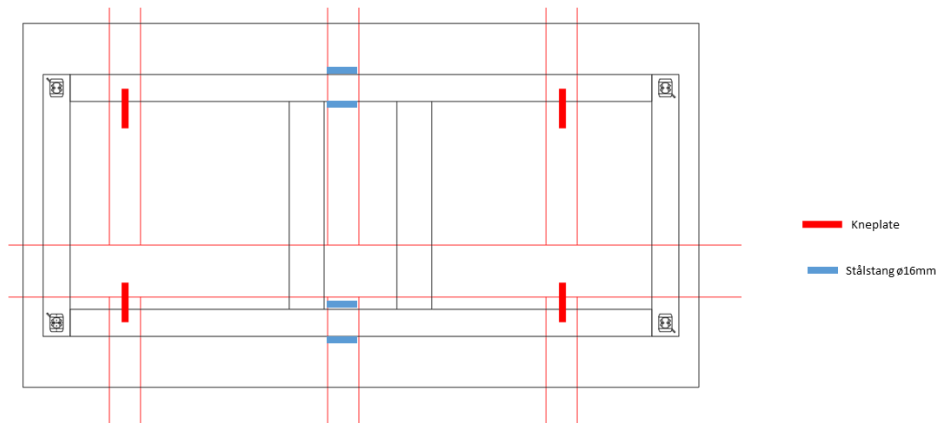
$$\sigma_j = \sqrt{3} \times 90,983\text{Mpa} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_j = \underline{158\text{MPa}}$$

$$222,4MPa \geq 158MPa$$

Von Mises-spenningen er godt under grensen.

Konteiner
med ramme



Figur 101 Ramme festet i dekk.

Figur 101 viser et alternativ for hvordan rammen kan festes i dekk. Firkanten rundt rammen representerer konteineren som står på rammen. Det er mange forskjellige måter å plassere de langsgående sveisene. Begge kan plasseres på innsiden av rammen, begge på utsiden, eller for eksempel en lang sveis på en av sidene. Beregningene viser at 2x100 mm sveiselengde holder. Bredden på en T-bar er 300 mm. Kneplatene kan festes enten på innsiden eller på utsiden av rammen.

Krefter i tverrskipretning

Selv om den langsgående sveisen som tar opp kreftene i langskipsretning også vil hjelpe til å ta opp krefter i tverrskipretning antas det at kneplatene tar opp alle kreftene. Det sveises her tre kneplater på hver side av rammen og det antas derfor en kraftfordeling på 40/30/30, ref. Figur 102. A-målet settes som nevnt til 6 mm og sveiselengden ble, etter litt prøving og feiling, 260 mm. Det sjekkes om sveisen tåler belastningen som oppstår som følge av kreftene i tverrskipretningen. Siden det ikke er noe oppløft i dette tilfellet har det ikke noe å si om kneplatene plasseres på innsiden eller utsiden av rammen. Ingen av tilfellene vil bli synlig når konteineren plasseres på rammen. Plasseringen av kneplatene bestemmes fra situasjon til situasjon. Det startes med å regne ut effektiv sveiselengde også i dette tilfellet.

Tabell 44 Symbolforklaring til effektiv sveiselengde beregning

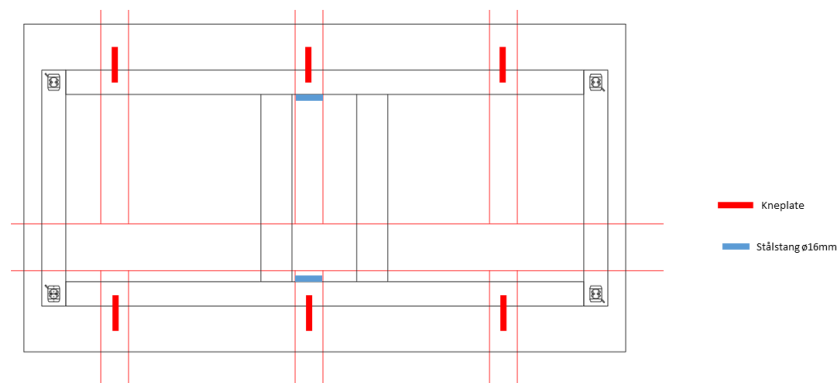
Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
L_{eff}	Effektiv sveiselengde	?	mm
L	Lengde av sveis	100	mm
a	A-mål for sveis	6	mm

$$L_{eff} = L - 2 \times a \quad (97)$$

$$L_{eff} = 260\text{mm} - 2 \times 6\text{mm} \text{ [mm]}$$

$$L_{eff} = \underline{248\text{mm}}$$

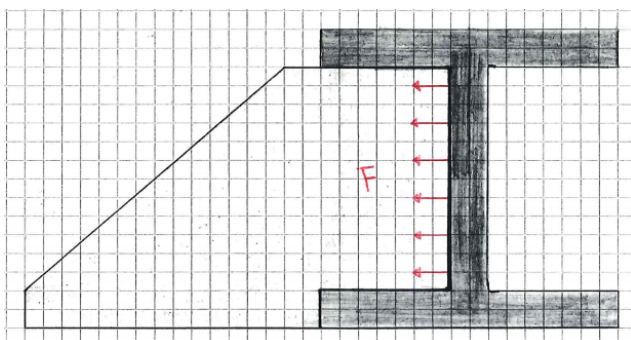
Konteiner
med ramme



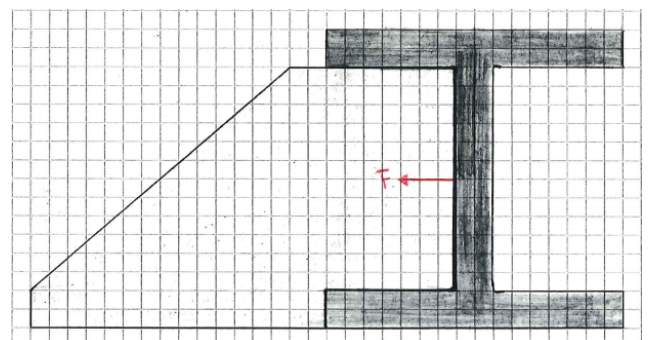
Figur 102 Tre kneplater på hver side av rammen festet i dekket

Figur 102 viser et av alternativene med tre kneplater på hver side. Her er det lagt på stålstang med sveiselengde på minimum 200 mm på hver side av rammen. Det er bestemt at det skal brukes tre kneplater på hver side av rammen.

Det antas en lineær fordeling på kreftene som virker mellom bjelken og kneplaten og det benyttes derfor en resultantkraft som virker fra bjelkens midtpunkt og over på kneplaten, ref. Figur 103 og Figur 104.

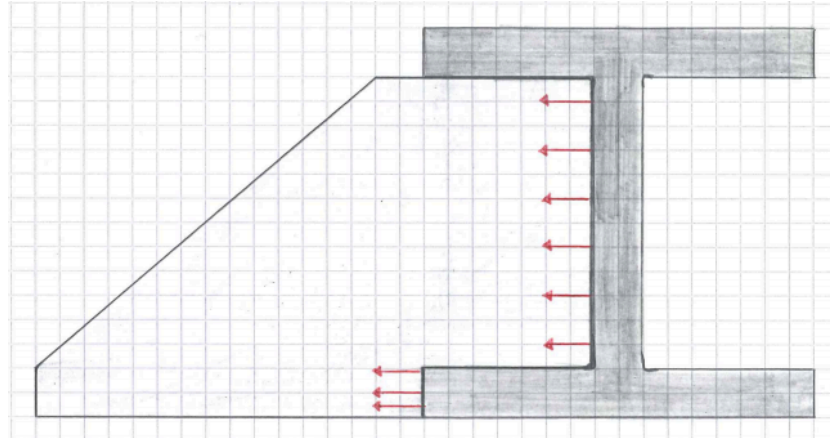


Figur 103 Kneplate med lineær fordeling.



Figur 104 Kneplate med resultantkraft.

Siden kneplaten og bjelken er sveist fast i hverandre vil realiteten kanskje ligne mer på Figur 105. Måten det blir gjort på i beregningene gir et punkt lenger oppe og dermed en lenger kraftarm. Dette gjør at beregningene blir litt mer konservative.



Figur 105 Realistisk kraft.

Lengden på denne kraftarmen kalles e og settes til halve høyden på bjelken.

Tabell 45 Symbolforklaring til sveiseregninger i tverrskipsretning

Symbol	Definisjon	Numerisk verdi	Enhet
e	Lengde på kraftarm	?	mm
h	Høyden til bjelken	260	mm
F_H	Horisontal kraft?	?	N
T_{max}	Krefter i tverrskipsretning	198 588	N
w	Motstandsmoment i sveisen	?	mm^3
M	Moment som kraft F_h skaper	?	Nmm
σ_b	Bøyepening	?	MPa
τ_{\perp}	Normal skjærspenning	?	MPa
σ_{\perp}	Normal bøyepening	?	MPa
τ_{\parallel}	Parallell skjærspenning	?	MPa
σ_j	Jevnføringspenning	?	MPa

$$e = \frac{h}{2} = \frac{260mm}{2} = 130mm \quad (98)$$

T_{max} fra situasjonen med "Twistlock"ene på dekk brukes her siden det antas at kneplatene bare tar opp kreftene som virker i tverrskipsretning. Siden det i forrige tilfelle ble antatt en 60/40 fordeling og det i dette tilfelle antas en 40/30/30 fordeling må T_{max} modifieres litt. Den nye variabelen kalles F_H .

$$F_H = T_{max} \times \frac{0,4}{0,6} \quad (99)$$

$$F_H = 198\,588N \times \frac{0,4}{0,6} [N]$$

$$F_H = \underline{132\,392N}$$

Den aktuelle kneplaten tar opp 40 % av kreftene. Kreftene overføres til sveisen i form av parallell skjærspenning og bøyespenning. Formel (100) beregner motstandsmomentet til sveisen. n er antall sveisesømmer på den aktuelle kneplaten.

$$w = n \times \frac{L_{eff}^2 \times a}{6} \quad (100)$$

$$w = 2 \times \frac{(248mm)^2 \times 6mm}{6} \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$w = \underline{123\,008mm^3}$$

Momentet som kraften F_H skaper, regnes ut i formel (101).

$$M = F_H \times e \quad (101)$$

$$M = 132\,392N \times 130mm \text{ [Nmm]}$$

$$M = \underline{1,721 \times 10^7 Nmm}$$

Momentet og motstandsmomentet kombineres for å finne bøyespenningen (102).

$$\sigma_b = \frac{M}{w} \quad (102)$$

$$\sigma_b = \frac{1,721 \times 10^7 Nmm}{123\,008mm^3} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_b = \underline{139,9MPa}$$

σ_b dekomponeres til τ_{\perp} og σ_{\perp} .

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} \quad (103)$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{139,9MPa}{\sqrt{2}} \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \underline{98,9MPa}$$

Det oppstår også parallell skjærspenning og den beregnes på samme måte som for sveisen som tar opp kreftene i langskipsretning.

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_H}{n \times a \times L_{eff}} \quad (104)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{132392N}{2 \times 6mm \times 248mm} [MPa]$$

$$\tau_{\parallel} = \underline{44,5MPa}$$

De beregnede spenningene kombineres i formel (105) for å finne von Mises-spenningene.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \quad (105)$$

$$\sigma_j = \sqrt{4 \times \sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{4 \times (98,9MPa)^2 + 3 \times (44,5MPa)^2} [MPa]$$

$$\sigma_j = \underline{212,3MPa}$$

$$222,4MPa \geq 212,3MPa$$

Utnyttelsen av sveisen er innenfor kravet.

Beregningene viser at rammen med ”Twistlocker” på vil være tilstrekkelig sjøsikret. ”Twistlock”ene er sjekket i kapittel 6.5.1.

7 Refleksjoner og kommentarer

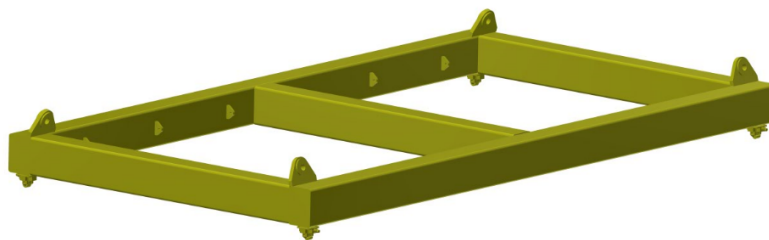
I dette kapittelet vil det komme refleksjoner og kommentarer på arbeidet som er gjort.

7.1 Utstyr

Under designing av løsningen er det ulike ting som er tatt hensyn til. Noen endringer er blitt gjort når dimensjoneringsproblem har oppstått og noen endringer/ideer har DeepOcean kommet med.

7.1.1 Løfteramme

Løfterammen, som er vist i Figur 106, ble designet for å kunne løfte de tyngste madrassene i tillegg til å kunne løfte konteineren etter at den er fylt med madrasser. "VI-SO Clamp" har blitt plassert under for å kunne låse seg i konteineren. Det er plassert fire store løfteøyere på rammen som brukes til å feste et firpart kjettingskrev på, som videre går opp i kranen. De minste løfteøyene er plassert på innsiden av rammen for at madrassene skal treffe i konteineren når de blir løftet fra havbunnen og i konteineren. Rammen er stivet av med en bjelke på midten, mellom de to lengste bjelkene. Rammen er laget av RHS-bjelker og det er bestemt at den skal punkteres for å forhindre implodering. Videre kan det vurderes å lage føringer for at "VI-SO Clamp"ene lettere skal treffe hullene.



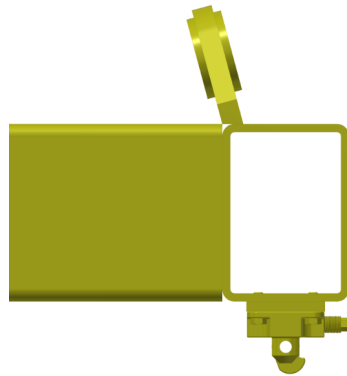
Figur 106 Løfterammen

De største løfteøyene er tiltet 15° , ref. Figur 107, for å kunne plassere løfteøyet over steget på bjelken. Dette gjør at riggingen av kjettingskrevet må være ganske nøyaktig. I ettertid stilles det spørsmål om dette er den beste måten og gjøre det på. Det at riggingen er nødt til å være så perfekt gjør at det kan være vanskelig å bruke tradisjonelle kjettinger, som vil være vanskelig å justere på millimeteren. Eventuelle stropper og eller wire måtte blitt spesialbestilt. Dersom løfteøyene ikke hadde vært tiltet, men heller vendt inn mot senter av rammen vil en eventuell lengdeendring på kjettingbena kunne justeres med hvor høyt oppe kjettingene kobles sammen i en "Masterlink". Med den valgte metoden for rigging vil ikke kjettingene treffe senter dersom de er feil lengde.



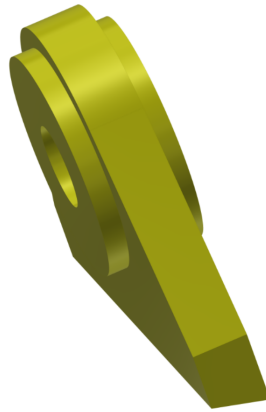
Figur 107 Løfterammen sett fra siden

Løfteøyet er plassert rett over steget til bjelken, ref. Figur 107, for å unngå delaminering av bjelken (innspill fra DeepOcean). Det finnes ulike måter å forhindre dette på, blant annet ved å innfelle hele løfteøyet i bjelken, men løfteøyet størrelse og bjelkens dimensjoner gjorde til slutt at valget falt på denne løsningen. At det skal være enklest/billigst mulig å produsere vil alltid være en faktor.



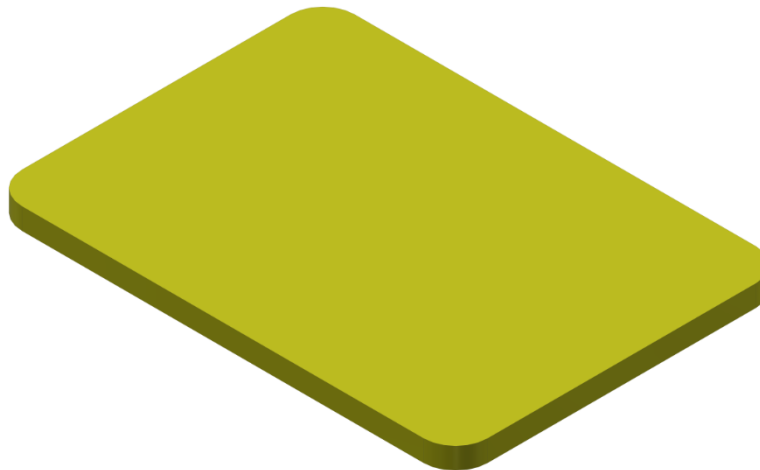
Figur 108 Løfteøye og "VI-SO Clamp" sett fra siden

Som vist på Figur 108 er de største løfteøyene designet med kinnplater på hver sin side. Med kinnplater unngås det å bruke alt for tykk plate på hele løfteøyet, samtidig som kravene til DNV 2.7-3 om sjakkkelens mulighet for sideveis bevegelse og diameterforhold opprettholdes. Det er viktig at kinnplatene ikke bare sveises rundt, men også sveises på innsiden for å forhindre rustdannelse i overgangen mellom hovedplate og kinnplate. Dette er markert i 2D-tegningene som ligger i vedlegg A.



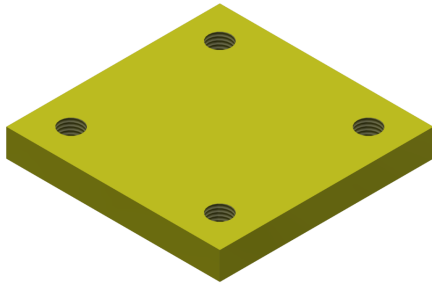
Figur 109 Løfteøyet

Det er laget endeplater som sveises på enden av de lange RHS bjelkene, ref. Figur 107 og Figur 108, for å stive av bjelken i nærheten av løftepunktet. Dette fører til at strukturen er nødt til å punkteres. En slik endeplate er i grunn bare en plate som tilpasses tverrsnittet på bjelken og sveises på enden, ref. Figur 110. Det er bestemt at platen eller bjelken skal fuges for å slippe å få en sveis som blir dimensjonerende. Det er ønskelig at mest mulig av de vertikale kreftene overføres via stegene til bjelkene. Derfor er det viktig å stive av bjelken med en slik plate.

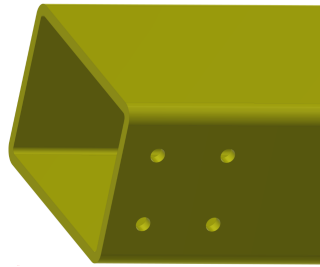


Figur 110 Endeplate

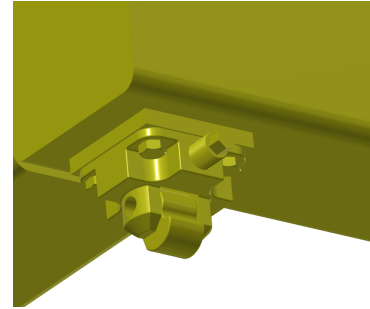
Det skal sveises doblingsplater der hvor "VI-SO Clamp"en skal skrues fast, ref. Figur 112. Det er spesifisert i databladet til "VI-SO Clamp"en at den skal festes med 3/4" bolter. Tykkelsen til doblingsplaten er derfor satt lik høyden til en 3/4" mutter, ref. vedlegg J. Det ble vurdert om tykkelsen på doblingsplaten pluss veggtykkelsen til bjelken var tilstrekkelig, men det ble komnt frem til at overgangen mellom platen og bjelken vil være vanskelig å få laget skikkelige gjenger i. Det kan vurderes om en løsning lik den for "hull til sjøsikring", ref. kapittel 7.1.2, burde blitt valgt med tanke på styrke og mulighet for rust i overgangen mellom plate og bjelke. Det er også sjekket at en vanlig kraftpipe som skal brukes til å skru "VI-SO Clamp"en får plass under bjelken. Doblingsplaten som havner mellom "VI-SO Clamp"en og bjelken er med på å lage mer plass. Det må selvsagt lages hull i bjelken der hvor doblingsplaten plasseres for at boltene skal få plass til å gå ut bak gjengene, ref. Figur 113. Figur 111 viser hvordan doblingsplaten og "VI-SO Clamp"en ser ut når de er montert i bjelken.



Figur 112 Doblingsplate til "VI-SO Clamp"



Figur 113 Hull til bolter



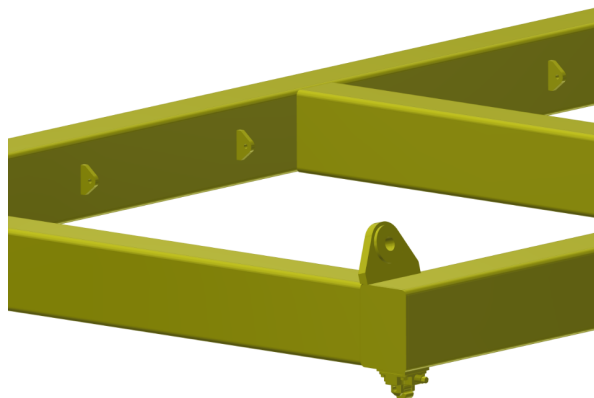
Figur 111 "VI-SO Clamp" med
doblingsplate montert

Løfteøynene som brukes til å løfte madrassene, ref. Figur 114, er i likhet med de store løfteøynene designet slik at delaminering av bjelken skal unngås. Det ideelle er at kreftene overføres via sveisen som skjærkrefter. En viss eksentrisitet vil selvfølgelig gjøre at det også oppstår moment. Løfteøyene kunne for eksempel blitt plassert under bjelken, men da ville de vært i veien når løfterammen skal løfte hele konteineren. I tillegg til at de, som nevnt ovenfor, kunne forårsaket delaminering av bjelken.



Figur 114 Løfteøye for madrass

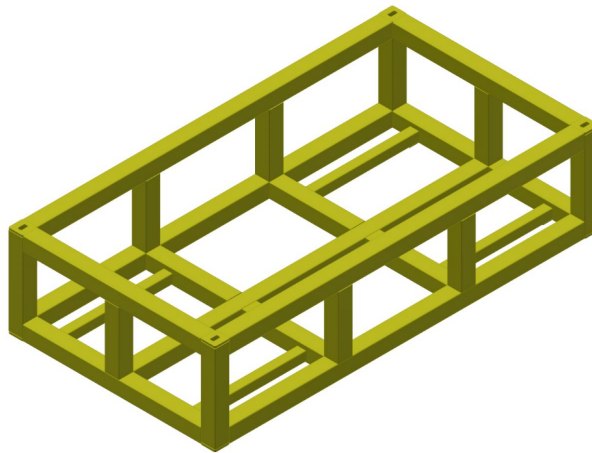
Slik som løfteøyene er plassert nå vil de ikke komme i veien når konteineren løftes, ref. Figur 115. Avstanden mellom løfteøyene skal være tilpasset løkkene på betongmadrassene.



Figur 115 Løfteøye til madrass på innsiden av løfteramme

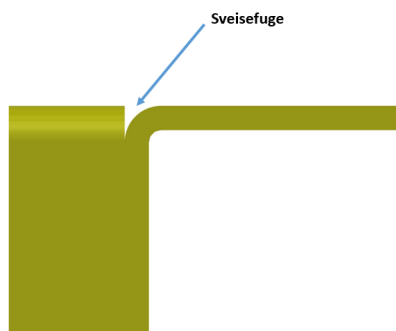
7.1.2 Konteiner

Konteineren består stort sett av RHS 250x250x10 bjelker. Den har hull for festing av både ”VI-SO Clamp” og ”Twistlock”. Det ene hullmønsteret skal passe standardmønsteret for ”Twistlock” (20 fots konteinere) slik at konteinerene enkelt kan plasseres både på skip med integrerte ”Twistlocker” og lastebiler med det samme mønsteret. Det andre mønsteret er likt på oversiden og undersiden av konteineren slik at konteinerene skal kunne stables på hverandre. Utvendig bredde på konteineren er 3,5 meter, slik at den skal kunne fraktes med lastebil, uten politieskorte. [26] Innvendige mål på konteineren er $6\text{ m} \times 3\text{ m}$, noe som kan bli litt trangt når madrassene legges ned. Dette kan føre til at madrassene ikke blir liggende helt rett og en ikke får plass til ønsket antall madrasser, eller at det blir vanskelig å løse madrassene fra ROV-krokene. Dette problemet kunne blitt løst med et annet bjelkevalg, for å fortsatt holde utvendig bredde under 3,5 meter og samtidig øke innvendig bredde. Lengden kunne blitt økt litt uavhengig av bjelkevalg.



Figur 116 Konteineren

Overgangene mellom bjelkene skal fuges først for så å sveises. Det blir mye sveis og mye sliping av fuger på en så stor konstruksjon. Fuging og sveising er med på å øke produksjonskostnader. Radien på bjelken vil i enkelte knutepunkt hjelpe til slik at det blir mindre fuging, ref. figur Figur 117 og Figur 118.



Figur 117 Sveisefuge på konteiner



Figur 118 Snitt av bjelkeprofil

På langsiden til konteineren, ref. Figur 119 og Figur 120, ble det lagt vekt på å ikke ha skråstivere, selv om det strukturmæssig gjerne er naturlig. Skråstiverne ble valgt bort til fordel for enklere tilgang for enn ROV å løse krokene fra madrassen etter at den er lagt i konteineren.

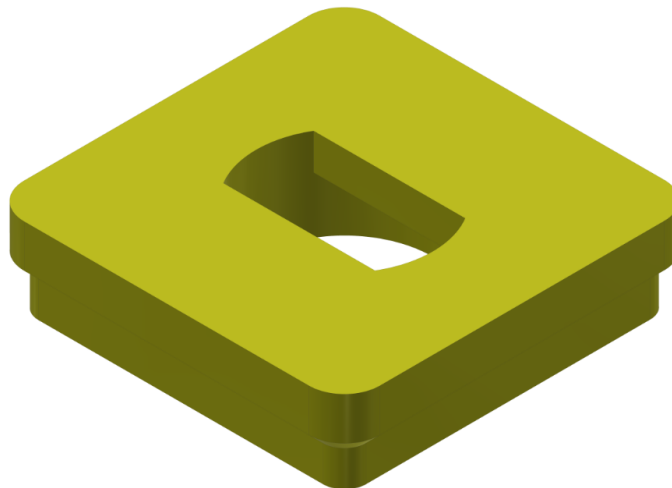


Figur 119 Tom konteiner sett fra siden



Figur 120 Konteiner med tre betongmadrasser sett fra siden

Festene til “VI-SO Clamp”, ref. Figur 121, ble redesignet noen ganger før det ble valgt en endelig løsning som tilfredstiller design- og belastningkravene som stilles.



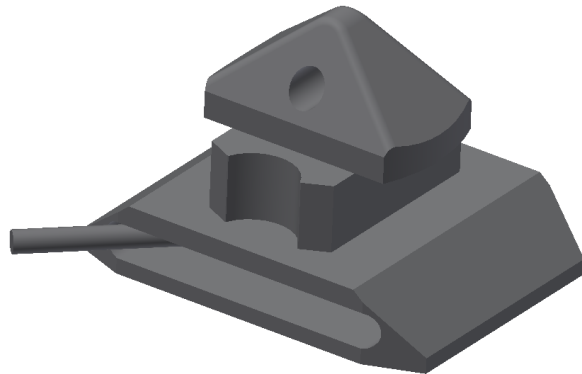
Figur 121 Feste til "VI-SO Clamp"

“VI-SO Clamp”en krever at hullet har stor styrke, da det er store krefter som oppstår når en full konteiner løftes. Det stilles også krav til hvor tykk platekanten ved hullet kan være for at “VI-SO Clamp”en og ”Twistlock”en skal kunne brukes. Hullet må være bredt nok til at

”Twistlock”en går inn i åpen posisjon, i tillegg til at den skal kunne snu seg for å gå i lås, ref. Figur 122 og Figur 123.



Figur 122 Feste til ”Twistlock”



Figur 123 ”Twistlock” i låst posisjon

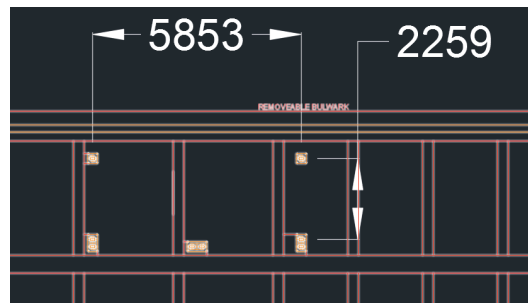
Delen er laget slik at den settes i hullet i enden på bjelken, ref. Figur 124, og sveises fast. Dermed er også bjelken styrket. Det er laget skråkant rundt hele platen slik at når delen settes i hullet på bjelken er det allerede fuger.



Figur 124 Feste til ”Twistlock” plassert på enden av bjelken

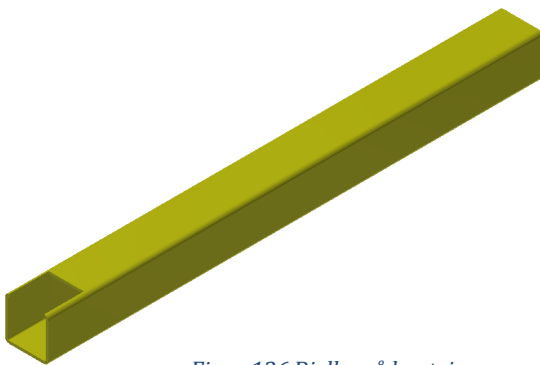
Platene er festet i begge ender av bjelken og brukes når konteinerene skal stables på hverandre.

Det lages egne plater som brukes til ”Twistlock”ene som sjøsikker konteineren, eventuelt ”Twistlock”ene som lastsikrer den på et lastebilplan. Dette er for å treffe standardmønsteret for 20 fots containere, ref. Figur 125.

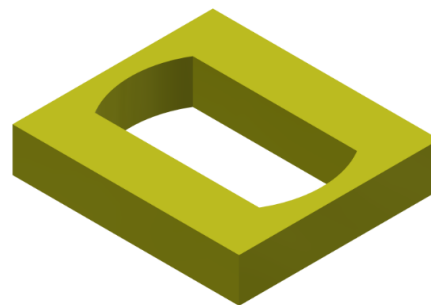


Figur 125 Standardmøster ved "Twistlock" for 20 fots konteiner

Platene, som illustreres i Figur 127, maskineres og sveises inn i en bjelke (Figur 126) før bjelken sveises fast i konteineren.



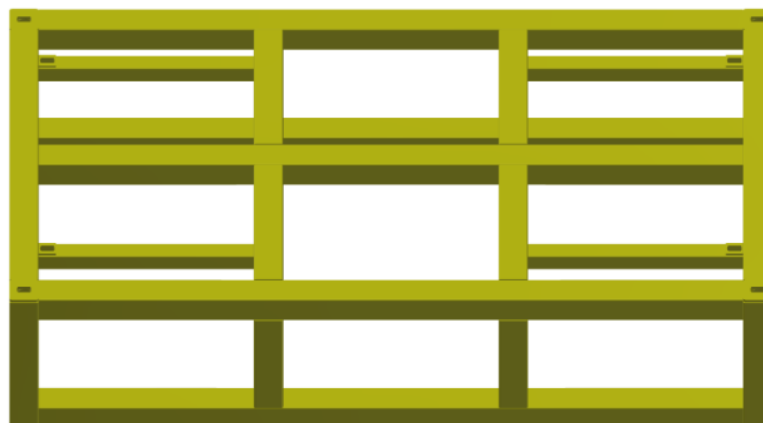
Figur 126 Bjelke på konteiner



Figur 127 Plate til "Twistlock"

Løsningen ble slik for at delen skal være enkel å maskinere. Det legges også til grunn at det er ønskelig å unngå kanter mellom plater der vann kan samle seg og danne rust. Det er viktig at platen sveises helt gjennom for å forhindre slike kanter på innsiden av bjelken.

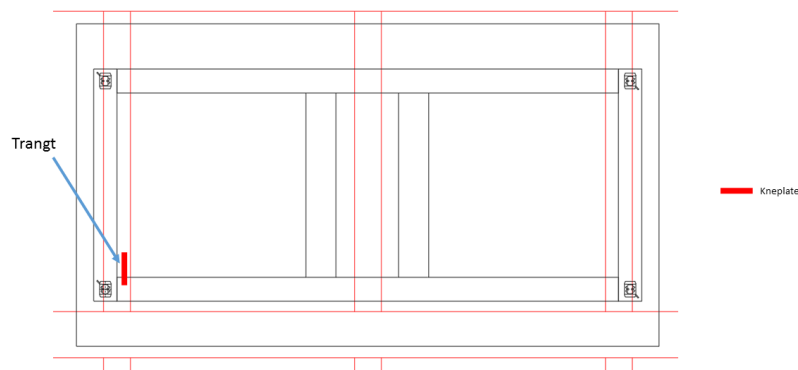
Bjelken brukes for at festene for "Twistlock"ene skal kunne sveises fast i to bjelker. Dersom kun platen hadde blitt kilsveist fast i bjelken ville det blitt veldig lite gods å sveise på. Figur 128 viser hvordan bjelken sveises fast i konteineren.



Figur 128 Konteiner sett fra undersiden

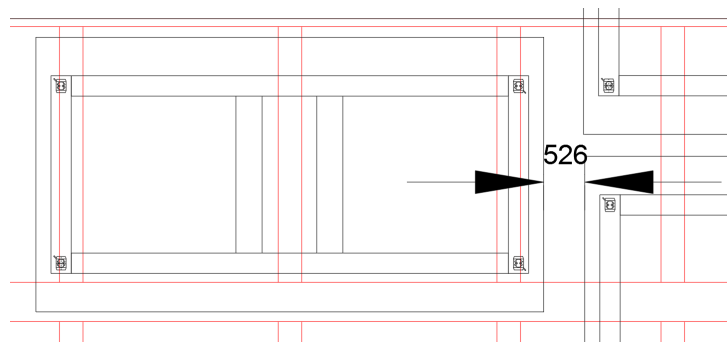
Det kan bli problemer med tilkomst til "Twistlock"ene når festepunktenene er plassert slik, spesielt når konteineren plasseres på "Twistlocker" som står i dekk. Det kan hende det må brukes for eksempel et lite rør for å betjene dem.

Konteiner
med ramme



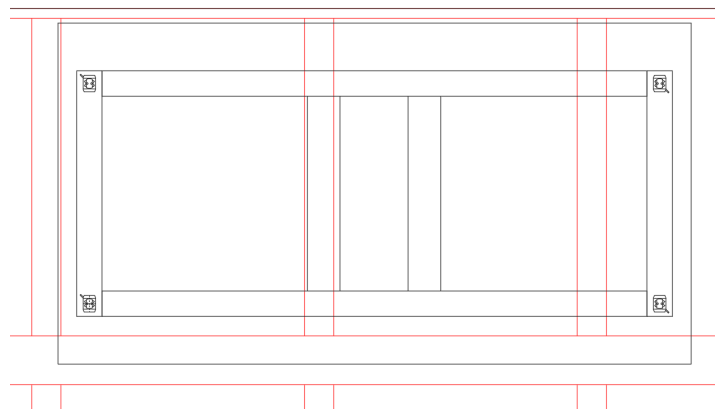
Figur 130 Tilkomst for sveiser

Rammen er plassert slik at det skal være mulig for en rigger å komme til alle fire hjørnene for å løse løfterammen fra konteineren. Det ble antatt at en halv meter mellomrom er tilstrekkelig for at voksen person skal kunne manøvrere seg mellom to containere, ref. Figur 131.



Figur 131 Avstand mellom to containere.

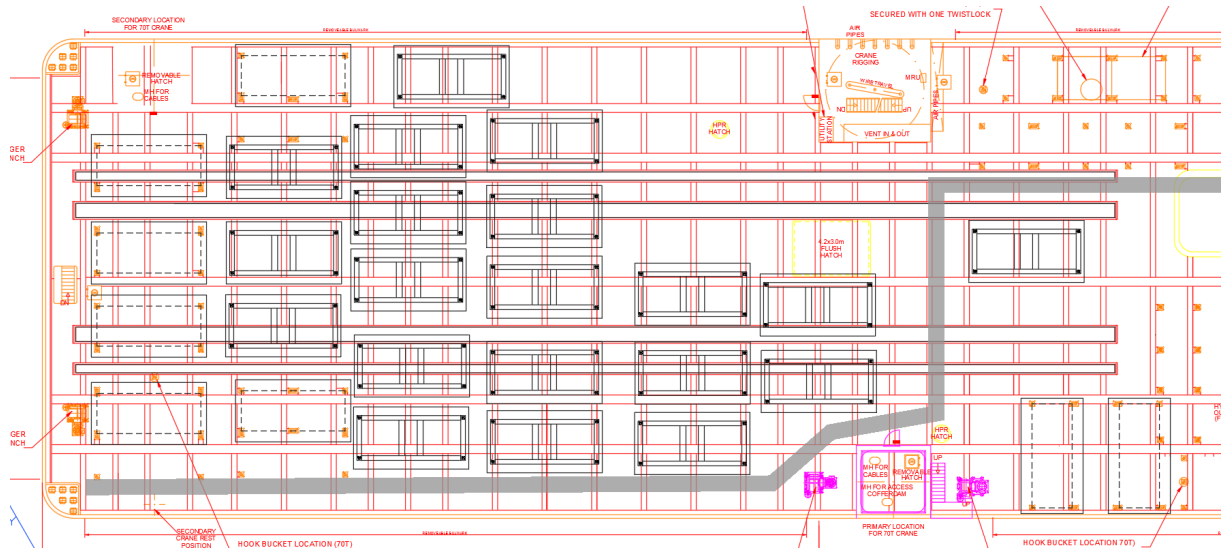
Det er viktig at rammen treffer tre T-barer og ikke bare to, for å fordele kreftene mest mulig. Figur 132 viser et tilfelle der rammen bare treffer to T-barer. Slike tilfeller er det ikke i dekkplanen i vedlegg E.



Figur 132 Rammen treffer to T-barer.

”Twistlock”ene som er festet i dekk er allerede plassert ut. Her kan konteinerne settes rett på uten videre hensyn til plassering, annet enn at det må sjekkes at konteineren ikke treffer rekkverk eller lignende.

Det legges til slutt på en rømningsvei som skal gå på langs av hele dekket. Rømningsveien i gjeldende dekkplan er illustrert med fargen grå i Figur 133.



Figur 133 Rømningsvei markert i grå.

7.3 Beregninger

Det er gjort noen forenklinger og antagelser når beregninger for den valgte løsningen er utført. Det er generelt ikke regnet på sveis i knutepunkter da det spesifiseres at det skal fugesveises her. Strukturen til både løfterammen og konteineren er hovedsakelig beregnet i SAP2000. Det er utført knekkberegninger for den mest utnyttede bjelken til løfterammen og sammenlignet med SAP2000 sine beregninger. De fleste kritiske punkter er beregnet. Noen få er neglisjerte av tidsmessige årsaker.

7.3.1 Løfteramme

Når løfteøye ble dimensjonert var ikke infoen om hvor tung løfterammen og konteineren ville være, på plass. Det ble på det tidspunktet antatt at hver av de to kom til å ha en masse på under 10 tonn hver. En masse på 10 tonn for løfterammen og 10 tonn for konteineren ble derfor brukt under dimensjonering av riggingen. Det viste seg i ettertid at den reelle massen er under 10 tonn samlet. Dette gjør at deler av løsningen er noe overdimensjonert. Det ble i starten antatt en vinkel på 45° mellom bena til kjettingskrevet og vertikal akse. I følge ekstern veileder er det mer normalt å ha en vinkel på 30° . Det ble gjort endringer i alle de manuelle beregningene, men SAP2000 beregningene ble beholdt med 45° vinkler. Dimensjoneringsmessig vil det være mer gunstig med 30° enn 45° og det ses derfor på som greit å beholde 45° vinklene i SAP2000. Sammenligningen mellom manuelle knekkberegninger og SAP2000 sine beregninger, i kapittel 6.4.3, kommenterer dette ytterligere.

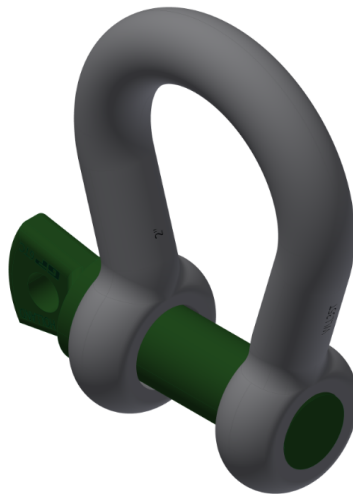
For de små løfteøyene på løfterammen, ref. Figur 134, burde det blitt tatt høyde for at lasten ikke alltid fordeles jevnt over de 8 løftepunktene. Det kan også antas at madrassene veier litt mer enn 20 tonn på grunn av sand og andre ting som kan gi tilleggsvikt for madrassen. DNV

2.7-3 har en generell faktor på 1.2, som vil ta høyde for at lasten ikke fordeler seg helt perfekt. Selv om det også er en sikkerhetsfaktor på 1,4 og en maksimal utnyttelsesfaktor på 0,85 kunne beregningene for de minste løfteøynene blitt håndtert bedre.



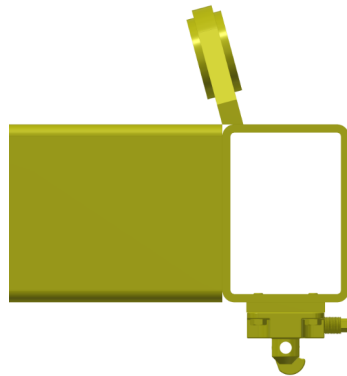
Figur 134 Løfteøye for madrass

Før vinkelendringen for kjettingskrevet ble gjort var det allerede bestemt enn sjakkkel, ref. Figur 135, for de største løfteøynene med SWL på 35 tonn. Etter vinkelendringen ble gjort viste beregningene at en sjakkkel med SWL på 25 tonn er tilstrekkelig. For å slippe å endre på både sjakkkel og løfteøyne ble det bestemt at sjakkelen for 35 tonn beholdes.



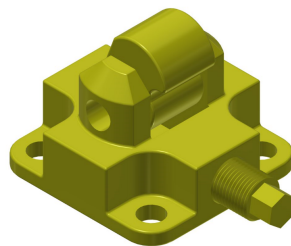
Figur 135 Green pin sjakkkel

For de store løfteøynene, ref. Figur 136, er det ikke beregnet sveis. Her er det antatt full innbrenning og at det kritiske tverrsnittet for sveisen vil tilsvare det kritiske tverrsnittet for løfteøyet (som er beregnet). Det er antatt full innbrenning fordi løfteøyet er plassert over bjelkens steg, noe som da skal gi tilstrekkelig godstykkelse. I dette tilfellet kunne det blitt kjørt en analyse av bjelke og løfteøyet samlet i ANSYS, men det ble ikke prioritert i denne rapporten. Det er mulig å styrke bjelken med plater hvor det er kritisk, men for denne oppgaven forenkles det litt her. I ettertid ser man at det burde vært etablert et koordinatsystem for fremstillingen av de manuelle beregningene for løfteøye for kjettingskrev, slik at det kunne referes til x-, y- og z-retning i stedet for “den ene veien” og “den andre veien”.



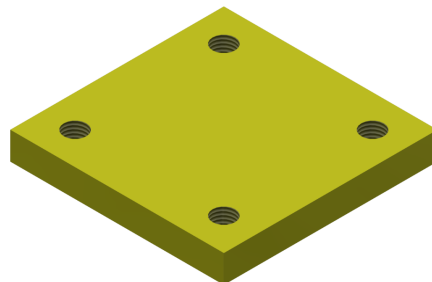
Figur 136 Stort løfteøye og "VI-SO Clamp" på løfterammen

“VI-SO Clamp”en, Figur 137, er beregnet som en del av strukturen. Det er derfor blitt benyttet en maksimal utnyttelsesfaktor på 0,85. Utnyttelsesfaktoren på 0,85 gjelder for flyt, men produsenten av “VI-SO Clamp”en har ikke oppgitt annet enn det de kaller motstnad mot oppadgående krefter. Det står i databladet at dette tallet har en sikkerhetsfaktor på 1,67 mot minimum bruddgrense. Det står altså ikke at tallet er flytgrensen, men for beregningene i denne rapporten benyttes de som flytgrensen. Det kan både diskuteres om det er riktig å se på “VI-SO Clamp”en som en del av strukturen og om det er riktig å bruke oppgitt kapasitet som flytgrense.



Figur 137 "VI-SO Clamp"

På doblingsplatene, ref. Figur 138, som holder “VI-SO Clamp”en fast i løfterammen er det utført beregninger med utgangspunkt i at det kilsveises. På tegningen er det tegnet på en kilsveis med a-mål på 10mm. Det kan også velges samme løsning som for festet til ”Twistlock”ene (innfelling av plate). Det vil da være mulighet for å fuge og få til mer sveis, og dermed høyere kapasitet. En ANSYS beregning av det området hvor “VI-SO Clamp”en er festet, kunne med fordel blitt utført uavhengig av hvilken innfestning av platen som ble valgt.



Figur 138 Doblingsplate til "VI-SO Clamp"

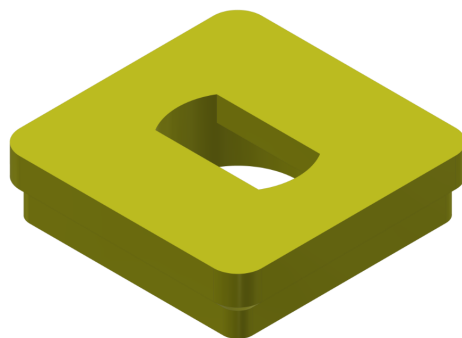
7.3.2 Konteiner

Det ble på et tidlig tidspunkt konstatert at løsningene skulle dimensjoneres slik at sjøsikringskapasiteten ble utnyttet maksimalt. For å utnytte den maksimalt må enhetene som sjøsikres med "Twistlock"-ene ha en samlet masse på 100 tonn. Det vil si at hver konteiner måtte ha en samlet masse på 50 tonn. Det ble antatt at konteineren havnet under 10 tonn, og den dimensjonerende massen ble derfor satt til 40 tonn / 8 små madrasser á 5 tonn. Det var vanskelig å få tak i kapasiteten til "VI-SO Clamp"-ene av produsent, som brukte lang tid på å svare. Det ble på det tidspunktet derfor antatt at "VI-SO Clamp"-ene hadde tilstrekkelig kapasitet. Det viste seg i ettertid at de ikke klarer å løfte alle 50 tonnene, og kapasiteten måtte derfor senkes.

Kapasiteten ble senket til 30 tonn, samtidig som massen til konteineren havnet på rett under 5 tonn. Det vil si at massen som sjøsikres i realiteten er $2 \times 35 \text{ tonn}$. Konteineren som bare har en masse på 5 tonn, er dimensjonert for å løfte 40 tonn. "VI-SO Clamp"-en og festet til "VI-SO Clamp"-en er det eneste på løsningen som bare er dimensjonert til å ha 30 tonn i konteineren. Løsningen er ellers klar for å løfte mer, dersom det er mulig å finne en lignende "VI-SO Clamp"/"Twistlock"-festemetode som har høyere kapasitet. Enn så lenge er derfor løsningen overdimensjonert, men klar for å løfte mer.

Konteineren er en struktur bestående av mange bjelker, og det var derfor naturlig å benytte SAP2000 til meste parten av beregningene her. For SAP2000 beregningene av konteineren legges det på en linjelast. Her brukes en full konteiner med en kapasitet på 40 tonn til å beregne linjelasten som legges til. SAP2000 legger til egenvekten til konteineren selv når det kjøres en kodesjekk. Kodesjekken for konteineren kunne blitt analysert ytterligere. Det kunne blitt sjekket om trykkbelastede bjelker ble beregnet plastisk eller elastisk og eventuelt hvilket utslag det ville gjort på utnyttelsesfaktoren. I denne rapporten er kun den mest belastede bjelken for løfterammen analysert og drøftet.

Festepunktet til "VI-SO Clamp"-en og "Twistlock"-ene når konteinerne stables, ref. Figur 139, er bare beregnet i ANSYS. Siden dette er en liten del som ikke bør beregnes som en bjelke falt valget på ANSYS. Det ble ikke utført noen manuelle beregninger til å sammenligne med her, siden dette er litt komplisert å gjøre for hånd. Noen snitt av delen er fullt mulig å regne for hånd, men helhetsbildet kommer mye bedre frem i ANSYS.

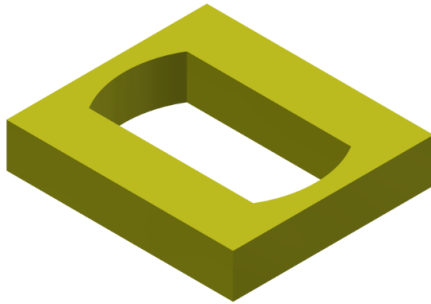


Figur 139 Festepunkt til "VI-SO Clamp" og "Twistlock"

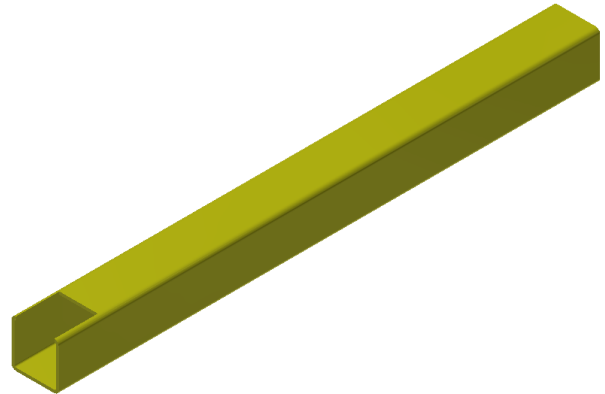
Både "VI-SO Clamp"-en og festepunktet til "VI-SO Clamp"-en beregnes som en del av strukturen. Her kunne det blitt lagt inn en faktor som tok høyde for at ikke all lasten er jevnt fordelt. En situasjon kunne for eksempel vært at bare tre av løftepunktene bar all lasten. Dette er ikke gjort i beregningene. Det kan diskuteres om det er riktig i forhold til standarden å legge inn en ekstra faktor for skjev last når objektene beregnes som en del av strukturen, da dette ikke blir gjort for resten av strukturen.

Det er ikke beregnet på sveisen som fester platen til bjelken. Det spesifiseres at det skal fuges og sveises helt rundt. Det antas derfor at sveisen får den samme styrken som bjelken vil ha.

Det er ikke beregnet sveis på platen under konteineren, som skal treffe ”Twistlock”-mønsteret på båten/lastebilen, ref. Figur 140 og Figur 141. Platen er heller ikke dimensjonert noen plass i denne rapporten, men den er tegnet i samme skala som et iso-hjørne. Iso-hjørnene brukes til akkurat det samme formålet, og platen vurderes derfor til å være tilstrekkelig dimensjonert. ANSYS beregninger ville passet bra til denne typen del.



Figur 140 Feste til ”Twistlock”



Figur 141 Bjelke

7.4 Tegninger

7.4.1 2D Tegninger

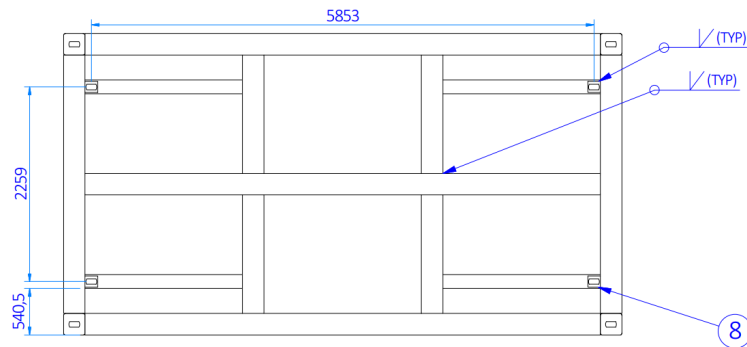
Etter tegningene ble tegnet ble de sjekket av en annen ingeniør i DeepOcean før de til slutt ble godkjent av ekstern veileder. Dette er en standard prosedyre i DeepOcean for å kvalitets sikre tegninger som sendes ut. Tegningene ble også sendt til A. Olufsen Ship & Offshore for prising, hvor selve tegningene ikke fikk noen kommentarer annet enn at det var et spennende konsept.

Tegningene har tre ruter øverst i høyre hjørne som definerer diverse tolleranser, ref. Figur 142. For en så grov modell som dette er det ikke nødvendig å spesifisere noen finere tolleranser. Rutene er plassert på alle arkene for å forhindre missforståelser.

Gen. Tol. - NS-ISO 2768 U.S.O.: m	Gen. Welding - Tol. NS-EN ISO 13920 U.S.O.: B	Gen. Machined surface - roughness U.S.O.: 6,3
--------------------------------------	--	--

Figur 142 Tolleranser

Det eneste som kunne vert kritisk i tegningene er mønsteret for ”Twistlock”, ref. Figur 143, men her er det sjekket at det dekkes av den generelle tolleransen. [36]



Figur 143 Mønster til "Twistlock"

Utstyr til rigging er ikke med på tegningen. "VI-SO Clamp" er med på sammenstillingen, men har ikke et eget ark, siden dette er en del som skal bestilles og ikke produseres. Stropper og ROV-kroker er heller ikke med i tegningene. Bjelkene som ikke skal maskineres kunne vært utelatt, men i denne oppgaven har alle fått et eget ark.

På begge tegningene er det en rekke kommentarer. Det ble bestemt i samråd med intern veileder at det skulle skrives på tegningene at både rammen og konteneren skal punkteres. Resten av kommentarene ble bestemt av ekstern veileder

MPI ("Magnetic Particle Inspection", på norsk Magnetflux/Magnetpulverprøving) er en ikke-ødeleggende prøve for å sjekke overflaten på metallet. Det fungerer slik at en påfører metallet litt jernpulver, og så påfører en et magnetisk felt. Der det enten er sprekker eller brudd i det magnetiske feltet, vil jernpulveret trekkes mot. Dermed ser en tydelig hvor det er ujevnheter/sprekker i metallet. [37]

UT ("Ultrasonic Testing", på norsk Ultralydprøving) er også en ikke-ødeleggende prøve, men sjekker også under selve overflaten av metallet. Denne metoden fungerer ved at en sender inn lydbølger i metallet, og ved hjelp av refleksjonen fra bølgene kan si noe om både lokasjonen, størrelsen og orienteringen til eventuelle feil. Denne metoden kan brukes til å finne plane feil, volumetriske feil, lamineringer og tykkelsesmålinger. [38]

På sammenstillingen står det 100% MPI og 100% UT. Dette vil si at alle sveisene skal testes med magnetpulver og ultralyd.

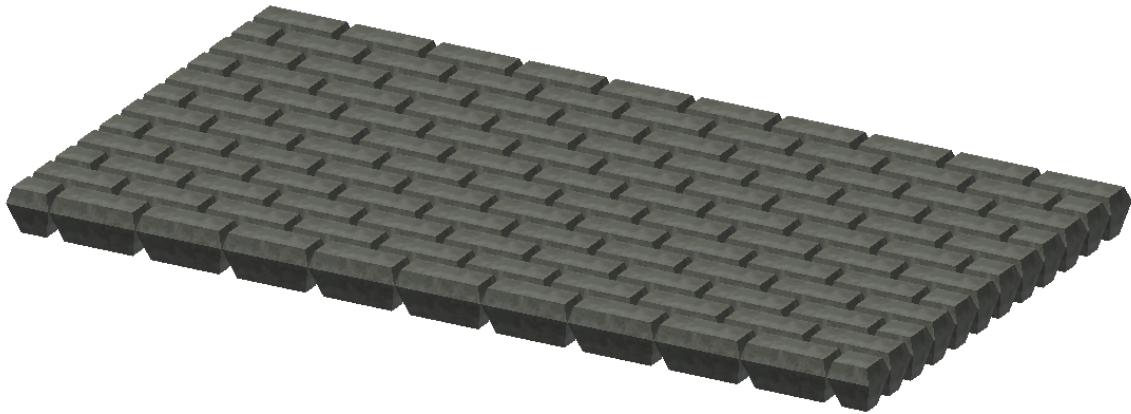
"Coat Primer" er grunning som blir brukt under malingen/belegget ("Coat Paint") med signalgul farge ("RAL1003"). "No System" vil si at malingen/belegget ikke er klassifisert i noe system for kvalifikasjoner. "To be punctured" vil si at bjelkene må punkteres slik at vann kan sige inn i strukturen og utligne trykket.

7.4.2 3D Tegninger

Det meste av tegninger ble tegnet selv. Noen modeller har gruppen fått av DeepOcean og noen modeller har gruppen fått av leverandør.

Gruppen har gått følgende modeller av DeepOcean:

Betongmadrass, ref. Figur 144.



Figur 144 Betongmadrass

Gruppen har fått følgende modeller av ulike leverandører:

Green pin sjakkel - 3,25t og 35t, ref. Figur 145.



Figur 145 Green pin sjakkel

Crosby ROV krok, ref. Figur 146.



Figur 146 Crosby ROV-krok

Riggingen og stroppene for løft av madrass, ref. Figur 147, er tegnet kun for å illustrere og har verken riktig form eller riktige dimensjoner.



Figur 147 Rigging og stropper med ROV-krok

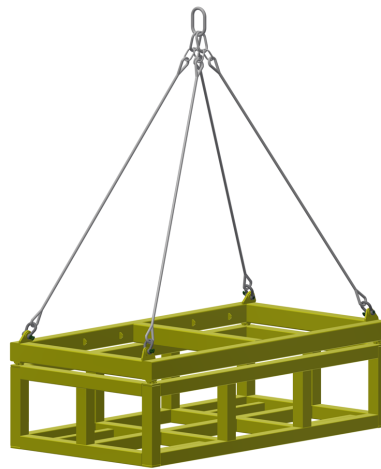
8 Operasjonsprosedyre og vedlikehold

I dette kapitlet vil det bli presentert en operasjonsprosedyre for bruk av metoden og vedlikehold av utstyret.

8.1 Operasjonsprosedyre

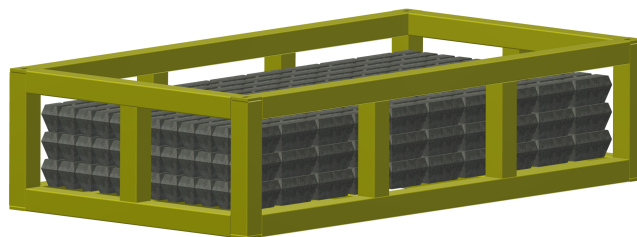
Ved løft av en eller flere betongbetongmadrasser vil de foregå slik:

1. Den største kranen på Edda Freya brukes til å senke løfterammen og konteineren som er låst sammen ned til havbunnen, ref. Figur 148. Arbeids ROV senkes ned samtidig.



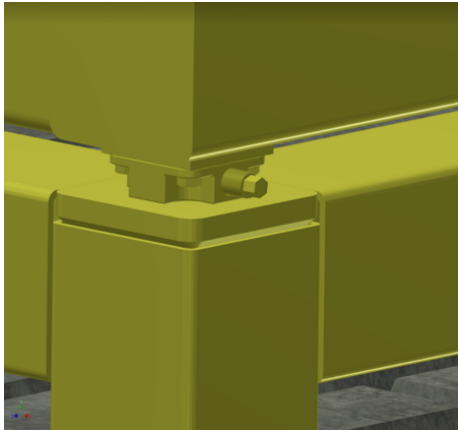
Figur 148 Løfteramme og konteiner låst sammen

2. ROV løsner ”VI-SO Clamp”en ved hjelp av ”Syclon Torque Tool” slik at løfterammen og konteineren kobles fra hverandre. Deretter plasseres løfterammen over valgt madrass. Løfterammen er koblet til kranen, mens konteineren står fritt på havbunnen.
3. ROV fester ønskelig antall (minst fire på hver side) ROV kroker til løkkene på betongmadrassen.
4. Løfterammen løftes bort til konteineren og plasserer betongmadrassen ned i konteineren før ROV hekter ROV krokene av løkkene på betongmadrassen. Dette gjøres med ønsket antall madrasser, eller til konteineren har nådd maks kapasitet, ref. Figur 149.

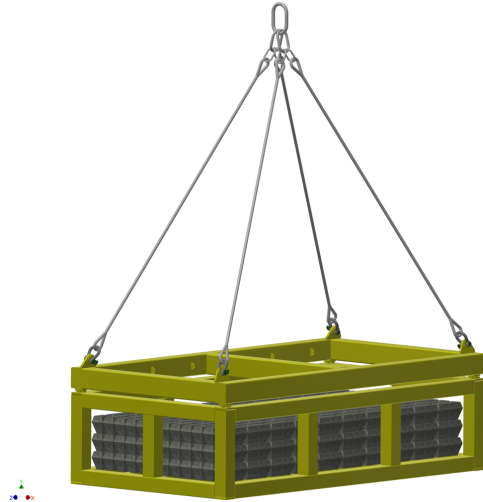


Figur 149 Konteiner fylt med madrasser

5. Løfterammen plasseres oppå konteineren, ref. Figur 151 . Ved hjelp av ROV strammes ”VI-SO Clamp” slik at løfterammen og konteineren blir koblet sammen, som vist i Figur 150. Stroppene og ROV krokene blir plassert inni konteineren.



Figur 150 ”VI-SO Clamp” låses



Figur 151 Løfterammen og full konteiner

6. Løfterammen og konteiner heises opp og plasseres i ønsket posisjon på dekket ved hjelp av kranen. Der låses konteiner fast i dekket ved hjelp av ”Twistlock”-systemet.
7. Edda Freya seiler tilbake til land for avlesning ved havn.
8. Konteinerne blir losset av skipet. Dersom konteineren skal fraktes videre kan den bli losset og festet direkte på en lastebil ved hjelp av ”Twistlock”ene.

8.2 Vedlikehold av utstyr

Det er viktig med et godt vedlikeholdssystem på utstyret for at funksjonene skal være pålitelig over lengre tid. For å oppnå dette er det blitt laget sjekklister for både før og etter bruk av utstyret. Sjekklisten før bruk består av en grundig visuell sjekk, smøre låsmekanismen og sjekke at alle festemidler er tilstrekkelig tiltrukket. Sjekklisten etter bruk av utstyret vil bestå av en grundig visuell inspeksjon, grundig skylling av utstyret (hulrommet i RHS-bjelken er viktig) og igjen smøre låsmekanismene. Disse sjekklister er vedlagt i vedlegg I.

9 Konklusjon og videre arbeid

Det eksisterer i dag flere metoder for å hente opp og sjøsikre betongmadrasser, men ingen som vil være spesielt effektiv for opptak av mange madrasser. Gruppen ønsket derfor å finne en metode som ville være mer sikker og kostnadseffektiv uten bruk av dykker eller bruk av løkkene på betongmadrassen over vann.

Gruppen vurderte de eksisterende- og egne metodene opp mot hverandre ved hjelp av kriterier gitt av DeepOcean. Det ble konkludert med en metode gruppen mente var den sikreste og mest kostnadseffektive.

Denne metoden ble videreutviklet og designet ut i fra standarden DNVGL-ST-E273 da denne standarden egnet seg godt for denne oppgaven. Beregningene er analysert og diskutert, og det konkluderes med at konstruksjonen er tilstrekkelig dimensjonert.

Gruppen mener at metoden møter DeepOceans krav om sikkerhet, da betongmadrassene løftes opp til skipet i en konteiner. Metoden er også kostnadseffektiv fordi betongmadrassene kan sjøsikres og lastsikres i konteineren ved bruk av "Twistlock"-systemet. Dette systemet gjør også at dekkarealet på Edda Freya kan utnyttes maksimalt.

Gruppen mener at metoden vil være mulig å realisere og ta i bruk, men siden investeringskostnaden er høy er en avhengig av mengden betongmadrasser som skal hentes opp fra havbunnen.

Med tanke på videre utvikling av produktet kan det designes en sterkere versjon av "VI-SO Clamp"en for å oppnå konteinerens tiltenkte kapasitet. Alt annet ligger til rette for at metoden skal kunne løfte og sjøsikre 40 tonn. Både konteineren og løfterammen kan vektoptimaliseres for å presse ned investeringskostnaden. Blant annet kan lite belastede bjelker byttes ut med tynnere og svakere bjelker.

I løpet av denne oppgaven har gruppen tilegnet seg god erfaring innenfor metodisk arbeid, "Subsea"-løft, konstruksjonsmetodikk og styrkeberegning ved bruk av en standard. Fag som undervannsteknologi, statikk og fasthetslære, maskinkonstruksjon I og II har vært spesielt viktig i denne oppgaven.



Kontaktliste

Navn	Firma	Telefon	Mail
Anders Vikebø	DeepOcean	922 04 009	AVikebo@Deeпоceangroup.com
Jens Christian Lindaas	HVL	905 06 797	jens.lindaas@hvl.no

Bibliografi

- [1] «URS Targets O&G Decom Market with New Mattress Recovery Tool,» Subsea World, 21 November 2016. [Internett]. Available: <https://subseaworldnews.com/2016/11/21/urs-targets-og-decom-market-with-new-mattress-recovery-tool/>. [Funnet 26 Januar 2018].
- [2] «Lov om petroleumsvirksomhet [petroleumsloven],» Lovdata, 1 Oktober 2015. [Internett]. Available: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1996-11-29-72#KAPITTEL_5. [Funnet 30 Januar 2018].
- [3] DeepOcean, «Decommissioning,» DeepOcean, [Internett]. Available: <https://deepocean.com/services/decommissioning/>. [Funnet 29 Januar 2018].
- [4] DeepOcean, «COMPANY HISTORY,» DeepOcean, [Internett]. Available: <https://deepocean.com/about/company-history/>. [Funnet 29 Januar 2018].
- [5] IMCA, «Diver and ROV Based Concrete Mattress Handling, Deployment, Installation, Repositioning and Decommissioning,» September 2011. [Internett]. Available: <http://www.subseasa.com/documents/mattress%20handling.pdf>. [Funnet 25 Januar 2018].
- [6] S. P. System, «Concrete Mattresses,» Subsea Protection System, [Internett]. Available: <http://www.subseaprotectionsystems.co.uk/concrete-mattresses>. [Funnet 16 Januar 2018].
- [7] Pipeshield, Pipeshield, [Internett]. Available: <http://www.slp-projects.com/newsite/submat/bitumen-mattresses/>. [Funnet Januar 25 2018].
- [8] S. P. Musara, «Oedigital,» Oedigital, 01 09 2013. [Internett]. Available: <http://www.oedigital.com/regions/item/3882-concrete-mattresses-offer-more-%20than-just-pipeline-protection>. [Funnet 16 01 2018].
- [9] SPS, «Concrete Mattresses,» SUBSEA PROTECTION SYSTEMS, [Internett]. Available: <http://www.sps-gb.com/concrete-mattresses>. [Funnet 16 01 2018].
- [10] D. Cumming, «Mattress Solutions,» JEE, Aberdeen, 2015.
- [11] D. Cumming, «Mattress solutions,» Jee, 31 Abercrombie Court, 2015.
- [12] DeepOcean, «DeepOcean Group,» DeepOcean, 28 05 2014. [Internett]. Available: <https://deepocean.com/asset/intelligent-mattress-frame/>. [Funnet 29 01 2018].
- [13] Pipeshield, «Pipeshield,» Pipeshield, [Internett]. Available: <http://www.pipeshield.com/products/loading-and-installation-systems>. [Funnet 18 01 2018].
- [14] S. P. System, «SPS,» SPS, [Internett]. Available: <http://www.subseaprotectionsystems.co.uk/images/downloads/Speedloaders.pdf>. [Funnet 18 Januar 2018].
- [15] «WET STORAGE AND RECOVERY BASKET,» Pipeshield, [Internett]. Available: <http://pipeshield.com/products/wet-storage-and-recovery-basket>. [Funnet 19 Januar 2018].
- [16] C. Container, «Bespoke Purpose Built 24ft Half Height Offshore Container,» ContainerContainer, [Internett]. Available:

- <https://www.containercontainer.com/bespoke-24ft-Half-height-Offshore-Container>. [Funnet 18 Januar 2018].
- [17] DeepOcean, «GWYNT Y MOR MATTRESS INSTALLATION,» DeepOcean, 2015.
- [18] N. Lastebileier-Forbund, «Ordliste,» 17 Februar 2015. [Internett]. Available: <https://lastebil.no/Infobank/Faktabank/Ordliste>. [Funnet 8 Mars 2018].
- [19] MacGregor, «Container securing systems,» MacGregor, Februar 2016. [Internett]. Available: <https://www.macgregor.com/globalassets/picturepark/imported-assets/65120.pdf>. [Funnet 8 Mars 2018].
- [20] DeepOcean, «EDDA FREYA,» DeepOcean, 19 Mai 2017. [Internett]. Available: <https://deepocean.com/wp-content/uploads/2015/11/Edda-Freya.pdf>. [Funnet 22 Februar 2018].
- [21] J. C. Lindaas, Undervannsteknologi, Haugesund: HSH, 2013.
- [22] J. Hagland, «Store Norske Leksikon,» SNL, 20 02 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/hiv-kompensasjon>. [Funnet 21 02 2018].
- [23] LOVDATA, «Lov om sjøfarten (sjøloven),» LOVDATA, 1 Juli 2016. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1994-06-24-39>. [Funnet 13 Mars 2018].
- [24] «Følgebil,» Trafikkvakta, [Internett]. Available: <http://www.trafikkvakta.no/folgebil>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [25] LOVDATA, «Forskrift om bruk av kjøretøy,» 18 Oktober 2013. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1990-01-25-92>. [Funnet 3 April 2018].
- [26] S.-O. Arnesen, «Bredtransport på ville veier?,» 6 April 2017. [Internett]. Available: <https://tungt.no/transportmagasinet/bredtransport-pa-ville-veier-2043143>. [Funnet 3 April 2018].
- [27] Pipeshield, «PROJECT QUOTATION: PS15-343,» Pipeshield.
- [28] Tandemloc, «K08A00A SERIES,» [Internett]. Available: <https://www.tandemloc.com/k08a00a-series>. [Funnet 19 Februar 2018].
- [29] «NORSOK STANDARD M-501 Edition 6 (2012),» Standard.no, 17 Februar 2015. [Internett]. Available: https://www.standard.no/Global/PDF/Petroleum/Norsok%20M-501%20ed%206%20Clarification%20log%202015%20rev%201_finished.pdf. [Funnet 5 Mars 2018].
- [30] Det Norske Veritas, «2.7-3 Portable Offshore Units,» DNV GL, 2016.
- [31] NORSOK, «NORSOK R-002,» NORSOK, 2017.
- [32] S. E. Pedersen, J. Gustavsen, S. Kaasa og O. Olsen, «Teknisk Formelsamling,» Univeristetsforlaget, 2007.
- [33] Standard Norge, Eurokode 3, vol. 1993, Standard Norge, 1993.
- [34] B. Aasen, Stål Handbok, 3. utgave red., 0251: Norsk Stålforbund.
- [35] D. GL, «Rules for Classification,» DNV, 2016.
- [36] Standard, «NS-ISO 2768-1:1989,» 1 Oktober 1990. [Internett]. Available: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=146341>. [Funnet 23 April 2018].
- [37] q. NDT, quality NDT, [Internett]. Available: <http://qndt.no/?p=134>. [Funnet 2018 Mai 1].

- [38] ndt.no, «Ultralyd prøving,» NDT, [Internett]. Available: http://www.ndt.no/index.php?expand=820&show=820&topmenu_2=814. [Funnet 1 Mai 2018].
- [39] SPS, «Subsea Protection System,» SPS, [Internett]. Available: <http://www.subseaprotectionsystems.co.uk/anti-scour-frond-mats> (. [Funnet 16 01 2018].
- [40] U. Navy, «Clock Ticks For Stranded Russian Submariners,» [Internett]. Available: https://quest.eb.com/search/ROV/1/115_2798412/Clock-Ticks-For-Stranded-Russian-Submariners. [Funnet 13 Mars 2018].
- [41] DeepOcean, «EDDA FREYA,» 2015. [Internett]. Available: <https://deepoceangroup.com/wp-content/uploads/2015/11/Edda-Freya.pdf>. [Funnet 23 April 2018].
- [42] RapidTables, [Internett]. Available: <https://www.rapidtables.com/convert/weight/pound-to-kg.html>. [Funnet 18 April 2018].
- [43] NORSOK, «NORSOK R-002,» NORSOK, 2017.