

# Gjenbrukspotensiale for Umbilical Reel

Vegard Selsvik Refvik,  
Kristian Åsmul Haukås,  
Emil Stevnebø,

Bacheloroppgave i Marinteknikk  
Bergen, Norge 2022









Høgskulen  
på Vestlandet

# Gjenbrukspotensiale for Umbilical Reel

Vegard Selsvik Refvik,  
Kristian Åsmul Haukås,  
Emil Stevnebø,

Institutt for Maskin- og Marinfag  
Høgskulen på Vestlandet  
NO-5063 Bergen, Norge

IMM 2022-MM36

Høgskulen på Vestlandet  
Institutt for Maskin- og Marinfag  
Inndalsveien 28,  
NO-5063 Bergen, Norge

Cover and backside images © Norbert Lümmer

English title: Reusable potential for an Umbilical Reel

Forfatter(e), studentnummer: Vegard Selsvik Refvik, 584675  
Kristian Åsmul Haukås, 585061  
Emil Stevnebø, 589023

Studieprogram: Marinteknikk  
Dato: Mai 2022  
Rapportnummer: IMM 2022-M M36  
Veileder ved HVL: Arnstein Høyland  
Oppdragsgiver: Aker Solutions  
Oppdragsgivers referanse: Andreas Engeberg & Arild Hansen

Antall filer levert digitalt: 1

## Forord

Denne rapporten er skrevet i samarbeid med Høgskulen på Vestlandet og Aker Solutions Ågotnes der man ser på gjenbrukspotensialet til en umbilical reel. Det blir utarbeidet et forslag til hvordan reelen oppgraders og modifiseres for å oppnå dagens krav som stilles av forskrifter og standarder i oljebransjen. Ut ifra dette forslaget blir det også gjort en vurdering av kostnadene og nytteverdien.

Vi ønsker å gi en spesiell takk til Aker Solutions som har satt oss i kontakt med veiledere og fremlagt en høyst aktuell bacheloroppgave for oss som studerer innen fagfeltet marinteknikk. Her har vi også blitt subsidiert med eget kontor område på Ågotnes to dager i uken til bruk til arbeid på oppgaven. Fra Aker Solutions vil vi takke Arild Hansen, Vegard Sundsfjord og Andreas Engeberg, som har gitt en tett oppfølging i oppgaven vår og bidratt med ønsker og ideer til løsninger fra Aker Solutions sin side.

Det å kunne være på Ågotnes for arbeid på vår Bachelor oppgave har vært en stor hjelp og arbeidet har vært svært effektivt der. Her har vi hatt direkte kontakt med ingeniører og mekanikere samtidig har det gitt oss mulighet til å se på lagrene og verkstedene. Det tette samarbeidet med ingeniørene har gitt oss muligheten til å kunne idémyldre og få innspill dersom vi har vært usikker på riktig løsning. Samtidig har det vært en stor hjelp å fysisk kunne inspisere reelen vi skriver om for å kunne danne et inntrykk av dens tilstand og dimensjoner. Vi har hentet inspirasjon ved å se på andre mer moderne reeler på Ågotnes, her har vi sett modifikasjoner som kan være aktuelle for å modernisere reelen vi skriver om.

Gjennom oppgaven har vi også hatt god hjelp fra vår veileder som har vært tilgjengelig når vi har hatt behov for hjelp og innspill. Han har vist en genuin interesse og delt sin kompetanse slik at vi har hatt mulighet til å gjennomføre oppgaven på best mulig vis. Derfor er en stor takk til veileder Arnstein Høyland på sin plass.



## Sammendrag

I denne oppgaven ønsker man å se på gjenbrukspotensialet til en Umbilical Reel, og muligheten for å godkjenne denne i henhold til dagens krav og standarder istedenfor å kondemnere den. Det blir gjort en evaluering for å sjekke hvilke stand utstyret er i, og til slutt gjøre en kost- og nytte evaluering for de modifikasjonene som trengs.

Reelen det er snakk om ble først brukt ved bygging av trollfeltet på starten av 90-tallet, og har deretter vært i bruk ved ulike prosjekter frem til 2011. De siste årene har reelen stått lagret uten en klar intensjon om hva den skal brukes til da den begynner å bli gammel og utdatert.

I dag er umbilicalen som står på reelen 500 meter med 22 hydrauliske linjer. For å øke bruksområde til reelen, er det ønskelig å sette på en lignende umbilical med 6 hydrauliske linjer og 3 elektriske som har en lengde på 1000 meter. Reelen vil da få et bredere bruksområde ettersom operasjoner kan utføres på dypere vann enn tidligere. Den nye umbilicalen er smalere enn den gamle og det må derfor gjøres modifikasjoner for rett innspoling og sjekke at det hydrauliske systemet vil klare å spole inn umbilicalen.

For denne type midlertidig utstyr er det vanlig å godkjenne etter Norsok Z-015 og fylle ut samsvarserklæring (Tillegg G). Denne vil da referere til andre forskrifter og standarder som Lovdata, DNV, ISO og NS-EN for å godkjenne reelen til bruk på norsk sokkel. I denne rapporten går man da gjennom de aktuelle standardene for å vurdere hva som må til for å godkjenne reelen.

På reelen er det flere mangler, blant annet på vern rundt bevegelige deler og løftesertifikat i henhold til DNV 2.7-3. I denne rapporten er det foreslått modifikasjoner for å hindre ulykker og uønskede hendelser på utstyr og personer. Det er også gjort analyser for løft, sveis, støtbelastninger og andre kraftpåkjenninger for å få godkjent løftesertifikat i fra DNV.

Modifikasjonene som er foreslått vil gjøre at reelen skal kunne settet i bruk igjen, og vil være mer nyttig og mer miljøvennlig i motsetning til å kjøpe en ny reel.





## Abstract

The main reason for this thesis is to look into the reusable potential of an umbilical reel in order to approve it in accordance with today's requirements. An evaluation is done to determine the condition of the reel and to do a cost and benefit evaluation for the modifications that are needed.

This reel took part in the building and construction of the Troll field in the early 90s and has since been used for different projects until 2011. Lately the reel has been stored without any intention of where it is to be used, and so it has been outdated.

The umbilical that is installed on the reel is 500 meters long with 22 hydraulic lines. To get a wider range of utilisation, it is preferred to install an umbilical with 6 hydraulic lines and 3 electric lines. This will have a length of 1000 meters and have a wider area of utilisation as operations are performed on deeper water. The new umbilical will have a smaller diameter. Modifications therefore has to be done to get the correct winding, so that the hydraulic system can manage the new weight of the umbilical.

For this type of temporary equipment, it is common to follow the Norwegian standard Norsok Z-015 and to have a declaration of conformity according to this. This will then refer to other regulations and standards such as Lovdata, DNV, ISO and NS-EN to approve the reel for use on the Norwegian continental shelf. In this report, relevant standards are presented to determine what is needed to approve the reel.

The reel has several deficiencies, such as a lack of both protection around moving parts and lifting certificates in accordance with DNV 2.7-3. In this report, modifications have been proposed to prevent accidents and adverse events on equipment and people. Analyzes have also been made for lifting, welding, impact loads and other forces in order to obtain a lifting certificate from DNV.

The modifications that has been proposed will allow the reel to be used again and will be useful and more environmentally friendly, instead of buying a new umbilical reel.



## Ordliste

- Norsok - Norsk Sokkels Konkurransesposisjon
- DNV - Det Norske Veritas
- POU - Portable Offshore Unit
- MGW - Maximum Gross Weight
- MBL - Minimum Braking Load
- WLL - Working Load Limit
- NDT - Non-destructive testing
- FEM - Finite Element Method
- XMT - X-mas tree (Juletre)
- P&A - Plug and abandonment tool
- WOCS - Workover Control System
- RSF - Resultant Sling Force

## Figur og tabell- liste

### Figurer

2.1	Ocean Viking ved Ekofisk [1] . . . . .	2
2.2	Kontorbygget til Aker Solutions på Ågotnes . . . . .	3
2.3	Illustrasjon av et subsea tree plasert på havbunnen [2]. . . . .	3
4.1	Umbilical reelen slik den står før eventuelle oppgraderinger. . . . .	6
4.2	Kontrollpanel . . . . .	7
5.1	Oversikt over forskrifter og standarder . . . . .	9
5.2	Eksempler på POU typer [3] . . . . .	11
5.3	Minimum påkjennings energi [3] . . . . .	12
5.4	Illustrasjon av spenningsbilde i en kilsveis [4] . . . . .	14
5.5	Oversikt over hvilke NDT som skal utføres [3]. . . . .	15
5.6	Plassering i soner [5] . . . . .	18
6.1	Overflaterust på reelens ramme. . . . .	22
6.2	Utydelig merking. . . . .	22
6.3	Manglende retningsventil. . . . .	22
6.4	Dryppskål under trommel er skadet. . . . .	22
6.5	Isolasjonsventiler . . . . .	23
7.1	Tverrsnitt: trommel med umbilical 1. . . . .	24
7.2	Tverrsnitt: trommel med umbilical 2. . . . .	24
7.3	3D-modell før modifikasjoner . . . . .	25
7.4	Påbygg ramme . . . . .	25
7.5	Takbeskyttelse . . . . .	26
7.6	Reel etter risikoevaluering . . . . .	26
7.7	Eksempel på buttsveis fra original ramme . . . . .	27
7.8	Kilsveis rundt padeyes . . . . .	28
7.9	Swivels . . . . .	29
7.10	Sveiseblokk . . . . .	29
7.11	Dryppskål . . . . .	30
7.12	Drenering . . . . .	30
7.13	Fast-sveist vinkel . . . . .	31
7.14	Reel med monterte verneinnretninger . . . . .	31
7.15	Verneinnretning bak . . . . .	31
7.16	Bevegelig verneinnretning . . . . .	32
7.17	Normaly-closed bryter . . . . .	32
7.18	Ex 13, ende bryter . . . . .	32
7.19	Elektriske komponenter med tilhørende ATEX-kode. . . . .	33
7.20	Sammenligning av original og ny el-motor. . . . .	34
7.21	Områder med tropisk atmosfære [6] . . . . .	35
8.1	Slynger . . . . .	36
8.2	Resultat 4 punkts løft . . . . .	37
8.3	Resultat 2 punkts løft . . . . .	37
8.4	Grensebetingelser for støtbelastning . . . . .	38
8.5	Resultat horisontal støtbelastning . . . . .	38
8.6	Støtbelastning med 5 graders vinkel . . . . .	39
8.7	Resultat vertikal støtbelastning . . . . .	39
8.8	Grensebetingelser for transport analyse . . . . .	40
8.9	Resultat horisontal transport . . . . .	40
8.10	Resultat vertikal transport . . . . .	40
8.11	Grensebetingelser for seafastening . . . . .	41
8.12	Resultat seafastning . . . . .	41

8.13	Sveis mellom original og ny ramme . . . . .	42
8.14	Kilsveisen rundt løfteøret delt opp i 4 deler . . . . .	43
8.15	Tverrsnitt av padeye . . . . .	44
8.16	Resultat Von-mises . . . . .	46
9.1	Innkjøpsliste ramme . . . . .	47
.1	BS-01-01 . . . . .	54
.2	BS-01-02, exploded view . . . . .	54
.3	BS-01-02-02, detaljer . . . . .	55
.4	BS-02-01 . . . . .	55
.5	BS-02-02, Padeye . . . . .	56
.6	Top protection deler . . . . .	56
.7	BS-03-01 . . . . .	57
.8	BS-03-02 . . . . .	57
.9	BS-03-03 . . . . .	58
.10	BS-03-04 . . . . .	58
.11	BS-03-05 . . . . .	59
.12	BS-03-06 . . . . .	59
.13	BS-03-07 . . . . .	60
.14	BS-03-08 . . . . .	60
.15	BS-03-09 . . . . .	61
.16	BS-03-10 . . . . .	61
.17	BS-03-10-01 . . . . .	62
.18	BS-03-11 . . . . .	62
.19	Kabellengde beregning . . . . .	63
.20	Padeye beregninger i matlab.(1/4) . . . . .	64
.21	Padeye beregninger i matlab.(2/4) . . . . .	65
.22	Padeye beregninger i matlab.(3/4) . . . . .	66
.23	Padeye beregninger i matlab. (4/4) . . . . .	67
.24	Eksempel WPC, forenklet . . . . .	69
.25	Radiografi, Nivå 1 . . . . .	69
.26	Magnetisk partikkelinspeksjon, Nivå 1 . . . . .	69
.27	Informasjonsplate . . . . .	70
.28	Inspeksjonsplate . . . . .	71
.29	Samsvarserklæring . . . . .	73
.30	Miljøklassifisering . . . . .	75
.31	Tabell C.6 . . . . .	75
.32	Padeye beregninger før endringer. . . . .	76
.33	Padeye beregninger etter endringer. . . . .	76
.34	Sjekkliste før og etter modifisering. . . . .	76

## Tabeller

4.1	Data sheet (Original reel) . . . . .	8
5.1	Oversikt over utstyrstyper fra Norsok Z-015 - Midlertidig utsyr . . . . .	10
5.2	Krav til ulike brønnserviceutstyr fra Norsok Z-015 - Midlertidig utsyr . . . . .	10
5.3	Makimum operasjonsklasser [3] . . . . .	11
5.4	Utnyttelsesfaktor ved kilsveis [3] . . . . .	14
7.1	Teknisk data . . . . .	34
8.1	Data til analyse . . . . .	36
8.2	Data til analyse . . . . .	39
9.1	Innkjøpspris . . . . .	47
9.2	Verkstedstimer . . . . .	48

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Ordliste</b>	<b>vii</b>
<b>Figur og tabell- liste</b>	<b>viii</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstilling . . . . .	1
1.2 Mål . . . . .	1
<b>2 Aker Solutions</b>	<b>2</b>
2.1 Ågotnes . . . . .	3
<b>3 Metode</b>	<b>4</b>
3.1 Vår metode . . . . .	4
3.1.1 Litteraturstudie . . . . .	4
3.1.2 CAD/3D-modellering . . . . .	4
3.1.3 FEA (analyse) . . . . .	4
3.1.4 Arbeid på lokasjon . . . . .	5
<b>4 Reel</b>	<b>6</b>
4.1 Om reelen . . . . .	6
4.2 Data sheet . . . . .	8
<b>5 Krav til midlertidig utstyr</b>	<b>9</b>
5.1 Norsok Z-015 Midlertidig utstyr . . . . .	10
5.2 Norsok R-002 Løfteutstyr og Norsok D-002 . . . . .	10
5.3 DNV 2.7-3 - Portable Offshore Units (POU) . . . . .	11
5.3.1 POU type . . . . .	11
5.3.2 Risikoevaluering . . . . .	12
5.3.3 Material . . . . .	12
5.3.4 Løftepunkt . . . . .	13
5.3.5 Sveis . . . . .	14
5.3.6 Analyse, testing og akseptable kriterier . . . . .	16
5.3.7 Korrosjonsbestandighet . . . . .	17
5.3.8 Produktdokumentasjon, markering og informasjon . . . . .	17
5.3.9 Løftesett . . . . .	17
5.4 Z-015 Samsvarserklæring . . . . .	18
5.4.1 Krav til Ex-klasse i forhold til plassering . . . . .	18
5.4.2 Utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område (ATEX) . . . . .	19
5.4.3 Enkle trykkbeholdere . . . . .	19
5.4.4 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) . . . . .	19
5.4.5 Trykkpåkjent utstyr (TPU) . . . . .	20
5.4.6 Maskinforskriften . . . . .	21
<b>6 Reelens tilstand og potensial</b>	<b>22</b>
6.1 Avdekking av tilstand på reel . . . . .	22
6.1.1 Visuell inspeksjon av reel . . . . .	22
6.2 Nytt bruksområde til reel . . . . .	23



<b>7</b>	<b>Foreslåtte modifikasjoner</b>	<b>24</b>
7.1	Umbilical-lengde . . . . .	24
7.2	Gir . . . . .	24
7.3	DNV 2.7-3 . . . . .	25
7.3.1	Takbeskyttelse . . . . .	25
7.3.2	Risikoevaluering, punkt B) og C) . . . . .	26
7.3.3	Padeyes . . . . .	27
7.3.4	Sveis . . . . .	27
7.3.5	Festepunkter . . . . .	29
7.4	D-002 . . . . .	30
7.5	Maskinforskriften . . . . .	31
7.5.1	Verneinnretninger . . . . .	31
7.5.2	Forrigling . . . . .	32
7.6	Ex-godkjenning til utstyrskategori 1 . . . . .	33
7.7	Material . . . . .	34
7.8	Maling . . . . .	35
<b>8</b>	<b>Analyse</b>	<b>36</b>
8.1	Løfteanalyse (Ramme) . . . . .	36
8.1.1	4 punkts løft . . . . .	36
8.1.2	2 punkts løft . . . . .	37
8.2	Impact load (støtbelastning) . . . . .	38
8.2.1	Horisontal . . . . .	38
8.2.2	Vertikal støtbelastning . . . . .	39
8.3	Transport . . . . .	40
8.3.1	Resultat Horisontal Transport . . . . .	40
8.3.2	Resultat Vertikal Transport . . . . .	40
8.4	Seafastening . . . . .	41
8.5	Analyse av sveis . . . . .	42
8.6	Analyse av padeye . . . . .	44
<b>9</b>	<b>Økonomisk evaluering</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>49</b>
<b>11</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>50</b>
	<b>Referanser</b>	<b>51</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>54</b>
A	Tegninger . . . . .	54
B	MATLAB skript . . . . .	63
C	Tabeller og prosedyrer . . . . .	68
C.1	Welding procedure spesifisering (WPC) . . . . .	68
C.2	Welding procedure, eksempel . . . . .	69
C.3	NDT . . . . .	69
C.4	Produktdokumentasjon . . . . .	70
C.5	Markering og informasjon . . . . .	70
C.6	Utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område (ATEX) . . . . .	71
C.7	Trykkpåkjent utstyr (TPU) . . . . .	72
C.8	Z-015 Samsvarserklæring . . . . .	73
C.9	Norsok D-002 . . . . .	74
C.10	ISO 12944 - Korrosjonsbestandighet . . . . .	75
C.11	Excel utregninger . . . . .	76



# 1 Innledning

Mye av utstyret som brukes i oljebransjen blir utdatert og videre erstattet av nytt utstyr fremfor å bli reparert og oppgradert. Dette er kostbart for industrien samtidig som det er en økende miljøutfordring. Ettersom det er satt økt fokus på klima og miljø er det ønskelig med mer gjenbruk av utstyr [7]. Det er derfor naturlig å foreta en evaluering av hva som kreves for at utdatert utstyr skal kunne oppnå dagens krav, samtidig som det undersøkes om dette vil være lønnsomt i forhold til kjøp av nytt utstyr.

I denne oppgaven undersøkes gjenbrukspotensialet av en umbilical reel i samarbeid med Aker Solutions. Dette er en hydraulisk operert reel med en hydraulisk umbilical som opererer kommunikasjon og styring. Denne reelen ble først brukt ved bygging av trollfeltet på starten av 90-tallet, og har deretter vært i bruk ved ulike prosjekter frem til 2011. De siste årene har reelen stått lagret uten en klar intensjon om hva den skal brukes til da den begynner å bli gammel og utdatert.

For at reelen skal kunne gjenbrukes og være mer attraktiv i markedet må den oppnå kravene innenfor standardene som settes på norsk sokkel. Reelen er snart 30 år gammel som betyr at det er kommet flere nye standarder og forskrifter siden reelen ble konstruert. NORSOK og DNV-GL er to aktuelle aktører som setter standarder på denne typen utstyr, som vil bli nærmere undersøkt i denne rapporten. Oppgaven vil derfor innebære å innhente dokumentasjon og spesifikasjoner samt å inspisere og avdekke tilstand på reel for å videre sammenligne med dagens aktuelle standarder.

Aker Solutions har et ønske om å få utstyrt reelen med en ny umbilical kabel. Denne kableen har andre dimensjoner som gjør at reelen må endres. Det vil da gjøres en undersøkelse om hvilke modifikasjoner som kreves for å kunne integrere reelen med ny umbilical. Dette vil innebære å se på trommelstørrelse, motorkapasitet og spolingsforhold sammenlignet med gammel umbilical. Deretter vil det foretas en evaluering av reparasjoner og modifikasjoner som må gjøres og kostnadene vil vurderes i forhold til nytteverdien.

## 1.1 Problemstilling

Problemstillingen kan oppsummeres i 5 hovedpunkter:

- Avklare spesifikasjoner på reel og innhente dokumentasjon.
- Inspisere og avdekke tilstand på reel.
- Definere reparasjoner og modifikasjoner.
- Utføre analyse og styrkeberegninger.
- Kost-evaluering og nytte-evaluering.

## 1.2 Mål

Oppgavens mål er å utarbeide et forslag om hvordan reelen skal oppgraderes for å kunne videreføres i Aker Solutions utleieportefølje. Det vil også være et mål om at de nødvendige oppgraderingene gir økonomisk gevinst samtidig som det gir en miljøgevinst. Aker Solutions vil ta den endelige beslutningen om prosjektet er gjennomførbart i henhold til bedriftens interesser og vil komme utenfor denne rapportens innhold.

## 2 Aker Solutions

Aker Solutions er et internasjonalt konsern som leverer ingeniørtjenester, teknologi og løsninger til olje-industrien. Selskapet stammer tilbake fra et lite mekanisk verksted grunnlagt i 1841 ved Akerselva i Oslo kalt "Akers Mekaniske Verksted". Selskapets opprinnelige fokus var satt til skipsbygging, maskinkomponenter, utstyr for kunder og shipping. Men etter hvert som oljeselskapene gjorde funn av olje og gass på 1960 tallet, ble fokuset satt mot olje-industrien [8].

Til å begynne med klargjorde og konverterte Aker eksisterende rigger til å motstå tøffe forhold i Nordsjøen. En av de første prosjektene var «Ocean Viking» som ble brukt i oppdagelsen av Norges første oljefelt, Ekofisk i 1967. Aker har også utviklet egne rigger, som for eksempel Aker H-3 som har fått stor anerkjennelse for sitt gode design. [8].



Figur 2.1: Ocean Viking ved Ekofisk [1]

Akers Mekaniske Verksted slo seg i 2002 sammen med sin tidligere konkurrent Kværner. Dette ble et økonomisk og teknisk sterkt selskap som hadde ulik kunnskap på flere områder som for eksempel skipsbygging, olje og gass, og papir og masse. Men ikke alle industriene skulle forbli under Aker-konsernet, og i 2007 ble virksomhetene som omhandlet skipsbygging og papir og masse solgt for å satse videre på olje og gass, samt å levere prosess og konstruksjon for nedstrøms-, kjemi- og gruveindustri. Sammen med Kværner i 2008, ble det nye navnet Aker Solutions annonsert. Selskapet solgte sin brønn-intervensjonstjeneste, og satt videre fokus på to hovedsegmenter, subsea- og feltdesign [8].

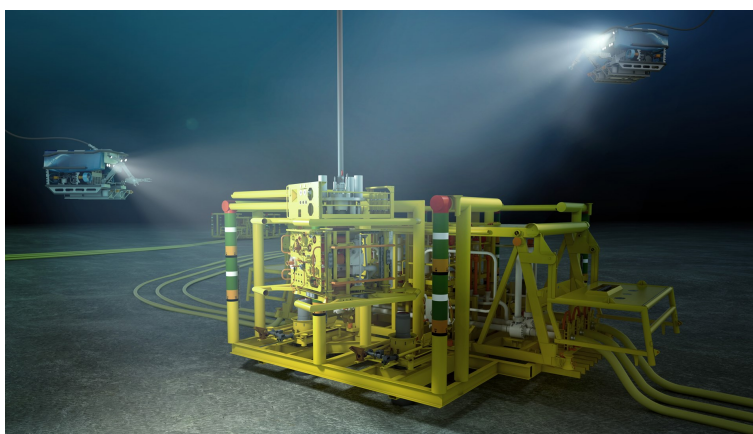
## 2.1 Ågotnes

På Ågotnes ligger Aker Solutions største servicebase med rundt 350 ansatte. Her tilbyr selskapet en rekke tjenester innenfor subseabransjen som blant annet installasjon, teknisk støtte, utleieverktøy, vedlikehold, ombygging og re-sertifisering av forskjellig utstyr. Anlegget har god kapasitet for både kontor, lagring og verksted. I 2014 åpnet Aker Solutions sitt nye kontor på Ågotnes, etterfulgt av to nye verkstedhaller og to lagerhaller i 2015. Anlegget består nå av fem verkstedhaller med test pits, test bays og clean room, to lagerhaller og et stort kontorbygg på til sammen 7000 kvadratmeter [9].



Figur 2.2: Kontorbygget til Aker Solutions på Ågotnes

Driften på Ågotnes startet i 1994 med bygging og installasjon av x-mas/subsea trees, også kalt produksjonstrær. Dette er innretninger som monteres på brønnhodet på havbunnen og kontrollerer produksjons- eller injeksjonsvæsker og fungerer som en kobling mellom brønnen og anlegg over vann. Subsea trær skulle vise seg å være god butikk for bedriften og etterspørselen fortsatte å øke. I 2011 informerte Statoil om at de trengte hele 17 overhalinger av subsea trær i året for sin produksjon av Troll og Njord feltet. Aker Solutions som på den tiden bare hadde kapasitet til 6 stykk i året kom opp med et konsept som de kalte «Pit Stop», inspirert av motorsportbransjen. Her ble prosessen effektivisert ved at ulike grupper spesialiserte seg på forskjellige segmenter av subsea treet. Denne metoden viste seg å være svært gunstig, og satte en standard for subsea bransjen på dette feltet [2]. Innen 2017 hadde Aker Solutions installert 300 subsea trær og restaurert 53 stykker fra anlegget på Ågotnes [9].



Figur 2.3: Illustrasjon av et subsea tree plasert på havbunnen [2].

Videre i årene fremover har Aker Solutions flere store avtaler hvor anlegget på Ågotnes kommer til å spille en viktig rolle når det kommer til utstyr for prosjektene. Dette innebærer blant annet å levere utstyr til nye utbygginger som Breidablikk og Troll fase-3 for Equinor, og Nova-feltet til Wintershall [9].

### 3 Metode

En metode er et verktøy som brukes for å samle inn og bruke data. «Det å være metodisk i vitenskapelig forstand er å bruke og overholde intellektuelle standarder i vår argumentasjon», skriver Dalland [10, p. 53]. Metoden skal hjelpe oss å få frem ny kunnskap på en systematisk måte. Denne kunnskapen kan innhentes på flere forskjellige måter, der man gjerne skiller metode inn i to hoved kategorier, kvalitative metoder og kvantitative metoder [10].

*Kvantitativ metode* er en forskningsmetode som baserer seg på innsamling og analyser av det man kaller kvantitativ data. Dette er data som lar seg beskrive av tall og mengder. Denne type metode er ofte brukt for å sammenligne større mengder data for å kunne gi en generalisert hypotese rundt et spørsmål. Typiske eksempler på kvantitative metoder er spørreundersøkelser, observasjoner eller målinger hvor informasjonen blir innhentet som numerisk data. Kvantitative metoder baserer seg på logikk og statistikk som gir pålitelige og etterprøvbare resultater [11].

*Kvalitative metode* baserer seg på dypere forståelse av forskningsobjektet. Dette er metoder som gir rom for beskrivelse, tolkning og erfaringer av enkelt personer, små grupper eller objekter. Dataen som samles inn er ikke numerisk men beskrevet i form av tekst. Eksempler på dette kan være dybdeintervjuer, observasjoner og tekstanalyse. I kvalitative undersøkelser vil det settes fokus på det særegne, i motsetning til en kvantitativ undersøkelse som ofte gir mer generell data [12].

Det er viktig at metoden som blir brukt er tilpasset til problemstillingen som har blitt satt. Det må reflekteres over hva som er en ideell fremgangsmetode og om denne metoden lar seg gjennomføre i praksis. Metoden må også vurderes og drøftes i etterkant av gjennomføring for å finne ut om den svarer problemstillingen [10].

#### 3.1 Vår metode

Denne oppgaven er gjennomført med ulik bruk av metode ut ifra hvilke deler av problemstillingen som undersøkes. Oppgavens omfang krever undersøkelser i ulike fagfelt hvor det vil være naturlig med forskjellige forskningsmetoder. Det er derfor vanskelig å kategorisere forskningen som typisk kvantitativ eller kvalitativ. I punktene under er det gitt en forklaring av de mest brukte metodene gjennom dette prosjektet.

##### 3.1.1 Litteraturstudie

Første delen av prosjektet kan sammenlignes med en litteraturstudie. Her innhentes det dokumentasjon og kunnskap om reelen og hva den brukes til. Aktuelle standarder studeres og evalueres opp mot reelen. Dette er en tidkrevende prosess som omfatter nøye lesing, søking og gjennomgang av kilder. Hensikten er å få et overblikk om reelens funksjon, dens tilstand og videre planlegge gjennomføring av problemstillingen. Noen aktuelle tekniske kilder og standarder blir levert av bedriften, men de har ikke mulighet til å dele alt på grunn av opphavsrett og lisenser. Derfor er mye av litteratur materialet hentet på internett hos blant annet standard.no, lovdata.no eller andre som tilbyr standarder og lovverk som gjelder for Norge og EØS.

##### 3.1.2 CAD/3D-modellering

Et viktig verktøy i denne oppgaven er 3D-modellering som ble utført i programvaren PTC Creo Parametric. Det ble tidlig i prosessen utarbeidet en CAD-modell av den originale reelen for å enkelt kunne visualisere og jobbe med problemstillingen. Dette er en interaktiv prosess hvor nye modifikasjoner kan testes ut fortløpende i samsvar med funnene som blir gjort i standardene. Det ferdigstilte designet av reelen er også utarbeidet som en CAD-modell.

##### 3.1.3 FEA (analyse)

En av fordelene med å lage modellen med CAD-verktøy er at det åpner opp for å numerisk testing av modellens fysiske egenskaper i programvaren Ansys. FEA (finite element analysis) bygger på finite element method som



gjør det mulig å ta styrke beregninger på reelens ramme eller andre komponenter. Styrken på de ulike komponentene blir visualisert og gjør det enkelt å lokalisere punktene som er mest utsatt for påkjenninger. Metoden gjør det mulig å optimalisere designet og redusere unødvendig bruk av materiale.

### **3.1.4 Arbeid på lokasjon**

Etter ønske fra både bedrift og studenter er mye av arbeidet til denne oppgaven utført på lokasjon hos Aker Solutions Ågotnes. Dette skaper et tett samarbeid mellom bedrift og studenter, og gjør det mulig å ha kontinuerlig flyt av informasjon. Mye av den generelle kunnskapen rundt tema er innhentet gjennom naturlige samtaler og små møter som oppstår hos bedriften. Det åpnet også opp muligheten for å enkelt kunne inspisere reelen fysisk etter behov. Reelen er undersøkt nøye for å oppklare og dokumentere tilstanden. Dette hadde vært krevende og tungvint å få til hvis det ikke var mulighet for å arbeide på lokasjon.

## 4 Reel

Reelen denne oppgaven omhandler ble bygget i 1993 av Hydralift AS, som senere ble kjøpt opp av et selskap som vi i dag kjenner som NOV. Den ble produsert for bruk ved utbyggingen av oljefeltet Troll som ble åpnet et par år tidligere. Her ble den operert av Hydro hvor den fungerte som en hydraulisk styreinnetning for utstyr på havbunnen. Strukturen til reelen er tilsynelatende i god stand, som gjør at den sannsynligvis vil kunne operere flere år frem i tid, men grunnet oppdateringer i regelverk og en rask utvikling i industrien er den utdatert og har vært ute av drift siden 2011.

### 4.1 Om reelen

En reel skal spole inn og ut kabler, ledninger, fiskesnelle, vaier, umbilicals eller lignende. I denne rapporten undersøkes en umbilical reel som spoler inn og ut en hydraulisk umbilical-kabel, se figur 4.1. Selv om teknologien på denne type spoleapparat er mer komplisert er prinsippet til reelen likt som ved en ordinær fiskesnelle, den skal spole ut og spole inn.



Figur 4.1: Umbilical reelen slik den står før eventuelle oppgraderinger.

Fotavtrykket til reelen er 4.2 x 3.2 meter, dens høyeste punkt er spoleren (winderen) med et toppunkt på 3.231 meter. Trommelen har en diameter på 2 m med sidevegger på 3 meter. Mer utfyllende dimensjoner finnes i arbeidstegningene, se vedlegg .1 til .18. Rammens material varierer fra ulike komponenter, hvor hulprofilene består av St.52-3 stål mens padeyes, H-bjelker, trommel, spoler og støtter/winch foundation er hovedsakelig av St.52-3N stål. I dag tilsvarende dette europeisk standard S355J2G3 ståltipe eller norsk standard NS 12 153 stål [13]. For mer detaljert material beskrivelse og henvisninger se kapittel (5.3.3) og vedlegg (A).

Reelen har en egenvekt på 7.5 tonn, og den er i dag utstyrt med en umbilical som gir den en MGW på 11.2 tonn. Umbilical-kabelen som er på reelen per dags dato er skadet og må derfor byttes ut. Det er ønskelig å utstyre reelen med en ny og mer moderne umbilical. En umbilical som vurderes er kommet tilbake med skade og skal deles opp for å kunne gjenbrukes. Den nye aktuelle umbilical-kabelen vil ha en lengde på rundt 1000 meter.

Reelen er hydraulisk drevet, hvor det hydrauliske systemet igjen er drevet av en elektrisk motor. Hydraulikk systemet består av en hydraulisk pumpe, hydraulisk motor, girutveksling og styrekomponenter til systemet. Den hydrauliske pumpen er av typen QT32-12 og har et normalt trykk på 250 bar med mulighet til et maksimaltrykk på 320 bar i kortere perioder. Per i dag er maksimalt arbeidstrykk satt til 200 bar etter ombygging av winder. Pumpen har et nominelt deplasement på 12 bar og leverer 18.3 liter per minutt. Denne er drevet av en elektrisk

motor som krever ekstern strømforsyning. Hydraulikkmotoren som driver reelen, er en forskyvningsmotor med aksialt konisk stempeldrift [14].

Frem på reelen er det påmontert en spoler (winder) som beveger seg horisontalt i takt med reelen ved hjelp av et gir. Dette styrer umbilicalen til å legge seg parallelt, lagvis, kompakt og forutsigbart. På denne måten kan mengden umbilical som får plass lett forutsees slik at man unngår risiko som kan oppstå ved ujevn sammenrulling. Spolen har siden produksjon blitt oppdatert for å gi den en økt vertikal vinkel oppover, den nye vinkelen er 29 grader i vertikalretning, noe som er en økning på 9 grader. Vinkeløkningen er laget fordi reelen mater ut umbilical til en «gooseneck» som skal videreføre umbilicalen ut i sjøen. Denne goosenecken må være høyere enn reelen.

Når en umbilical er påmontert reelen vil den ikke fjernes eller kobles av med mindre den skal byttes ut, reelen er derfor utstyrt med overganger som vil gjøre det mulig for umbilicalens innhold og funksjoner til å bli transportert videre. Den har derfor en påmontert plate med 25 overganger hvor fairleads kan kobles på slik at umbilicalen kan fjern-opereres i et «remote operating system» (ROS). ROS er plassert i en tilhørende container til reelen.

Reelens operative funksjoner består av: av og på knapp, start, stop og nødstop knapper samt en opp og ned spake. Dette kontrollpanelet finnes også på en fjernstyrer som er koblet på en 30 m lang kabel, som gjør det mulig for en operatør å kontrollere reelen fra en forsvarlig avstand.



Figur 4.2: Kontrollpanel

## 4.2 Data sheet

Det er vanlig at denne type utstyr kommer med et data-sheet som er en oversikt over ulike komponenter og egenskaper ved enheten. Data-sheeten til denne reelen manglet og det er derfor utarbeidet et data-sheet i etterkant med den relevante informasjon som var mulig å hente ut fra de dokumentene som ble utlevert av Aker Solutions [14]. Dette data-sheetet viser fysiske størrelser, vekt og andre spesifikasjoner ved reelen.

<b>Ramme</b>		
<b>Punkt</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Krav</b>
1	Ramme	DNV Lifting Appliances
2	Maks vekt, ramme og utstyr	11 200 kg
3	Vekt reel uten umbilical	7500 kg
4	Maks ramme footprint (L x W x H)	4200 x 3200 x 3600mm
5	ATEX	Sone 2
6	DNV 2.7-1 løfteutstyr	Ja
7	Trucklommer	Nei
8	ISO corners	Nei
9	Deck bracket	Ja
10	Sea fastening	Nei
11	Lokalt kontroll panel	Ja
12	Låsebolt	Ja
13	Beskyttelsesdører rundt roterende utstyr	Nei
14	Spolesystem	Topp-spoling
<b>Trommel</b>		
<b>Punkt</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Krav</b>
1	Trommel vekt	2610.7 kg
2	Trommel indre radius	1000 mm
3	Maks kapasitet umbilical lengde	500 m
4	Maks design umbilical lengde	500 m
6	Bottom/top entry	Top
7	Umbilical vekt	3700 kg
8	Trommel vekt med umbilical	6310.7 kg
12	Lengde mellom indre trommel ender	1455 mm
13	Lengde mellom ytre trommel ender	1485 mm
14	Trommel vanger ytre diameter	3000 mm

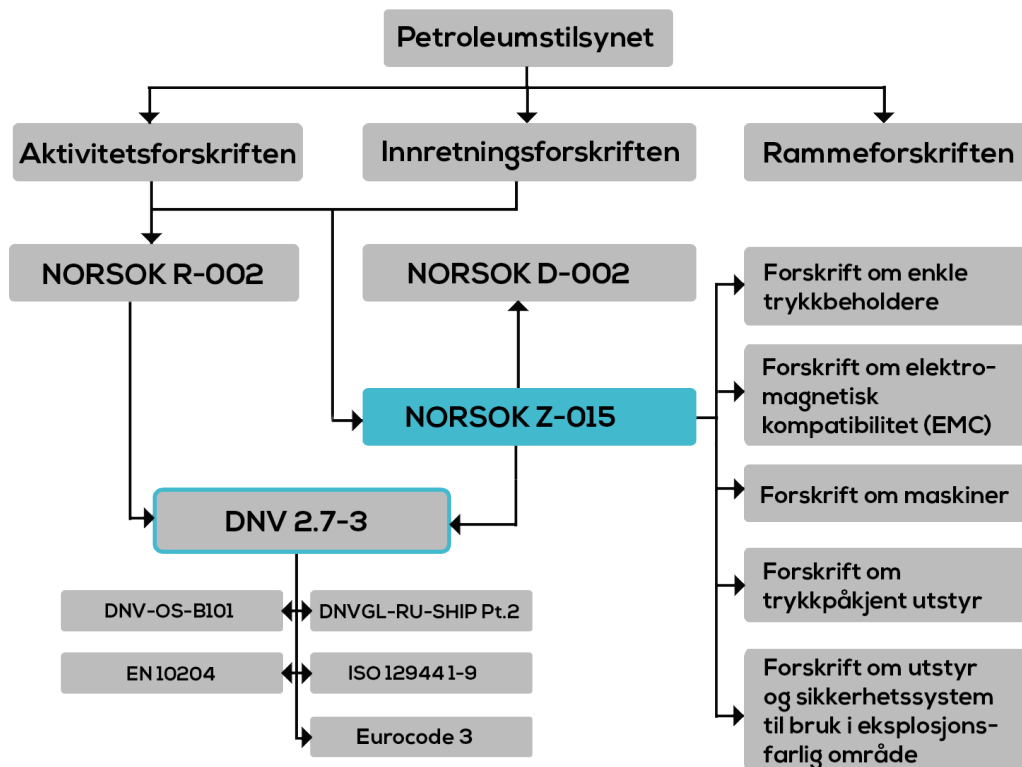
Tabell 4.1: Data sheet (Original reel)

## 5 Krav til midlertidig utstyr

Det er nødvendig å gjøre en evaluering av reelen med tanke på hvilke krav som stilles til denne type utstyr. Regler og forskrifter må følges for å sikre at produktet er lovlig å distribuere både i Norge og internasjonalt. For å lettere sørge for at kravene som stilles blir opprettholdt brukes det standarder. Standarder er hjelpemidler som kan sammenlignes med en oppskrift for hvordan produktet skal oppnå de lovpålagte kravene. Standarder sørger også for at produsenter følger et felles utgangspunkt som forenkler samspill mellom ulike aktører. Mange standarder er frivillig å følge, men vil øke integriteten, sikkerheten og konkurransedyktigheten av et produkt [15]. Dette kapittelet vil gi en oversikt over relevante forskrifter og standarder som er funnet under evalueringen med hovedfokus på reelens konstruksjon. Figur 5.1 viser en oversikt rundt aktuelle forskrifter og standarder.

Staten har høy interesse av å regulere norsk petroleumsnæring strengt for å unngå uønskede hendelser. Det er derfor opprettet egne etater og departementer som har det overordnede ansvaret rundt helse, miljø, sikkerhet og beredskap i oljevirkksomhet på norsk sokkel. Petroleumstilsynet (Ptil) er et statlig direktorat som setter rammer rundt virksomheter, og følger opp aktører i olje og gass relaterte næringer [16]. Det er derfor aktuelt å starte med forskrifter presentert av Ptil i denne rapporten. Relevante forskrifter for konstruksjon av en umbilical reel vil falle inn under rammeforskriften, innretningsforskriften og aktivitetsforskriften.

Fra figur 5.1 ser man at de aktuelle forskriftene nevnt ovenfor peker videre til NORSOK standardene; Z-015 Midlertidig Utstyr, R-002 Løfteutstyr, D-002 Brønnserviceutstyr. NORSOK er en felles standard utviklet av og for oljebransjen på norsk sokkel og har de seinere årene også fått internasjonal anerkjennelse. Standarden skal sørge for økt sikkerhet, verdiskapning og effektivisering av bransjen. Aker Solutions har rådet oss til å bruke NORSOK Z-015 som veiledende standard for dette prosjektet. Det er viktig å merke seg at bruk av anerkjente normer er frivillig i den forstand at andre løsninger kan bli valgt dersom en kan dokumentere at kravene til forskriftene blir oppfylt [17].



Figur 5.1: Oversikt over forskrifter og standarder

## 5.1 Norsok Z-015 Midlertidig utstyr

NORSOK Z-015 er en norsk standard som dekker minimumet av teknisk og sikkerhetsmessige krav til midlertidig utstyr som benyttes på installasjoner på norsk sokkel. Dette innebærer vedlikehold, design, sertifisering og testing av det midlertidige utstyret. Standarden kategoriserer utstyr inn i forskjellige kategorier som vist i tabell 5.1 og 5.2. Fra tabellene ser man at reelen er et midlertidig utstyr av type U07 Brønnserviceutstyr. Det kommer frem fra standarden at ramme og løfteutstyr på denne type utstyr skal designes etter *R-002 Løfteutstyr* og *DNV 2.7-3 Portable Offshore Units*. Standarden referer også til NORSOK D-002 når det kommer til detaljekrav på ulike type brønnserviceutstyr. [18]

Type	Beskrivelse	Underpunkt
U01	Diselmotor	5.3.1
U02	Luftkompressor	5.3.2
U03	Tanker	5.3.3
U04	Anlegg for høytrykk spyling	5.3.4
U05	Dampkjele	5.3.5
U06	Mobilkran	5.3.6
U07	Brønnserviceutstyr	5.3.7
U08	Habitat for varmt arbeid klasse A	5.3.8
U09	Utstyr for avfallshåndtering	5.3.9
U10	Pneumatisk/hydraulisk pumpeutstyr	5.3.10
U98	Ikke Ex-sertifisert på ramme	5.3.11
U99	Ex-sertifisert utstyr på ramme	5.3.12

Tabell 5.1: Oversikt over utstyrstyper fra Norsok Z-015 - Midlertidig utstyr

Enhet	Sjekkliste, spesielle krav
"Wireline winch" m/operatørkabin	Utstyrstype U07
"Wireline logging unit"/ datasamlingscontainer	Containertype B
"Wireline mast"	Utstyrstype U07
"Coiled tubing", spolesystem (Reel enhet")	Utstyrstype U07
"Coiled tubing injector"	Utstyrstype U07
Kontrollkabin	Containertype B
Fjernstyrt BOP - kontrollpanel	Utstyrstype U07
Kraftaggregat, diesel	Container type G, Utstyrstype U01
Kraftaggregat, elektrisk	Containertype Z, Utstyrstype U07
"Workover control container", for subsea operasjoner	Containertype B

Tabell 5.2: Krav til ulike brønnserviceutstyr fra Norsok Z-015 - Midlertidig utstyr

## 5.2 Norsok R-002 Løfteutstyr og Norsok D-002

Fra *Tillegg F - Portable Units* i denne standarden blir man direkte henvist til *DNV 2.7-3 Portable Offshore Units*. Videre kommer det frem at operasjonsklasse R60 skal forekomme i norsk oljeproduksjon. Dette er maksimum operasjonstilstand som utstyret kan behandles i, som gir en maksimal bølgehøyde  $H_s = 6m$  [19].

Norsok D-002 beskriver detaljekravene til ulike typer brønnservice utstyr inkludert reel og lister opp kravene som blir satt som vist i vedlegg C.9 [18].

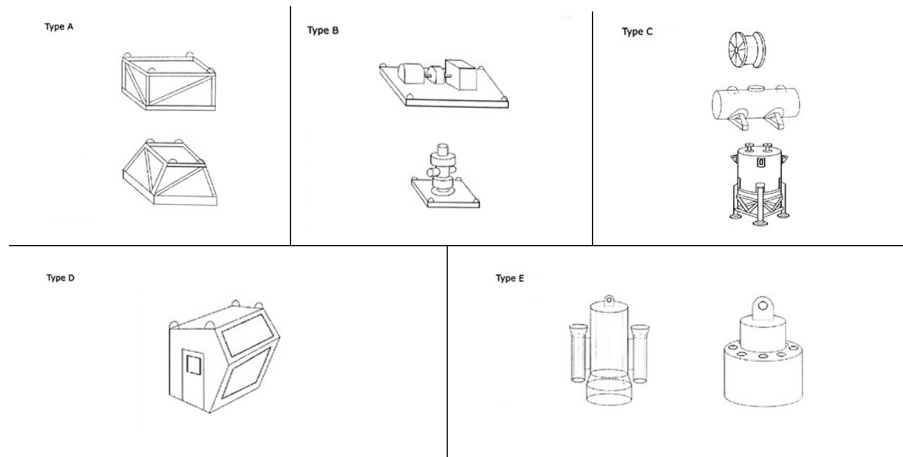


### 5.3 DNV 2.7-3 - Portable Offshore Units (POU)

Tidligere har denne type enhet og lignende utstyr blitt designet i henhold til DNV's 2.7-1, men da 2.7-3 kom ut i 2006 skulle denne standarden effektivisere design, produksing, testing og sertifisering av POU [3]. Denne standarden går nærmere inn på de tekniske kravene, hvor relevante punkter er presentert i underkapitlene nedenfor.

#### 5.3.1 POU type

Standaren grupperer POUs inn i fem ulike typer fra A til E som vist i figur 5.2.



Figur 5.2: Eksempler på POU typer [3]

Type A er beskrevet som en hovedstruktur-ramme inkludert kollisjonsramme. Denne typen inneholder typisk pumper, generatorer, reel enheter og trykk enheter. Derfor faller reelen inn under type A som brukes til videre evaluering [3].

I fra underkapittelet om R-002 Løfteutstyr kom det frem at det er krav om at Reelen inngår i klasse R60 -  $H_s=6.0m$  for å kunne brukes i norsk olje produksjon. Ut i fra tabell 5.3 kan man lese av at reelen må ha en «lav risiko operasjon».

Type	Risk	MGW	Class
A	Low	$MGW \leq 25 \text{ t}$	<b>R60</b>
A	Low	$MGW > 25 \text{ t}$	<b>R45</b>
A	High	$MGW \geq 25 \text{ t}$	<b>R45</b>
A	High	$MGW > 25 \text{ t}$	<b>R30</b>
B	Low	$MGW \leq 15 \text{ t}$	<b>R60</b>
B	Low	$MGW > 15 \text{ t}$	<b>R45</b>
B	High	$MGW \leq 15 \text{ t}$	<b>R45</b>
B	High	$MGW > 15 \text{ t}$	<b>R30</b>
C	High	$MGW \leq 15 \text{ t}$	<b>R45</b>
C	High	$MGW > 15 \text{ t}$	<b>R30</b>

Tabell 5.3: Makimum operasjonsklasser [3]

### 5.3.2 Risikoevaluering

Listen under er hentet fra DNV 2.7-3 og brukes for å vurdere risikoen til POU [3].

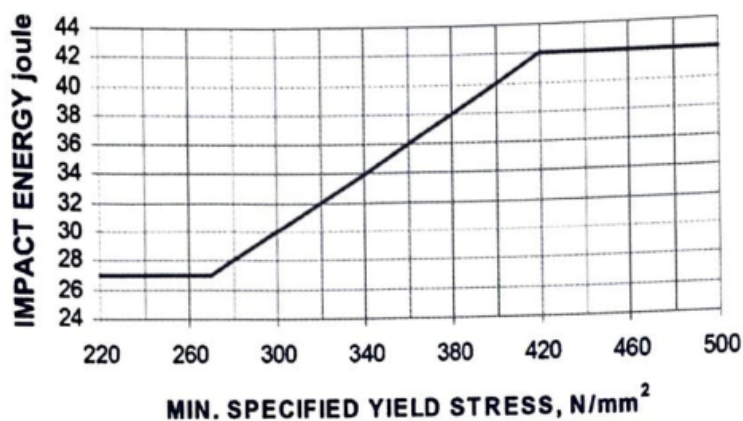
- A) Innstalert/transportert utstyr er sensitiv for støt.
- B) Utstikkende deler hvor krankroken og/eller løftesettet kan feste seg under spenning.
- C) Utstikkende deler som kan skade og/eller sette seg fast på andre (transporterte) gjenstander eller på transportfartøyet.
- D) Mangel på takbeskyttelse slik at det anses som mulig for krankroken å hekte seg på gjenstander inne i POUen ved uhell.
- E) Løftepunkt der de er i en posisjon der de kan bli skadet av støt.
- F) Mangel på skikkelig krasjramme og det er installert/transportert utstyr som kan bli skadet på grunn av støt.
- G) POUer med eksepsjonell geometri eller uvanlig stor størrelse.
- H) Løftesett og spredebar.

For at reelen skal bli kvalifisert til lav risiko kan ikke en av punktene tydelig forekomme eller at to av punktene delvis er tilstedet [3]. Det må derfor gjøres en vurdering ut ifra disse punktene for at reelen skal holde seg i godkjent klassifiserings område R60.

### 5.3.3 Material

Det er ulike regler for hvilke material som kan forkomme på en POU. Tykkelse, ståltype og temperatur er faktorer som må vurderes. Minimum materialtykkelse for ytre rammeverk skal for POUen være 6 mm, og for andre ikke-essensielle laster være 4 mm ettersom reelen er mellom 1 og 25 tonn. Akseptable tykkelser skal også bli vurdert for hvert punkt. Design temperaturen for omgivelsene skal heller ikke være over den laveste temperaturen en har daglig for der en opererer [3].

Ståltypen vurderes etter standarden DNV-OS-B101 eller ASTM A370. Krav til påvirknings energi vil være avhengig av minimum flytegrense og skal ikke være mindre enn spesifisert i figur 5.3



Figur 5.3: Minimum påkjennings energi [3]

Det skal også utarbeides et arbeidssertifikat av typen 3.1 fra standarden EN 10204 som gjør det mulig å identifisere materialet som er bruk i hovedstrukturen [3].

### 5.3.4 Løftepunkt

Reelen har fire padeyes (løftepunkter), ett for hvert hjørne i toppen av rammeverket. Dimensjonene og styrken til padeysene må kontrolleres opp mot DNV 2.7-3, og da eventuelle påbygg vil øke vekten til reelen må dette også tas i betraktning. Basert på reelens operasjonsklasse og MGW er det krav om at designfaktoren regnes ut med ligning (5.1) [3].

$$DF = 1.4 + 0.8 \cdot \sqrt{50/MGW} \quad (5.1)$$

Denne designfaktoren kan videre brukes for å finne vekt-kraften reelen vil ha på sine omgivelser: ((DNV 2.7-3: 3.5.1))

$$F_{Vmin} = 0.7 \cdot MGW \cdot g \quad (5.2)$$

$$F_{air} = DF \cdot MGW \cdot g \quad (5.3)$$

Resulterende slyngekraft (RSF) hos en enkelt padeye beregnes ved hjelp av vekt-kraften etter formel (5.4). Her taes det utgangspunkt i at tyngdepunktssenteret (CoG) settes i sentrum av løftepunktene. For usymmetrisk CoG vil beregningen være noe endret (se vedlegg .20 til .23). PL er prosentlasten og SKL er skew load effect. Vinkelen  $v$  måles mellom slyngen og dens vertikale akse. Det er gitt en generell anbefaling om at vinkelen bør tilegnes en verdi på mellom 30 til 45 grader [3].

$$RSF = \frac{1.2 \cdot SKL \cdot PL \cdot F}{Cos(v)} \quad (5.4)$$

Videre krav tilsier at utvendig radius av platen ikke skal være mindre enn radius av pin-hullet og at diameter-differansen mellom løftehullet og sjakkelpinnen bør være så liten som mulig. Ved «out of plane loading» bør den ikke være mindre enn 94% av hullet, noe som også er en god retningslinje for andre løft [3].

Det er også krav for beregning av radius og tillatt stress for padeyes. Radiusen av padeyes beregnes fra formelen (5.5).  $R_{pl}$  er korteste lengde fra senter av padeyens hull til kanten av platen,  $t_{pl}$  er tykkelsen til padeye-platen.  $R_{ch}$  og  $t_{ch}$  er radius og tykkelse av cheek plates,  $t$  er tykkelsen til padeye-platen ved pin-hullet hvor cheek plate er inkludert.

$$R_{pad} = \frac{R_{pl} \cdot t_{pl} + R_{ch} \cdot t_{cht}}{t} \quad (5.5)$$

I appendixen til DNV 2.7-3 (A.3 og A.4) stilles det krav til det tillatte stresset padeyesene kan oppleve ved løfteoperasjoner. Bearing pressure regnes ved hjelp av formel 5.6. Her er det krav om at pin diameteren er 94% eller større i forhold til padeye-hullet. Dersom den ikke er det må en alternativ formel fra DNV 2.7-3: A.3 brukes, se vedlegg: .20.  $E$  er elastisitetsmodulen til stålet og  $D_H$  er diameteren til pin-hullet.

$$\sigma_e \geq 0.045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t}} \quad (5.6)$$

«A.4 Tear out» kravet regnes ut ved formel (5.7). Dette er for å sikre at materialet ikke vil gi etter med gitte dimensjonsforhold mellom  $R_{pad}$  og diameter til pinhole samt plate tykkelse og bredde. Tear out sjekkes i den retningen slyngene trekker i reelens padeyes for å løfte den [3].

$$\sigma_e \geq \frac{2 \cdot RSF}{(2 \cdot R_{pad} - D_H) \cdot t} \quad (5.7)$$

### 5.3.5 Sveis

Sveiste forbindelser dekkes også av DNV 2.7-3 standarden. Her beskrives det i punkt 3.4.5 *Sveising* at sveiste forbindelser som vil få påkjenning av essensielle laster skal være fullt gjennomsvetset [3]. Det vil si at de fleste sveiser på rammen må være buttsveiser med full gjennomsvetting.

I punkt 3.4.5 *Sveising* refererer standarden til formel 5.8 for maksimalt akseptabel lastpåkjenning i sveisen. Her er  $\sigma_{ea}$  tillatt belastning og  $R_e$  er flytegrense for svakeste ledd i forbindelsen [3].

$$\sigma_{ea} = 0,85 \cdot R_e \quad (5.8)$$

Det kommer også frem at hvis kilsveiser blir brukt i områder som utsettes for essensielle laster skal det legges til en utnyttelsesfaktor som er gitt av tabell 5.4.

Sveis	Kilsveis	Delvis gjennomsvetset
Enkelt tilfelle	0,8	1,0
Flere tilfeller	0,6	0,8

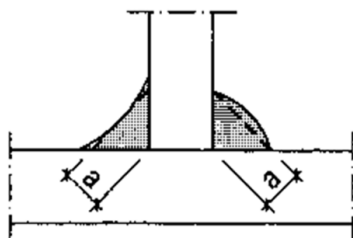
Tabell 5.4: Utnyttelsesfaktor ved kilsveis [3]

Til å regne ut den teoretiske styrken på kilsveisen rundt løfteørene på reelen brukes formler hentet fra Eurocode 3, se formel 5.9 og 5.10 [4]. Kilsveisen må være dimensjonert i henhold til begge formlene hvor alle spenningskomponentene illustrert i figur 5.4 er tatt i betraktning.

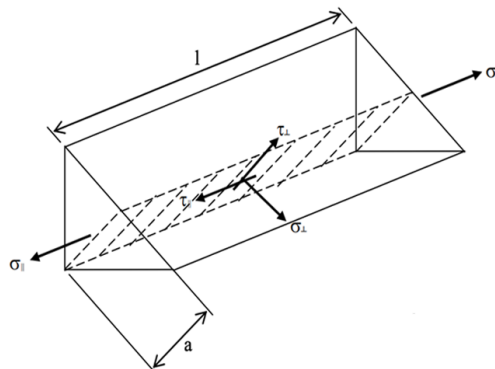
$$\sigma_{opptr.} = \sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \sigma_{dim.} = \frac{f_u}{\gamma_M \cdot \beta_w} \quad (5.9)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_M} \quad (5.10)$$

Kilsveis:



Dekomponerte krefter i fuger:



Figur 5.4: Illustrasjon av spenningsbilde i en kilsveis [4]

For at sveisen skal være godkjent må sveisere som skal utføre sveisingen være kvalifisert av DNV GL og følge de aktuelle standarder for sveisere; DNVGL-OS-C401, EN ISO 9606-1, EN ISO 9606-2 eller ASME BPVC-IX. Sveiseprosedyren, klassifiseringen og godkjenningen skal utføres i samsvar med en relevant standard for eksempel DNVGL-RU-SHIP Pt.2 Ch.2. Det skal også utformes en WPS (welding procedure specification) som minimum må inneholde de relevante punktene som er gitt i vedlegg C.1 [3].

Alle sveiser som inngår i hovedstrukturen skal gjennomgå NDT (Non Destructive Testing). NDT er ulike ikke-destruktive metoder for å teste og avdekke eventuelle feil i sveisen. Det er ulike krav for hva type NDT som skal utføres ut i fra hva type sveis som er gjennomført. Alle sveiser skal minimum være 100% visuelt sjekket som presentert i figur 5.5, før eventuelle andre tester. Prosenten forteller hvor mye av sveisens lengde som skal inspiseres. NDT skal utføres av kvalifisert personell etter kravene fra DNVGL-CG-0051 [3].

Struktur kategori	Type sveis	I. Visuell	II. Magnetpartikkel (1)	III. Ultralyd (2)	IV. Radiografi (4)
Primær – essensielle	Buttsveiser	100%	100%	-	100%
	T-sveiser – fullt gjennomsvisset	100%	100%	100%	-
	T-sveiser – kilsveiser og delvis gjennomsvisset	100%	100%	-	-
Primær – andre	Buttsveiser	100%	20%	-	10%
	T-sveiser – fullt gjennomsvisset	100%	20%	20%	-
	T-sveiser – kilsveiser og delvis gjennomsvisset	100%	20%	-	-
Sekundær	Alle typer	100%	Spot (4)	Spot (4)	Spot (4)
1) Det skal benyttes farge-penetrant der magnetpartikkel-undersøkelse ikke er mulig. 2) Avhengig av materialtykkelse og geometri. 3) Kan delvis eller fullstendig erstattes av ultralydtesting etter avtale. 4) Spot betyr stikkprøvekontroll etter kontrollørens vurdering, normalt 2-5%					

Figur 5.5: Oversikt over hvilke NDT som skal utføres [3].

### 5.3.6 Analyse, testing og akseptable kriterier

Ved bygging eller endring av opprinnelig MGW må det gjøres analyser for å fastsette at strukturen i rammen er tilstrekkelig ved løfting, støt, frakting og andre relevante krefter som kan oppstå.

Det er kun hoved-skrukturen som skal bli testet, dette vil si den beskyttende ramen rundt utstyret. Manuell utregning, 3-dimensjonel analyse og FEM-analyse er akseptable analyser for styreberegning.

POUen skal analyseres for alle relevante kombinasjoner som kan oppstå ved løfting. Her er det krav om en designfaktor som regnes ut ved formel 5.11 [3].

$$DF = 1.4 + 0.8 \cdot \sqrt{50/MGW} \quad (5.11)$$

Design lasten skal kalkuleres basert på  $F$  i kN, og skal beregnes ut i fra bruksområdet til POUen. I dette tilfelle vil lasten være basert på formelen:  $F_{Air} = DF \cdot MGW \cdot g$  for 4 punkts løft og  $0.6 \cdot F_{Air}$  for 2 punkts løft. Resultatet fra analysen skal i ingen tilfeller overstige  $0.85 \cdot R_e$  (yield strength) og skal sjekkes for knekking basert på godkjente standarder [3].

Det skal også sjekkes for horisontale og vertikale støtbelastninger som kan oppstå ved løfting og nedsetting av POUen. Lasten skal virke vinkelrett av flaten og skal gjennomføres ved å bruke statiske krefter som er tilsvarende støt-belastningen ved å bruke formel 5.12 både horisontalt og vertikalt [3].

$$F_I = 0.08 \cdot 2.5 \cdot MGW \cdot g \quad (5.12)$$

Styrken, festepunkt og stabilitet skal kontrolleres for belastninger fra akselerasjon og trykk forårsaket av vind som kan oppstå ved transport. Disse kreftene blir regnet ut fra formlene 5.13 - 5.15

$$F_H = MGW \cdot g \quad (5.13)$$

$$F_{Vmax} = 1.3 \cdot MGW \cdot g \quad (5.14)$$

$$F_{Vmin} = 0.7 \cdot MGW \cdot g \quad (5.15)$$

I tillegg til disse kreftene skal det også påkjennes en horisontal statisk vindkraft på  $1.0 \text{ kN/m}^2$ . Her gjelder også sikkerhetsfaktoren som nevnt tidligere ( $\sigma = 0.85 \cdot R_e$ ) [3].

Det skal gjennomføres en drop test eller en analyse tilvarende dette. Studentversjonen av Ansys har begrensninger som gjør at dette ikke er mulig å gjennomføre som en analyse. Det vil derfor være opp til Aker Solutions om de vil gjennomføre en fysisk drop test etter ombygging eller å sende en arbeidsordre til FEA gruppen.

Kravene til en drop test er en rask avkobling av krok og en minimums høyde på 5 cm, slik at POUen oppnår en hastighet på minst 1 m/s. Innvendig utstyr skal være sikret [3].

### 5.3.7 Korrosjonsbestandighet

For korrosjonsbeskyttelse ved maling av reelen henvises det fra DNV 2.7-3 til ISO 12944- 1 til 9. Enheten skal tåle offshoremiljøet som vil si at den må være korrosjonsbestandig og beskyttes derfor ved hjelp av maling. Her kommer det frem at belegget skal være medium permanent non-slip. Beskyttelsen er delt inn i 5 hovedkategorier ut i fra hvilke miljø den skal tåle, C1 til C5 med en ekstra CX klasse som gjelder for ekstreme tilfeller. Her er C1 veldig lav korrosjon og C5 veldig høy korrosjon. Tabell for valgt miljøklasse og malings system er hentet fra ISO 12944-2 og vist i vedlegg (C.10) [20].

Det er viktig å bemerke at tabellen kun er ment som en veiledning med estimerte verdier og at kun en faktisk måling av massetap og tykkelsestap vil kunne gi godkjente resultater og en endelig definisjon av den nødvendige malingen.

Tykkelse på maling, antall lag og blanding vil være avhengig av hvilken holdbarhet man ønsker. Malingstype og holdbarhet er definert i tabellene C.1 – C.6 fra ISO 12944-5 Annex C, hvor man kan variere fra low (l, inntil 7 år), til very high (vh, mer enn 25 år), antall år er definert i ISO 12944-1. [20].

Tabellen som brukes skal være i samsvar med hvilken miljøklasse man har definert. Fra tabell C.1 – C.6 vil også malingstypen defineres, her kan man velge base fritt, tabellen skiller mellom sinkbaserte baser og alle andre baser. Videre vil man kunne bestemme hvilke ekstandere som er aktuelle i forhold til korrosjonsbestandighet og base.

### 5.3.8 Produktdokumentasjon, markering og informasjon

For hver enhet skal det være dokumentasjon som dokumenterer grunnleggende egenskaper og prosedyrer ved produktet. Dette vil inkludere blant annet arbeidstegninger, styrkeberegninger og materialrapporter. En fullstendig liste over hva som skal være med i produktdokumentasjonen er lagt til i vedlegg C.4 [3].

POUen skal også markeres med godt synlig informasjon på en egnet plassering og innholde følgende:

- A) Operasjonsklasse
- B) MGW, Tare load og Payload [KG]
- C) Spesielle operasjonshåndteringer
- D) Andre sikkerhetsmarkeringer krevd av DNV

I tillegg til markeringen skal det lages en informasjonsplate og en inspeksjonsplate, laget av korrosjonsmotstendig materiale. Språket skal være på engelsk og kan se ut som i figur .27 og .28 fra vedlegg C.5 [3].

### 5.3.9 Løftesett

Beregninger og dimensjonering av slyngesett blir i hovedsak sett bort i fra i denne oppgaven, men anbefalt vinkel for løft og WLL blir brukt til beregninger av løftepunktene og sjaklene. Her brukes anbefalingene fra DNV 2.7-3 avsnitt 7 – *Desig of lifting sets*. I 7.3.1 kommer det frem at vinkelen til løftesettet bør være mellom 30 og 45 grader. Videre brukes utregningene for WLL fra 7.3.3 – shackles, til å sjekke at sjaklene som er funnet vil tåle vekten til reelen. WLL er oppgitt ved hjelp av to formler [3]. Hovedregelen er følgende formel, hvor SF ikke skal overstige 6:

$$WLL \geq \frac{2.25}{SF} \cdot \frac{RSF}{g} \quad (5.16)$$

Siden det ikke er funnet spesifikasjoner på out-of-plane loading sin påvirkning på sjaklene, må følgende formel sjekkes:

$$WLL \geq \frac{2.25 + 0.05 \cdot \text{ang}}{SF} \cdot \frac{RSF}{g} \quad (5.17)$$

ang settes lik out-of-plane vinkelen som er satt til analysene.

Enda et krav for sjaklene er at de skal ha bolt med mutter og pin for å låses fast, noe annet vil ikke godkjennes.

For et komplett slyngesett må kravene spesifisert for slyngene i 7.3.2 være oppfylt. Dette sier at for en klasse R60 POU med gjentatt bruk er enten vaier med diameter på minimum 16 mm eller kjetting med minimum diameter på 10 mm påkrevd. Samtidig skal de ha en  $MBL \geq 2 \cdot RSF$ . Videre vil kravet til master link (7.3.5) være at den skal tåle WLL tilsvarende sammenlagt WLL for alle sjaklene og at den skal tåle total MBL fra slyngene [3].

## 5.4 Z-015 Samsvarserklæring

Det skal utarbeides en samsvarserklæring gitt i Norsok Z-015 vist i vedlegg C.8. Dette er en oversikt over hvilke krav utstyret er godkjent etter. Her fremkommer for eksempel godkjennelse for ex-sone og at utstyret er i henhold til de ulike forskrifter og direktiver [5].

I underkapitlene under, gjøres en evaluering om forskriftene som er nevnt i samsvarserklæringen er relevant eller ikke. Mange av de punktene som inngår under disse forskriftene er dekket av de standardene som tidligere er nevnt. Det blir derfor bare nevnt nye punkter eller der forskriftene gir tydeligere informasjon.

### 5.4.1 Krav til Ex-klasse i forhold til plassering

Utstyr til midlertidig bruk skal i utgangspunktet ikke ha noen tennkilder, og det kan brukes som utgangspunkt ved produksjon av slikt utstyr. Dette betyr at punktene under som er hentet fra NORSOK Z-015 skal være standardkrav:

- A) "Utstyr og komponenter som skal kunne brukes uten begrensning med hensyn til plassering om bord skal være Ex-godkjent for bruk i sone 1, IIA-T3." [5]
- B) "Utstyr som er godkjent for bruk i sone 2, kan brukes i sone 2 og i ikke-eksplosjonsfarlig område, forutsatt at det har tennkilde nedstengning (for kritisk utstyr kan dette være manuell nedstengning basert på prosedyre)." [5]

Ved enkelte anledninger vil utstyret kunne godkjennes selv om det avviker fra punktene gitt ovenfor. Dersom utstyret får krafttilførsel fra et system som har tennkildeutkobling på laveste nivå, som vil si at alle mulige tennkilder stenges ved tap av spenning. Og at plassering av utstyret er klarert av en ansvarlig person i selskapet, kan det gjøres unntak i kravene som stilles til ex-klassen i forhold til plasseringen. Det må da legges ved i sjekklis-tene at utstyret har særskilt godkjennelse. Denne informasjon skal også komme frem i samsvarserklæringen [5].

Figur 5.6 viser tabellen fra Z-015 og viser til sonene de ulike utstyret kan stå i. Denne er basert på ex-klasse, mekanisk ventilasjon og gassdetektor i luftinntak.

Pkt	Containerens utrustning			Godkjente plasseringer		
	Utstyrets Ex-klasse	Mekanisk ventilasjon	Gassdeteksjon	Sone 1	Sone 2	Uklass.
1	Godkjent sone 1	Ingen	Nei	x	x	x
2	Godkjent sone 2	Ja, med overtrykk og luftsluse	Ja	x	x	x
3	Godkjent sone 2	Ja (alt. naturlig vent.)	Nei		x	x
4	Godkjent sone 2	Ingen (tett design)	Nei			x
5	Ingen	Ja, med overtrykk og luftsluse	Ja	x	x	x
6	Ingen	Ja, med overtrykk	Ja		x	x
7	Ingen	Ja	Ja			x
8	Ingen	Ingen	Nei			Se 4.5.1. punkt e)

Figur 5.6: Plassering i soner [5]



#### 5.4.2 Utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område (ATEX)

Hensikten med denne forskriften er å sørge for at utstyr og maskiner tilgjengelig på det europeiske markedet ikke utgjør en eksplosjonsfare av seg selv eller i eksplosive miljøer [21]. Forskriften gjør seg relevant i følgende punkter fra § 2. *Virkeområde*;

- «Forskriften gjelder for utstyr og sikkerhetssystemer til bruk i eksplosjonsfarlig område»[21]
- «Forskriften gjelder også for petroleumsvirksomhet på norsk kontinentalsokkel med unntak av § 3 bokstav e.»[21]

Etter ønske fra Aker Solutions er det satt et mål om at utstyret skal kunne kategoriseres innenfor utstyrskategori 1. Dette er det nest høyeste kvalitetsnivået på eksplosjonssikring. Utstyr som skal være kvalifisert i utstyrskategori 1 må følge kravene i vedlegg I fra forskriften. I tillegg kommer det frem fra § 5. *Grunnleggende helse- og sikkerhetskrav* at utstyret skal følge sikkerhetskravene gitt i vedlegg II i forskriften. Det må derfor evalueres om reelen er innenfor kravene som stilles i både vedlegg I og II fra denne forskriften [21]. De relevante kravene fra vedlegg I som stilles til utstyrsgruppe 1 er hentet direkte fra forskriften og presentert nedenfor.

«Utstyr i denne kategorien skal, også når det oppstår sjeldne feil i forbindelse med utstyret, være funksjonsdyktig i eksplosiv atmosfære og være forsynt med verneinnretninger slik;»[21]

- «at det ved feil på en av verneinnretningene er minst én annen selvstendig verneinnretning som sikrer det vernenivået som kreves,» [21]
- «eller dersom det oppstår to feil uavhengig av hverandre, at det vernenivå som kreves, fortsatt er sikret. Utstyr i denne kategorien skal oppfylle tilleggskravene nevnt i nr. 2.1 i vedlegg II». [21]

De relevante kravene som kommer frem i vedlegg II fra forskriften er oppsummert og presentert i vedlegg C.6

#### 5.4.3 Enkle trykkbeholdere

Forskriftens hensikt er å sørge for at trykkbeholdere som er tilgjengelig på det norske markedet opprettholder generelle krav om sikkerhet. Forskriften gjør seg relevant i § 2. *Virkeområde punkt 2*, «Forskriften gjelder også for petroleumsvirksomheten på norsk kontinentalsokkel» [22]. Dette vil si at det kreves en gjennomgang av forskriften hvor det evalueres om den hydrauliske tanken ligger innunder spesielle krav.

Fra § 6. *Beholdere som er unntatt fra grunnleggende sikkerhetskrav* står det at hvis trykket i beholderen ikke overstiger  $PS \cdot V = 50\text{bar} \cdot l$  vil de generelle kravene i denne forskriften være irrelevant [22]. Den aktuelle tanken i dette tilfelle vil ikke ha et trykk på høyere enn  $50\text{bar} \cdot l$  da den ikke er trykkpåsatt. Det kan derfor argumenteres for at denne forskriften ikke vil være relevant for dette utstyret.

#### 5.4.4 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)

Denne forskriften skal sikre at utstyr som avgir noe form for elektromagnetisk stråling ikke skal forstyrre eller bli forstyrret av annet utstyr i form av elektromagnetisk interferens. Forskriften gjelder for alt utstyr som brukes i petroleumsvirksomhet på norsk sokkel. Det er derfor relevant å ta en gjennomgang av forskriften sammenlignet opp mot reelens elektroniske komponenter. Reelen kan i denne sammenheng kategoriseres som et *apparat* i følge §4. *Definisjoner*. [23]

§ 5. *Grunnleggende krav* henviser til at alle apparater må følge kravene som er gitt i vedlegg I fra forskriften. Dette vedlegget sier at alle apparater skal være konstruert og produsert i samsvar med den nyeste utviklingen og at følgende punkter må være oppfylt;

- a) «den elektromagnetiske forstyrrelsen som oppstår, ikke er sterkere enn at radio- og telekommunikasjonsutstyr eller andre apparater og faste installasjoner kan fungere som planlagt.» [23]
- b) «det har en grad av immunitet mot elektromagnetisk forstyrrelse som kan forventes i forbindelse med tilsikret bruk, som gjør at det fungerer uten at den planlagte yteevnen reduseres i uakseptabel grad.» [23]

Det konkluderes med at reelen ikke vil gi betydelig elektromagnetisk interferens. Dette er på grunn av at reelen ikke kan kontrolleres trådløst og har heller ingen innebydde radiosendere. De fleste elektriskekomponenter er også eksplosjonsikret med kapslinger som gjør det vanskelig for elektromagnetiskebølger å nå ut til omgivelsene. Det er derfor heller ikke nødvendig å gjøre modifikasjoner av reelen på grunnlag av denne forskriften.

#### 5.4.5 Trykkpåkjent utstyr (TPU)

Denne forskriften skal sørge for at sikkerheten rundt trykkpåkjent utstyr blir opprettholdt. Forskriften gjelder for utstyr som er konstruert med et tillatt arbeidstrykk på over 0.5 bar. I tillegg gjelder den for alt utstyr til bruk i petroleumsvirksomhet på norsk sokkel. Dette vil si at forskriften er relevant for det hydrauliske systemet på reelen. Dette systemet kan defineres som en *sammenstilling* ifølge forskriften [24].

«*Sammenstilling*: flere trykkpåkjente komponenter som en produsent har montert sammen til et integrert og funksjonelt hele.» [24]

For å undersøke relevante punkter i forskriften må fluidets gruppe spesifiseres. Her er det ulike krav for hvilke grupper fluidet i rørsystemet tilhører. Gruppe 1 består av en liste av ulike fluider som kan klassifiseres som potensielt farlige stoffer som vist i vedlegg C.7. Gruppe 2 er fluider som ikke går inn under denne listen. Ettersom hydraulikkolje ikke regnes som potensielt farlig stoff vil det ikke falle inn under listen og dermed grupperes til gruppe 2 [24].

Det er relevant å se på § 9. *Sammenstillinger som skal oppfylle grunnleggende sikkerhetskrav*. Paragrafen forteller at så lenge sammenstillingen går inn under en av punktene i §5 til §8 må det oppfylles spesielle sikkerhetskrav. Det kan derimot argumenteres om at sammenstillingen ikke ligger inn under noen av de relevante paragrafene. Dette på grunn av at fluidet ligger i gruppe 2 og at den nominelle diameteren på rørene er under 25 mm, i tillegg til at hydraulikk tanken ikke er trykkpåsatt. Det vil derfor være relevant å se på § 11. *Unntak fra grunnleggende sikkerhetskrav*. Denne paragrafen sier at trykkpåkjent utstyr og sammenstillinger der spesifikasjonene ikke overskrider grenseverdiene angitt i § 5 til § 10, skal konstrueres og produseres i samsvar med god ingeniørpraksis for å sikre sikker bruk [24]. Det vil da ikke være nødvendig med en spesiell samsvarserklæring fra denne paragrafen og det vil heller ikke være nødvendig med egen CE-godkjenning av den hydrauliske sammenstillingen basert på denne forskriften.

#### 5.4.6 Maskinforskriften

Maskinforskriften gjelder for bygging, konstruering og omsetning av følgende [25]:

- A) Maskiner
- B) utskiftbart utstyr
- C) sikkerhetskomponenter
- D) løfteredskap
- E) kjettinger, kjeder, tau og stropper
- F) avtakbare mekaniske kraftoverføringsinnretninger
- G) delvis ferdigstilte maskiner

Det skal gjøres en grundig vurdering av maskinens risiko og skadeomfang som kan oppstå ved bruk av maskinen, og samtidig se på sannsynligheten for at dette kan inntreffe. Det må derfor vurderes for integrering av sikkerhet. Dette innebærer å skjerme og stenge av der uhell kan oppstå, men samtidig at maskinen kan fungere, innstilles og vedlikeholdes. Dersom det midlertidig ikke er mulig å konstruere og fastsette de målene på grunn av drift, skal det den bygges slik at den i størst mulig grad kan oppfylle disse målene [25].

For bevegelige deler skal det monteres fastmonterte vern. Disse skal festes slik at det kun kan fjernes med verktøy og skal helst ikke kunne være på plass uten festeinnretningene. For bevegelige vern skal det monteres forrigling som hindrer at maskinens bevegelige deler starter før de er lukket. Disse innretningene skal hindre at maskinen starter når operatøren eller andre er innenfor rekkevidde [25].

Styresystemet til maskinen skal ikke gjøre det mulig at farlige situasjoner kan oppstå, og skal tåle forutsatte indre- og ytre påkjenninger. Systemet skal heller ikke kunne starte uventet og driftsinnstillingene skal ikke kunne endre seg. Når en ønsker å stoppe maskinen, skal dette skje fullt og helt på en trygg måte og stoppfunksjonen skal overstyre startfunksjonen. Dette vil si at energitilførselen til drivenehetene skal brytes med en gang stoppsignal er gitt. For nødstopp skal det være en eller flere tydelige nødstopppinnretninger som er lett gjenkjennelige og til rådighet til enhver tid. Dersom nødstopppinnretningen er aktivert, skal denne opprettholdes i sperret posisjon inntil den er frigjort [25].

Maskiner skal ha mulighet for å koble ut energikilden. Dette skal være tydelig merket. Dersom maskinen har energikilden sin fra stikkontakt, er det nok å trekke ut denne [25].

## 6 Reelens tilstand og potensial

### 6.1 Avdekking av tilstand på reel

Reelens tilstand blir avdekket på verkstedet på Ågotnes, der den gamle umbilicalen skal avspoles samtidig som det hydrauliske systemet blir sjekket. Videre må det vurderes om komponenter som motorer, pumper og ventiler må byttes for at reelen skal fungere optimalt.

Denne delen av rapporten må begrenses ettersom verkstedet ikke har kapasitet til å ta inn reelen før i mai 2022. I denne rapporten blir det derfor tatt utgangspunkt i at alt fungerer som det skal. En økonomisk vurdering blir tatt ut i fra kostnadene til modifikasjonene og de mangler som kommer frem i visuell inspeksjon kapittel 6.1.1. Dersom det viser seg at det er ønskelig å gjennomføre modifikasjonene på reelen, må det gjøres en ny vurdering etter avdekking av reelens tilstand.

#### 6.1.1 Visuell inspeksjon av reel

Det ble gjennomført inspeksjon av reelen hvor det er undersøkt hvilke feil og mangler som er mulig å identifisere visuelt, uten å starte reelen eller demontere komponenter.

Noe av det første som kommer frem er at reelen har en del overflate rust på rammen, og flere steder har malingen falt helt eller delvis av. Dette har også ført til at nødvendig informasjon og merking har forsvunnet. Her vil det sannsynligvis være nødvendig å sandblåse rammen og fjerne gamle malingrester og overflaterust før den males på nytt.

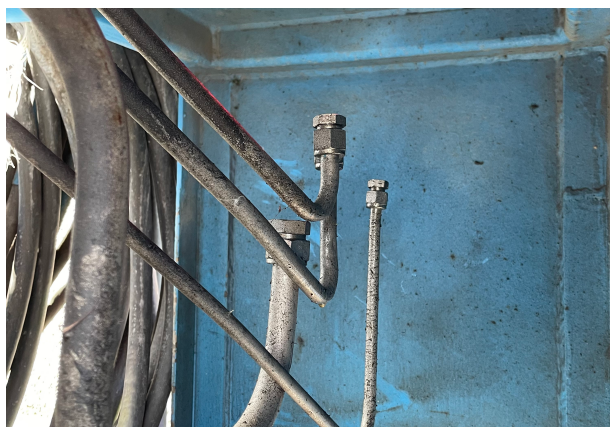


Figur 6.1: Overflaterust på reelens ramme.



Figur 6.2: Utydelig merking.

En tydelig mangel er at en retningventil på reelen er fjernet. Denne styrer om reelen skal gå opp, ned eller stå i nøytral posisjon. Denne er styrt med både manuell spake eller via det elektriske styrepanelet. Videre kommer det frem at at dryppskålen under trommelen på reelen er skadet og må rettes ut eller byttes.



Figur 6.3: Manglende retningsventil.



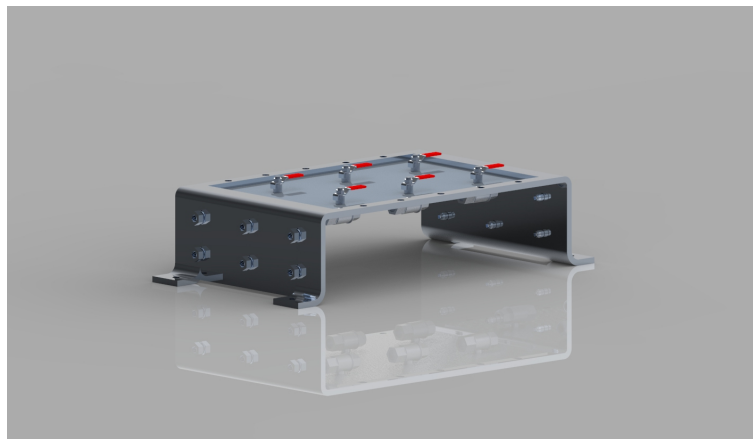
Figur 6.4: Dryppskål under trommel er skadet.

## 6.2 Nytt bruksområde til reel

I dag er reelen utstyrt med en umbilical som er ødelagt og må derfor byttes ut. Som nevnt tidligere i rapporten er dette en 22 linjers hydraulisk kabel på 500 meter. Til dagens operasjoner hvor man beveger seg ut på dypere vann, vil 500 meter ofte ikke være tilstrekkelig. Aker Solutions har foreslått at de ønsker en lenger umbilical på reelen og at de har en aktuell umbilical liggende. Umbilicalen som er foreslått til å settes på reelen har seks hydrauliske- og tre elektriske linjer og er per dags dato 2000 meter. Denne er ødelagt på 400- og 1000 meter. Det er mulig å kappe denne på de ødelagte punktene slik at man står igjen med omtrent 1200 meter som kan monteres på reelen.

Hvis reelen får nødvendige oppgraderinger som trengs for å opprettholde kravene som er presentert i kapittel 5, i tillegg til en økt umbilical-lengde, vil dette øke reelens konkurransedyktighet på markedet og gi reelen et bredere bruksområde. Den vil da kunne videreføres som utleiestyr under Aker Solutions eget RTP (Rental Tool Pool), noe som er nevnt i kapittel 1 som oppgavens mål.

Det ble konkludert med at det fortsatt skal brukes WOCS container til å styre umbilicalen. Det er derfor ideelt med isoleringsventiler slik at man kan fylle umbilicalen med hydraulikk før den spoles ut for å få et mottrykk når umbilicalen er under vann. Reelen kan da spoles ut med hydraulikk, uten å være tilkoblet WOCS-systemet.



Figur 6.5: Isolasjonsventiler

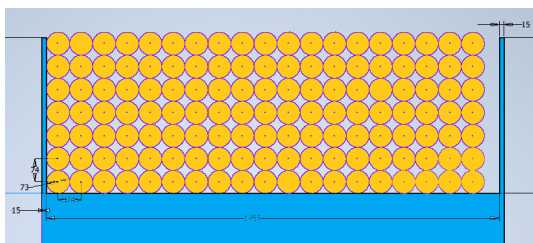
Reelen kan per dags dato stå i sone 2, dette vil si på områder der eksplosjonsfarer sjeldent oppstår. For å få et bredere bruksområde er det ønskelig å få den godkjent til sone 1, slik at reelen kan stå på plattformer. Alternativt er at den kun brukes på produksjonsskip.

## 7 Foreslåtte modifikasjoner

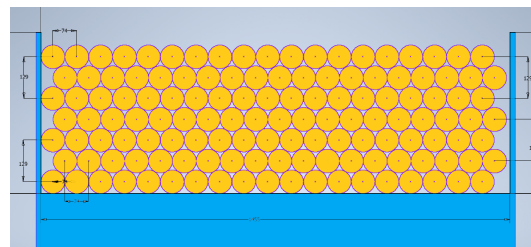
### 7.1 Umbilical-lengde

Med reel og ny umbilicals foreløpige dimensjoner er kapasiteten på 873 m om hele umbilical skal være innenfor sideveggene. For å oppnå ønsket lengde på over 1000 meter er det beregnet at diameteren på sideveggene til trommelen må øke med minimum 22 mm. En mulighet til å oppnå dette er å sveise på en økt lengde til disse sideveggene, reelen vil da ha kapasitet til å ta 1049 meter med den nye umbilicalen.

Beregningene av umbilicalens lengde tar utgangspunkt i at hver runde med umbilical legger seg direkte oppå hverandre, i realiteten er det mulig at den til tider vil legge seg delvis mellom hverandre og dermed kan reell lengde være lengre en teoretisk. Distansen fra senter av umbilical fra et lag til neste vil være lik diameter på umbilical i figur 7.1, mens den vil være gitt som  $diameter \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$  i figur 7.2. Det resulterer i at umbilical går utenfor sideveggene med 11 mm når den legges direkte oppå hverandre, mens den vil være 48 mm under sideveggen om den legges delvis mellom. Det vil være et alternativ å spole inn umbilical i et ekte forsøk for å se om praktisk lengde tilsvarer teoretisk lengde.



Figur 7.1: Tverrsnitt: trommel med umbilical 1.



Figur 7.2: Tverrsnitt: trommel med umbilical 2.

Det regnes allikevel som akseptabelt at umbilical kan gå noe høyere enn sideveggene så lenge det ikke er fare for at den vil kunne skli utenfor trommelen. I dette tilfellet er minimum 85% av det ytterste laget til umbilical inkludert massesenteret innenfor, det er derfor rimelig å anta at det ikke forekommer en fare for at den vil skli ut av trommelen. Derfor vil det ikke være nødvendig med modifikasjoner på trommel for å tilpasse ny umbilical.

### 7.2 Gir

Den nye umbilicalen som er tiltenkt reelen har en smalere diameter i forhold til den gamle umbilicalen. Winder er koblet til reelens trommel ved hjelp av et gir bestående av to tannhjul og kjede. Ettersom winder legger umbilical i en hastighet som er tilpasset gammel umbilical vil det være nødvendig å endre forholdet mellom giret for å unngå at den beveger seg for fort og derfor skifter retning for tidlig. Det nåværende girforholdet er:

$$\frac{Reel - t.hjul}{Winder - t.hjul} = \frac{Reel - bevegelse}{Winder - bevegelse} \rightarrow \frac{70}{45} = \frac{98}{63} \quad (7.1)$$

For den nye umbilicalen er det ønskelig å få et forhold som legger 73 mm med kabel per runde. Det vil si at vi må endre på størrelsen til ett av tannhjulene, her velges det å justere på tannhjulet til winderen fordi det er mest tilgjengelig og det vil ikke være nødvendig med ytterligere modifikasjoner. Vi får da følgende forhold.

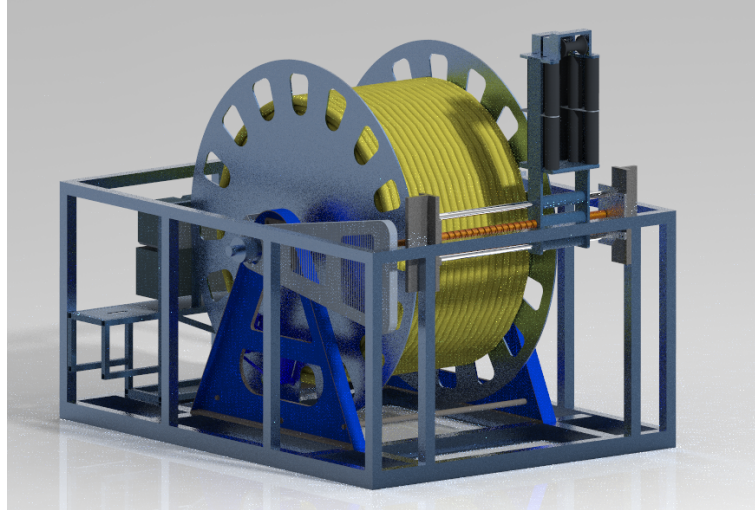
$$\frac{70}{x} = \frac{73}{63} \rightarrow x = \frac{70 \cdot 63}{73} \rightarrow x = 60.41 \quad (7.2)$$

Dette rundes ned til 60, vi vil da få et avvik på 0.0012 mm per runde, det vil gi et totalt avvik på 0.1596 mm, dette er ikke nok til at kabelen vil bli lagt feil og kan derfor neglisjeres.



### 7.3 DNV 2.7-3

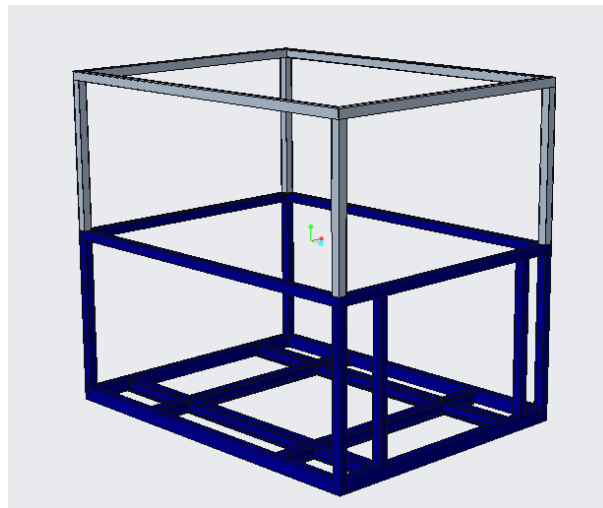
Det er i fra DNV 2.7-3 gjennomført en risikoevaluering av punktene presentert i kapittel 5.3.2, der man er kommet fram til at det er punkt B), C) og D) som mangler for at reelen skal bli klassifisert til R60 lav risiko. Dette er på grunn av mangel på takbeskyttelse og at deler av reelen kan hekte seg fast ved løfting. Det er spesielt winderen som er utsatt, som en kan se på figur 7.3. Det er videre utarbeidet et forslag for hvordan dette kan modifiseres.



Figur 7.3: 3D-modell før modifikasjoner

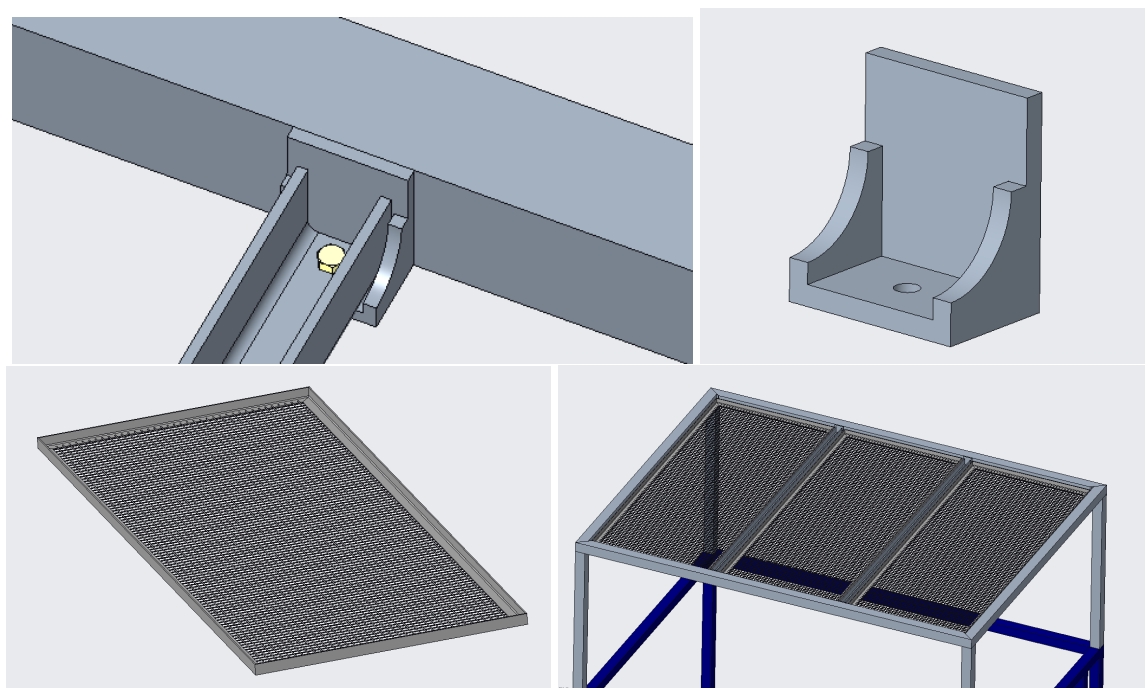
#### 7.3.1 Takbeskyttelse

For å lage takbeskyttelsen ble rammen hevet med tilsammen 1800 mm, med de samme kvadratiske bjelkene som tidligere brukt, 100x100x8 mm. Disse blir sveist på den opprinnelige rammen.



Figur 7.4: Påbygg ramme

Videre settes det to u-bjelker på tvers av den nye rammen for å holde oppe takbeskyttelsen. Disse blir festet med M12 bolt i en bjelkesko som er sveiset fast i rammen som vist på figur 7.5. Dette er for å enkelt kunne ta av takbeskyttelsen og for å kunne gjøre vedlikehold eller andre modifikasjoner senere. Det blir også boret hull i u-bjelken for drenering.

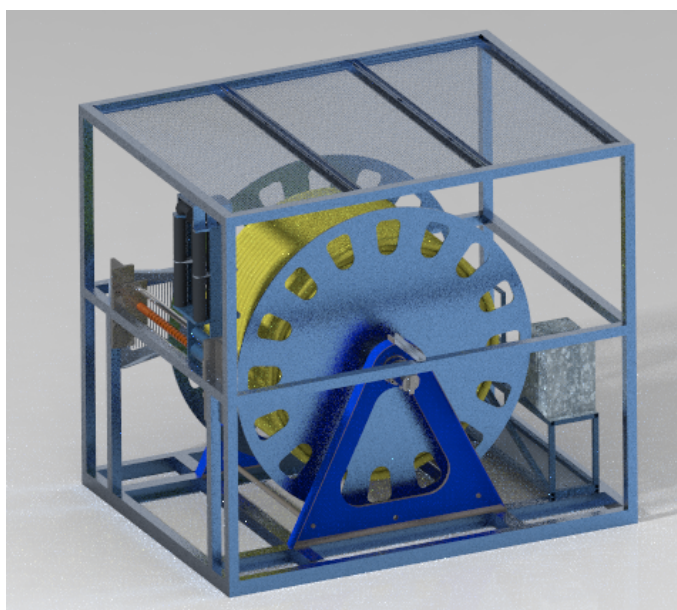


Figur 7.5: Takbeskyttelse

Selve takbeskyttelsen blir laget av L-bjelker med dimensjonen 50x50x6 mm. Takbeskyttelsen består av tre plater og hver plate har en dimensjon på 2995x1250 mm. I hver plate blir det lagt på en gitter rist med maksimum  $1500\text{mm}^2$  åpning. Platene blir så festet i tilsammen 8 punkt som er skrudd fast i påsveiste brikker.

### 7.3.2 Risikoevaluering, punkt B) og C)

Når takbeskyttelsen blir lagt på, blir også rammen endret og punkt B) og C) i fra risikoevalueringen blir fikset ved dette tiltaket. Det er nå ikke noen utstikkende deler som kan feste seg i løftesettet eller andre transporterte gjenstander.



Figur 7.6: Reel etter risikoevaluering



### 7.3.3 Padeyes

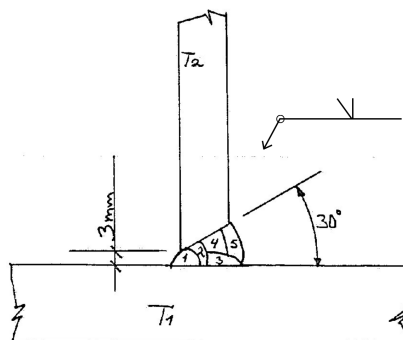
Ved en sjekk mot kravene fra DNV 2.7-3 ser man at padeyes ikke tåler de påkjenningene som inngår i kravene. Med out-of-plane loading tatt i betraktning finnes det at padeyes ikke tåler bearing pressure (Formel 5.6 = 326 MPa) eller tear out (Formel 5.7 = 400 MPa) som begge overstiger maksimalen på 301 MPa. Bredden på padeyes tilfredsstiller heller ikke kravet om å være minst 75% av innside sjakkelbredde, dette gjelder for de sjakklene som er funnet som mest passende til reelen. sjakkel geometri er hentet i kataloger fra Industribehov [26] og Mørenot [27]. Videre gjennomføres det manuelle styrkeberegninger som vist i (8.6), med en horisontal out-of-plane vinkel på 3 grader. Dette er en sjekk om at padeyes tåler krefter og moment som oppstår ved festepunktene når en slynge trekker i en vinkel utenom padeye sitt plan.

Det finnes at padeyes tåler den økte vekten med opprinnelig geometri, og må derfor kun justeres for å tåle kravene fra DNV 2.7-3. Ved å øke tykkelsen til padeyes fra 20 mm til 30 mm vil padeyes tilfredsstille styrkeberegningene. De vil fremdeles være for smal i forhold til geometri kravene mot sjakklene, noe som løses ved å sveise på cheek plates med bredde på 8 mm. De manuelle beregningene gjennomføres på nytt, og kontrolleres i excel utregning, se vedlegg C.11. Med ny geometri ser man at alle kravene fra DNV 2.7-3 og manuelle styrkeberegninger er oppfylt.

### 7.3.4 Sveis

For å oppgradere rammen må det også utføres nye sveiser. Det vil komme nye sveiste forbindelser i knutepunktene mellom bjelkene på den oppgraderte delen av rammen. Den nye delen av rammen sveises fast i den gamle, og nye løfteører (padeyes) vil også bli fastmontert ved sveising. Sveisene på den originale delen av rammen som ikke skal endres er evaluert og vurdert til å holde dagens mål da disse ble utført med tilsvarende krav fra *DNV Lifting Appliances*. Alle nye sveiser er gjennomgått teoretisk og etter aktuelle standarder presentert i kapittel 5.3.5. Det er valgt å bruke disse kravene fra DNV 2.7-3 i kombinasjon med Eurocode 3 som veiledende standard for teoretisk styrkeberegning på sveisen.

Mellom møtepunktene på de nye bjelkene legges det inn buttsveiser med fullgjennomsveising. Kapasiteten til disse sveisene vil i teorien være lik kapasiteten til det svakeste materialet på bjelkene [28]. Dette er fordi elektroden i sveisen har en høyere flytegrense enn materialet i bjelken,  $\sigma_{sveis} > \sigma_{material}$ . I de originale sviesene er det brukt følgende sveisetråer; ELGA DWA 55L ( $\sigma = 470$  MPa), ELGA MXA 55T ( $\sigma = 470$  MPa) og Cromacore 16L ( $\sigma = 410$  MPa), som alle har en flytegrense høyere enn materialet [14]. Det anbefales videre å bruke ELGA DWA 55L eller en sveisetråd med tilsvarende kvalitet i de nye sveisene for å opprettholde alle krav.



Figur 7.7: Eksempel på buttsveis fra original ramme

Det er gjort en vurdering om at sveisen rundt løfteørene kan unnvike fra å være fullt gjennomsveiset på standard måte. Dette er fordi designet gir god kapasitet og vil kunne forsvares til å opprettholde kravene, se kapittel 8.5. Metoden som benyttes er vanlig prosedyre på mange lignende rammer som er sertifisert til DNV 2.7-3 eller DNV 2.7-1 og regnes ofte som fullt gjennomsveiset.

Løfteørene sveises fast i den nye rammen på samme måte som original rammen, se figur 7.8 Dette gjøres ved at løfteørene plasseres i et innhukk på de vertikale bjelkene ved knutepunktet i de fire hjørnene. De horisontale bjelkene vil bli plassert inntil løfteørene med skrått snitt. Det vil legges en 5 mm kilsveis rundt alle kontaktflater mellom bjelkene og løfteørene. Denne kilsveisen er gjennomgått teoretisk og vil tåle en total spenning på 639 kN ved mist gunstig lasteretning, se kapittel 8.5.



Figur 7.8: Kilsveis rundt padeyes

Fra kapittel 5.3.5 kommer det frem at det skal utføres NDT på de nye sveisene. De fleste sveisene er fullt gjennomsvaist buttsveiser som betyr at alle de fire metodene; visuell-, magnetpartikkel-, ultralyd- og radiografiundersøkelse skal gjennomføres.

Visuell prøving er den vanligste NDT metoden som baserer seg på å identifisere feil og mangler visuelt uten bruk av avanserte hjelpemidler. Metoden egner seg for å finne synlige feil som deformasjon, korrosjon og sveisefeil [29]. Den visuelle inspeksjonen foretas av kvalifisert person, og sveisen må opprettholde kravene som kommer frem av standarden EN ISO 5817 kvalitetsnivå B [30].

Magnetisk partikkelinspeksjon er en inspeksjonsmetode som finner lineære feil lokalisert ved overflaten av magnetiske materialer. Bredden på testoverflaten skal inkludere det sveisede metallet og tilstøtende grunnmetall opp til 10 mm på hver side. Akseptnivåer foreskrevet for lineære indikasjoner er de som tilsvarer høydenivået. Eventuelle tilstøtende indikasjoner atskilt med mindre enn hoveddimensjonen til den minste skal vurderes som en enkelt, kontinuerlig indikasjon. Testingen skal gjennomføres i henhold til EN ISO 23278 nivå 1. Tabell for godkjente krav er vist i vedlegg C.3

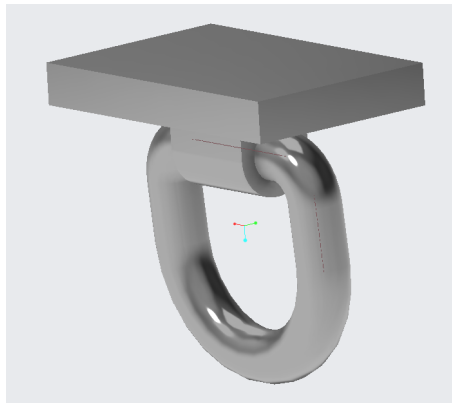
Ultralydtesting er en teknikk som bruker høyfrekvente lydsignaler for å kunne inspisere et materiale. Et apparat produserer og sender ut pulserende høyfrekvent lyd som treffer et materiale før det blir reflektert tilbake og tolket av apparatet. Dette egner seg for å oppdage små sprekker, ujevnheter, porer og indre strukturfeil [31]. Sveisene må opprettholde kravene fra ultralydtesting level 2 etter standarden NS-EN ISO 11666 som igjen peker til standarden ISO 5817 kvalitetsnivå B [32][30]. Dette er en oversikt over hvor mye feil en tillater seg i sveisen ved for eksempel sprekker, porer, ufullstendige fuger og underskjæringer. Kvalitetsnivå B i standarden er det høyeste nivået som betyr at feil som sprekker og overfalteporer ikke er tillatt, flere aktuelle krav finnes i standarden [30].

Radiografi testing skal brukes for å oppdage sveiser som er ufullkommen og ikke kan oppdages av visuell inspeksjon som for eksempel overdrevet gjennomtrenging og overflateskader. Dette er en metode som bruker stråling til å lokalisere kvantifiserte mangler som kan føre til svikt i strukturen [33]. For radiografi skal standarden NS-EN ISO 10675-1 brukes med et akseptabelt nivå 1 som vist i vedlegg C.3.

### 7.3.5 Festepunkter

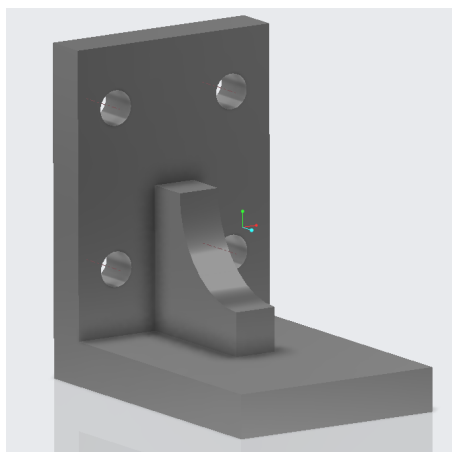
Det skal monteres festepunkter på rammeveket som gjør det mulig å sikre lasten til dekk under sjøtransport. Dette er for å forhindre uønskede hendelser på grunn av båtenes beveglser på sjøen. Dette har i tidligere tilfeller blitt løst ved at swivels blir sveiset på rammeverket til reelen, dette har vært et problem fordi at de ofte blir utstikkende punkt som fører til ekstra svekkelse av rammeverket ved sammenstøt. I noen tilfeller har det ført til at hele bjelker eller deler av bjelker blir ødelagt og må byttes. Det er valgt å løse dette problemet ved at swivels monteres på undersiden av bjelkene på rammeverket. På denne måten vil ikke bjelkene utsettes for ytterligere påkjenninger ved sammestøt. Det vil være en åpning i griden slik at swivelsene er tilgjengelige.

En annen løsning vil være å nedoverpekende padeyes med tilsvarende dimensjoner som padeys beregnet til løft, men disse vil komprimere strukturen ved at de vil være nødt til å peke ut fra rammeverket.



Figur 7.9: Swivels

Seafastening er et uttrykk som brukes om ulike innretninger for fastmontering av utstyret før operasjon. For å unngå unødvendige forflyttinger brukes det i dette tilfelle sveiseblokker som sveises fast i dekk. Tidligere har det hendt at reeler har blitt sveiset direkte på rammen om det ikke har vært tilegnet egne sveisepunkter. Dette er uønsket ettersom det vil kunne svekke styrken i rammestrukturen. En løsning på problemet er å tilrettelegge for sveiseblokker som kan festes til hovedstrukturen, figuren viser et eksempel på en slik sveiseblokk. De vil monteres av og på ved frakt for å ha minst mulig utstikkende deler som kan føre til svekket struktur, og festes ved hjelp av boltehull med bolter direkte til en av bjelkene nederst i rammeverket.

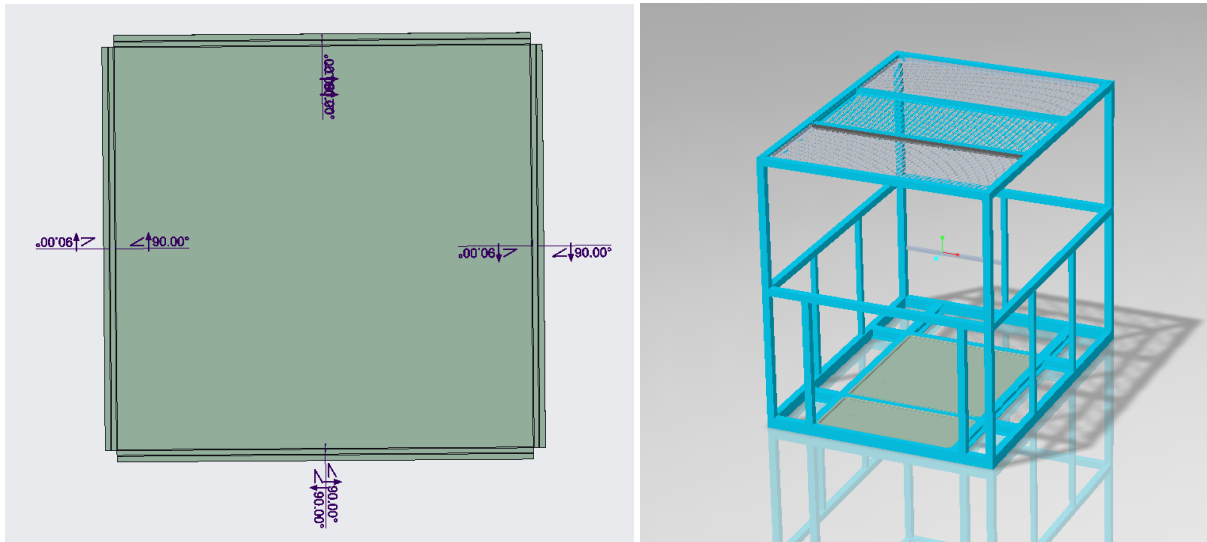


Figur 7.10: Sveiseblokk

## 7.4 D-002

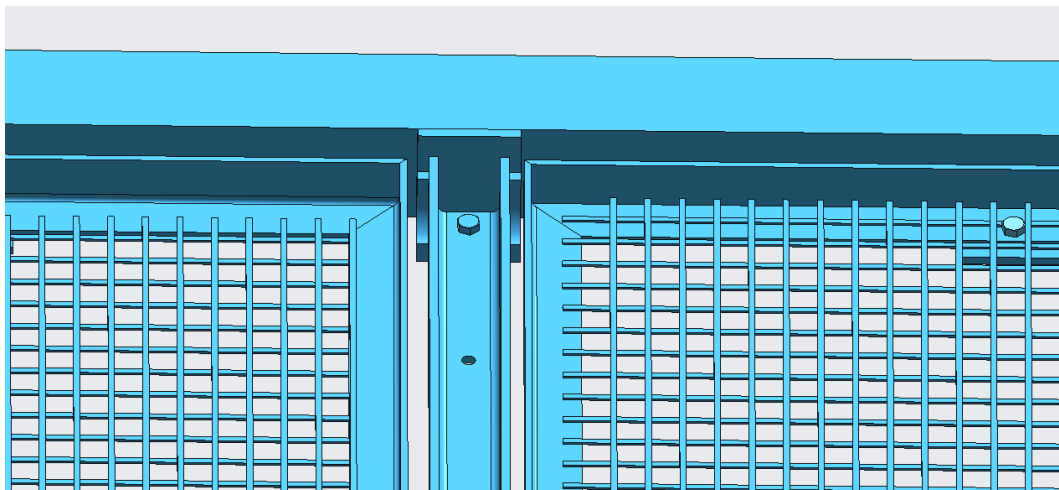
I fra vedlegg C.9 kommer det frem at reelen mangler dybdemåler, men ettersom dette er en umbilical reel er det ikke behov for dette. Dette er fordi umbilicalen allerede er koblet på et annet utstyr som for eksemel P&A eller XMT. Disse har egen dybdemåler på enten selve utstyret eller winchen. Dette gjør at man alltid har kontroll på hvilke dybde man er på.

Det er plassert dryppskåler under umbilicalen og tanken. Disse skal hindre søl av hydraulikkolje på uønskede området. Det er tydelig at dryppskålen under umbilicalen har fått et støt som gjør at den må byttes eller bøyes tilbake. Dryppskålen under tanken er fortsatt inntakt.



Figur 7.11: Dryppskål

Reelen har ingen spesielle utforminger som gjør at det er behov for drenering, men i modifikasjonen er det valgt å bruke u-bjelker på toppen av reelen der det kan fylles med vann. Dette blir enkelt løst med å bore drenerings hull på hver side som vist på figur 7.12.



Figur 7.12: Drenering

## 7.5 Maskinforskriften

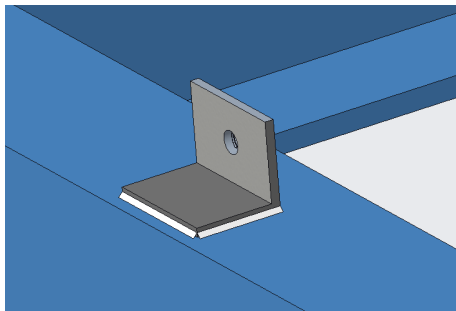
### 7.5.1 Verneinnretninger

I maskinforskriften som presentert i kapittel 5.4.6 er det spesielt fokus på sikkerhet rundt bevegelige deler. Det er derfor gjort modifikasjoner rundt reelens ramme ved å montere verneinnretninger med strekkstål slik at man kan minske sannsynligheten for at personer eller gjenstander skal komme i kontakt med de bevegelige delene.

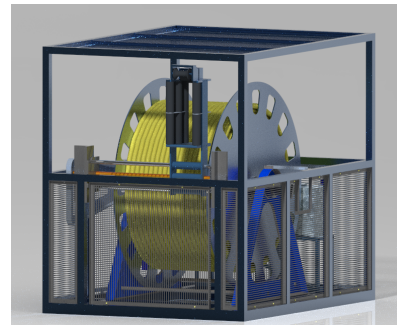
For at verneinnretningen skal være håndterlige og ikke for store, er det satt opp ekstra bjelker i rammen slik at vedlikehold kan skje relativt enkelt. Dette skal også være med på å øke styrken i rammen ettersom MGW øker. Dimensjonene på disse bjelkene er i utgangspunktet satt til samme dimensjon som resten av strukturen, men kan vurderes mindre dersom strukturen er sterk nok.

Alle verneinnretningene er laget av L-bjelker med dimensjoner, 50x50x6 med strekkmetall i mellom. Det er ikke noe krav om størrelsen på risten, men den skal fungere slik at ikke personer eller gjenstander skal forstyrre de bevegelige delene.

Verneinnretningene skal kun kunne tas av med verktøy og det er valgt å feste de i fast-sveiste vinkler med M12 bolter som vist på figur 7.13. På vinkelen er det også sveist på en mutter slik at det kun er behov for å skru på utsiden av rammen. Målene av rammepåbygget, verneinnretninger og vinkler er lagt til i vedlegg A.

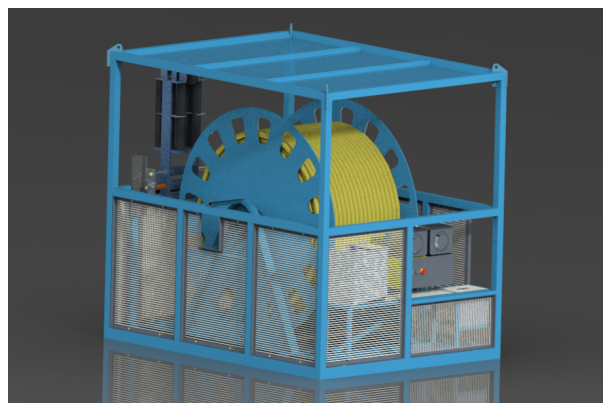


Figur 7.13: Fast-sveist vinkel



Figur 7.14: Reel med monterte verneinnretninger

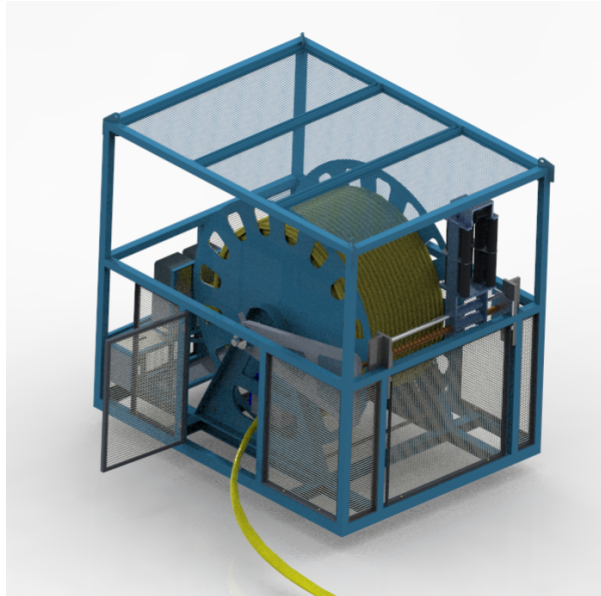
Det er mye som må tas hensyn til når man monterer verneinnretninger. For denne reelens må de fleste vern ha forskjellige mål og løsninger. En stor del av baksiden av reelens må være åpen for å kunne starte, styre og stoppe som vist på figur 7.15. Her er det også monter en nødsstopp som alltid må være tilgjengelig. Det er derfor valgt å holde dette området åpent ettersom det er skjerming i utstyret i seg selv. Ved siden av den hydrauliske motoren er det også en åpning slik at nødventilen er tilgjengelig.



Figur 7.15: Verneinnretning bak

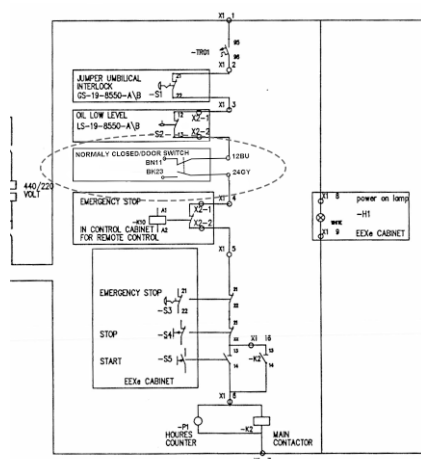
## 7.5.2 Forrigling

Etter at reelen er spolet ut under operasjon, skal det kobles på en jumper som supplerer umbilicalen. Denne skal kobles på reelen og det må derfor være mulighet for at verneinnretningen kan åpnes når reelen er ferdig utspolet. En av verneinnretningene blir laget som en bevegelig innretning som fungerer som en dør eller luke med hengsler. Det må derfor monteres en forrigling for å opprettholde kravene som er satt. En forrigling er en komponent som skal forhindre uønskede hendelser, hvor den i dette tilfelle fungerer som en nødstop som utløses hvis verneinnretningen åpnes under spoling.

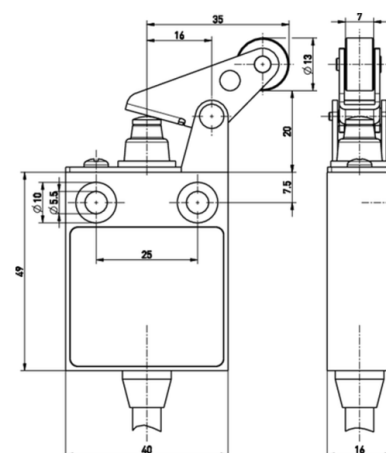


Figur 7.16: Bevegelig verneinnretning

Forriglingen som er satt på er en endebryster som normalt er lukket, men bryter kretsen når den åpnes. Denne blir montert på den eksisterende X1 kretsen som inneholder andre tilsvarende brytere som nødstoppen vist på figur 7.17. Forriglingen er hentet fra Steute Technologies og er godkjent i EX-soner 1 og standardene EN 60947-5-1, EN 60079-0, EN 60079-1, EN 60079-31, EN ISO 13849-1 og EN ISO 14119 [34].



Figur 7.17: Normally-closed bryter



Figur 7.18: Ex 13, endebryster



## 7.6 Ex-godkjenning til utstyrskategori 1

Reelen vil kategoriseres etter ATEX-merkingen som forteller hvilken grad utstyret er kompatibelt for eksplosive miljøer. Merkingen baserer seg på forskriften som er presentert i kapittel 5.4.2. Aker Solutions har et ønske om at umbilical reelen skal være godkjent til bruk innenfor utstyrskategori 1 også kalt sone 1. Dette er den nest høyeste sonen etter sone 0 og er ment for utstyr som skal brukes i et område hvor det kan forventes at eksplosiv atmosfære kan oppstå [35]. Før eventuelle modifikasjoner er umbilical reelen kategorisert til sone 2, noe som gir den et begrenset bruksområde.

Det er det elektriske systemet som vil kunne forårsake tennkilder på reelen. Dette er løst med at store deler av det elektriske systemet allerede er montert inne i eksplosjonssikre kapslinger. Kapslingene er kategorisert til sone 1 noe som gjør at utstyr som plasseres inne i kapslingene også opprettholder kravene. Det er laget en oversikt over alle de elektriske komponentene og deres tilhørende ATEX-kode som vist i figur 7.19. Fra figuren kommer det frem at alle komponentene ligger innenfor sone 1 med unntak av Electric Motor og Oil Low Level Switch.

EL Utstyr				
POS.	EX-NR	EX-Sone	Beskrivelse	Begrunnelse
E1-1	Ex N II T3	Sone 2	Electric Motor	
E1-S1	EEx d IIC T6	Sone 1	Jumper Umbilical Interlock	
E1-S2	Ex N d IIC T6	Sone 2	Oil Low Level Switch	
E1-S3	EExe	Sone 1	Emergency Stop	Står i Starter cabinet
E1-S4	EExe	Sone 1	Stop	Står i Starter cabinet
E1-S5	EExe	Sone 1	Start	Står i Starter cabinet
E1-H1	EExe	Sone 1	Signal Lamp/white	Står i Starter cabinet
E1-F1	EEXd	Sone 1	Fuse	Står i Starter cabinet
E1-F2	EEXd	Sone 1	Fuse	Står i Starter cabinet
E1-F3	EEXd	Sone 1	Fuse	Står i Starter cabinet
E1-K2	EEXd	Sone 1	Main Contactor	Står i Starter cabinet
E1-TR01	EEXd	Sone 1	Termistor Relay	Står i Starter cabinet
E1-T1	EEXd	Sone 1	Transformer	Står i Starter cabinet
E1-P1	EEXd	Sone 1	Houres counter	Står i Starter cabinet
E1-U3	Ex de IIC T5	Sone 1	Starter cabinet	
E1-K10	EEXd	Sone 1	Is-Isolating switch amplifier	Står i Control Cabinet
E1-K20	EEXd	Sone 1	Is-Isolating switch amplifier	Står i Control Cabinet
E1-A1	EEXd	Sone 1	Is-Isolating potentiometer amplifier	Står i Control Cabinet
E1-A2	EEXd	Sone 1	Is-Isolating potentiometer amplifier	Står i Control Cabinet
E1-A3	EEXd	Sone 1	Transformer	Står i Control Cabinet
E1-A4	EEXd	Sone 1	Control card	Står i Control Cabinet
E1-A5	EEXd	Sone 1	PWM - Module	Står i Control Cabinet
E1-K3	EEXd	Sone 1	Relay-Unit	Står i Control Cabinet
E1-U1	EEx (i)	Sone 1	Remote Control Panel	
E1-U2	Ex de[ib] IIC T5	Sone 1	Control Cabinet	
E1-R1	EEx (i)	Sone 1	Joystick	Står på Remote Control Panel
E1-R2	EEx d IIC T6	Sone 1	POT Meter	Står på Remote Control Panel
E1-S10	EEx (i)	Sone 1	Emergency Stop	Står på Remote Control Panel
E1-S11	EEx ia	Sone 1	Tension on-off switch	Står på Remote Control Panel
E1-F4	EEXd	Sone 1	Fuse	Står i Control Cabinet

Figur 7.19: Elektriske komponenter med tilhørende ATEX-kode.

Komponenten «Oil Low Level Switch» er en nivåbryter som måler oljenivået i tanken. Bryteren er av typen TriMod-Besta NK2 01E 04 og har fått ATEX-koden Ex N d IIC T6, som tilsvarer sone 2 [36]. Komponentens må derfor byttes ut eller modifiseres for å oppnå kravene. Selskapet TriMod-Besta som produserer denne bryteren, driver fremdeles med produksjon av nivåbryterne. Den enkleste løsningen vil derfor være å erstatte originalbryteren med en nyere utgave som er eksplosjonssikret til sone 1. TriMod Besta ZK8 01 04 er identisk med originalbryteren, men klassifisert med ATEX-koden Ex ed IIC T6 (sone 1) [37]. Denne kan erstatte bryteren uten flere komplikasjoner eller modifikasjoner noe som vil være den beste løsningen.

Den elektriske motoren er en Brook Crompton Argus 55AD160LD og er klassifisert til ATEX-koden Ex N II T3 (sone 2). Det er vil derfor være aktuelt å bytte ut eller modifisere denne. Brook Crompton produserer en rekke motorer som er klassifisert til sone 1. En aktuell modell vil være W-EF160LR som er sertifisert til Ex de IIB T4 Gb (sone 1) [38]. Denne motoren har nærmest identiske dimensjoner på ramme og flens, og vil kunne monteres direkte på det originale motorfeste. Forskjellen er at terminalboksen, diameteren på motoren og lengden er endret, som gjør den 56 mm bredere og 45 mm lengre. Det vil ikke være et problem at motorens

lengde øker, men bredden kan bli utfordrene. Det er mulig å bestille motoren med terminalboksen montert på toppen, som fjerner problemet med bredden og gir bedre klaring.

Original motor: (55-AD-160-LD)	Ny motor: (W-EF160LR)
<b>Power delivered</b> Enter Line Voltage : 440 V Enter Current : 25.1 A Power Factor : 0.87 # GO Input Power : 16.64 kW	<b>Power delivered</b> Enter Line Voltage : 415 V Enter Current : 28.2 A Power Factor : 0.84 # GO Input Power : 17.03 kW
Enter Efficiency : 90 % GO Shaft Power : 14.98 kW	Enter Efficiency : 91.3 % GO Shaft Power : 15.55 kW
Enter Speed : 1765 RPM GO Shaft Torque : 81.04 N.m	Enter Speed : 1465 RPM GO Shaft Torque : 101.35 N.m

Figur 7.20: Sammenligning av original og ny el-motor.

Hensikten med motoren er å drive den hydrauliske pumpen. Denne pumpen krever minst 9kW for å kunne operere med et trykk på 250 bar i en hastighet på 1450RPM [39]. Spesifikasjonen fra den aktuelle motoren viser at den opprettholder kravene som stilles av pumpen. Det vil derfor være enklest å bytte ut original motoren med denne nye motoren med tanke på arbeid under montering. Motorenes ytelse er sammenlignet i figur 7.20.

En annen løsning kan være å finne en tilsvarende, men billigere motor. Ulempen med dette er at det krever mer arbeidstimer i verkstedet som også vil være kostbart. Et prisestimat er presentert i kapittel 9.

Forriglingen som skal monteres er den eneste nye komponenten som ikke erstatter en allerede eksisterende komponent. Denne er derfor ikke med i figur 7.19 men er klassifisert til ATEX-koden Ex db IIC T6 (sone-1) og vil derfor være innenfor kravene.

## 7.7 Material

Materialet som tidligere er innenfor kravene som er satt i aktuelle standarder vil fortsatt holde stand med dagens krav presentert i kapittel 5.3.3. Derfor vil denne ståltypen bli brukt videre til oppgraderingen. Materialet som tidligere er brukt til rammen er ståltypen ST-52-3, som nå har navnet S355J2 og er godkjent etter 17100 (STEELS FOR GENERAL STRUCTURAL PURPOSES). Teknisk data for S355J2 er vist i tabell 7.1.

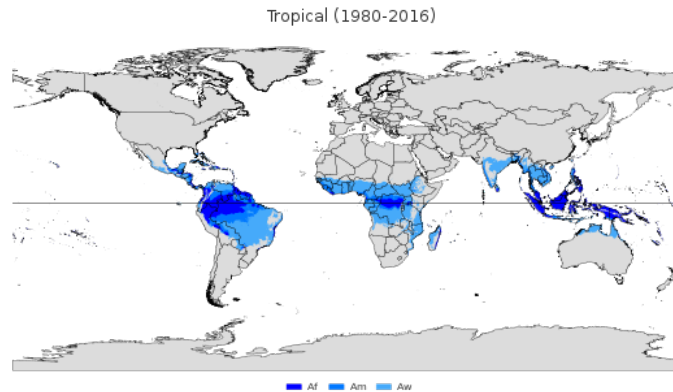
Teknisk data	S355J2
Flytegrense	355 MPa
Strekkestyrke	490 MPa
Poisson ratio	0.3
Elastisitetsmodul	210 GPa

Tabell 7.1: Teknisk data



## 7.8 Maling

Det vurderes at riktig miljøklassifisering for reelen er CX som vil kreve ekstremt høy korrosjonsbestandighet. Dette er fordi den må ha mulighet til å stå ute i et offshore miljø samt fraktes med skip, begge steder vil den sannsynligvis kunne oppleve sjøsprøyt, fuktig atmosfære og tøffe værforhold. Reelen skal også kunne leies ut til land som for eksempel India som har en kystlinje nærme ekvator og derfor i områder kan oppleve tropiske atmosfærer, som illustrert på kartet under 7.21 hvor tropiske klima er markert i blått.



Figur 7.21: Områder med tropisk atmosfære [6]

Det er ønskelig med en sinkbasert malingstype hvor en holdbarhet fra 15-25 år ansees som tilstrekkelig. Det tas derfor utgangspunkt i systemnummer I.01 fra tabell C.6 i ISO 12944-5, og malingen som vil brukes skal ha en sink base med etylsilikat ekstender. Her vil det være 2-4 lag som skal gi en total tykkelse på 360 mikrometer (se vedlegg C.10 for tabell og ytterligere informasjon om malingen).

## 8 Analyse

Ettersom at MGW har endret seg fra 11 000 kg til 14 500 kg må det gjøres nye analyser av reelen. Det skal gjennomføres analyser for alle kombinasjoner av påkjenning som kan oppstå. Formlene som er brukt til analysen er beskrevet i underkapittel 5.3.6. For styrke beregninger er det brukt FEA analyse. Dette er en analyse som bygger på Finite Element Method, eller FEM og til disse analysene er programvaren Ansys brukt.

Symbol	
DF	2.88
$F_{Air_4}$	409665 N
$F_{Air_2}$	245600 N
$F_I$	32774 N
$F_H$	29430 N
$F_{V,max}$	191295 N
$F_{V,min}$	103005 N

Tabell 8.1: Data til analyse

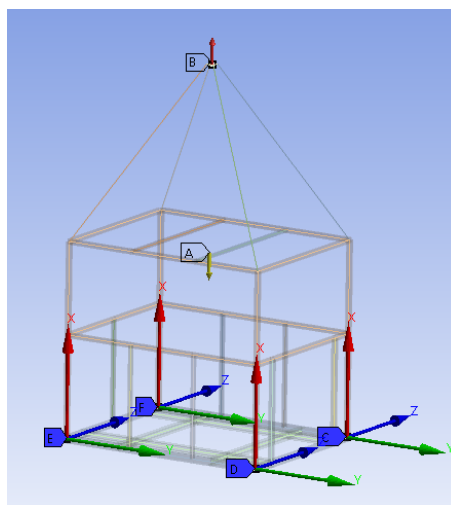
### 8.1 Løfteanalyse (Ramme)

For løfteanalysen er den kun den beskyttende rammen som skal testes. Denne er laget som beam-element i ansys for mest nøyaktig resultat. Mesh størrelse er satt til 200 mm.

Slyngene er modelert som kabel og kan kun bevege seg i X-retning (oppover) men rotere i alle retninger. Disse er festet i rammen med joints slik at treghetskreftene kan analyseres. Deretter er de festet i bakken med ground-body funksjonen for å holde igjen, men likevel ha rotasjon rundt alle aksene .

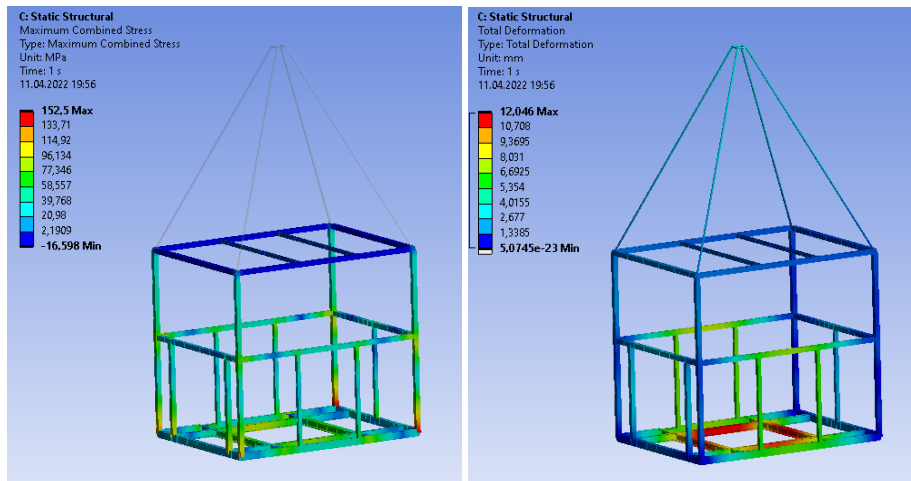
#### 8.1.1 4 punkts løft

For 4-punkts løft er det satt en kraft på 409,6 kN i positiv X-retning som er plassert i toppen av slyngene. Gravitasjon er også inkludert.



Figur 8.1: Slynger

Fra kapittel 5.3.6 er det gitt en sikkerhetsfaktor på 0.85· flytegrense som i dette tilfelle er 355 MPa. Dette betyr av man maksimum kan ha en spenning på på 301 Mpa.

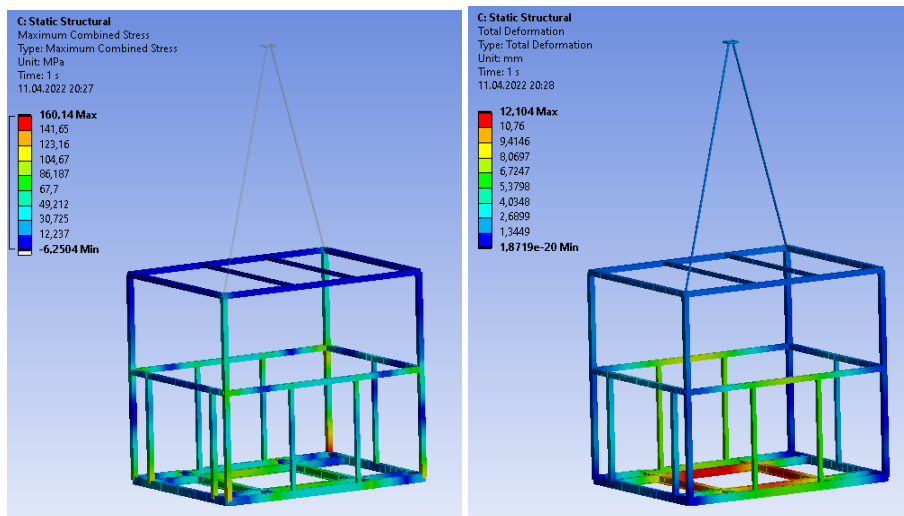


Figur 8.2: Resultat 4 punkts løft

Ut i fra analysen kan man se at det oppstår en maksimum spenning på 152 MPa som er godt innenfor sikkerhetsfaktoren. Maksimum deformasjon er 12 mm og er plassert under COG.

### 8.1.2 2 punkts løft

For 2 punkts løft blir det løftet med to slynger og en kraft på 245,6kN er satt i X-retning og er plassert slik som i 4 punkts løftet.



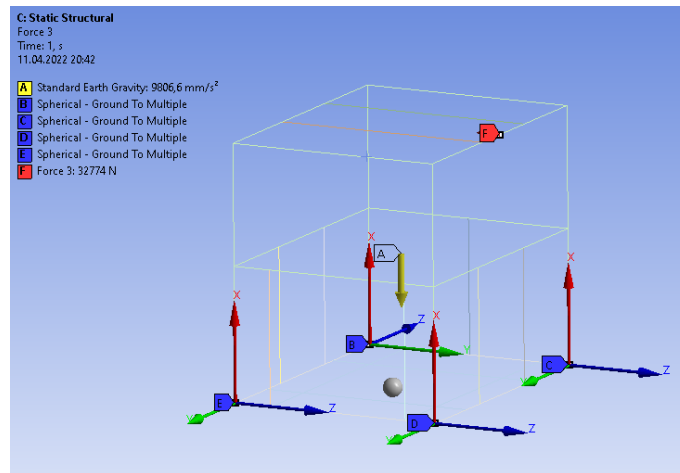
Figur 8.3: Resultat 2 punkts løft

Resultatene fra 2 punkts løftet viser at man får en litt høyere spennings verdi på 160 MPa, men likevel er godt under sikkerhetsfaktoren på 301 MPa.

## 8.2 Impact load (støtbelastning)

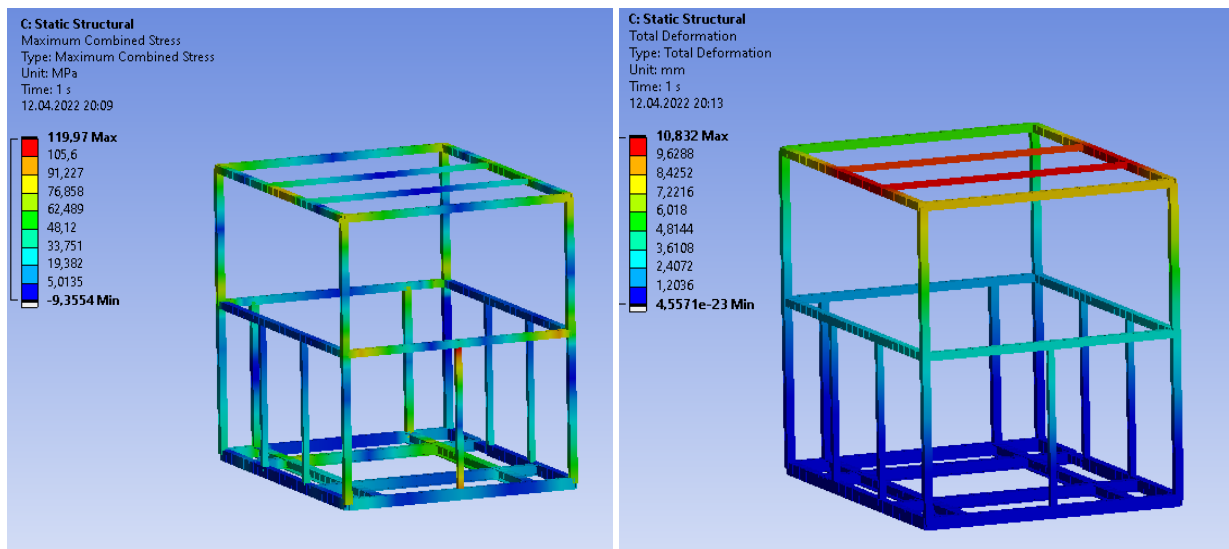
### 8.2.1 Horisontal

For den horisontalte støtbelastningen blir det antatt at de nederste bjelkene er fast i underlaget med fri rotasjon rundt aksene. Den påførte kraften er 32774 N vinkelrett for overflaten. Mesh størrelsen er i dette tilfelle satt til 200 mm.



Figur 8.4: Grensbetingelser for støtbelastning

Resultatene fra analysen er vist i figur 8.5, og viser en maksimum spenning og deformasjon på 120 MPa og 10 mm. Dette er den mest utsatte stedet for horisontal støtbelastning og ettersom spenningen er relativ lav i forhold til sikkerhetsfaktoren på 301 MPa kan man anta at rammen tåler den horisontale støtet på ethvert punkt.



Figur 8.5: Resultat horisontal støtbelastning

## 8.2.2 Vertikal støtbelastning

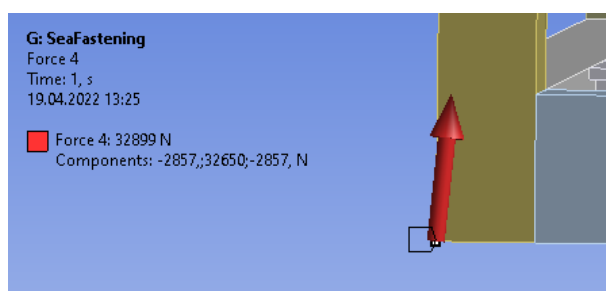
For den vertikale støtbelastningen burde man i følge DNV 2.7-3 bruke Non-linear dynamic FE analyse, men ettersom det er begrensinger i studentversjonen blir det brukt non-linear mesh og material i den statiske versjonen. Modellen blir modellert som en shell-modell for at treghetskreftene skal forekomme.

Den vertikale støtbelastningen skal representere at rammen blir satt ned på et hjørne på en flat overflate. Dette blir gjort ved å sette en kraft på 32 774 N i hjørnet av modellen der steps er inkludert for å representere de dynamiske kreftene. Denne er satt med en 5 graders vinkel som er den minste vinkelen en kan ha i henhold til DNV 2.7-3 kap. 5.3.2.

Joints er satt i alle hjørner på toppen av rammen med fri rotasjon. Gravitasjon er inkludert.

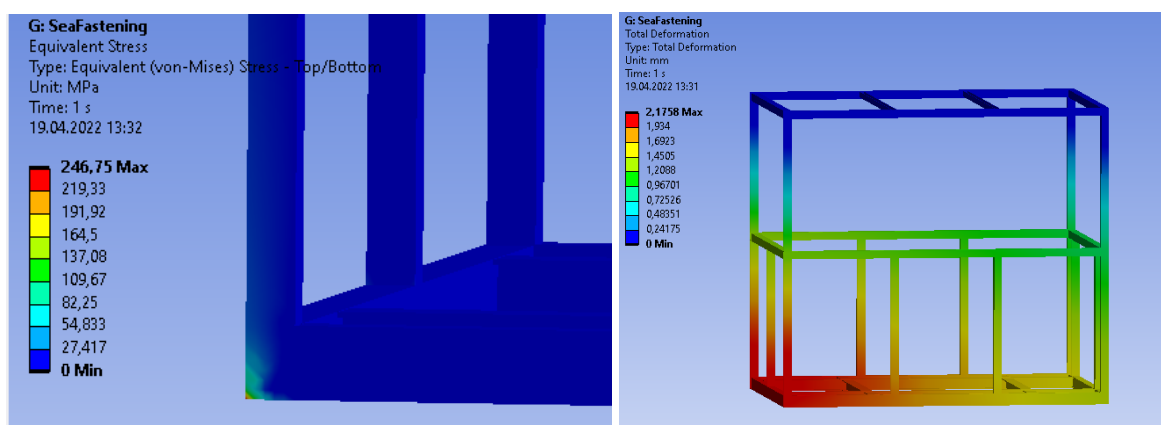
Akse	Formel	Kraft
X	$32774 \cdot \sin(5)$	2857 N
Y	$32774 \cdot \cos(5)$	32650 N
Z	$32774 \cdot \sin(5)$	2857 N

Tabell 8.2: Data til analyse



Figur 8.6: Støtbelastning med 5 graders vinkel

Ut i fra resultatene vist i figur 8.7 kan man se at rammen er tilstrekkelig for støtbelastning i vertikal retning med en maksimum spenning på 246.75 MPa og 2.2 mm deformasjon.

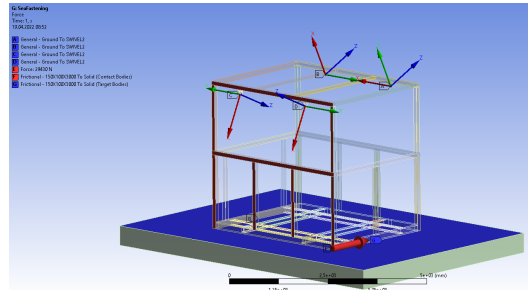


Figur 8.7: Resultat vertikal støtbelastning

### 8.3 Transport

For transport analysen er shell brukt for å lage modellen og solid for swivels for å spare på noder og elementer i meshen.

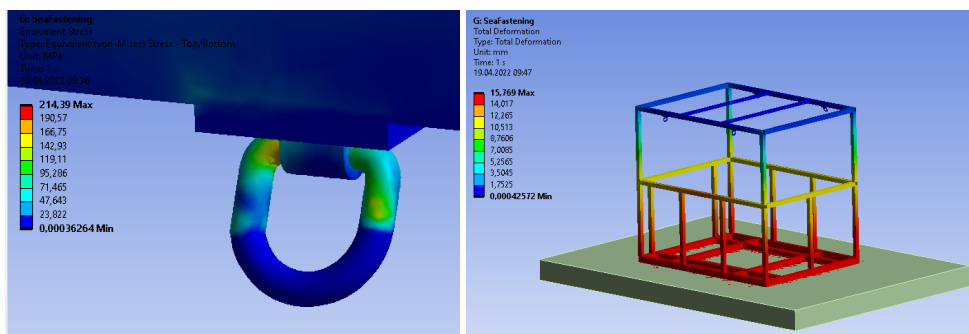
For grensebetingelser er swivelene festet i rammen med joints og har fri rotasjon rundt alle akser. En *solid* er laget for å representere bakken som rammen står på og har en friskjonskoeffisient satt til 0,2. Kraften som er satt på er  $MGW \cdot 9.81$  for horisontalt og  $1.3 \cdot MGW \cdot 9.81$  for vertikalt



Figur 8.8: Grensebetingelser for transport analyse

#### 8.3.1 Resultat Horizontal Transport

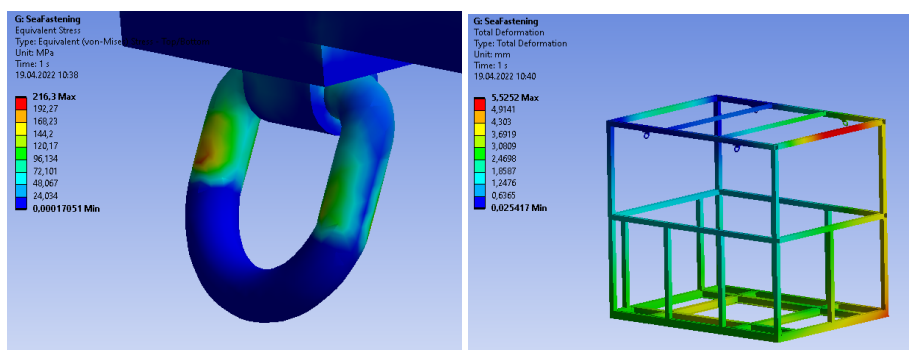
Ut i fra figur 8.9 kan man se at for den horisontale kraften blir maksimum spenning lik 214,4 MPa og er innenfor kravene på  $0.85 \cdot R_e$ . Den totale deformasjonen blir ut fra analysen 15 mm som sannsynlig kommer fra forskyvningen grunnet friksjon.



Figur 8.9: Resultat horisontal transport

#### 8.3.2 Resultat Vertikal Transport

For den vertikale kraften kan man se at for en maksimum spenning på 216,3 MPa er innenfor kravene. Den totale deformasjonen blir ut fra analysen 5 mm.

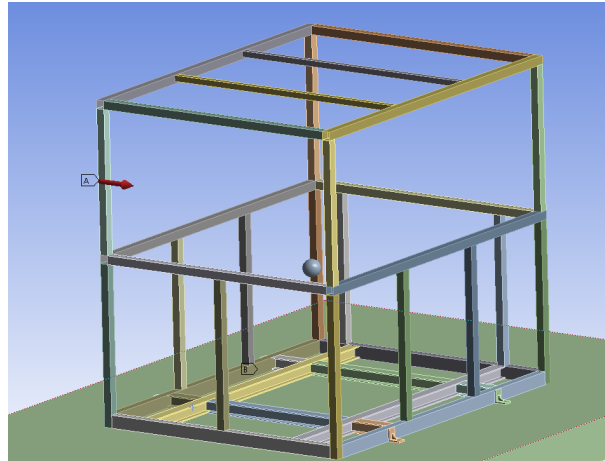


Figur 8.10: Resultat vertikal transport

## 8.4 Seafastening

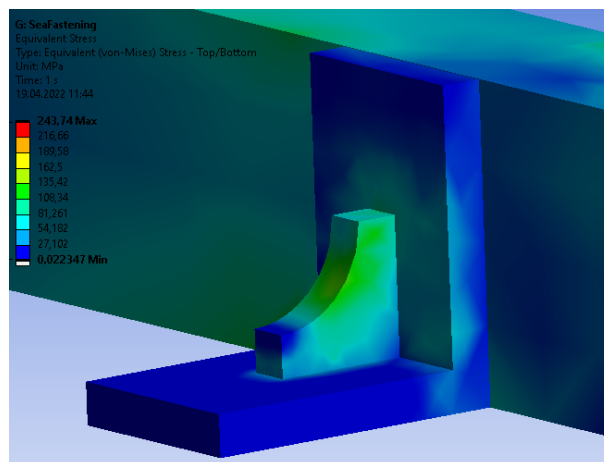
For å feste reelen til dekk blir det brukt sveiseblokker slik at ikke det blir sveist direkte på rammen. Disse er festet til rammen med bolter. Kravene til seafastening er ikke fastsatt, men skal tåle design kreftene som er satt. Det blir derfor i dette tilfelle brukt den høyeste horisontale kraften på 32774 N og en sikkerhetsfaktor på  $0.85 \cdot \sigma$ .

Sveiseblokkene er festet til en plate med bundet kontakt.



Figur 8.11: Grensebetingelser for seafastening

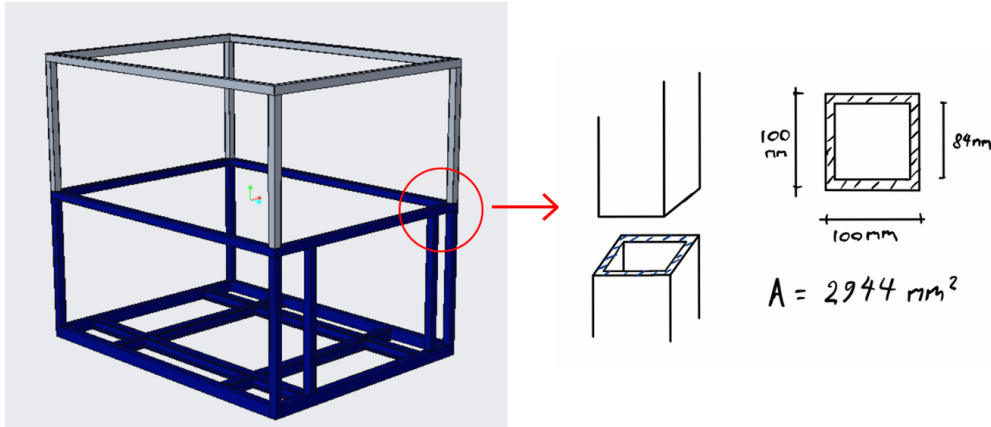
Resultatene fra analysen gir en maksimum spenning på 243.74 MPa fra rammen. Ved bruk av lokal sone verktøy, er maksimum spenning lik 132 MPa, og man kan si at sveiseblokkene er tilstrekkelig for designlastene. Deformasjonen til sveiseblokkene er  $\approx 0$ , og er derfor ikke tatt med.



Figur 8.12: Resultat seafastning

## 8.5 Analyse av sveis

Styrkeberegningen i sveisene er gjort teoretisk med utgangspunkt i formlene gitt i Eurocode 3 som nevnt i kapittel 5.3.5. Buttsveiser med fullgjennomsvensing skal i utgangspunktet ha kapasitet lik det svakeste materialet i forbindelsen. Det er allikevel foretatt en utregning av kapasiteten. Figuren nedenfor viser hvordan den nye rammen blir sveist fast i den originale rammen. Sveisearealet i hver av de fire sveisene blir på  $A = 2944 \text{ mm}^2$ .



Figur 8.13: Sveis mellom original og ny ramme

Det skilles mellom dimensjonerende og opptredende spenning i sveisen. I dette tilfelle brukes dimensjonerende formler for å være sikker på at sveisen holder seg innenfor gjeldende krav. Formelen for dimensjonerende spenning gir følgende resultat:

$$\sigma_{dim.} = f_d = \frac{f_y}{\gamma_M} \rightarrow \frac{335}{1,25} = 284 \text{ MPa} \quad (8.1)$$

Materialfaktoren er satt lik 1,25 for sveiste forbindelser og flytespenningen er gitt av materialet i bjelkene lik 355 MPa. Formelen fra DNV 2.7-3 gir maksimal opptredende spenning i sveisen lik:

$$\sigma_{dim.} = 0,85 \cdot R_e \rightarrow 0,85 \cdot 355 \text{ MPa} = 302 \text{ MPa} \quad (8.2)$$

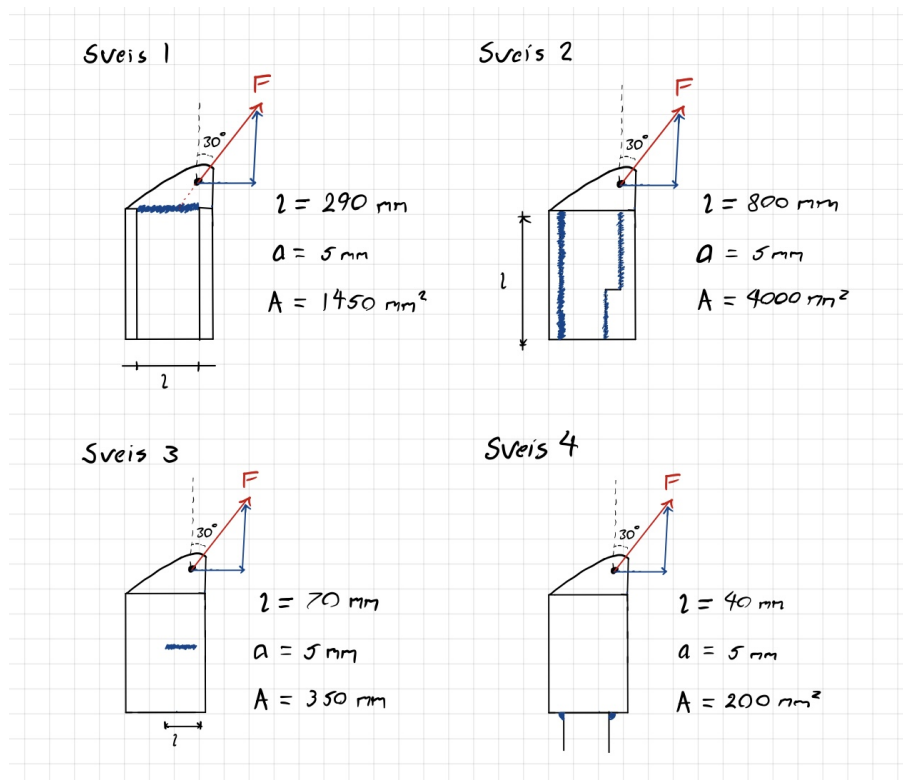
Det vil derfor være forsvarlig å ta utgangspunkt i den første formelen for dimensjonerende spenning. Videre settes den maksimale tillatte spenning inn i formelen for opptredende spenning for å regne ut den maksimale kraften den sveiste forbindelsen tåler. Her er  $\gamma_f = 1.5$  for dimensjonerende nyttelast.

$$\sigma_{opptr.} = \frac{F_{max} \cdot \gamma_f}{A} \Rightarrow F_{max} = \frac{\sigma_{opptr.} \cdot A}{\gamma_f} = \frac{284 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2944 \text{ mm}^2}{1.5} = 557.4 \text{ kN} \quad (8.3)$$

Denne kraften er langt større en kraften som vil oppstå i bjelkene ved normalt bruk, og der er derfor trygt å si at denne sveisen holder stand.



Løfteørene er sveiset fast i rammen med kilsveiser som vist på illustrasjonen 8.14. Platen på løfteøret er plassert i et innhukk i selve rammen som gjør det mulig å sveise rundt langs alle kanter. Sveisen kan deles opp i 4 forskjellige sveiser for å få en enklere oversikt over hvor det er sveiset.



Figur 8.14: Kilsveisen rundt løfteøret delt opp i 4 deler

For styrke beregningen brukes formelen fra Eurocode 3 som nevnt i kapittel 5.3.5. For enkelthetens skyld settes stress fordelingen i sveisen lik hverandre der vi tar utgangspunkt i at sveisen skal tåle det samme i alle retninger. Her settes utnyttelses faktoren lik 1.4 for å opprettholde kravene om kilsveiser fra DNV 2.7-3. Dette gir følgende utregning:

$$\sigma_{opptr.} = \sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \sigma_{dim.} = \frac{f_y}{\gamma_M \cdot \beta_w} \quad (8.4)$$

$$\sigma \leq \frac{f_y}{\gamma_M \cdot \beta_w \cdot \sqrt{7}} = \frac{355}{0,9 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{7}} = 106,5 MPa \quad (8.5)$$

I dette tilfelle aksepteres kilsveisen på grunn av løfteørets unike plassering med tanke på sveiseareal. Dette er det totale sveisearealet satt sammen av sveisene vist i figur 8.14  $A = 6000 \text{ mm}^2$ . Kraften som sveisen vil tåle er målt i newton, og finnes da ved formel 8.6.

$$F_{max} = \sigma \cdot A = 106,5 MPa \cdot 6000 \text{ mm}^2 = 638,9 kN \quad (8.6)$$

## 8.6 Analyse av padeye

En manuell styrkeberegning gjøres av padeyes hvor kravene som er fremstilt i DNV 2.7-3 gjennomgås, se kapittel 5.3.4. Her fremkommer det at padeyes ikke tilfredstiller bearing pressure 5.6 og heller ikke tear out kravet 5.7.

Bearing pressure:

$$\sigma_e \geq 0.045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t}} \rightarrow 0.045 \cdot \sqrt{\frac{200203 \text{ N} \cdot 210000 \text{ MPa}}{40 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}}} = 326 \text{ MPa} \not\leq 301 \text{ MPa} \quad (8.7)$$

Med nye dimensjoner beskrevet i 7.3.3 blir bearing pressure = 215 MPa.

Tear out:

$$\sigma_e \geq \frac{2 \cdot RSF}{(2 \cdot R_{pad} - D_H) \cdot t} \rightarrow \frac{2 \cdot 200203 \text{ N}}{(2 \cdot 45 \text{ mm} - 40 \text{ mm}) \cdot 20 \text{ mm}} = 400 \text{ MPa} \not\leq 301 \text{ MPa} \quad (8.8)$$

Ny tear out med dimensjoner beskrevet i 7.3.3 blir lik 174 MPa.

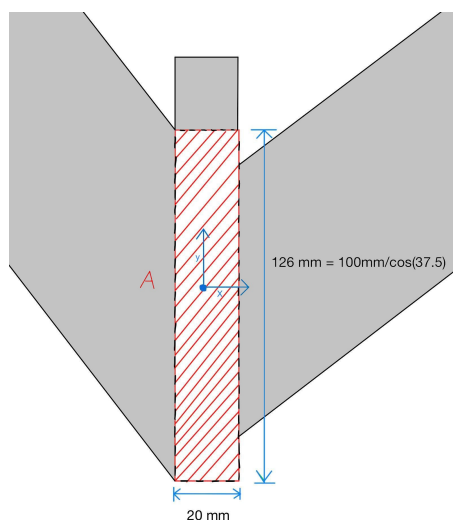
Det kommer frem at geometri kravene til padeye heller ikke er oppfylt. Platen viser seg å være for smal i forhold til sjakkene som passer størrelsen til hullet, her er kravet at tykkelsen på padeye skal være minimum 75% av innerste bredde på sjakkel.

$$\frac{20 \text{ mm}}{57 \text{ mm}} \cdot 100\% = 35\% \not\geq 75\% \quad (8.9)$$

Dette blir endret til 81% med modifikasjoner beskrevet i 7.3.3.

De resterende kravene til padeye geometri og styrke blir oppfylt iht. DNV 2.7-3.

Videre skal Von-Mises stress som oppstår i festet til padeye sjekkes for hånd for så å kontrollere mot resultater fra Ansys. Først finnes motstandsmomentet med kvadratisk tverrsnitt likt som padeye i festepunktet, her er det gjort noen forenklinger som illustrert figur (8.15).



Figur 8.15: Tverrsnitt av padeye

Med det forenklete tverrsnittet regnes motstandsmomentet ut som vist i formlene 8.10 og 8.11

$$\text{Svak akse} : W_y = \frac{l \cdot b^2}{6} = 8403 \text{ mm}^3 \quad (8.10)$$

$$\text{Sterk akse} : W_x = \frac{b \cdot l^2}{6} = 52960 \text{ mm}^3 \quad (8.11)$$

Her er  $b$  = bredden til padeye og  $l$  = lengden i festet. Man finner så normalspenningen ved følgende formel.

$$\sigma_a = \frac{RSF \cdot \cos v}{A} = 65 \text{ MPa} \quad (8.12)$$

$v$  er slyngvinkel =  $35^\circ$  og  $A$  er tverrsnittsarealet til padeye i festepunkt. Videre finner man skjærkreftene først normalt.

$$\tau = \frac{RSF \cdot \sin v}{A} = 46 \text{ MPa} \quad (8.13)$$

Så finner man skjærspenning som følge av out-of-plane vinkel.

$$\tau_{oop} = \frac{RSF \cdot \sin v_{oop}}{A} = 4 \text{ MPa} \quad (8.14)$$

$v_{oop}$  er samme som out-of-plane vinkelen.

Man finner så bøyemomenter både langs og på tvers av padeye.

$$M_y = \frac{RSF \cdot \sin v \cdot H_1}{W_y} = 130 \text{ MPa} \quad (8.15)$$

$$M_x = \frac{RSF \cdot \sin v_{oop} \cdot H_2}{W_x} = 170 \text{ MPa} \quad (8.16)$$

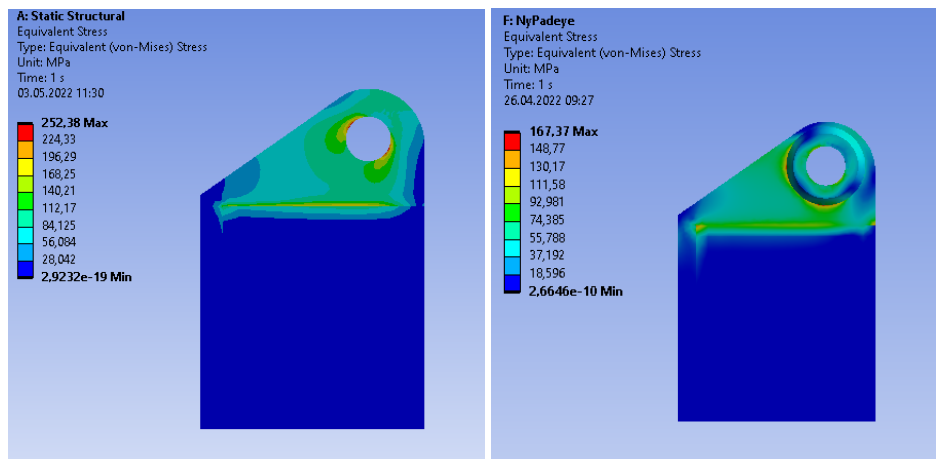
Her er  $H_1$  og  $H_2$  avstanden fra øverste festepunkt i padeye til angrepspunktet til kraften.

Til slutt regner man ut Von-Mises.

$$\sigma_{tot} = \sqrt{(M_x + M_y + \sigma_a)^2 + 3(\tau + \tau_{oop})^2} = 272 \text{ MPa} < 301 \text{ MPa} \quad (8.17)$$

Resultatet er at padeye-festet vil tåle de totale belastningen det opplever. Med de nye dimensjonene vil denne belastningen reduseres ytterligere til 156 MPa.

Som forventet vil resultatene fra analysene i ansys variere noe fra det utregnede resultatet. Man antar som regel at utregnet verdi er mer nøyaktig så lenge den er gjort riktig. Resultater fra ansys gir likevel en god indikator, og samtidig kan man illustrere kraftfordelingen som opptrer i legemet noe som er vanskelig å beskrive med kalkulasjoner for hånd.



Figur 8.16: Resultat Von-mises

Resultatene før endringene gir en verdi som er lavere enn utregnet, mens resultatene etter geometri endringene og påsatt cheek plates gir en verdi som er høyere enn utregnet verdi. Begge resultatene ligger med et avvik på under 10% fra utregnet verdi.

## 9 Økonomisk evaluering

Et tilbud blir laget for å vurdere om det vil lønne seg å gjennomføre modifikasjoner på denne reelen sammenlignet med å eventuelt kjøpe ny. Det er etterspurt en økonomisk vurdering fra person med relevant kompetanse i Aker Solutions som har sendt videre arbeidet til Ågotnes Sveis.

Det er i tillegg innhentet priser fra Norsk stål [40] og det er gjort en grov prisevaluering for sammenligning.

Den største utgiften med en slik modifikasjon vil være i fra verkstedet på grunn av arbeidstimer. Her regnes det timer på arbeid som vil være å sveise rammen, verneplatene, montere komponenter, sand blåsing, maling etc. Tiden på dette vil variere og prisen per time vil ligge på omtrentlig 1000 kroner. I tabell 9.2 kan man se et grovt overslag på hvor mange timer det vil ta å gjøre modifikasjonene på reelen.

Type	Dimensjon	Material	Lengde (m) /total	Note	Å kjøpe inn
KF HUP	80 x 80 x 8	S355J2	8,75	5x1.75m	2 lengder å 6 m
KF HUP	100 x 100 x 8	S355J2	21,2	(2x3m) + (2x4,2m) + (4x1,7m)	6 lengder å 6 m
KF HUP	50 x 50 x 4	S355J2	3,95	(2x990mm) + 510mm + 1460mm	1 lengde å 6 m
Likebenet vinkelstål	50 x 50 x 6	S355J2	62,332	Sjå vedlegg x for kapping	15 lengder å 6 m
				8387,5	
<b>Strekk metall 2074 F FZV</b>					
Plate 1 (1165x1640)	1200 x 2000	Stål, UBH	3 Stk		3 Stk
Plate 2 (1810x1645)	2000 x 2285	Stål, UBH	1 Stk		1 Stk
Plate 3 (660x1645)	1500 x 2000	Stål, UBH	1/3 stk	Deler med plate 5 & 7	1 stk
Plate 4 (345x1645)	2000 x 1200	Stål, UBH	1/2 Stk	Deler med plate 8	1 stk
Plate 5 (165x1645)	1500 x 2000	Stål, UBH	1/3 stk	Deler med plate 3 & 7	...
Plate 6 (1640x1340)	1500 x 2000	Stål, UBH	1 stk		1 Stk
Plate 7 (610x1365)	1500 x 2000	Stål, UBH	1/3 stk	Deler med plate 3 & 5	...
Plate 8 (1650x1170)	2000 x 1200	Stål, UBH	1/2 stk	Deler med plate 4	...
<b>U-STATUS STREKKMET</b>					
Top Protection 1 1292	1220 x 1525	Stål, UBH	2 stk	Må ha 2 stk pr plate	2 stk
Top Protection 2 1292	1220 x 1525	Stål, UBH	2 stk	Må ha 2 stk pr plate	2 stk
Top Protection 3 1292	1220 x 1525	Stål, UBH	2 stk	Må ha 2 stk pr plate	2 stk

Figur 9.1: Innkjøpsliste ramme

Innkjøp	Type	Pris (kr)
	KF HUP (S355J2)	3012,-
	U-bjelke (S355J2)	366,-
	Likebenet vinkelstål	18 500,-
	Strekkmetall 2074 FZV	2358,-
	El-Motor	34 763,-
	Oil Low Level Switch	6080,-
	Forrigling/endebryter	2207,-
	Kuleventil	4775,-
	Bolter og annet festemiddel	20 000,-
<b>Sum</b>		<b>92 060,-</b>

Tabell 9.1: Innkjøpspris

<b>Timer</b>	<b>Arbeid</b>	<b>Pris (kr)</b>
12	Kapping av stål	12 000,-
16	Sveising av verneplater	16 000,-
12	Montering av verneplater inkl. sveising	12 000,-
20	Sveising ny ramme	20 000,-
36	Sandblåsing og maling	36 000,-
25	Demontering av utstyr og klargjøring	25 000,-
20	Montering av komponenter	20 000,-
50	Annet arbeid	50 000
<b>Sum</b>		<b>191 000,-</b>

Tabell 9.2: Verkstedstimer

Forslaget som er gitt er kun et eksempel på hva som må gjøres. I en samtale med Aker Solutions vart der konkludert med at en slik modifikasjon vil koste rundt 200 000,- og ut i fra beregningene som er gjort er det komme fram til at prosjektet vil koste 283 060,-.

Prisen som kommer fra Ågotnes Sveis var 280 000,- uten moms. Denne prisen er svært lik prisen fra våre utregninger men ser vekk i fra maling og NDT testing. Videre vil det komme konstander for sertifisering og slings som ytteligere vil øke prisen.

## 10 Diskusjon

Ut ifra en samtale med Aker Solutions er det enighet i at dette en god løsning som vil svare seg frem i tid imotsetning til å kjøpe ny reel. En slik modifikasjon vil da være aktuelt når en vet hvor reelen skal brukes og en avtale om utleie er fastsatt. Reelen vil da gjøre nytte for seg isteden for å kondemneres. Dette er dersom det tekniske er i orden og utstyr ikke må byttes. Dersom det kommer frem flere uforutsigbare feil og mangler i inspeksjonen på verkstedet vil dette gå ut over prisanslaget på prosjektet. Den økonomiske aspektet i denne rapporten vil derfor kunne være mangelfull.

For at prosjektet skal kunne gjennomføres kreves det en del videre arbeid som kommer utenfor denne rapporten, enten på grunn av oppgavens innleveringsfrist eller på grunn av manglende kompetanse på fagområdet.

Det er ønsket at reelen skal bli godkjent til DNV 2.7-3 Portable Offshore Units. Det skal derfor sendes inn en rapport til DNV som inneholder de modifikasjoner og analyser som er gjort for å oppnå kravene. DNV vil gå gjennom og evaluere rapporten før de eventuelt kan godkjenne utstyret, og denne prosessen kan ta et par måneder.

Reelen skal inn i verkstedet for en fullstendig gjennomgang av tilstand. Her vil alle operative systemer sjekkes, testes, og alle feil og mangler dokumenteres. Det vil lages en tilstandsrapport som gir et fullstendig bilde på reelens reparasjons-scope. Tilstandsrapporten vil supplert med denne rapporten gi et fullstendig bilde av hva som må bestilles inn av deler og materiale. Det vil deretter kunne utarbeides et mer nøyaktig prisestimat på prosjektet og en endelig beslutning om gjennomførelse vil bli tatt.

Alle nye modifikasjoner gjøres også på verkstedet. Dette vil for eksempel innebære sveising, kapping og montering av nye komponenter. Gammel umbilical skal spoles av og det må forberedes for implementering av ny umbilical. Rammen må deretter sandblåses, males og merkes med relevant info etter gjeldende krav. For å dokumentere at alle krav er oppfylt skal det fylles ut en samsvarserklæring basert på NORSOK Z-015.

Denne rapporten har ikke en tilstrekkelig vurdering av det hydrauliske systemet i forhold til om det vil kunne kjøre som normalt med de nye oppgraderingene. Det er derfor anbefalt at person med relevant kompetanse sjekker at det hydrauliske systemet holder stand.

## 11 Konklusjon

I denne rapporten er det gjort en evaluering av gjenbrukspotensiale av en utdatert umbilical reel i samarbeid med Aker Solutions. Gjennom oppgaven er dokumentasjon og spesifikasjoner undersøkt og sammenlignet opp mot kravene som stilles til denne type utstyr i form av forskrifter og standarder. Ut ifra disse kravene er det utarbeidet et forslag om hva som må til for at reelen skal kunne opereres som normalt for at selskapet skal kunne videreføre den i sin utleieportefølje.

Kravene som stilles til denne type utstyr er innhentet og presentert i kapittel 5. Her kommer det frem i flere punkter at reelen som den står i dag ikke vil oppfylle dagens krav. Det konkluderes derfor med at reelen trenger flere oppgraderinger og modifikasjoner. Et av hovedfunnene er at rammen må oppgraderes. Det vil bli lagt til et påbygg som rammer inn reelen i en heldekkende ramme. På rammen vil det monteres verneinnretninger og takbeskyttelse som skal forhindre kontakt mellom bevegelige deler og mennesker eller andre gjenstander. Videre vil reelen oppgraderes fra ex-soner 2 til ex-soner 1 i tillegg til å bli utstyr med forrigling og få ny maling.

Etter ønske fra selskapet er det bestemt at reelen skal utstyres med ny og lenger umbilical. Det kommer frem at denne kan monteres uten for mye modifikasjoner, og reelen vil få en økt kapasitet fra 500 til 1000 meter. Den nye umbilicalen vil gi reelen et bredere bruksområde da den vil kunne operere på dypere vann. Reelens egenvekt vil øke ved de nye modifikasjonene og det er derfor gjennomført ny analyse av ramme, løfteører og sveis presentert i kapittel 8. Analysene viser at de forslåtte modifikasjonene vil tåle de krefter og ulike fysiske påkjenninger som stilles i kravene.

Den økonomiske analysen i kapittel 9 viser et anslag av prisen av prosjektet. Prisen vil være på 283 600,- som ansees å være en overkommelig pris. Det konkluderes derfor med at rapporten lykkes i å presentere et gjenbrukspotensiale av umbilical reelen.



## Referanser

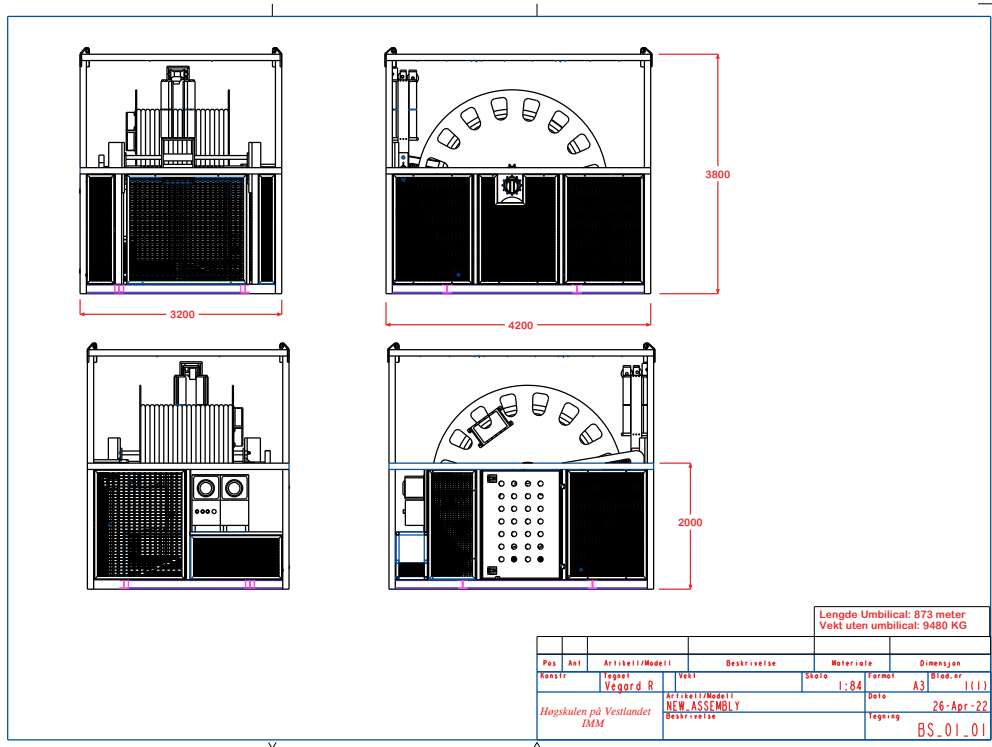
- [1] Norsk Oljemuseum. «*Ocean Viking*» borer første brønn.  
<https://ekofisk.industriminne.no/nb/ocean-viking-borer-pa-norsk-sokkel/>, Mai 2020,.
- [2] Aker Solutions. *Evolutions*.  
<https://www.akersolutions.com/globalassets/huginreport/2014/annual-report-2014.pdf>, 2014.
- [3] DNV. *2.7-3 Portable offshore units*.  
<https://standards.dnv.com/explorer/document/8066ADBA146B4DDB9957938AADEA6978/4>, January 2016, (rev.2021).
- [4] European standards. *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner*, 2005.
- [5] NORSOK. *Z-015 Midlertidig utstyr*.  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1331705>, January 2021.
- [6] Köppen–Geiger. *Tropical climate map*.  
<https://ownyourweather.com/koppen-climate-classification/>, January 2021.
- [7] Aker Solutions. *Sustainability Report 2021*.  
<https://www.akersolutions.com/globalassets/sustainability/sustainability-report-2021.pdf>, 2021.
- [8] Aker Solutions. *History and Heritage*.  
<https://akersolutions.com/who-we-are/history/>. (Lastet ned 03.02.2022).
- [9] Aker Solutions. *Aker Solutions SLS Norway*, March 2022.
- [10] Olav Dalland. *Metode og oppgaveskriving*. Gyldendal, 7 edition, 2020. s.52-53.
- [11] Matthias Kaiser. *Kvantitativ metode*.  
<https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/kvantitativ-metode/>, Mai 2018.
- [12] Katrine Fangen. *Kvalitativ metode*.  
<https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/kvalitativ-metode/>, Juni 2015.
- [13] CCB. *Standard Profiler*.  
<https://www.ux.uis.no/hirpa/6KdB/ME/StandardProfiler.pdf>.
- [14] A.S Hydralift. *Manufacturing record book; ICS Umbilical reel*, August 1993.
- [15] Standard.no. *Standardisering*.  
<https://www.standard.no/standardisering/>. (Lastet ned: 23.04.2022).
- [16] Petroleumstilsynet. *Rolle og ansvarsområde*.  
<https://www.ptil.no/om-oss/rolle-og-ansvarsomrade/>. (Lastet ned: 29.02.2022).
- [17] Petroleumstilsynet. *Rammeforskriften*.  
[https://www.ptil.no/globalassets/regelverk/gjeldende-regelverk-2022/rammeforskriften\\_n.pdf](https://www.ptil.no/globalassets/regelverk/gjeldende-regelverk-2022/rammeforskriften_n.pdf), April 2019.
- [18] NORSOK. *NORSOK D-002:2020*.  
<https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1110501>, January 2020.
- [19] NORSOK. *R-002: Lifting equipment*.  
<https://www.standard.no/en/webshop/ProductCatalog/ProductPresentation/?ProductID=1402704>, Januar 2022.

- [20] ISO. *Maling og lakk - Korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner med beskyttende malingssystemer*. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=967477>, 2018.
- [21] Lovdata. *Forskrift om utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-11-29-1849?q=2017-11-29-1849>, Desember 2017.
- [22] Lovdata. *Forskrift om enkle trykkbeholdere*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-02-10-171?q=FOR-2017-02-10-171>, Februar 2017.
- [23] Lovdata. *Forskrift om elektromagnetisk kompatibilitet*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-10-10-1597?q=2017-10-10-1597>, Oktober 2017.
- [24] Lovdata. *Forskrift om trykkpåkjent utstyr*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-10-10-1631?q=2017-10-10-1631>, Oktober 2017 (2021).
- [25] Lovdata. *Forskrift om maskiner*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544?q=2009-05-20-544>, Mai 2009 (2022).
- [26] Industribehov. *H-sjakk Super"med mutter og splint*. <https://industribehov.com/produkter/sjakler/h-sjakkel-super-med-mutter-og-splintmal-og-dimensjoner>, 2014. (Lastet ned: 03.03.2022).
- [27] Mørenot. *Product catalogue*. [https://www.morenot.com/upload\\_images/21269ED43C9740E88EEEC388BF621DB78.pdf](https://www.morenot.com/upload_images/21269ED43C9740E88EEEC388BF621DB78.pdf), 2016.
- [28] Henning Johansen. *Styrkeberegning Sveisteforbindelser - statistisk*. [http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/SB\\_Sveisteforbindelser-Statisk\\_2012\\_nr.3.pdf](http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/SB_Sveisteforbindelser-Statisk_2012_nr.3.pdf), 2012.
- [29] Nucleom. *Visual Inspection (VT)*. <https://nucleom.ca/en/nde-solutions/visual/>. (Lastet ned: 24.05.22).
- [30] Standard Norge. *NS-EN ISO 5817:2014*, 2014.
- [31] Magnetic Analysis Corp. *ULTRASONIC TECHNOLOGY IN NDT*. <https://www.mac-ndt.com/ultrasonic/?gclid>. (Lastet ned: 24.05.22).
- [32] Standard Norge. *NS-EN ISO 11666:2018, Ikke-destruktiv prøving av sveiser Ultralydprøving Godkjenningsnivåer*, 2018.
- [33] TWI Global. «*WHAT IS NON-DESTRUCTIVE TESTING (NDT)? METHODS AND DEFINITION*». <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-non-destructive-testing>. (Lastet ned: 24.05.22).
- [34] Steute Technologies. *Ex 13 WPH IÖ/IS*. <https://www.steute.com/en/extreme/products/ex-position-switches-withwithout-safety-function/ex-13/ex-13-wph-1oe1s-10m.pdf>, Mai 2020,.
- [35] Even Fladberg. *Grunnleggende om Ex*. <https://www.tu.no/artikler/grunnleggende-om-ex/218876>, May 2013.
- [36] Measuremonitorcontrol.com. *Understanding ATEX Codes*. <https://www.measuremonitorcontrol.com/resources/atex/atex-codes>. (Lastet ned: 29.01.2022).
- [37] Marc Hummel. Peronlig kommunikasjon, *Oil Level Switch*, April 2022.
- [38] Brook Crompton. *Ex d/de Zone 1 flameproof motors*. [http://www.brookcrompton.com/upload/files/products/2205e\\_eex\\_d\\_issue%202e.pdf](http://www.brookcrompton.com/upload/files/products/2205e_eex_d_issue%202e.pdf), 2020.

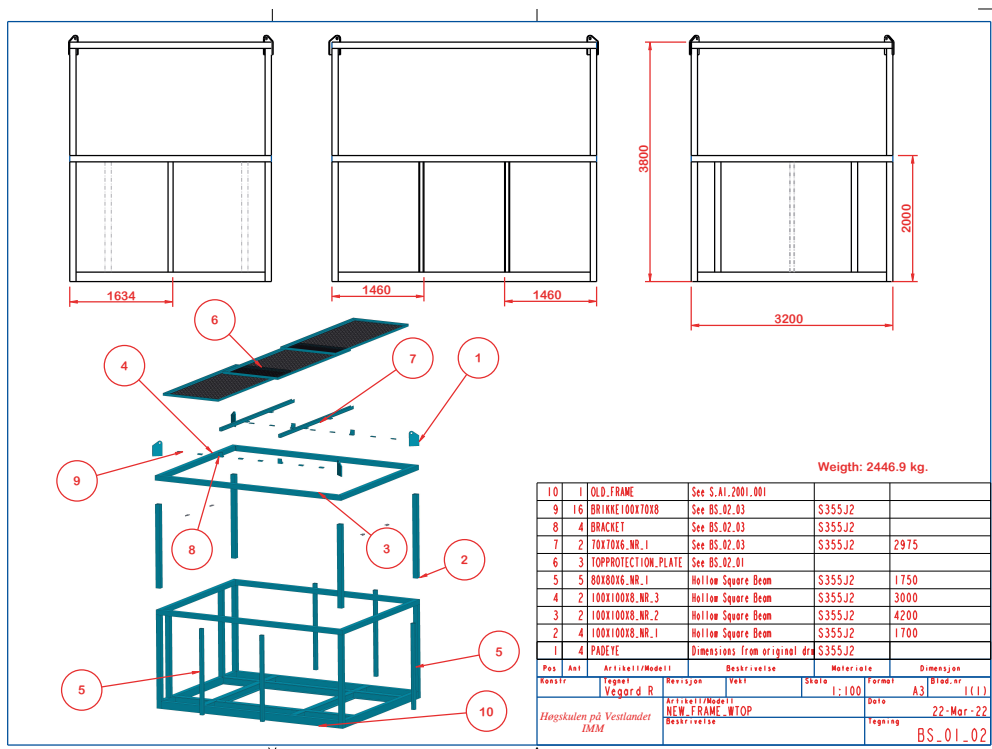
- [39] Sudenga Industries Inc. *HP Needed To Drive Hydraulic Pump Calculator*.  
<https://sudenga.com/resources/hp-required-to-drive-a-hydraulic-pump/>. (Lastet ned: 07.04.2022).
- [40] Norsk Stål. *Prisliste* .  
<https://www.norskstaal.no/produkter/printfavlist/pricelist>, January 2021.

# Vedlegg

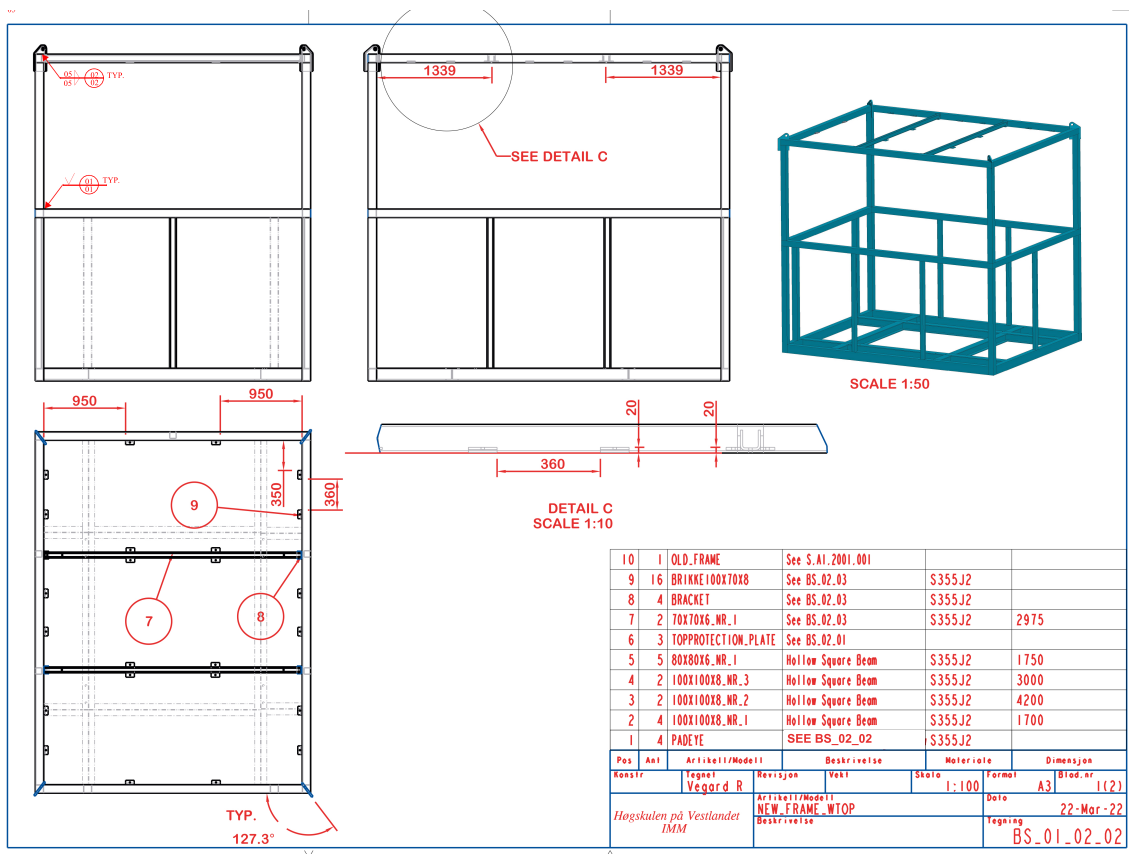
## A Tegninger



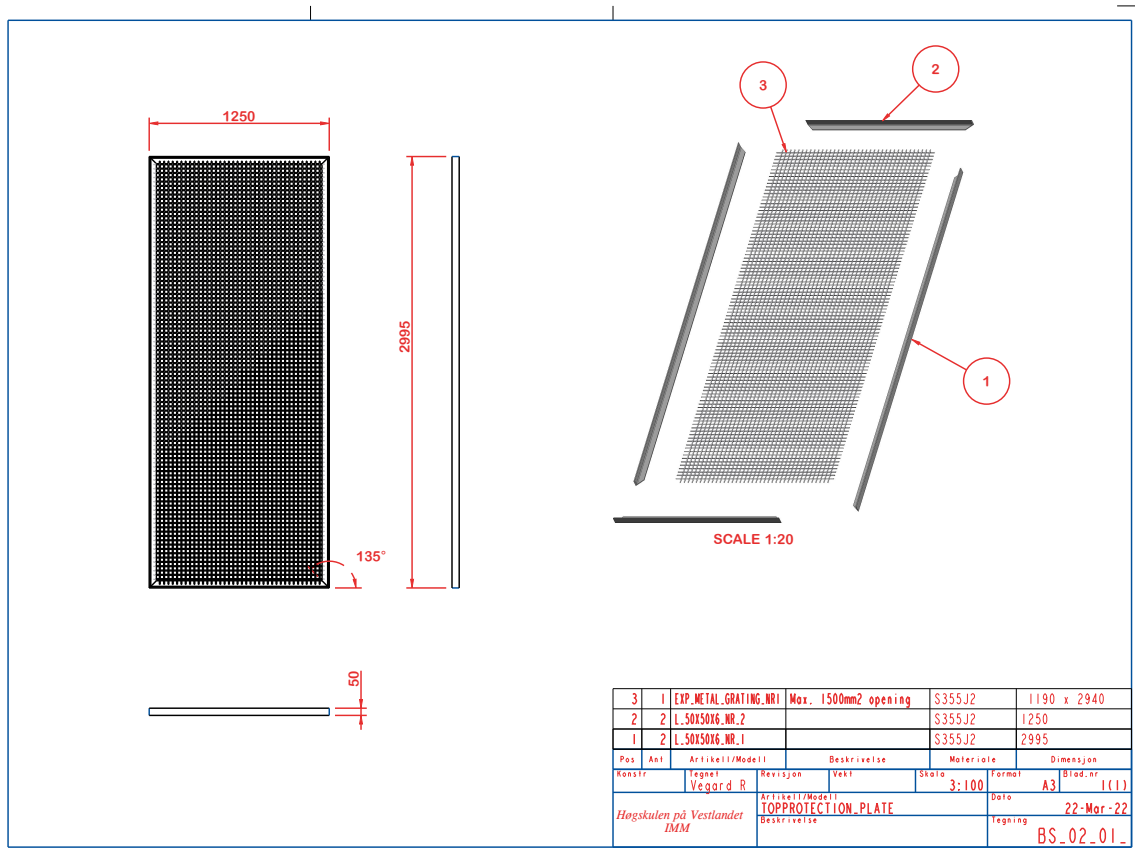
Figur .1: BS-01-01



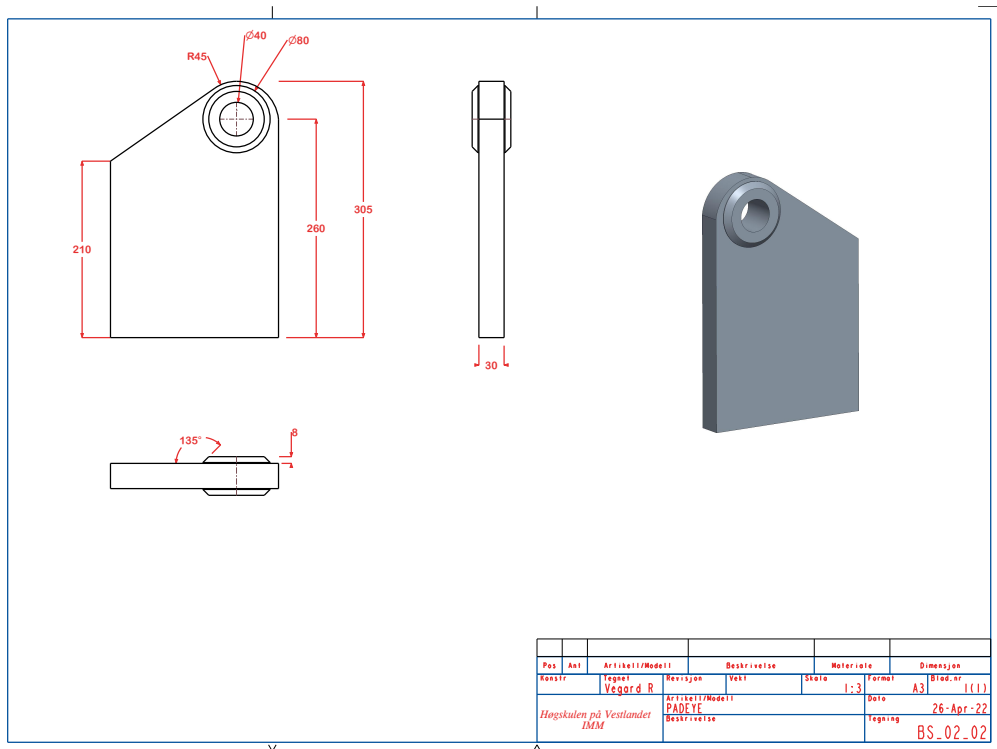
Figur .2: BS-01-02, exploded view



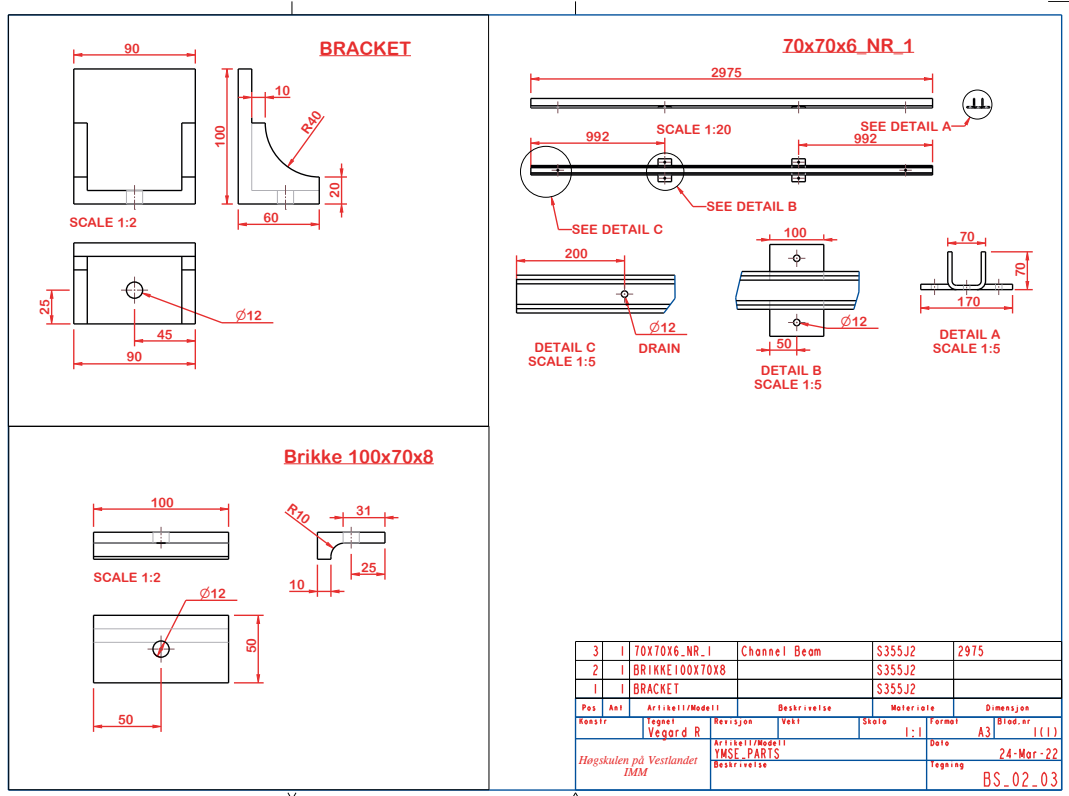
Figur .3: BS-01-02-02, detaljer



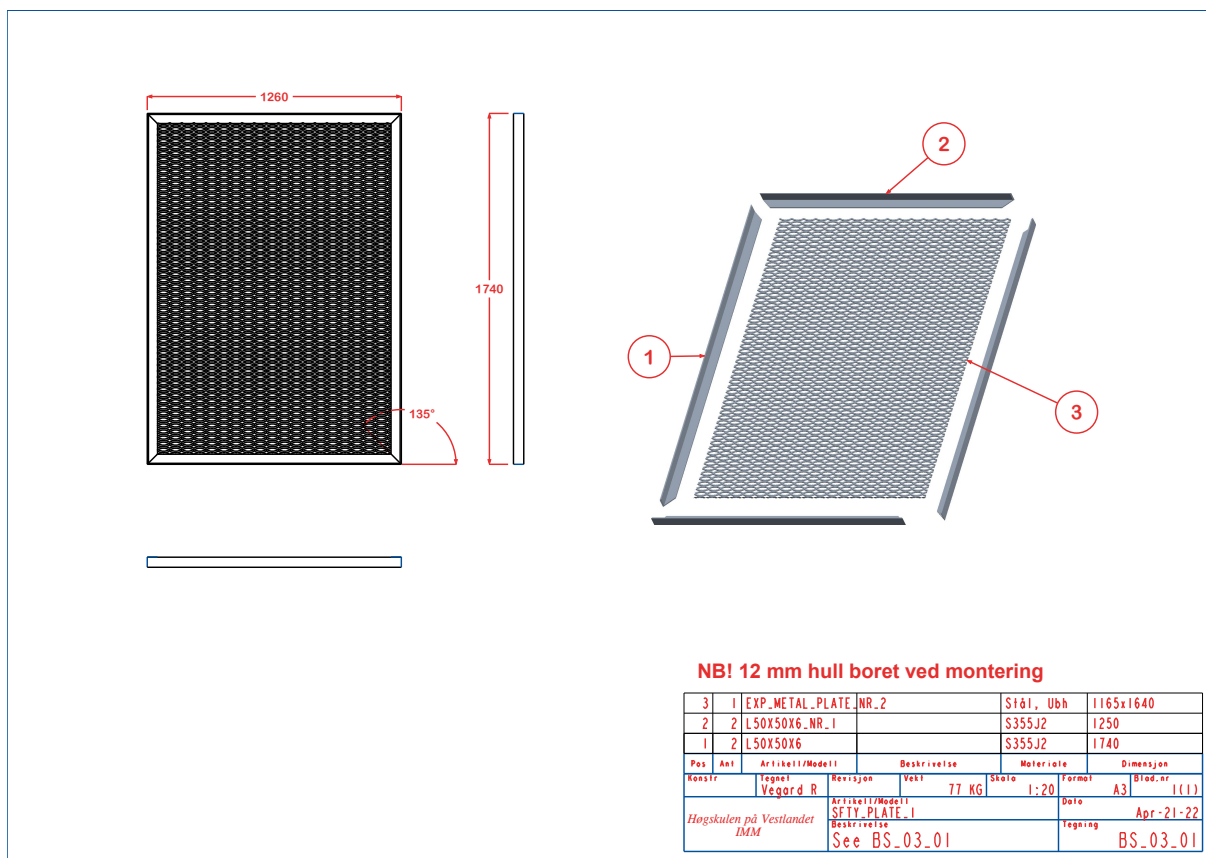
Figur .4: BS-02-01



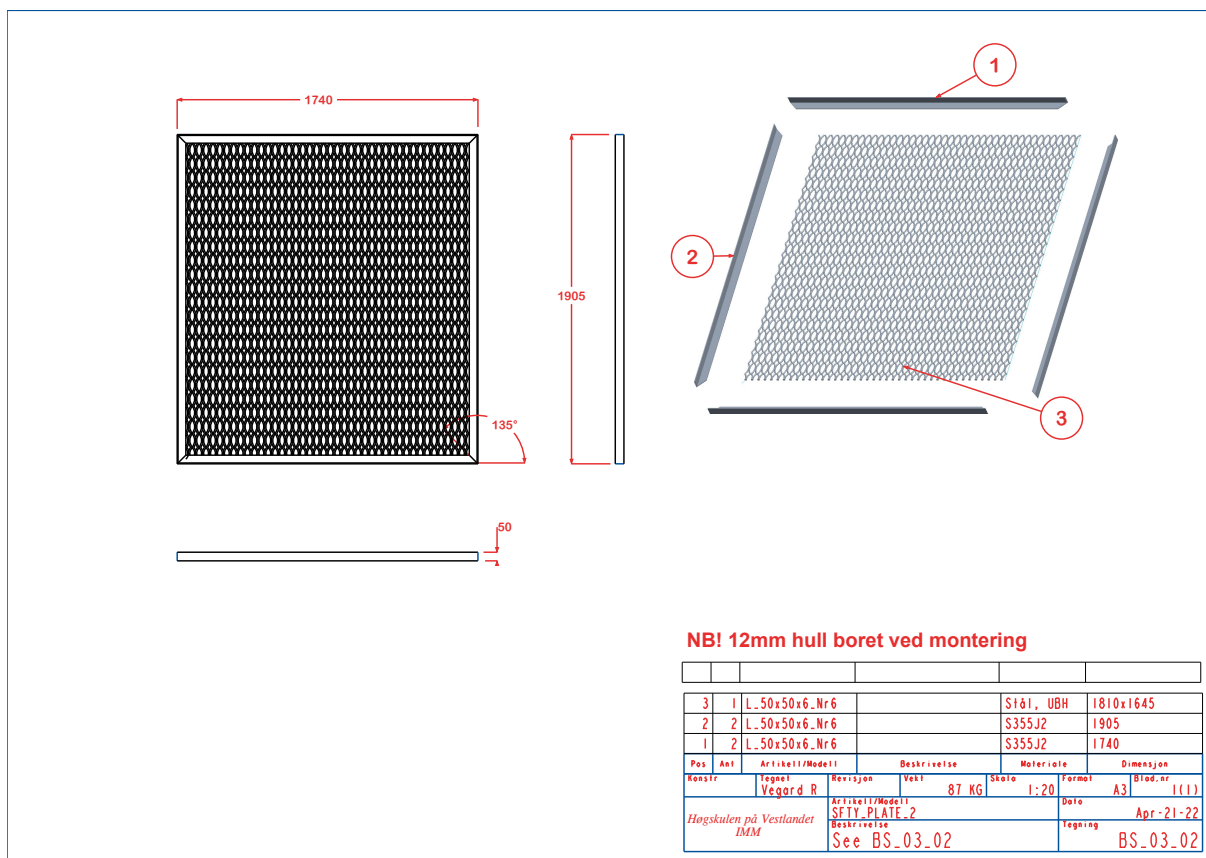
Figur .5: BS-02-02, Padeye



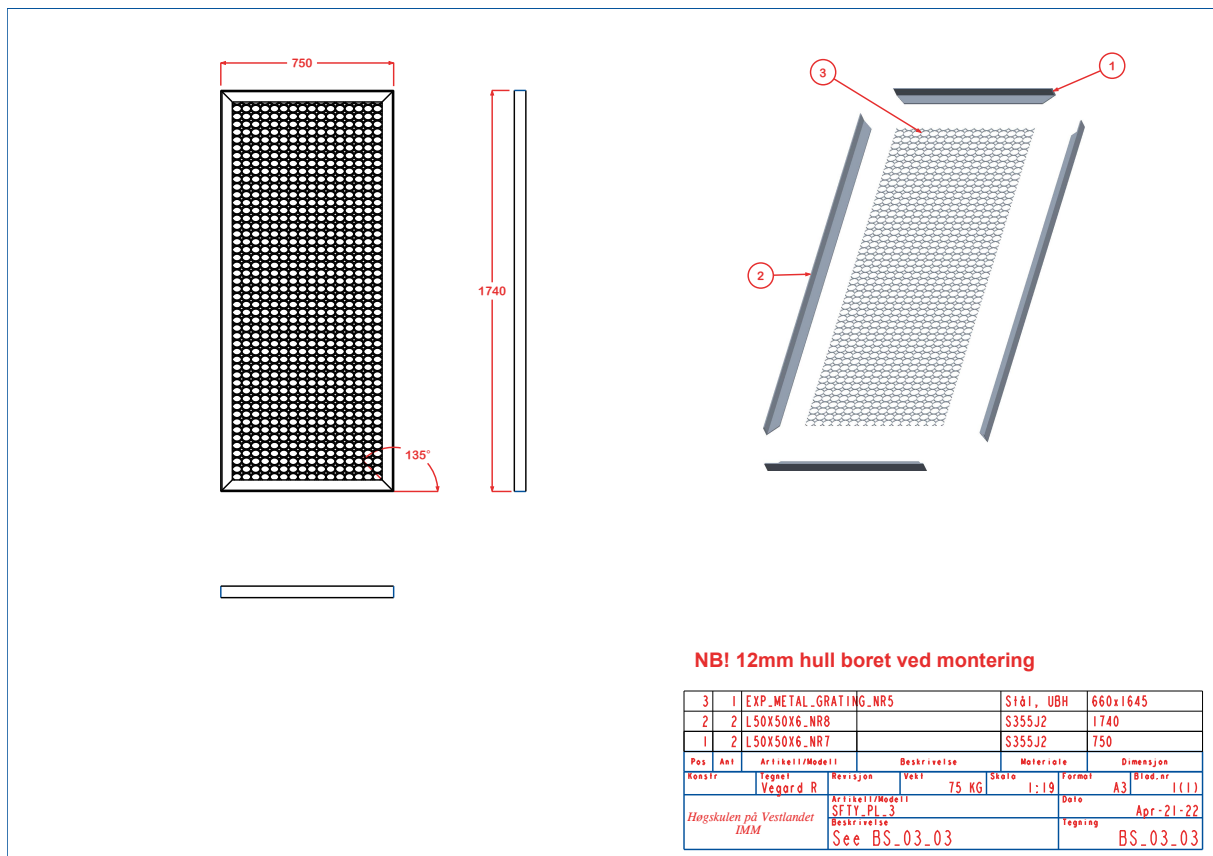
Figur .6: Top protection deler



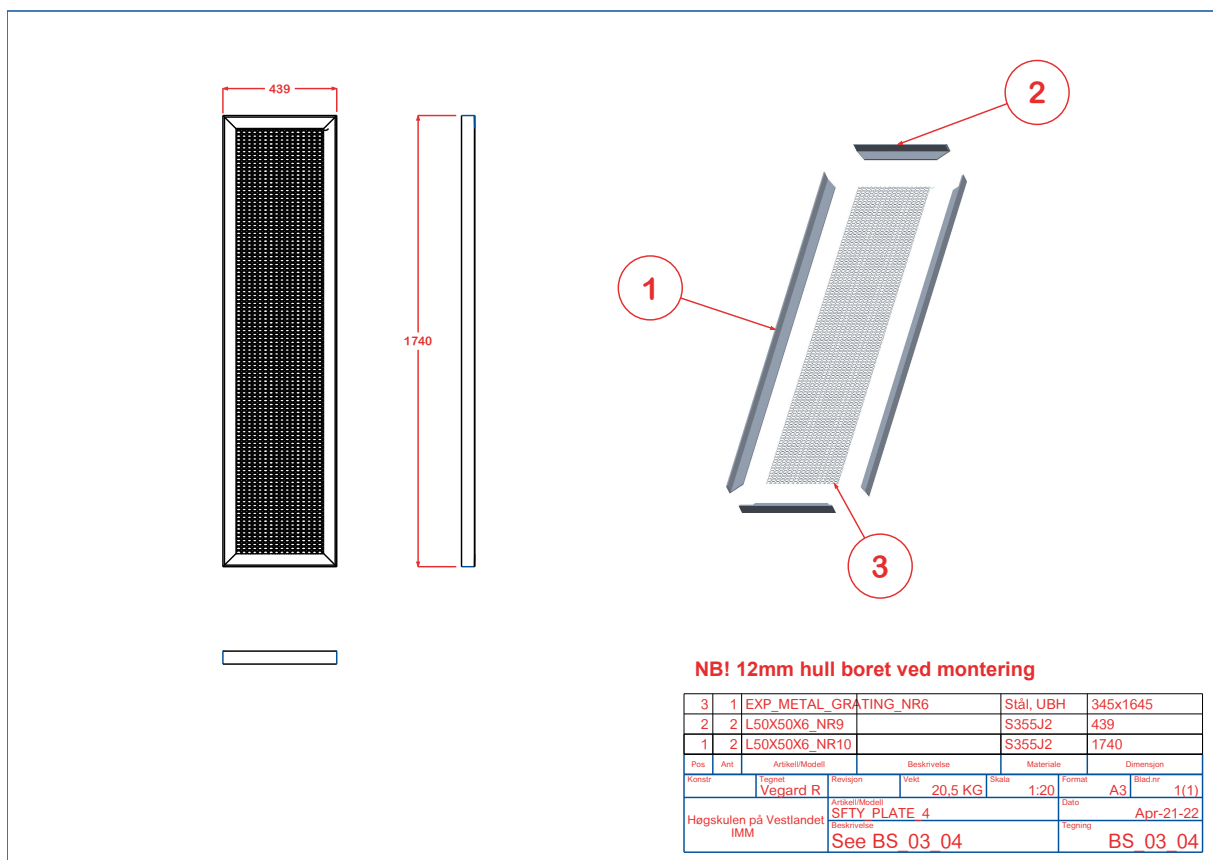
Figur .7: BS-03-01



Figur .8: BS-03-02

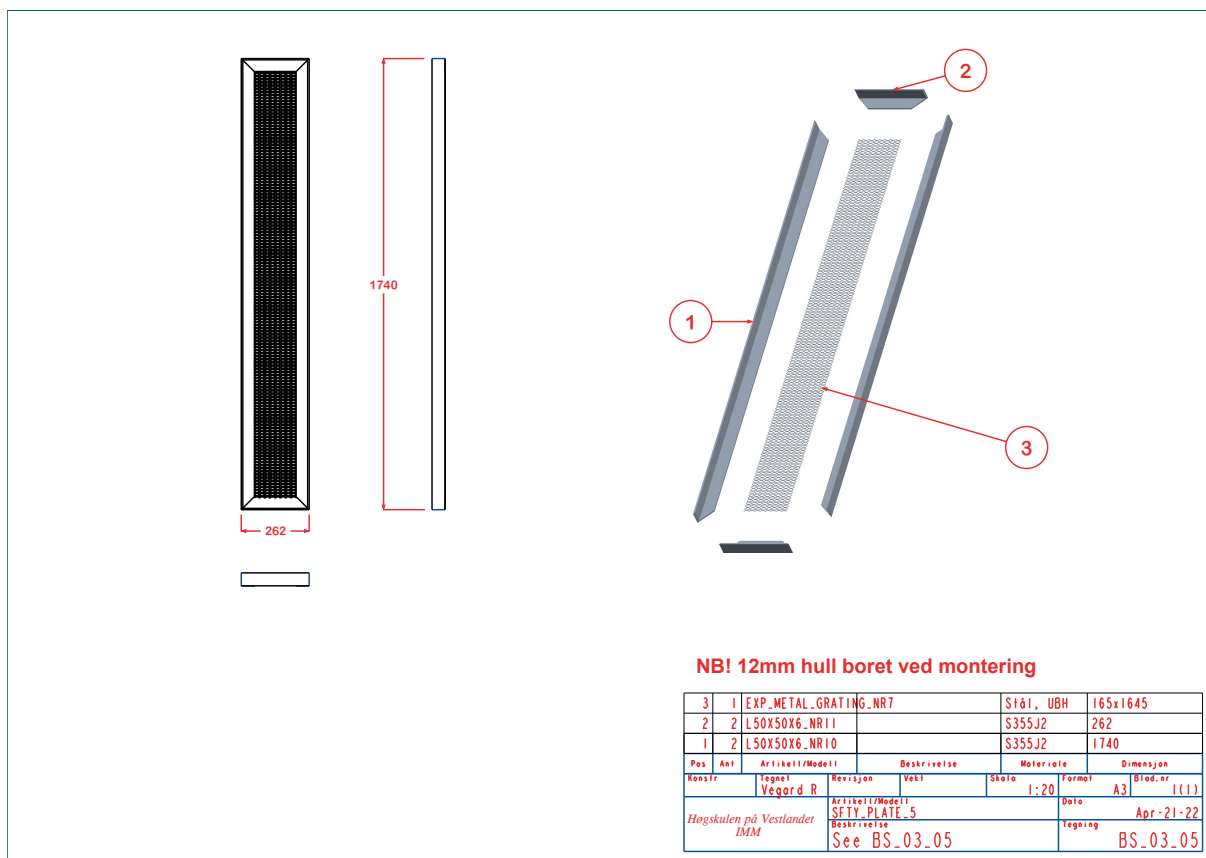


Figur .9: BS-03-03

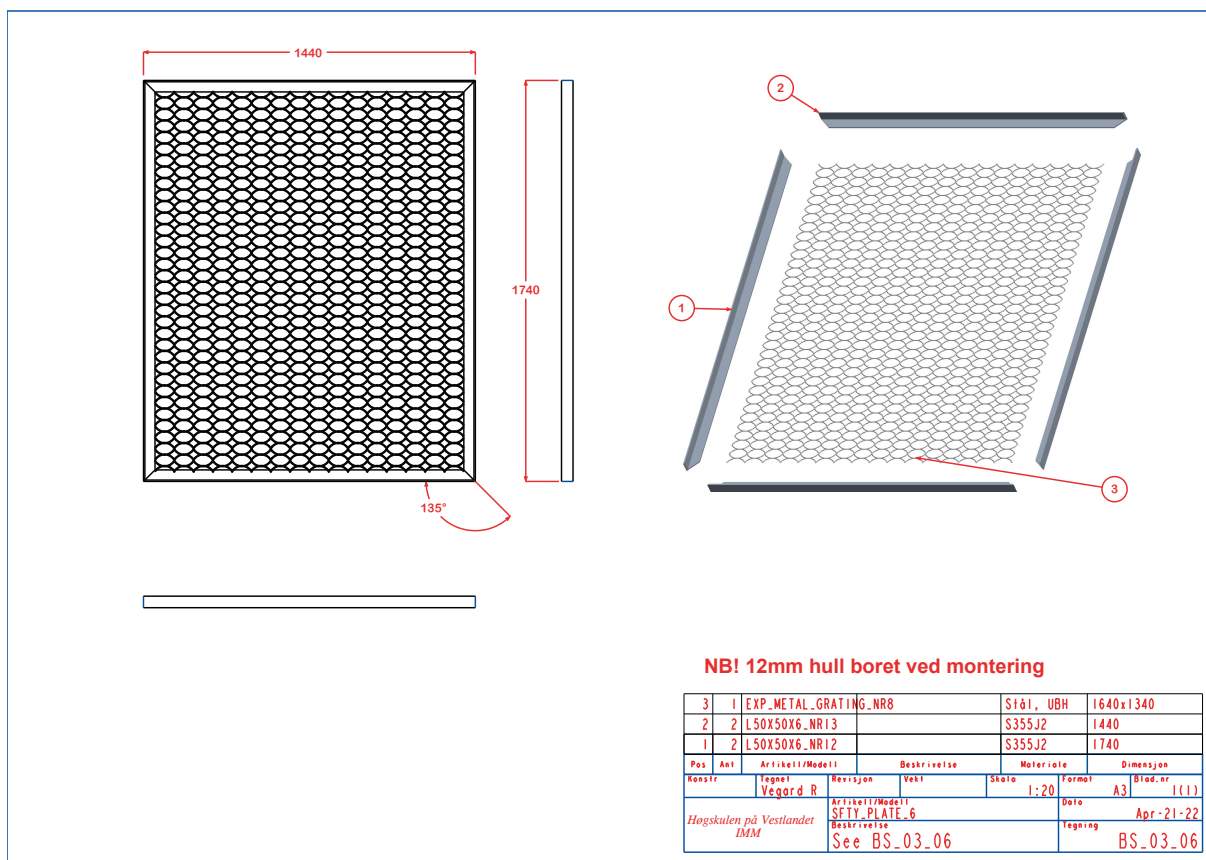


Figur .10: BS-03-04

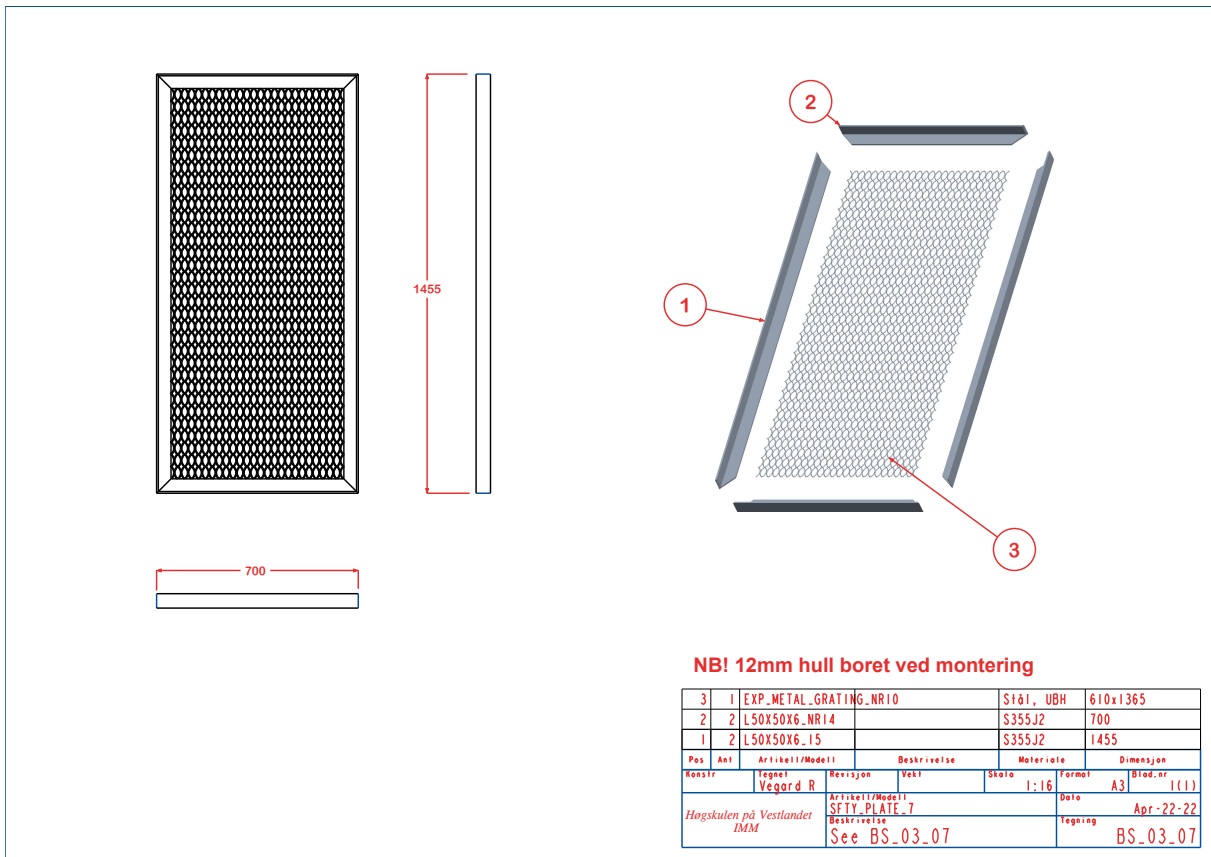




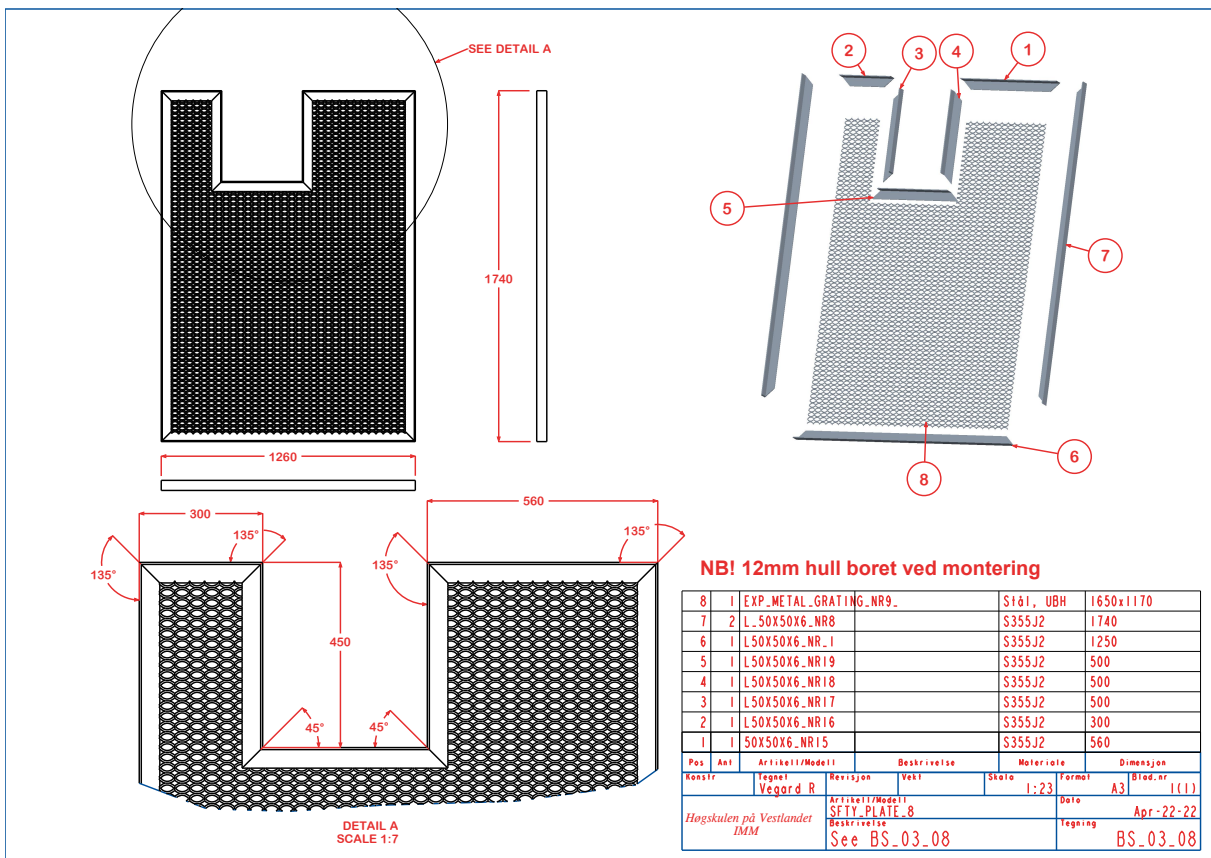
Figur .11: BS-03-05



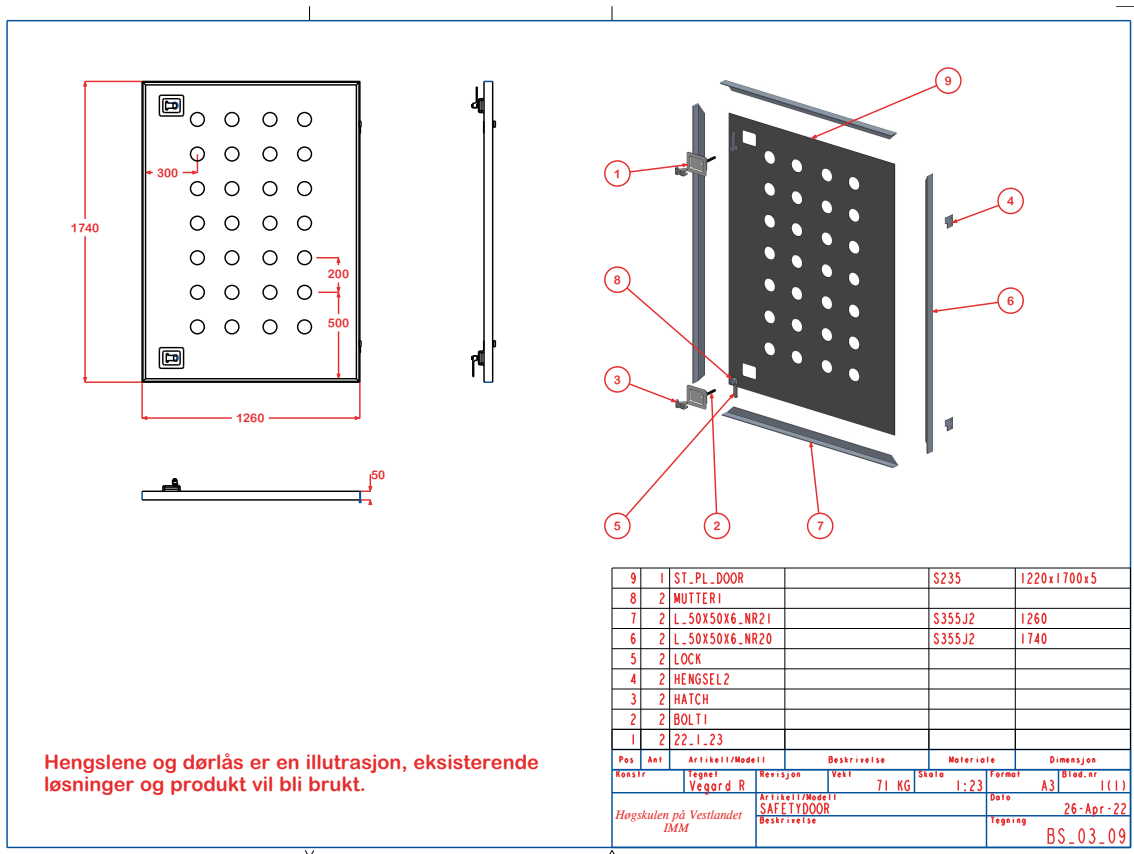
Figur .12: BS-03-06



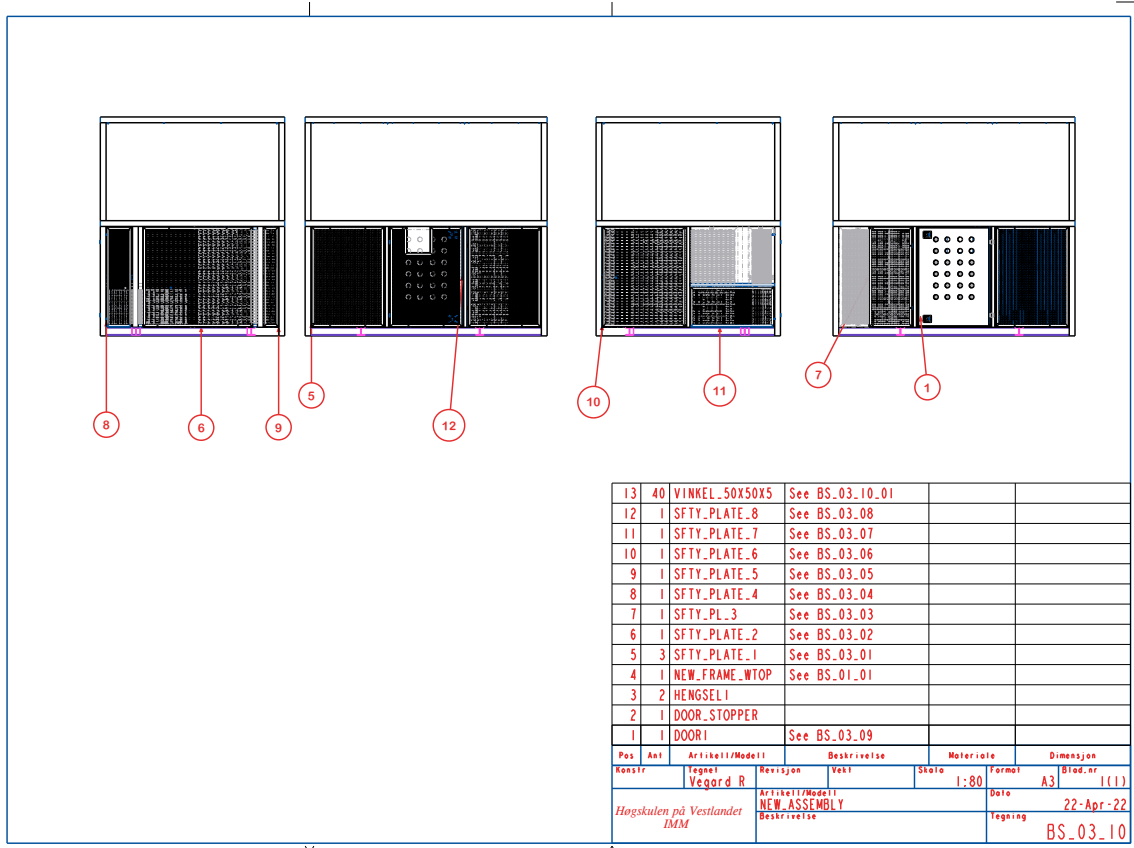
Figur .13: BS-03-07



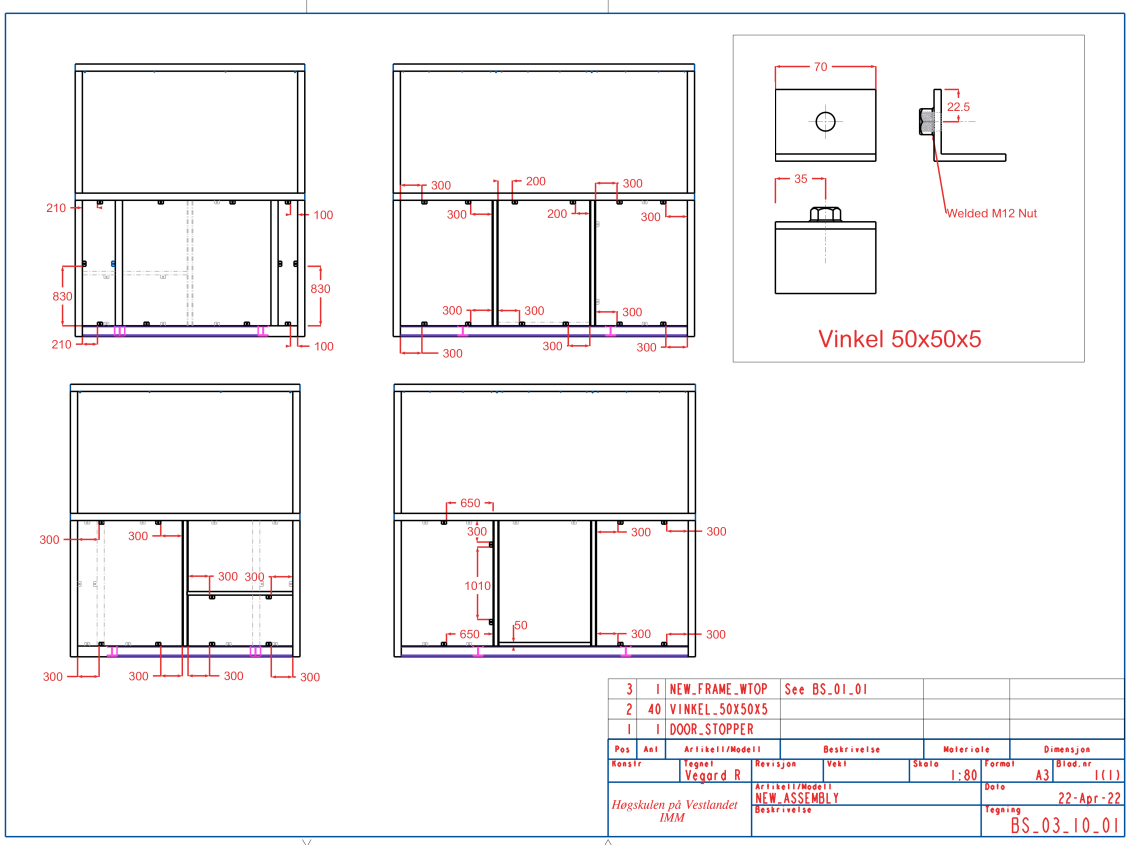
Figur .14: BS-03-08



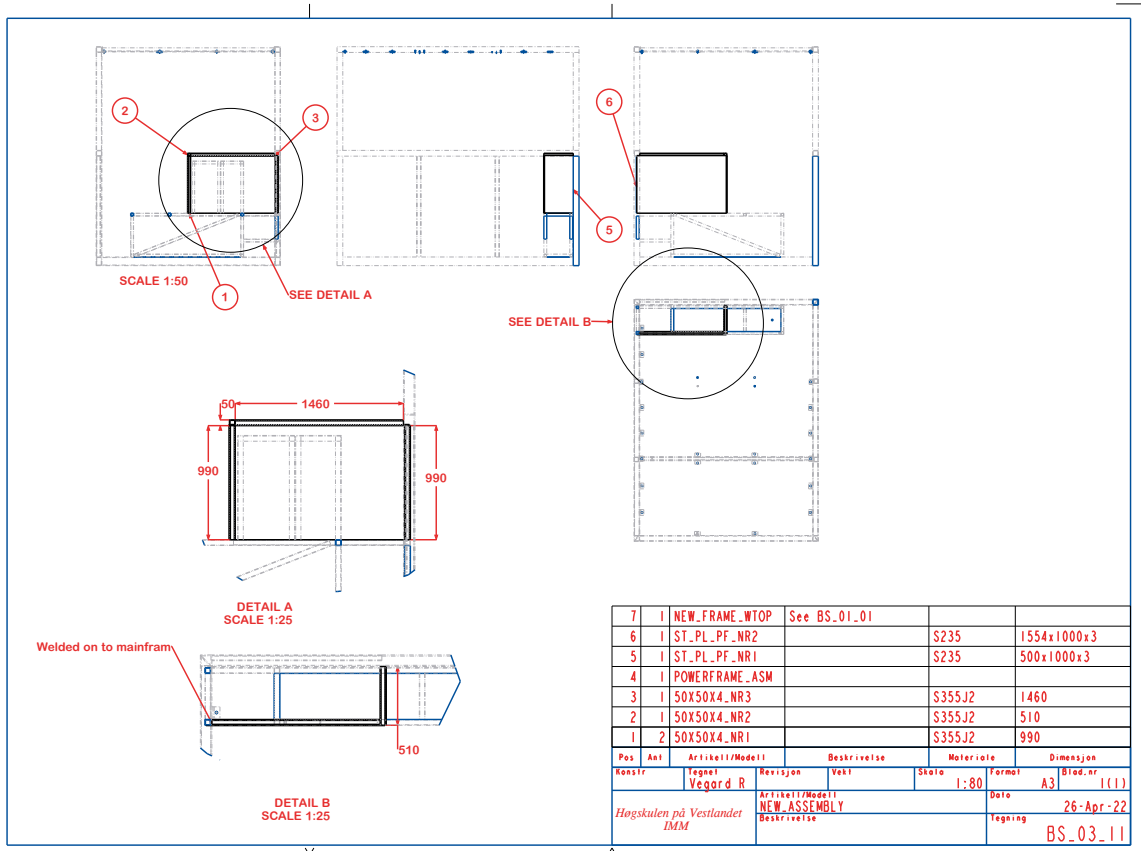
Figur .15: BS-03-09



Figur .16: BS-03-10



Figur .17: BS-03-10-01



Figur .18: BS-03-11

**B MATLAB skript**

19.05.22 13:00 C:\Users\Emil\Do...\Kabel lengde 2 1.m 1 of 1

```
%% Bachelor oppgave vår 2022: Kabel-lengde
clear all, clc

%% Data
OD=3000;           % [mm] Outer diameter of drum.
ID=2000;           % [mm] Inner diameter of drum.
W=1455;           % [mm] Width of drum.
Ud=73;            % [mm] Diameter of umbilical.
Ud2=73*(sqrt(3)/2); % [mm] Diameter used when umbilical layers are partly
inbetween each other.
Walls=(OD-ID)/2;  % [mm] Height of sidewalls.

%% Calculations

Rounds=W/Ud;      % Umbilical rounds around drum sideways.
%Layers=Walls/Ud; % Umbilical layers around drum upwards.
Layers=(Walls-(Ud/2))/Ud2; % Umbilical layers when umbilical is layed down
in a hexagon like pattern.
n=fix(Layers);    % Round down of the layers.
ro=fix(Rounds);  % Rounded down rounds of umbilical on the drum.
n2=[1:1:n];      % Layers from one to n.

dia=(ID+(2*n2-1)*Ud)/1000; % [m] Diameters from center of drum to center of
umbilical layer. (And recalculation from mm to m).
circ=pi*dia;      % [m] Circumference of the umbilical on the drum.
Length=circ*ro;   % [m] Lenght of umbilical on each layer.

TotalLength=sum(Length); % [m] The accurate total length of umbilical that can
fit on the reel drum.
TotalL=vpa(sum(Length)); % [m] The total length of umbilical, simplified to be
without decimals.

fprintf('Rounds of umbilical (sideways): %d \n',ro)

fprintf('Layers of umbilical (upwards): %d \n',n)

fprintf('Total length of umbilical: %d [m] \n',TotalL)
```

Figur .19: Kabellengde beregning

---

 19.05.22 13:05 C:\Users\Emil\Document...\Padeyes2 0.m 1 of 4
 

---

```

%% Bachelor oppgave Vår 2022: Padeyes
clear all, clc

%% Data
g=9.81;           % [m/s^2] Gravitasjon.

% Reel
P=7500;           % [kg] Payload.
Umb=5750;         % [kg] Umbilical (den nye umbilical).
PBygg=1250;       % [kg] Påbygg: påbygget ramme, tak, støttebjelker og gjerder.
T=Umb+PBygg;     % [kg] Tare.
MGW=P+T;          % [kg] Total vekt av reel med umbilicalog eventuelt annet (Maximum
gross weight).
MGW_t=MGW/1000;  % [Tonn] MGW i tonn istedenfor kilo.

% Padeye data.
Pd=40;           % [mm] Padeye hull diameter.
Pw=20;           % [mm] Padeye tykkelse ved hullet.
Wi= 20;          % [mm] Bredden av padeye.
Le= 100/cosd(127.5-90); % [mm] Lengden hvor sjakkell er festet (her brukes
hypotenus på korteste side).
%Le= 200;        % [mm] Alternativ, bruke hele lengden på padeye.
He= 60;          % [mm] Lengde fra burbjelke til senter av padeye hull.
Dpin= 38;        % [mm] Radius av pinhull.

% Sjakkell data.
Spd=38;          % [mm] Sjakkell pin diameter.
Spw=57;          % [mm] Sjakkell festepunkt bredde.
Ar= Pw*Le;       % [mm^2] Arealet av flaten som er i kontakt med støttebjelkene.
DSj= 38;         % [mm] Diameter til sjakkell.
Lsj= 57;         % [mm] Lengde til sjakkell.

%Løftesett data.
SKL=1.33;        % Minimum skew load factor (for a 4 leg lifting set).
v=35;           % [Degrees] Angle between sling leg and vertical direction (Should
normally be between 30-45 deg when there is four sling legs).
PL=0.25;         % Percentage loading (only most loaded padeye, with most extreme
location of CoG), for now set to equally distributed weight.
PLskl=0.3;       % Example of percentage loading F when the lifting is unsymmetric.
fi= 3;          % [Grader] Vinkel til slyngene på tvers (out of plane).

%% DNV 2.7-3, Reel: Type A - R60

%% DNV 2.7-3, 3.5.1 - Design load basis

DF=1.4+0.8*(sqrt(50/MGW_t)); % Design factor for reel R60 (under 50 tonn).
Fair=DF*MGW*g;             % [N] Kraft fra reel.
Fair4=Fair/4;              % [kN] Kraft fra reel.

%% DNV 2.7-3, 3.5.5 - Lifting Points, In plane loads

%Regner ut resultant sling force.
if v>=30

```

Figur .20: Padeye beregninger i matlab.(1/4)

---

19.05.22 13:05 C:\Users\Emil\Document...\Padeyes2 0.m 2 of 4

---

```
RSF = (1.2*SKL*PL*Fair)/(cosd(v));
else
RSF = (1.2*PLskl*Fair)/(cosd(v));
end

RSFu=fix(RSF); % Fjerner desimaler for et penere resultat.
formatSpec = 'Resultant sling force (RSF): %7.0f N\n';
fprintf(formatSpec,RSFu)

%% Ny RSF med out of plane force.

HFouP=Fair*sind(fi); % [N] Krefter fra out of plane vinkel.
VFc=Fair*cosd(90-v); % [N] Krefter som oppstår i horisontal retning.
VFs=Fair*sind(90-v); % [N] Krefter som oppstår i vertikal retning.

FouP=sqrt(HFouP^2+VFc^2+VFs^2); % [N] Resulterende kraft.

if v>=30
RSF2 = (1.2*SKL*PL*FouP)/(cosd(v));
else
RSF2 = (1.2*PLskl*FouP)/(cosd(v));
end

RSFu2=fix(RSF2); %Ny RSF når man har tatt høyde for out of plane krefter.

formatSpec1 = 'Ny RSF med out of plane force: %7.0f N\n';
fprintf(formatSpec1,RSFu2)

%% DNV 3.8.4 Padeye geometry requirements

% Krav 1
% Sjakkell pin diameter bør ikke være mindre enn 94% av pin hullet.
Krav1=Spd/Pd*100;
formatSpec2 = 'Padeye hull til sjakkell pin differanse: %2.0f%%\n';
fprintf(formatSpec2,Krav1)

%Krav 2
% Tykkelsen til padeye ved hullet skal ikke være mindre enn 75% av innside tykkelse
til sjakkell.
Krav2=Pw/Spw*100;
Krav2u=fix(Krav2);
formatSpec3 = 'Tykkelse på padeye og bredde på pin differanse: %2.0f%%\n';
fprintf(formatSpec3,Krav2u)

%% Appendix A: Padeye calculations

% Data
DH= 40; % [mm] Diameter til pinhole.
Dpin= DH*0.95; % [mm] Diameter til sjakkell pin, differansen mellom DH og Dpin
burde være så liten som mulig.
E= 210000; % [MPa] Elastisitetmodul.
t= 20; % [mm] Tykkelse til padeye ved pin hullet.
```

Figur .21: Padeye beregninger i matlab.(2/4)

---

 19.05.22 13:05 C:\Users\Emil\Document...\Padeyes2 0.m 3 of 4
 

---

```

UF= 0.6;           % Utilization factor. Maximum allowable fillet weld utilization ✓
(Table 3-4, DNV 2.7-3).
a= 4;             % [mm] Weld throat thickness. Denne må sjekkes.

% A.2 Definitions
Rpl= 45;         % Minimum distance from centre of padeye hole to edge of the plate
Rch= 20;        % Radius of the cheek plates
tpl= 20;        % Thickness of the plate of the padeye
tch= 0;         % Thickness of the cheek plates
Dch= 44;        % Denne må også spørres om, står ikke beskrevet i nomenklaturen.

Rpadl=(Rpl*tpl+2*Rch*tch)/(t); % [mm] minimum krav til radius av padeye er gitt ✓
ved denne formelen.
Rpad=45;        % Den faktiske padeye radius som brukes.
Rgk=Rpad-Rpadl;

if Rgk>=0
    disp('Radius for padeye er godkjent.')
else
    disp('Radius for padeye er for liten.')
end

% A.3 Bearing pressure criteria (sigmae has to be greater than the outcome of the ✓
calculation)

if Dpin >= 0.94*DH
    sigmae=0.045*sqrt((RSF2*E)/(DH*t));
else
    sigmae=0.18*sqrt((RSF2*E*((1/Dpin)-(1/DH)))/(t));
end

sigmabp=fix(sigmae);
formatSpec4 = 'Bearing pressure: %4.0f MPa\n';
fprintf(formatSpec4,sigmabp)

% A.4 Tear out criteria
Sigmae_tearout=(2*RSF2)/((2*Rpad-DH)*t);
Sigmatearout=fix(Sigmae_tearout);
formatSpec5 = 'Tear out krefter: %4.0f MPa\n';
fprintf(formatSpec5,Sigmatearout)

% A.5 Cheek plate welds
Sigma_welds=(RSF*tch)/(t*Dch*a*UF);

%% Shackles and pins

% 7.3.3 Shackles
RSFKN=RSF/1000; % [kN] Omregning fra Newton til kilo Newton.
SF=5;          % Safety factor for WLL calculations. Maximum ✓
that can be used is at 6.
WLL= ((2.25/SF)*RSF)/g; % [Tonn] Working load limit (resultatet av ✓

```

Figur .22: Padeye beregninger i matlab.(3/4)



---

19.05.22 13:05 C:\Users\Emil\Document...\Padeyes2 0.m 4 of 4

```
denne beregningen kommer i kg og må omregnes pga. RSF ikke har blitt regnet om).
WLL2=((2.15+(0.05*fi))/SF)*(RSF2/g); % [Tonn] WLL hvis vinkelen til out of plane
loading er større enn 2 grader.
WLL2u=fix(WLL2);

formatSpec6 = 'Working load limit: %5.0f kg\n';
fprintf(formatSpec6,WLL2u)

%% Padeye base streght test (DNV-ST-N001 og kilder fra nett)

SigmaT= (cosd(v)*RSF2)/Ar; % [MPa] Tension stress.
SigmaS= (sind(v)*RSF2)/Ar; % [MPa] Shear stress.
SigmaS_outofplane= (RSF2*sind(fi))/Ar; % [MPa] Skjærkraft grunnet out of plane
load.

Mms= (Wi*(Le^2))/6; % [mm^3] Motstandsmoment for
sterkeste akse.
Mmw= (Le*(Wi^2))/6; % [mm^3] Mostandsmoment for
svakeste akse.
SigmaB_Langs= (RSF2*sind(v)*He)/Mms; % [MPa] Bøyemoment for
spenninger langs padeye.
SigmaB_Tvers= (RSF2*sind(fi)*(He+Lsj+(Dpin/2)))/Mmw; % [MPa] Bøyemoment for
spenninger på tvers av padeye.

SigmaE=sqrt((0.5*(SigmaT+SigmaB_Langs+SigmaB_Tvers)^2)+3*(SigmaS+SigmaS_outofplane)
^2); % [MPa] Ekvivalent stress (Von Mises).
SigmaEu=fix(SigmaE);

formatSpec7 = 'Von Mises: %4.0f MPa\n';
fprintf(formatSpec7,SigmaEu)
```

Figur .23: Padeye beregninger i matlab. (4/4)

## **C Tabeller og prosedyrer**

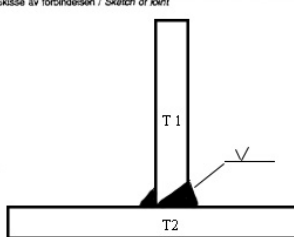
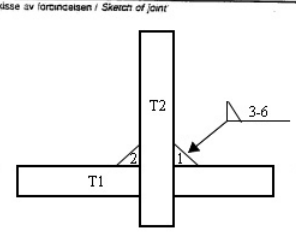
### **C.1 Welding procedure spesifcation (WPC)**

En WPS (welding procedure specification) skal minimum inneholde de relevante punktene fra listen under:

- identifikasjon av byggherre eller underleverandør (navn, adresse)
- identifikasjon av WPS og referanse til WPQR
- sveiseprosedyre som inkluderer rekkefølge hvis flere prosedyrer er brukt
- antall og konfigurasjon av elektroder for flertrådsveising
- sveiseposisjon og progresjonsretning
- underlag og underlagsmateriale
- forvarme og interpass temperaturer
- varmebehandlingsdetaljer etter sveising (temperatur, tid, etc.)
- metode for tilberedning inkludert rengjøringsprosess
- materiale: standard, klasse og modifikasjon, leveringsbetingelser (AR, N, NR, TM, QT), karbonekvivalent (når relevant)
- nominell tykkelse eller diameter (dimensjoner)
- sveisetilbehør: navn, elektrode- eller tråddiameter, beskyttelsesgass, renhet og strømningshastighet, fluks og anerkjent klassifisering
- skjøt eller spordesign med toleranser for vinkler, rotflate og rotspalte. Halstykkelesområde for kilsveiser.
- sveisesekvens: antall og rekkefølge av passeringer eller lag
- elektriske parametere: spenningsområde, strømområde, polaritet, pulssveisedetaljer (maskininnstillinger og/ eller programvalg)
- reisehastighetsområder
- varmetilførselsområder for rot-, fyll- og hettepass
- detaljer om rengjøringsprosesser og eventuelle begrensninger
- minimumslengde på heftsveiser, når det er relevant
- type og beleggtykkelse på oversveisbar verkstedprimer for kilsveising dersom automatisk sveising påføres.

Listen over er hentet fra standarden DNVGL-RU-SHIP Pt.2 Ch.2, 2 Welding procedure specification, 2.1 General, 2.1.1.

## C.2 Welding procedure, eksempel

<p>SPS nr. 01 WPS No. 01</p> <p>Date _____</p> <p>Tilberednings-SPG nr.<sup>3</sup> Supporting WPG No.<sup>3</sup></p> <p>Side/Page 1 (2)</p> <p>SVEISEPROSEDYRESPEISIFIKASJON (SPS)<sup>1)</sup> WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)<sup>1)</sup></p> <p>Produsent / Manufacturer _____</p> <p>Prosjekt / Project _____</p> <p>Tilleggskrav utover NS 480 Additional requirement in excess of NS 480</p> <p>IDENTIFIKASJON AV GRUNNMATERIALE(R) / IDENTIFICATION OF BASE MATERIAL(S)</p> <p>Betegnelse ifølge standard Designation according to standard _____</p> <p>Annen identifikasjon Other identification _____</p> <p>Leveringsstand Delivery condition _____</p> <p>Materiale tykkelse Material thickness _____ mm</p> <p>Rørdiameter Pipe diameter _____ mm</p> <p>SVEISEMETODE / WELDING PROCESS FCAW</p> <p>SVEISEBETINGELSER / WELDING CONDITIONS</p> <p>Skisse av forbindelsen / Sketch of joint</p>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">FLAME CUT &amp; GROUND</th></tr> <tr><td>Sveisestilling / Welding position</td><td>1-G</td></tr> <tr><td>Pending / Weaving Parameters / Parameters</td><td>Stinger Beads</td></tr> <tr><td>Metode / Backing</td><td></td></tr> <tr><td>Pulver / Flux</td><td></td></tr> <tr><td>Beskyttelsesgass / Shielding gas</td><td></td></tr> <tr><td>Gassmengde / Gas flow</td><td>20 - 25 L/min</td></tr> <tr><td>Bakgass / Backing gas</td><td></td></tr> <tr><td>Rotturing / Back gouging</td><td></td></tr> <tr><td>Ensidig sveising / One-sided welding</td><td></td></tr> <tr><td>To-sidig sveising / Two-sided welding</td><td>YES</td></tr> </table> <p><small><sup>1)</sup> Skjemaet er utarbeidet for lysveising og må tilpasses andre sveisemetoder. The form applies to arc welding and has to be adjusted for other welding processes. <sup>2)</sup> For SPG se Tillegg B <sup>3)</sup> For WPG see Annex B</small></p>	FLAME CUT & GROUND		Sveisestilling / Welding position	1-G	Pending / Weaving Parameters / Parameters	Stinger Beads	Metode / Backing		Pulver / Flux		Beskyttelsesgass / Shielding gas		Gassmengde / Gas flow	20 - 25 L/min	Bakgass / Backing gas		Rotturing / Back gouging		Ensidig sveising / One-sided welding		To-sidig sveising / Two-sided welding	YES	<p>SPS nr. 02 WPS No. 02</p> <p>Date _____</p> <p>Tilberednings-SPG nr.<sup>3</sup> Supporting WPG No.<sup>3</sup></p> <p>Side/Page 1 (2)</p> <p>SVEISEPROSEDYRESPEISIFIKASJON (SPS)<sup>1)</sup> WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)<sup>1)</sup></p> <p>Produsent / Manufacturer _____</p> <p>Prosjekt / Project _____</p> <p>Tilleggskrav utover NS 480 Additional requirement in excess of NS 480</p> <p>IDENTIFIKASJON AV GRUNNMATERIALE(R) / IDENTIFICATION OF BASE MATERIAL(S)</p> <p>Betegnelse ifølge standard Designation according to standard _____</p> <p>Annen identifikasjon Other identification _____</p> <p>Leveringsstand Delivery condition _____</p> <p>Materiale tykkelse Material thickness T1 = 8 mm T2 = 30 mm</p> <p>Rørdiameter Pipe diameter _____ mm</p> <p>SVEISEMETODE / WELDING PROCESS FCAW</p> <p>SVEISEBETINGELSER / WELDING CONDITIONS</p> <p>Skisse av forbindelsen / Sketch of joint</p>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">FLAME CUT &amp; GROUND</th></tr> <tr><td>Sveisestilling / Welding position</td><td>1 - G</td></tr> <tr><td>Pending / Weaving Parameters / Parameters</td><td>STRINGER BEADS</td></tr> <tr><td>Metode / Backing</td><td></td></tr> <tr><td>Pulver / Flux</td><td></td></tr> <tr><td>Beskyttelsesgass / Shielding gas</td><td>MISON 25</td></tr> <tr><td>Gassmengde / Gas flow</td><td>20 - 25 L/min</td></tr> <tr><td>Bakgass / Backing gas</td><td></td></tr> <tr><td>Rotturing / Back gouging</td><td></td></tr> <tr><td>Ensidig sveising / One-sided welding</td><td></td></tr> <tr><td>To-sidig sveising / Two-sided welding</td><td>YES</td></tr> </table> <p><small><sup>1)</sup> Skjemaet er utarbeidet for lysveising og må tilpasses andre sveisemetoder. The form applies to arc welding and has to be adjusted for other welding processes. <sup>2)</sup> For SPG se Tillegg B <sup>3)</sup> For WPG see Annex B</small></p>	FLAME CUT & GROUND		Sveisestilling / Welding position	1 - G	Pending / Weaving Parameters / Parameters	STRINGER BEADS	Metode / Backing		Pulver / Flux		Beskyttelsesgass / Shielding gas	MISON 25	Gassmengde / Gas flow	20 - 25 L/min	Bakgass / Backing gas		Rotturing / Back gouging		Ensidig sveising / One-sided welding		To-sidig sveising / Two-sided welding	YES
FLAME CUT & GROUND																																													
Sveisestilling / Welding position	1-G																																												
Pending / Weaving Parameters / Parameters	Stinger Beads																																												
Metode / Backing																																													
Pulver / Flux																																													
Beskyttelsesgass / Shielding gas																																													
Gassmengde / Gas flow	20 - 25 L/min																																												
Bakgass / Backing gas																																													
Rotturing / Back gouging																																													
Ensidig sveising / One-sided welding																																													
To-sidig sveising / Two-sided welding	YES																																												
FLAME CUT & GROUND																																													
Sveisestilling / Welding position	1 - G																																												
Pending / Weaving Parameters / Parameters	STRINGER BEADS																																												
Metode / Backing																																													
Pulver / Flux																																													
Beskyttelsesgass / Shielding gas	MISON 25																																												
Gassmengde / Gas flow	20 - 25 L/min																																												
Bakgass / Backing gas																																													
Rotturing / Back gouging																																													
Ensidig sveising / One-sided welding																																													
To-sidig sveising / Two-sided welding	YES																																												

Figur .24: Eksempel WPC, forenklet

## C.3 NDT

No.	1	2a	2b	3	4	5
Type indre ufullkommenheter	Sprekker	Porøsitet og gassporer (Enkelt lag)	Porøsitet og gassporer (Flere lag)	Klynget (lokalisert) porøsitet	Lineær porøsitet	Langstrakte hulrom
Nivå 1	Ikke tillatt	A ≤ 1 % d ≤ 0,2s, max. 3 mm L = 100 mm	A ≤ 2 % d ≤ 0,2s, max. 3 mm L = 100 mm	d <sub>a</sub> ≤ w <sub>p</sub> /2, max. 15 mm d ≤ 0,2s, max. 3 mm	l ≤ s, max. 25 mm d ≤ 0,2s, max. 2 mm L = 100 mm	h < 0,2s, max. 2 mm Σl ≤ s, max. 25 mm L = 100 mm

No.	6	7	8	9	10	11	12
Type indre ufullkommenheter	Krympe hulrom	Krater	Slagg inkluderinger, fluksinkluderinger og oksid inkluderinger	Metalliske inneslutninger	Kobber inneslutninger	Mangel på fusjon	Mangel på gjennomtrenging
Nivå 1	Ikke tillatt	Ikke tillatt	h < 0,2s, max. 2 mm Σl ≤ s, max. 25 mm L = 100 mm	l ≤ 0,2s, max. 2 mm	Ikke tillatt	Ikke tillatt	Ikke tillatt

Figur .25: Radiografi, Nivå 1

Type indikasjon	Nivå 1
Lineær indikasjon l = lengde	l ≤ 1,5
Ikke lineær indikasjon d = hoved akse dimensjon	d ≤ 2

Figur .26: Magnetisk partikkelinspeksjon, Nivå 1

#### C.4 Produktdokumentasjon

For hver enhet skal det være dokumentasjon basert på følgende punkter:

- A) Arbeidstegninger, inkludert generell ordens tegning.
- B) Styrkeberegninger fra analyse
- C) Design godkjenning sertifikat (DVR eller TAC)
- D) Material dokumentasjon
- E) Sveise prosedyrer kvalifikasjoner (WPQ)
- F) Spesifikasjon for sveise prosedyrer (WPS)
- G) Sveise sertifikat
- H) Material rapport
- I) Rapport fra produksjons inspeksjon
- J) Dimensjons kontroll rapport
- K) NDT rapport
- L) Prototype-test rapport
- M) Produksjons-test rapport
- N) Rapport fra endelig inspeksjon

Punkter hentet fra DNV 2.7-3 Kap 4.7.1 [3]

#### C.5 Markering og informasjon

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

Figur .27: Informasjonsplate

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

Figur .28: Inspeksjonsplate

## C.6 Utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område (ATEX)

### Felleskrav til alt utstyr i eksplosjonsfarlige områder:

- Utstyret skal ikke selv danne eller avgi eksplosiv atmosfære
- Eksplosive atmosfære skal ikke antennes av komponentene på utstyret
- Materialet som brukes til produksjon av utstyret skal ikke kunne utløse en eksplosjon.
- Under konstruksjon av utstyret skal det tas tilstrekkelig hensyn til teknisk kunnskap om eksplosjonsvern.
- Utstyret skal kunne fungere sikkert under hele den forventet levetiden.
- Utstyret skal kunne motstå ytre påvirkninger uten at eksplosjonsfaren svikter.
- Eksplosjonssikre kapslinger skal bare kunne åpnes ved hjelp av spesialverktøy.
- Kapslinger skal kunne motstå det trykk som vil oppstå under en eksplosjon inne i kapslingen og forhindre forplantning utenfor kapslingen.
- Det må ikke forekomme potensielle tennkilder.

### Tilleggskrav til utstyr i utstyrsguppe II, utstyrskategori 1:

- Tennkilder skal ikke oppstå selv om det oppstår sjeldne feil i forbindelse med utstyret.
- Ved feil på en verneinnretning skal det være minst en annen verneinnretning som sikrer vernenivået som kreves.
- Hvis det oppstår to feil uavhengig av hverandre skal vernenivået som kreves fortsatt være opprettholdt.
- Overflater som blir varme skal ha en maksimal overflatetemperatur som ikke overskrides selv under minst gunstige forhold.
- Utstyrets konstruksjon skal være slik at tennkilder bare kan åpnes når energitilførselen er brutt eller inaktive på egensikre vilkår.
- Alle kravene gjelder også for kabelinnføringer og tilkoblinger.

Relevante krav fra vedlegg II i forskriften [21] er oppsummert og presentert i listene ovenfor.

### C.7 Trykkpåkjent utstyr (TPU)

Fluider som kan klassifiseres som potensielt farlige stoffer og som kategoriseres etter gruppe 1 fra forskriften [24].

- a) ustabile eksplosive varer eller eksplosive varer i gruppe 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 og 1.5
- b) brannfarlige gasser, kategori 1 og 2
- c) oksiderende gasser, kategori 1
- d) brannfarlige væsker, kategori 1 og 2
- e) brannfarlige væsker, kategori 3, hvor den tillatte maksimaltemperatur er høyere enn flammepunktet
- f) brannfarlige faste stoffer, kategori 1 og 2
- g) selvreaktive stoffer og stoffblandinger, type A–F h. pyrofore væsker, kategori 1
- h) pyrofore faste stoffer, kategori 1
- i) stoffer og stoffblandinger som ved kontakt med vann utvikler brannfarlige gasser, kategori 1, 2 og 3
- j) oksiderende væsker, kategori 1, 2 og 3
- k) oksiderende faste stoffer, kategori 1, 2 og 3 m. organiske peroksider, type A–F
- l) akutt oral giftighet, kategori 1 og 2
- m) akutt giftighet ved hudkontakt, kategori 1 og 2
- n) akutt giftighet ved innånding, kategori 1, 2 og 3
- o) spesifikk målorgantoksisitet (enkelteksponering), kategori 1.

C.8 Z-015 Samsvarserklæring

Z-015 SAMSVARERKLÆRING																		
Leverandør	ID	Type	Beskrivelse															
<p>Dette midlertidige utstyret er konstruert i samsvar med NORSOK Z-015, uten avvik <input type="checkbox"/>, med avvik (se liste nedenfor) <input type="checkbox"/></p> <p>Dato / navn / bedrift / stilling / signatur:</p> <p>Denne containeren / dette utstyret er godkjent for plassering i Ex-soner:</p> <p>Sone 1 <input type="checkbox"/>, Sone 2 <input type="checkbox"/>, Ikke-eksplosjonsfarlig område <input type="checkbox"/></p> <p>Dato / navn / bedrift / stilling / signatur:</p> <p>Bruken av denne containeren / dette utstyret krever klarering i hvert tilfelle (se 5.5.1)</p> <p>Denne containeren / dette midlertidige utstyret er CE-merket, basert på følgende forskrifter og direktiver (ikrafttredelsesdato for når forskrift gjelder uten overgangsordning):</p> <table> <tr> <td>Enkle trykkbeholdere</td> <td>2014/29/EU FOR-2017-02-10-171</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>EMC</td> <td>2014/30/EU FOR-2017-10-10-1597</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>ATEX</td> <td>2014/34/EU FOR-2017-11-29-1849</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>TPU</td> <td>2014/68/EU FOR-2017-10-10-1631</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Maskinforskriften</td> <td>2006/42/EF FOR-2009-05-20-544</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>Avvik:</b></p>				Enkle trykkbeholdere	2014/29/EU FOR-2017-02-10-171	<input type="checkbox"/>	EMC	2014/30/EU FOR-2017-10-10-1597	<input type="checkbox"/>	ATEX	2014/34/EU FOR-2017-11-29-1849	<input type="checkbox"/>	TPU	2014/68/EU FOR-2017-10-10-1631	<input type="checkbox"/>	Maskinforskriften	2006/42/EF FOR-2009-05-20-544	<input type="checkbox"/>
Enkle trykkbeholdere	2014/29/EU FOR-2017-02-10-171	<input type="checkbox"/>																
EMC	2014/30/EU FOR-2017-10-10-1597	<input type="checkbox"/>																
ATEX	2014/34/EU FOR-2017-11-29-1849	<input type="checkbox"/>																
TPU	2014/68/EU FOR-2017-10-10-1631	<input type="checkbox"/>																
Maskinforskriften	2006/42/EF FOR-2009-05-20-544	<input type="checkbox"/>																
Nr.	Referanse kravdok. (dok.nr. og punkt)	Beskrivelse av avvik	Kompenserende tiltak/kommentar															
Begrensninger eller spesielle krav til bruk av container/utstyr:																		
Nr.	Gyldighetsområde (se MERKNAD)	Beskrivelse	Navn og dato (ansvarlig person)															
<p>Bruk av dette utstyret krever forhåndsgodkjenning av ansvarlig person i selskapet, (se NORSOK Z-015 5.8.3):</p> <p><b>Ja</b> <input type="checkbox"/>, <b>Nei</b> <input type="checkbox"/> (Dersom Ja, før opp forholdene som krever forhåndsgodkjenning i merknadsfeltet)</p>																		

Figur .29: Samsvarserklæring

## C.9 Norsok D-002

### Liste over detaljekravene til ulike typer brønnservice utstyr inkludert reel.

- A) I reelen må det være utstyrt med dryppskål og drenering.
- B) Adkomst- og arbeidsplattformer skal finnes på egnede områder for normal drift
- C) Drivsystemet skal være i stand til å drive reelen raskere enn den maksimale (drifts)hastigheten til injectorhead. Den skal gi den nødvendige spenningen som er nødvendig for å bøye umbilicalen over sheaven og inn på reelen og gi tilstrekkelig dreiemoment til å akselerere trommelen fra stasjonær til maksimal driftshastighet med reelen fullastet med arbeidsstreng fylt med væske.
- D) Drivsystemet skal være variabelt, justert og styrt fra kontrollkabinen.
- E) Diameteren for reelen skal være minimum 48 ganger av umbilicalens diameter.
- F) Winderen skal utformes for å tåle bøye- og sidelastkreftene fra umbilicalen. Det skal leveres et styresystem med overstyringsfunksjon for riktig av og på spoling av umbilical.
- G) Reelen skal ha et bremsesystem som automatisk kobles inn ved tap av kraft. Dette systemet skal ha anordninger for manuell overstyring ved drift på flytende innretninger.
- H) Reelen skal ha et bremsesystem som er utformet for å hindre drift av injector head når reelens bremsesystem er aktivert.
- I) Det skal installeres et ekstra bremsesystem for å aktiveres ved svikt i gir eller kjede. Dette kan enten være et kapillærbremsesystem eller en ekstra drivmotor med intern brems.
- J) Reelen skal være utstyrt med dybdemåler.



C.10 ISO 12944 - Korrosjonsbestandighet

Corrosivity category	Mass loss per unit surface/thickness loss (after first year of exposure)				Examples of typical environments (informative only)	
	Low-carbon steel		Zinc		Exterior	Interior
	Mass loss g/m <sup>2</sup>	Thickness loss µm	Mass loss g/m <sup>2</sup>	Thickness loss µm		
C1 very low	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	—	Heated buildings with clean atmospheres, e.g. offices, shops, schools, hotels
C2 low	> 10 to 200	> 1,3 to 25	> 0,7 to 5	> 0,1 to 0,7	Atmospheres with low level of pollution: mostly rural areas	Unheated buildings where condensation can occur, e.g. depots, sports halls
C3 medium	> 200 to 400	> 25 to 50	> 5 to 15	> 0,7 to 2,1	Urban and industrial atmospheres, moderate sulfur dioxide pollution; coastal areas with low salinity	Production rooms with high humidity and some air pollution, e.g. food-processing plants, laundries, breweries, dairies
C4 high	> 400 to 650	> 50 to 80	> 15 to 30	> 2,1 to 4,2	Industrial areas and coastal areas with moderate salinity	Chemical plants, swimming pools, coastal ship and boatyards
C5 very high	> 650 to 1 500	> 80 to 200	> 30 to 60	> 4,2 to 8,4	Industrial areas with high humidity and aggressive atmosphere and coastal areas with high salinity	Buildings or areas with almost permanent condensation and with high pollution
CX extreme	> 1 500 to 5 500	> 200 to 700	> 60 to 180	> 8,4 to 25	Offshore areas with high salinity and industrial areas with extreme humidity and aggressive atmosphere and sub-tropical and tropical atmospheres	Industrial areas with extreme humidity and aggressive atmosphere

NOTE The loss values used for the corrosivity categories are identical to those given in ISO 9223.

Figur .30: Miljøklassifisering

System No.	Priming coat				Subsequent coat(s) Binder type	Paint system		Durability			
	Binder type	Type of primer	No. of coats	NDFT in µm		Total no. of coats	NDFT in µm	l	m	h	vh
I.01	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR	2 to 4	360	X	X	X	
I.02	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR	2 to 5	500	X	X	X	X
I.03	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80	EP, PUR	2 to 4	380	X	X	X	
I.04	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80	EP, PUR	2 to 4	540	X	X	X	X
I.05			—	—	EP, PUR	1 to 3	400	X	X	X	
I.06			—	—	EP, PUR	1 to 3	600	X	X	X	X

Depending on mechanical and abrasive loads, it can be necessary to increase the NDFT of the systems to ensure the durability. For abrasive loads, NDFT of up to 1 000 µm are recommended, and for extreme abrasive loads even up to 2 000 µm.

In addition to polyurethane technology, other coating technologies may be suitable, e.g. polysiloxanes, polyaspartic and fluoropolymer [fluoroethylene/vinyl ether co-polymer (FEVE)].

NOTE 1 Water-borne products are not yet suitable for immersion.

NOTE 2 The immersion categories deal with external exposure only. Confined spaces and tank internals are outside the scope of this document (see ISO 12944-2).

NOTE 3 For abbreviations see [Table A.1](#).

Figur .31: Tabell C.6

C.11 Excel utregninger

Umbilical Reel - DNV 2.7-3, Type A, class R60		Suggested changes: adding 12mm thickness to padeye		Suggested changes: Cheek plates with 8mm thickness, the rest described under C. plates	
<b>Reel</b>					
g	9,81 m/s <sup>2</sup>	<b>Padeye</b>		<b>Shackles</b>	
MGW	14,5 Tonnes	Thickness	20 mm	Shackle minimum WLL requirement (DNV 2.7-3 (7.3.3))	7,65 Tonnes
DF	(DNV 2.7-3 (3.5.1)) 2,8856	Pinhole diameter	40 mm	Pin diameter	38 mm
F <sub>air</sub>	(DNV 2.7-3 (3.5.1)) 410456,867 N	Radius from hole center to plate edge	45 mm	Shortest width at pin	57 mm
F <sub>air</sub> for a single leg	102614,217 N	Total thickness with cheek plate	20 mm	WLL (actual WLL for shackles)	21 Tonn
Material youngs modulus	355 MPa	Material	355 MPa	<b>Cheek plates</b>	
Max allowable stress (DNV 2.7-3 (3.4.3))	301,75 MPa	base length	126,047241 mm	Thickness	0 mm
Elastisk modulus	210 000 MPa	Base area	2520,94483 mm <sup>2</sup>	Fillet weld utilization factor (DNV 2.7-3 (3.4.5))	0,6
Out of plane horizontal angle	3 Degrees	Padeye hull til bjelke	60 mm	Weld throat thickness	4 mm
Weld max stress (DNV 2.7-3 (3.4.5))	213 MPa	<b>Appendix DNV 2.7-3</b>		Radius of cheek plates	40 mm
Force to be used in calculations (F <sub>air</sub> >= F <sub>out of plane</sub> ):	Out of plane force	<b>A.2 - Definitions</b>		Diameter of cheek plates	80 mm
Force used in calculations	411018,614 N	Minimum radius of padeye		<b>Out of plane forces</b>	
<b>Standard DNV 2.7-3</b>					
Plain Loads Lifting (3.5.5)					
SKL	1,33	<b>A.3 - Bearing pressure</b>		Horizontal force out of plane	
PLskl	0,3	Bearing pressure		Vertical angles 20 degrees out of plane (vertically decomposed)	
v	(DNV2.7-3 (3.5.5, 3.7.1)) 35 Degrees	A.4 - Tear out		Vertical angles 20 degrees out of plane (horizontally decomposed)	
PL	0,25 %	Tear out		Force on a single padeye	
RSF, v>=30	True 200202,671 N	<b>A.5 - Cheek plate welds</b>		Sum out of plane forces	
RSF, v<30	False 0 N	Cheek plate weld		Force to be used in calculations:	
RSF	200202,671 N	0 MPa		Out of plane force	
<b>Geometry requirements (3.8.4)</b>					
Outside radius of padeye > radius of pinhole	True 25 mm	<b>Strength of padeye plate</b>			
Padeye thickness incl. C.plates > 75% of inside width of shackle	False 35,0877193 %	Equivalent stress			
Pin hole to pin difference greater than 94%	True 95 %	Tension stress			
WLL (7.3.3)					
WLL	7823,07412 kg	Shear stress			
<b>Equivalent stress</b>					
Tension stress					
Shear stress					
Shear stress - Out of plane					
Section modulus strong axis					
section modulus weak axis					
Bending moment along padeye axis					
Bending moment across padeye					
Equivalent stress (Von-mises)					

Figur .32: Padeye beregninger før endringer.

Umbilical Reel - DNV 2.7-3, Type A, class R60		Suggested changes: adding 12mm thickness to padeye		Suggested changes: Cheek plates with 8mm thickness, the rest described under C. plates	
<b>Reel</b>					
g	9,81 m/s <sup>2</sup>	<b>Padeye</b>		<b>Shackles</b>	
MGW	14,5 Tonnes	Thickness	30 mm	Shackle minimum WLL requirement (DNV 2.7-3 (7.3.3))	7,65 Tonnes
DF	(DNV 2.7-3 (3.5.1)) 2,8856	Pinhole diameter	40 mm	Pin diameter	38 mm
F <sub>air</sub>	(DNV 2.7-3 (3.5.1)) 410456,867 N	Radius from hole center to plate edge	45 mm	Shortest width at pin	57 mm
F <sub>air</sub> for a single leg	102614,2168 N	Total thickness with cheek plate	46 mm	WLL (actual WLL for shackles)	21 Tonn
Material youngs modulus	355 MPa	Material	355 MPa	<b>Cheek plates</b>	
Max allowable stress (DNV 2.7-3 (3.4.3))	301,75 MPa	base length	126,0472414 mm	Thickness	8 mm
Elastisk modulus	210 000 MPa	Base area	3781,417242 mm <sup>2</sup>	Fillet weld utilization factor (DNV 2.7-3 (3.4.5))	0,6
Out of plane horizontal angle	3 Degrees	Padeye hull til bjelke	60 mm	Weld throat thickness	4 mm
Weld max stress (DNV 2.7-3 (3.4.5))	213 MPa	<b>Appendix DNV 2.7-3</b>		Radius of cheek plates	40 mm
Force to be used in calculations (F <sub>air</sub> >= F <sub>o</sub> ):	Out of plane force	<b>A.2 - Definitions</b>		Diameter of cheek plates	80 mm
Force used in calculations	411018,614 N	Minimum radius of padeye		<b>Out of plane forces</b>	
<b>Standard DNV 2.7-3</b>					
Plain Loads Lifting (3.5.5)					
SKL	1,33	<b>A.3 - Bearing pressure</b>		Horizontal force out of plane	
PLskl	0,3	Bearing pressure		Vertical angles 20 degrees out of plane (vertically decomposed)	
v	(DNV2.7-3 (3.5.5, 3.7.1)) 35 Degrees	A.4 - Tear out		Vertical angles 20 degrees out of plane (horizontally decomposed)	
PL	0,25 %	Tear out		Force on a single padeye	
RSF, v>=30	True 200202,6707 N	<b>A.5 - Cheek plate welds</b>		Sum out of plane forces	
RSF, v<30	False 0 N	Cheek plate weld		Force to be used in calculations:	
RSF	200202,6707 N	181,3429989 MPa		Out of plane force	
<b>Geometry requirements (3.8.4)</b>					
Outside radius of padeye > radius of pinhole	True 25 mm	<b>Strength of padeye plate</b>			
Padeye thickness incl. C.plates > 75% of inside	True 80,70175439 %	Equivalent stress			
Pin hole to pin difference greater than 94%	True 95 %	Tension stress			
WLL (7.3.3)					
WLL	7823,07412 kg	Shear stress			
<b>Equivalent stress</b>					
Tension stress					
Shear stress					
Shear stress - Out of plane					
Section modulus strong axis					
section modulus weak axis					
Bending moment along padeye axis					
Bending moment across padeye					
Equivalent stress (Von-mises)					

Figur .33: Padeye beregninger etter endringer.

Checklist			Checklist		
<b>Geometrier</b>			<b>Geometrier</b>		
Padeye radius > minimum radius	Approved		Padeye radius > minimum radius	Approved	
Outside radius of padeye > radius of pinhole	Approved		Outside radius of padeye > radius of pinhole	Approved	
Padeye thickness incl. C-plates > 75% of inside width of shackle	Not approved		Padeye thickness incl. C-plates > 75% of inside width of shackle	Approved	
Pin hole to pin difference greater than 94%	Approved		Pin hole to pin difference greater than 94%	Approved	
Minimum WLL < Shackle WLL	Approved		Minimum WLL < Shackle WLL	Approved	
<b>Materialstyrke</b>			<b>Materialstyrke</b>		
Max allowable stress > Bearing pressure	Not approved		Max allowable stress > Bearing pressure	Approved	
Max allowable stress > Padeye plate strength	Approved		Max allowable stress > Padeye plate strength	Approved	
Max allowable stress > Tear out	Not approved		Max allowable stress > Tear out	Approved	
Weld strenght > Cheek plate welds	Approved		Weld strenght > Cheek plate welds	Approved	
DNV WLL for sjakler < Shackles WLL	Approved		DNV WLL for sjakler < Shackles WLL	Approved	

(a) Sjekkliste ikke godkjent.

(b) Sjekkliste godkjent.

Figur .34: Sjekkklister før og etter modifisering.



