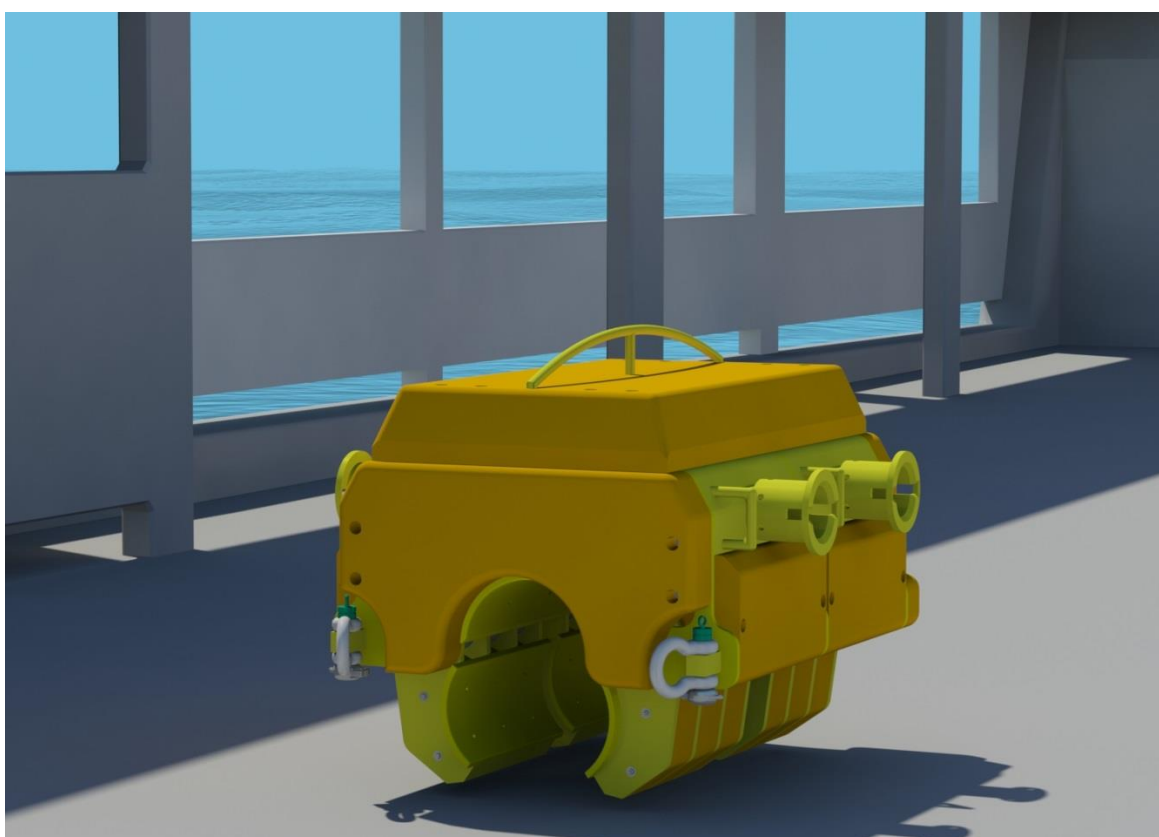


Utvikling av klammer som del av løfteutstyr for løft av fleksible rørledninger i forskjellige dimensjoner fra havbunnen



Bacheloroppgave utført ved
Høgskulen på Vestlandet - Avdeling Haugesund – ingeniørfag

Studieretning: *Maskin, Marin konstruksjonsteknikk*

Av:	Martin Berntsen	Kandidatnr. 68
	Christoffer Molven	Kandidatnr. 69
	Bjørnar Nitter	Kandidatnr. 81

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Christoffer Molven
Bjørnar Nitter
Martin Berntsen

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag, maskin
Marin konstruksjonsteknikk

Oppgavens tittel: *Utvikling av klammer som del av løfteutstyr for løft av fleksible rørledninger i forskjellige dimensjoner fra havbunnen.*

Oppgavetekst:

Oppgaven omhandler å utvikle et klammer som en del av et løfteutstyr som skal kunne brukes til å løfte fleksible rørledninger av forskjellige dimensjoner fra havbunnen. Rørene må kunne gjenbrukes og må derfor ikke bli skadet av klammeret under løfteoperasjonen.

Innledningsvis skal det innhentes relevant informasjon, utarbeides skisser og beskrives alternative løsninger på aktuelle klammer til løft av fleksible rørledninger. Deretter gjøres det en faglig vurdering/sammenligning av alternativene opp mot eksisterende løsninger og regelverk. Klammeret som blir valgt etter denne prosessen beregnes både for hånd og i et styrkeberegningsprogram, og tegnes i et CAD program, både i 3D og 2D. Dette skal innarbeides i en rapport, med en avsluttende diskusjon og konklusjon.

Endelig oppgave gitt: Fredag 10.oktober 2016

Innleveringsfrist: Onsdag 10.mai 2017 kl. 12.00

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

Ekstern veileder: Christian Knutsen - IK Norway, tlf: 91 19 76 95

Adresse ekstern veileder: Christan August Thorings Veg 9, 4068 Stavanger

**Godkjent av
studieansvarlig:**
Dato:

Forum S. Nysted
20/4-17

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Utvikling av klammer som del av løfteutstyr for løft av fleksible rørledninger i forskjellige dimensjoner fra havbunnen.		
Utført av Martin Berntsen Christoffer Molven Bjørnar Nitter		
Linje Maskin, Marin konstruksjonsteknikk	Studieretning Ingeniør	
Gradering Åpen	Innlevert dato 10.05.2017	Veiledere Jens Christian Lindaas – HVL Christian Knutsen – IK Norway

Ekstrakt

I denne bachelor oppgaven ble det designet et klammer for løfting av fleksible rørledninger. Fleksible rørledninger har en høy produksjonspris og det er derfor lønnsomt å gjenbruke rørene hvis olje- og gassfeltene de tilhører fases ut. Klammeret er derfor designet for å ikke skade rørene under løfteoperasjonen. En ROV er ansvarlig for å posisjonere klammeret på røret og låse det fast.

Flere løsninger ble utarbeidet, og etter en vurderingsprosess ble et endelig design valgt.

Klammerdelene ble dimensjonert etter spenningsanalyser som ble beregnet for hånd og verifisert ved hjelp av styrkeberegningsprogrammet ANSYS.

Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med IK Norway AS.

Forord

I siste semester ved Høgskulen på Vestlandet avslutter vi vår treårige maskiningeniørutdanning med en obligatorisk hovedoppgave. Hovedoppgaven består av en skriftlig rapport og en muntlig presentasjon som gir 15 studiepoeng, i tillegg til et produkt som gir 5 studiepoeng. Oppgavens hensikt er å få fordypning innenfor et spesielt fagområde.

I denne oppgaven har vi i samarbeid med IK Norway i Stavanger designet et klammer for løfting av fleksible rørledninger. Vi har fått spesielt nytte av fagene undervannsteknologi, statikk og fasthetslære, rørkonstruksjon og maskinkonstruksjon. For beregninger, design og animasjon har vi fått bruk for dataprogrammene ANSYS, Inventor og 3ds Max, samt standarder fra DNV og NORSOK.

Vi har fått god veiledning, hjelp og oppfølging gjennom hele prosjektet, og ønsker derfor å takke følgende personer:

Jens Christian Lindaas Intern veileder.

Christian Knutsen Ekstern veileder.

Kjell Eivind Helgesen for veiledende hjelp.

Damir Hren i NOV for info om fleksible rør.

Bozidar Sevic i IK Norway for hjelp med animasjon

Bjørnar Nitter



Christoffer Molven



Martin Berntsen



Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Figurliste	iv
Tabelliste	vi
Symboler og forkortelser	vi
Sammendrag	x
Summary	xi
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Formål/målsetting for oppgaven	1
1.3 Begrensninger	1
1.4 IK Norway	2
1.5 Løsningsprosess	2
1.5.1 Fremgangsmåte	2
1.5.2 utfordringer underveis	2
1.6 Hjelpemidler.....	3
1.6.1 Autodesk Inventor	3
1.6.2 ANSYS.....	3
1.6.3 Autodesk 3ds Max	3
2 Teoretisk bakgrunn for oppgaven	4
2.1 Fleksible rørledninger	4
2.1.1 Oppbygging av fleksibel rørledning	4
2.1.2 Fordeler med anvendelse av fleksible rørledninger	6
2.1.3 Kritiske punkt	6
2.2 Generelt om ROV	6
2.3 «Shackles» i bruk for løfteoperasjoner	7
2.4 Forarbeid før opphenting av rørledning fra havbunn.....	8
2.5 Undervannsforhold som må tas til betraktning ved undervannsoperasjoner	9
2.6 Løftemetoder for undervanns rørledninger	10
3 Relevante regelverk.....	12
3.1 NS-EN ISO 13628-10:2005 og NS-EN ISO 13628-11:2008.....	12
3.2 DNV-OS-H101:2011 og DNV-OS-H102:2012	12
3.3 NORSOK Standard U-102:2003	12
3.4 NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008.....	12
4 Kravspesifikasjon til produktet.....	13
4.1 Utforming av alternative løsninger.....	13
4.2 Vurdering av alternative løsninger	14

4.2.1 Løsning 1.....	16
4.2.2 Løsning 3.....	17
4.2.3 Løsning 5.....	18
4.2.4 Løsning 6.....	19
4.2.5 Løsning 10.....	20
4.3 Valg av endelig løsning.....	21
5 Valgt løsning, detaljdesign	22
5.1 Forbedring av valgt løsning.....	22
5.1.1 Løsning i Autodesk Inventor	24
5.1.2 Praktiske forbedringer på løsning	24
5.2 Dimensjonerende krefter.....	27
5.2.1 Klemkraft på røret	27
5.3 Krefter på den fleksible rørledningen	29
5.4 Avstandsplater for forskjellige rørdimensjoner	31
5.5 Beregning og dimensjonering	33
5.5.1 Klør.....	33
5.5.2 Aksling.....	38
5.5.3 Strammebolt.....	39
5.5.4 Rammeplate	42
5.5.5 Festebjelke for «Shackles»	43
5.6 Tiltrekningskraft fra «Torque tool» på strammebolt.....	44
5.7 Lager.....	47
5.7.1 Lager til strammebolt	47
5.7.2 Lager til bjelke	48
5.8 Materialvalg og korrosjonsbeskyttelse	49
5.8.1 Materialvalg.....	49
5.8.2 Korrosjonsbehandling.....	49
5.9 Masse og vekt	50
5.9.1 Vekt i vann	51
5.9.2 Vekt i vann med oppdriftselementer	52
6 Sammenligning av beregninger.....	56
6.1 ANSYS beregninger	56
6.1.1 Spenning- og deformasjonsanalyse for «bjelke til klemplate» i ANSYS	56
6.1.2 Spenning- og deformasjonsanalyse for «bjelke til Shackle» i ANSYS	58
6.1.3 Spenning- og deformasjonsanalyse av «klemplate nede» i ANSYS.....	60
6.1.4 Spenning – og deformasjonsanalyse av «klemplate topp» i ANSYS.....	62
6.1.5 Spenning – og deformasjonsanalyse av strammebolt i ANSYS	64
6.1.6 Spenning – og deformasjonsanalyse av aksling i ANSYS	66

6.1.7 Spenning – og deformasjonsanalyse av «rammeplate» i ANSYS	68
6.2 Sammenligning av håndberegninger og ANSYS-beregninger	70
6.2.1 Refleksjon mellom håndberegninger og ANSYS-beregninger	71
7 Bruk av klammer	72
7.1 Prosedyre for bruk av klammer ved undervanns løfteoperasjon	72
7.2 Vedlikehold av klammer	74
8 Avsluttende diskusjon	75
9 Konklusjon	76
Kontaktliste	77
Referanser	78
Vedleggs liste.....	79

Figurliste

Figur 1 IK Norway's kontor på Forus i Stavanger [2]	2
Figur 2 Eksempel på hvordan en fleksibel rørledning kan være bygget opp [7].....	4
Figur 3 Rørleggings fartøy [8]	6
Figur 4 ROV med TMS [11]	6
Figur 5 Green Pin «Shackle»[12]	7
Figur 6 Begrodd rørledning [13]	9
Figur 7 Reversert S-legging [14]	10
Figur 8 Reversert J-legging [15].....	10
Figur 9 Reversert kveilemetode [16].....	11
Figur 10 Skisse løsning 2.....	13
Figur 11 Forklaring på klemkraft på rør	15
Figur 12 Løsning lukkes ved hjelp av tyngdekraft	16
Figur 13 Løsning lukkes ved hjelp av strammebolt	16
Figur 14 Løsning 1, sett forfra og fra siden	16
Figur 15 Løsning 3 i åpen og lukket tilstand	17
Figur 16 Løsning 3, sett forfra og fra siden	17
Figur 17 Løsning 5, sett forfra og fra siden	18
Figur 18 Løsning 6, åpen forfra	19
Figur 19 Løsning 6, sett forfra og fra siden	19
Figur 20 Klammer funksjonen	20
Figur 21 Løsning 10, forfra og fra siden.....	20
Figur 22 Endelig løsning	21
Figur 23 Løsning 10, forfra	22
Figur 24 Løsning 10, fra siden.....	22
Figur 25 Løsning 10.1, forfra lukket	22
Figur 26 Løsning 10.1, fra siden	22
Figur 27 Løsning 10.1, forfra åpen	22
Figur 28 Løsning 10.2, lukket, åpnet og ramme.....	23
Figur 29 Løsning 10.2, sett fra siden	23
Figur 30 Løsning 10.3, forfra lukket	23
Figur 31 Løsning 10.3, fra siden	23
Figur 32 Løsning 10.3, forfra åpen	23

Figur 33 Klammeret tegnet i Inventor fra flere vinkler	24
Figur 34 Klammeret med navn satte deler, sett forfra	25
Figur 35 Klammeret med navn satte deler, sett fra siden	25
Figur 36 Topp: Klammeret i lukket og åpen posisjon. Bunn: Klammeret sett ovenfra og fra undersiden.....	26
Figur 37 Utviklingen til klammeret fra prinsipp til ferdig produkt	26
Figur 38 Prinsipp tegning av lagene i en fleksibel rørledning og friksjonskraften som virker mellom dem.....	27
Figur 39 Normalkraft og friksjonskraft illustrert	28
Figur 40 Motkraften til normalkraften illustrert på et rør	28
Figur 41 Klammer illustrert med 8" rør uten «Spacer»	31
Figur 42 Klammer sett forfra, uten «Spacers»	31
Figur 43 Klammer sett forfra, med «Spacers»	31
Figur 44 Øvre «Spacer» sett uten «slanking»	32
Figur 45 Øvre «Spacer» sett med «Slanking»	32
Figur 46 «Spacere» sett med oppdriftselementer	32
Figur 47 Oppdriftselementer til «Spacere».....	32
Figur 48 Antall «Spacere» og antall bolter	32
Figur 49 Jevnt fordelt kraft illustrert på klammeret.....	33
Figur 50 Forenklet kraftbilde av løftesituasjon av en klo.....	33
Figur 51 Kraftsituasjon for en klo	34
Figur 52 Skjær- og momentdiagram for en klo	34
Figur 53 Bjelke sett fra siden, tverrsnitt.....	35
Figur 54 Bjelke sett ovenfra, tverrsnitt	35
Figur 55 Bjelkens kraftbilde sett fra siden, mål for kritisk tverrsnitt	36
Figur 56 Bjelke med nedre kleplate, sett forfra og fra siden	37
Figur 57 Øvre kleplate, sett forfra og fra siden.....	37
Figur 58 Aksling koblet til rammene, sett fra siden	38
Figur 59 Bolt sett fra siden	39
Figur 60 Mutter med stang til strammebolten	41
Figur 61 Ramme kraftbilde, sett forfra og fra siden.....	42
Figur 62 Tverrsnitt av en bjelke med «Shackle»	43
Figur 63 Kraftbildet til bjelkene med «Shackles» under løft.....	43
Figur 64 Eksempel på e «Torque tool class 1-4» [25]	44
Figur 65 Strammeboltene med mutter og lager	44
Figur 66 Moment og last på mutter	45
Figur 67 Gjengeprofil med gjengevinkelen og stigning [22]	45
Figur 68 Lager for bolt med flange [27].....	47
Figur 69 Lager for aksling [29].....	48
Figur 70 Klemplaten med oppdriftselementer.....	53
Figur 71 Klammeret uten og med oppdriftselementer.....	53
Figur 72 Klammeret kan se slik ut etter produksjon	54
Figur 73 Boltene som holder oppdriftselementene på plass.....	55
Figur 74 Kulene representerer klammerets tyngdepunkt, funnet ved bruk av Autodesk Inventor «Center of gravity» funksjon	55
Figur 75 «Static Structural» for «bjelke til kleplate» i ANSYS	56
Figur 76 Ekvivalent spenning for «bjelke til kleplate» i ANSYS	57
Figur 77 Total deformasjon for «bjelke til kleplate» i ANSYS	57
Figur 78 «Static Structural» for «bjelke til Shackle» i ANSYS	58
Figur 79 Ekvivalent spenning for «bjelke til Shackle» i ANSYS.....	59
Figur 80 Total deformasjon av «bjelke til Shackle» i ANSYS	59
Figur 81 «Static Structural» for «kleplate nede» i ANSYS.....	60

Figur 82 Ekvivalent spenning for « klemplate nede» i ANSYS.....	61
Figur 83 Total deformasjon av «klemplate nede» i ANSYS.....	61
Figur 84 «Static Structural» for «klemplate topp» i ANSYS.....	62
Figur 85 Ekvivalent spenning for «klemplate topp» i ANSYS.....	63
Figur 86 Total deformasjon av «klemplate topp» i ANSYS.....	63
Figur 87 «Static Structural» for strammebolt i ANSYS.....	64
Figur 88 Ekvivalent spenning for strammebolt i ANSYS.....	65
Figur 89 Total deformasjon av strammebolt i ANSYS.....	65
Figur 90 «Static Structural» for aksling i ANSYS.....	66
Figur 91 Ekvivalent spenning for aksling i ANSYS.....	67
Figur 92 Total deformasjon av aksling i ANSYS.....	67
Figur 93 «Static Structural» for rammeplaten i ANSYS.....	68
Figur 94 Ekvivalent spenning for rammeplaten i ANSYS.....	69
Figur 95 Total deformasjon av rammeplaten i ANSYS.....	69
Figur 96 Klammeret i kurven.....	72
Figur 97 Klammeret i posisjon over røret.....	72
Figur 98 Klammeret plassert nedpå røret.....	72
Figur 99 Klammeret lukkes.....	73
Figur 100 Løftewirer kobles til.....	73
Figur 101 Klammeret med røret trekkes opp.....	73

Tabelliste

Tabell 1 Symboler med definisjoner.....	vi
Tabell 2 Forkortelser.....	ix
Tabell 3 Regelverk.....	12
Tabell 4 Vurdering av løsning 1.....	16
Tabell 5 Vurdering av løsning 3.....	17
Tabell 6 Vurdering av løsning 5.....	18
Tabell 7 Vurdering av løsning 6.....	19
Tabell 8 Vurdering av løsning 10.....	20
Tabell 9 Resultat for løsningsvurdering.....	21
Tabell 10 Spenningsforholdet mellom rørdimensjoner og lende av rør.....	30
Tabell 11 Spenningen på de fleksible rørledningene for endelig klammer.....	30
Tabell 12 Sammenligning av hånd- og ANSYS-beregninger.....	70

Symboler og forkortelser

Tabell 1 Symboler med definisjoner

Symbol	Definisjon	Enhet
M_a	Moment om aksling	Nmm
F	Kraft	N
E	Elastisitetsmodul	N/mm^2
F_{Bolt}	Boltkraft	N
F_{Klem}	Klemkraft	N
$F_{Friksjon}$	Friksjonskraft	N

$L_{Bolt \rightarrow Aksling}$	Lengde fra bolt til aksling	mm
$L_{Aksling \rightarrow Bolt}$	Lengde fra aksling til klempunkt	mm
G	Vekt	N
m	Masse	kg
$m_{rør}$	Massen til røret	kg
g	Tyngdeakselerasjon	m/s^2
γ_k	Sikkerhetsfaktor for klemkraft	-
γ_m	Sikkerhetsfaktor for material	-
$f_{s,lag}$	Friksjonsfaktor mellom lagene	-
F_k	Total klemkraft på det fleksible røret	N
$M_{b,Maks}$	Maksimalt bøyemoment	Nmm
d	Diameter	mm
t	Tykkelse	mm
f_y	Flytegrense	N/mm^2
q	Jevnt fordelt kraft på klempplatene	N/mm
$\sigma_{Rør}$	Rørspenning	N/mm^2
$\sigma_{Tillatt}$	Tillatt spenning	N/mm^2
σ_{jf}	Jevnføringsspenning	N/mm^2
σ_N	Normalspenning	N/mm^2
τ_S	Skjærspenning	N/mm^2
σ_T	Trykkspenning	N/mm^2
σ_S	Strekkspenning	N/mm^2
σ_h	Hulltrykksspenning	N/mm^2
σ_b	Bøyenspenning	N/mm^2
F_{bjelke}	Kraften en bjelke til klempplaten vil ta opp	N
K_c	Kjervfaktor	-
λ_{K_c}	Faktor for å bestemme kjervfaktor	-
F_G	Kraft løftewire tar opp	N
A	Areal	mm^2
A_s	Skjærareal	mm^2
L	Lengde	mm
L_1	Lengde	mm
L_2	Lengde	mm
R	Resultantkraft for klemkraft	N
R_1	Reaksjonskraften som oppstår pga. klemkraft	N
R_2	Reaksjonskraften som oppstår pga. klemkraft	N
$d_{16''}$	Diameter for 16'' rør	mm

d_1	Minste diameter for gjengene	mm
d_2	Midtre diameter for gjengene	mm
$n_{gjenger}$	Antall gjenger i «mutter med stang»	-
$b_{gjenger}$	Bredden for en gjenge	mm
L_{mutter}	Lengde av gjengene på «mutter med stang»	mm
P_{pitch}	«Pitch» til gjengene	mm
y	Avstand til nøytralakse	mm
x	Avstand til resultantkraftens virkelinje	mm
L_{cr}	Knekk lengde	mm
I	Tregghetsmoment	mm ⁴
N_{cr}	Eulerlast	N
$\bar{\lambda}$	Relativ slankhet	-
ε	Faktor avhengig av flytgrensen	-
$\alpha_{knekkurve,c}$	Imperfeksjonsfaktor for knekkurve C.	-
ϕ	Funksjon for å finne reduksjonsfaktoren	-
χ	Reduksjonsfaktor	-
γ_{M1}	Partialfaktor	-
$N_{b,Rd}$	Dimensjonerende knekkapasitet ved sentrisk trykk	N
N_{Ed}	Dimensjonerende trykkraft	N
D_i	Indre diameter lager	mm
D_o	Ytre diameter lager	mm
B	Bredde	mm
b	Bredde	mm
H	Høyde	mm
h	Høyde	mm
p	Lagertrykk	N/mm ²
$m_{shackle}$	Massen til Shackle	kg
m_{Lager}	Massen til Lager	kg
m_o	Massen til oppdriftselementer	kg
$m_{klammer}$	Massen til klammeret	kg
ρ_{Al}	Tetthet til aluminium 2014-T6	kg/m ³
ρ_s	Tetthet til konstruksjonsstål s355	kg/m ³
ρ_v	Tetthet til vann (sjøvann)	kg/m ³
ρ_o	Tetthet til oppdriftselementene	kg/m ³
V_{Al}	Volumet til deler av klammeret laget av aluminium	m ³
V_s	Volumet til deler av klammeret laget av stål	m ³
$V_{Klammer}$	Totalt volumet til klammeret fortrent i vann	m ³

V_o	Volumet til oppdriftselementer fortrenget i vann	m^3
$G_{Rør}$	Vekten av klammeret	N
N	Normalkraft	N
N'	Motkraft til normalkraft	N
W	Vekten av klammeret nedsunket i vann	N
W_o	Vekten av klammeret nedsunket i vann med oppdriftselementer	N
G_{Bolt}	Kraften på «mutter med stang» fra strammebolt	N
M_o	Moment på strammebolt	Nm
α	Stigningsvinkel	rad
δ	Friksjonsvinkel	rad
μ	Friksjonstall i gjenger	-
φ	Halve gjengevinkelen	$^\circ$

Tabell 2 Forkortelser

Forkortelse	Definisjon
ROV	Remotely Operated Vehicle
CAD	Computer Aided Design
FEM	Finite Element Method
DAK	Dataassistert Konstruksjon
TMS	Tether Management System
DNV	Det Norske Veritas
NS	Norsk Standard
EN	European Norm
NOV	National Oilwell Varco
WLL	Working Load Limit

Sammendrag

Når offshore olje- og gassfelt fases ut eller skal omplasseres, må rørledningene for undervannsinstallasjonene bli tatt opp igjen og ført til land for å settes ut av drift eller for gjenbruk i andre installasjoner. I denne bachelor oppgaven, ble gruppen tildelt en oppgave fra IK Norway å designe et klammer for løfting av fleksible rørledninger som kan bli brukt for dimensjoner fra 8" til 16". Klammeret skal ikke gjøre skade på den fleksible rørledningen under løfteoperasjonen, slik at røret kan bli gjenbrukt i andre installasjoner. Klammeret er operert av en ROV som er ansvarlig for føring og montering av klammeret til den fleksible rørledningen. Klammeret er konstruert for å ha en kapasitet opptil 294,3kN under vann.

Prosjektet begynte med å se etter eksisterende løsninger, informasjon om fleksible rørledninger og relevante standarder for fleksible rørledninger og offshore løfteoperasjoner. Gruppen skisserte flere løsninger og etter en evalueringsprosess med innspill fra ekstern veileder, så ble det endelige designet valgt. Det endelige designet ble gitt et par forbedringer for å gjøre den mer kompatibel med undervanns operasjoner fra anbefaling av ekstern veileder.

Materialene som ble brukt for klammeret er en kombinasjon av aluminium, konstruksjonsstål og syntaktisk skum for oppdriftselement. Modellering, visualisering og animering ble gjort i DAK programmet Autodesk Inventor og Autodesk 3ds Max, og spenning- og deformasjonsanalysen av klammeret ble utført i FEM programmet ANSYS.

Med denne rapporten, så presenterer gruppen et detaljert forslag av et klammer, som gruppen mener vil møte kravene som IK Norway definerte.

Summary

When offshore oil and gas fields phase out or is relocated, pipelines for the subsea installations needs to be retrieved to land for decommissioning or to be reused in other installations.

In this bachelor thesis, the team was given the task from IK Norway to design a clamp for lifting flexible pipes that can be used for dimensions from 8'' to 16''. The clamp must not cause damage to the pipe during retrieval, so the pipe can be reused in later installations. The lifting clamp is operated by an ROV that is responsible for the guidance and the assembly of the clamp onto the flexible pipe. The lifting clamp is constructed to have a capacity of 294,3kN under water.

The project began with looking for existing solutions, information about flexible pipes and relevant standards for flexible pipes and offshore lifting. The team sketched up several solutions and after an evaluation process and with the extern counselor of the bachelor thesis, the final design was chosen. The final design was given a few improvements for a better compatibility with subsea use based on recommendations from the extern counselor of the bachelor thesis.

The materials used for the lifting clamp is a combination of aluminum, structural steel and syntactic foam for buoyancy material. Modeling, visualization and animation of the lifting clamp is done in the CAD program Autodesk Inventor and Autodesk 3ds Max, and the stress- and deformation analysis of the lifting clamp components is done in the FEM program ANSYS.

With this report, the team presents a detailed suggestion of a lifting clamp that the team means will meet the requirements that IK Norway has defined.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Fleksible rørledninger har blitt brukt i oljeindustrien siden 1972, og har forenklet installasjonen av nye felt med sine egenskaper som egner seg godt for undervannsinstallasjoner. Den fleksible rørledningen bidrar til å øke fleksibiliteten til et felt, og kan forenkle installasjoner av nye felt. Når feltet fases ut eller skal flyttes, må rørledningene tas opp fra havbunnen og da kreves det et godt løfteutstyr som kan utføre løfteoperasjonen på en sikker og effektiv måte. Det finnes flere forskjellige typer klammer for løft ute på markedet, men det mangler gode løsninger på et klammer som kan håndtere forskjellige dimensjoner av fleksible rørledninger som et «Multi-tool». Det å kunne ha et klammer som kan benyttes for å løfte flere dimensjoner, vil være både mer økonomisk og effektivt enn å måtte ha med flere klammer, om det skal hentes opp flere rør av forskjellige dimensjoner under en løfteoperasjon. Siden den samlede materialprisen av en fleksibel rørledning kan være flere hundre ganger så dyrt som å benytte en ekvivalent lengde av et høy-styrke karbonstålrør, så er det meget attraktivt å kunne gjenbruke de fleksible rørene. Det er derfor meget viktig å ha et klammer som ikke gjør skade på den fleksible rørledningen under opphenting. I denne oppgaven er det utført en undersøkelse og utvikling av et klammer som kan håndtere flere dimensjoner, og som ikke gjør skade på den fleksible rørledningen under opphenting [1].

1.2 Formål/målsetting for oppgaven

Formålet med denne oppgaven er å utvikle et klammer for sikker løft av fleksible rørledninger av forskjellige dimensjoner. Dette skal gjøres på en måte slik at den fleksible rørledningen kan gjenbrukes, og det skal ikke forekomme skader på rørledningen under opphenting. Klammeret skal være håndterbart av en ROV, som står for både forflytning og monteringen av klammeret. Klammeret skal designes og dimensjoneres i henhold til regler og standarder for en sikker og effektiv opphenting av den fleksible rørledningen.

1.3 Begrensninger

Begrensningene i denne oppgaven er utredet fra det den eksterne veilederen på IK-Norway har gitt gruppen, og det gruppen har kommet fram til er best for å oppnå en god løsning på oppgaven.

Hovedbegrensningen i denne oppgaven er at klammeret blir designet for å kunne håndtere fleksible rør fra 8" til 16". Det er da tatt i betraktning at det er ytre diameter som er 8" til 16". Håndberegningene, ANSYS beregningene og avstandsplatene designet i Inventor er begrenset til 8", 12" og 16". Etter samtale med intern veileder ble det besluttet at styrkeberegninger for sveiser og mindre bolter ikke var behov for å ta med i oppgaven. Den fleksible rørledningen skal være utgravd i forbindelse med løfteoperasjonen, slik at det er mulig for klammeret å låse seg rundt hele røret.

Rørene som skal løftes er statiske fleksible rørledninger som vil si at de ligger på havbunnen. Vekten på røret skal maksimalt være tilsvarende vekten til et rør med masse 30 000kg på land. Håndberegningene blir foretatt som statiske beregninger. Klammeret skal ikke behøve å være koblet til en «løftewire» under montering. En ROV skal utføre festeanordningen, og derfor skal ikke klammeret ha en vekt på mer enn 500N med oppdriftselementer i vann. Maksimal havdybde klammeret skal operere på er satt etter maksimal dybden på feltene på norsk sokkel, altså rundt 1100m.

1.4 IK Norway

IK ble dannet i 1987 under navnet Industrikonsult, men endret til aksjeselskapet IK-Norway i 2006 med hovedkontor i Stavanger. Det er rundt 60 ansatte i IK-Norway fordelt på 6 forskjellige avdelinger: SubSea, Field service, Pipe intervention and calibration, Torque tensioning og Pigging produkter og Service. IK er en leverandør av nisjetjenester og produkter for rør og rørledninger både "Subsea" og "Topside". Selskapet har ambisjoner om å bli et internasjonalt oljeserviceselskap innen rørledning og undervannsindustri [2].



Figur 1 IK Norway's kontor på Forus i Stavanger [2]

1.5 Løsningsprosess

1.5.1 Fremgangsmåte

Gruppen startet med et møte med IK-Norway i Stavanger der det ble spesifisert hvilke krav og spesifikasjoner de hadde til produktet. En begynte deretter å innhente informasjon om eksisterende løsninger og annen relevant informasjon som trengtes for å få startet på produktutformingen. Det ble skissert flere løsninger, som ble karaktervurdert etter noen av de punktene som ble ment var viktigst for det endelige produktet. Skissene ble også vurdert av ekstern veileder på IK-Norway, og med hjelp av veileders vurdering ble et endelig design for produktet valgt. Med det endelige designet ble det foretatt noen små designendringer fra anbefaling fra ekstern veileder på IK-Norway for å gjøre den mer anvendelig under vann. Det ble så målsatt og gjort grove håndberegninger på hvilke dimensjoner klammeret måtte ha, og deretter tegnet inn i 3D-programmet Inventor. Til slutt ble de individuelle delene til klammeret overført til ANSYS for gjennomføring av analyser av kreftene påkjent på de forskjellige delene og deretter kontrollert opp imot de grove håndberegningene.

1.5.2 utfordringer underveis

Når gruppen skulle innhente informasjon til prosjektet, ble det fort oppdaget at dette ikke var like enkelt som forventet. Det tok lengre tid enn planlagt å finne teknisk informasjon om fleksible rør, relevante standarder og spesifikasjoner på eksisterende klammer. Bedrifter, intern- og ekstern veileder måtte kontaktes for å få tak i den informasjonen som var nødvendig. Den eksterne veilederen på IK-Norway fikk heldigvis hjulpet med det som var nødvendig av informasjon for å få start på prosjektet.

En annen utfordring var å holde vekten under 500N i vann slik at den kunne bli operert av en ROV som spesifisert fra IK. Her var det nødvendig å være smarte i materialvalg og fjerning av alt unødvendig materiale. Friksjonen mellom rørlagene var også et problem siden friksjonsfaktoren er meget lav. Dette medførte at klemkraften klammeret måtte overføre ble stor. For å unngå kollaps i røret under opphenting, måtte den radiale spenningen på den fleksible rørledningen være under $10\text{N}/\text{mm}^2$. Klemkraften måtte fordeles over en lengre lengde enn antatt og medførte at klammeret ble noe langt.

Når det skulle foretas forenklete håndberegninger, ble det mye fram og tilbake med hvilke formler og framgangsmåter som passet best for beregning av klammeret. I det endelige designvalget ble det et problem med at bolten ville bli nedbøyd betydelig under åpning av klammeret, så her måtte det finnes en kreativ løsning for å unngå nedbøyning. Når rammen til klammeret skulle designes i Inventor ble det avdekket problemer med passform til de andre komponentene i klammeret, denne måtte da designes om flere ganger før en optimal passform ble oppnådd.

1.6 Hjelpemidler

1.6.1 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor er et DAK parametrisk 3D design program for å lage 3D prototyper brukt i design, visualisering og simulering av mekaniske produkter. Produktet er utviklet av den USA baserte programvareprodusenten Autodesk [3].

1.6.2 ANSYS

ANSYS er et generelt elementmetodeprogram som kombinerer en rekke ulike analysetyper, både lineære og ikke-lineære. Slike analysetyper kan være strukturelle og mekaniske analyser, som kan benyttes for å analysere kapasiteten til produktet som skal analyseres. ANSYS kan også være et tillegg på Autodesk Inventor. Da kan en designe det mekaniske produktet i Inventor, for å så overføre modellen av produktet til ANSYS og utføre analyse[4].

1.6.3 Autodesk 3ds Max

Autodesk 3ds Max er en programvare for 3D-modellering, animasjon, rendering og visualisering. Programmet blir ofte brukt i forbindelse med produksjon av spill, animering av filmeffekter og visualisering og animering av produkter. Autodesk 3ds Max kan også importere modeller som er designet i Inventor, slik at de kan for eksempel brukes i animasjoner [5].

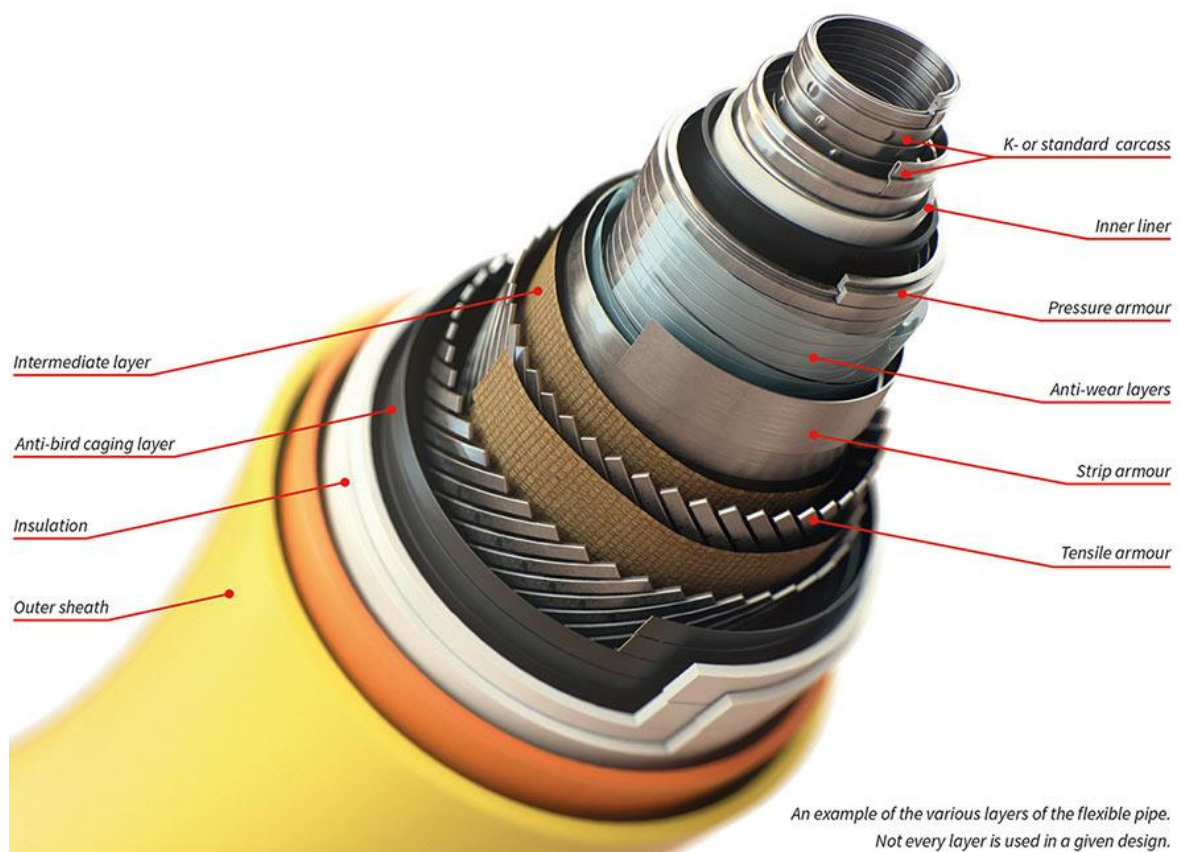
2 Teoretisk bakgrunn for oppgaven

I dette kapitlet blir den grunnleggende teorien som er viktig for oppgaven beskrevet. Informasjon om rørene som skal løftes, hvordan løfteprosessen foregår og hvilke andre komponenter som inngår under løftet.

2.1 Fleksible rørledninger

Fleksible rørledninger blir som regel brukt for strømningsrør og stigerør, med mål om å forenkle installasjonsprosedyren, der det for eksempel er ujevn havbunn eller vanskelig å få installert ubøyelige rørledninger. Fleksible rørledninger har lav bøyestivhet og høy aksial strekkstivhet, som er oppnådd av at rørveggkonstruksjonen er bygd opp av flere lag. Det finnes to typer fleksible rørledninger, ubundet og bundet fleksible rørledninger. Forskjellen på disse er at den ubundne fleksible rørledningen har separate lag som ikke er festet til hverandre, som gjør at det tillater bevegelse mellom lagene. Et fleksibelt rør er som regel ikke et ferdigstilt produkt, men et rør som blir optimalisert for hvilket ønske kunden har [6].

2.1.1 Oppbygging av fleksibel rørledning



Figur 2 Eksempel på hvordan en fleksibel rørledning kan være bygget opp [7]

Et fleksibelt rør er bygd opp av flere separate lag som har forskjellige hensikter i konstruksjonen. Som nevnt er et fleksibelt rør ikke et ferdigstilt produkt, men blir tilpasset for hvilken operasjon den skal utføre. De mest typiske lagene i et fleksibelt rør vil være [6]:

1. **«Carcass»:** Det innerste laget som er et sammen låst lag av metall som skal forhindre kollaps i røret.
2. **«Internal pressure sheath»:** En ekstrudert trykkappe av polymer
3. **«Interlocked pressure armour»:** Et sammen låst lag av metall som støtter opp «Internal pressure sheath» ved å ta opp trykkbelastninger i radiell retning.
4. **«Back up pressure armour»:** Ekstra lag av metall for å ta opp trykkbelastning.
5. **«Inner layour tensile armour»:** Strekkarmeringslag i formede metalltråder som er kryssviklet i 2 eller 4 lag.
6. **«Anti-wear layer»:** Lag som ligger mellom de forskjellige metalliske lagene for å forhindre ytterlig slitasje.
7. **«Outer layer of tensile armour»:** Et ytterlig strekkarmeringslag
8. **«Outer sheath»:** Ytterste laget som er et polymerlag.

2.1.2 Fordeler med anvendelse av fleksible rørledninger

Det er flere fordeler med å anvende fleksible rørledninger i undervannsinstallasjoner i forhold til konvensjonelle karbonstål rør. Slike fordeler kan være som at den fleksible rørledningen er mye hurtigere, enklere og billigere å installere på havbunnen på grunn av at røret følger den naturlige traseen som er på havbunnen. Det er hurtigere leggesprosess og det er ikke nødvendig å skjøte sammen rørender, fordi fleksible rør kommer i hele kontinuerlige lengder fra produsenten. Andre fordeler med anvendelse av fleksible rørledninger er at de har gode korrosjons- og isolasjonsegenskaper, krever lite vedlikehold og kan tas opp og gjenbrukes [1].



Figur 3 Rørleggings fartøy [8]

2.1.3 Kritiske punkt

På grunn av kompleksiteten av et fleksibelt rør, så er det mye som kan forårsake skader på røret. Typiske skader på et fleksibelt rør kan være [9]:

- Kollaps på grunn av for mye påført ytre kraft eller trykk, som gjør at «Carcass'en» kollapser innover og kan sterkt begrense fluidstrømmen inne i røret.
- Sprekk i røret på grunn for høyt indre trykk som gjør at lagene inne i røret ekspanderer til det danner seg en sprekk i røret.
- Overbøyning under løfting som fører til mindre bøyingsradius enn tillatt for det fleksible røret, som gjør at «Carcass'en» kollapser. Dette er på grunn av at det oppstår for høye spenninger på undersiden og oversiden.

2.2 Generelt om ROV

ROV også kalt fjernstyrt undervannsfarkost på norsk, er primært en undervannsrobot som blir styrt fra havoverflaten. Et ROV system består primært av [10]:

1. Selve ROV'en
2. Kabelsystem med eller uten TMS «Tether Management System»
3. System for sjøsetting av ROV
4. Kontrollkontainer/styresystem for operasjon av ROV



Figur 4 ROV med TMS [11]

Typiske arbeidsoppgaver en ROV kan ha er: Observasjon, inspeksjon, havbunnskartlegging, rengjøring, kutting og skjæring, ventiloperasjon, bistand i løfteoperasjoner og utskifting av komponenter på undervanns produksjonssystemer.

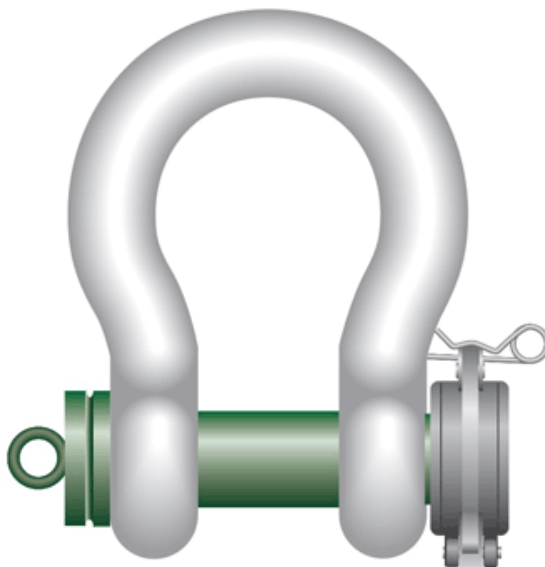
ROV'er deles som regel opp i klasser etter hvilke arbeidsoppgaver den utfører, de typiske hovedgruppene er:

- Observasjons-ROV
- Arbeids-ROV
- Survey-ROV
- Inspeksjons-ROV

Når det skal utføres løfting av rørledninger fra havbunnen, er en ROV et nyttig hjelpemiddel. Her kan man for eksempel bruke en arbeids-ROV for montering av klammer til røret, mens en observasjons-ROV utstyrt med videokamera påser at prosessen går som planlagt [10].

2.3 «Shackles» i bruk for løfteoperasjoner

«Shackles» brukes primært i løfteoperasjoner og i statiske systemer for å forbinde sammen to komponenter der det ikke skal være en permanent forbindelse.



Figur 5 Green Pin «Shackle»[12]

En «Shackle» består av to hoveddeler, en U-formet stang og en bolt som går gjennom et sylindrisk spor i endene på den U-formede stangen og låses fast. Det er mange forskjellige typer låsmekanismer på en «Shackle», de som er mest brukt på offshore applikasjoner er [12]:

- Bolt med gjenget låsforbindelse, bolt med gjenger på enden slik at den kan skrues fast med mutter. En løsning som oftest blir brukt på ikke-permanente koblinger.
- Bolt som skrues fast i den U-formede stangen ved at det er gjengede spor i stangen
- Sikkerhetsbolt, bolt med gjenger som festes med mutter og splint som går gjennom et hull i enden av bolten. Mer brukt for permanente løsninger eller der lasten vil kunne gli langs bolten.

Det finnes og flere ROV håndterbare «Shackles» som kan håndteres under vann. Slike som er benyttet i denne oppgaven for å redusere risikoen for eventuelle problemer nede på havbunnen der det kun er ROV'en som kommer til. Her må låsmekanismen på «Shackle'en» vær tilpasset slik at ROV'en enkelt kan operere den. Slike låsmekanismer er som regel utformet med at bolten som går gjennom den U-formede stangen har et spor i seg som kan låses med en kile eller splint som er enkel å operere for en ROV. Se vedlegg E for dataark for «Green Pin shackle»

2.4 Forarbeid før opphenting av rørledning fra havbunn

Når man skal løfte opp en rørledning fra havbunnen er det flere faktorer som spiller inn, da er det nødvendig med et godt forarbeid for å redusere faren for svikt under opphenting av rørledningen.

Et forarbeid kan bestå av [6]:

1. **Dokumentasjon:**
 - Av rørets alder, vanddyb, driftstrykk, driftstemperatur og hvilke begrensninger røret har som man må ta hensyn til under opphenting av røret. Disse begrensningene kan være maksimal tillatt bøyeradius og de maksimale spenninger røret er konstruert for.
2. **Utgraving:**
 - Utgraving av røret for å minimere sannsynligheten for knekk på røret når det skal løftes. Det kan oppstå sugekrefter fra bunnsedimenter når det skal løftes fra havbunnen, disse kreftene kan gi en større belastning på røret og løfteutstyret under løfteoperasjonen.
3. **Rørinspeksjon:**
 - For å påse at rørets tilstand tåler påkjenningen av løfteoperasjonen, dette kan oppnås ved å benytte seg av en visuell inspeksjon av røret ved hjelp av en ROV. Da kan man avdekke eventuelle skader på røret.
4. **Fjerne eventuell marin begroing på røret:**
 - Spesielt fjerne begroing der løfteutstyret skal monteres, om ikke så kan dette svekke klemkraften, redusere friksjonen og øke sannsynligheten for at røret glipper ut av løfteutstyret.
5. **Følge standarder og regelverk:**
 - Følge de korrekte standarder og regelverk for løfteoperasjon som gjelder for området røret befinner seg på.
6. **Kutte røret:**
 - Kutte røret i tilfredsstillende lengder etter kapasitet for fartøyet og løfteutstyret som skal hente opp røret.
7. **Undersøke risikoen for personellet som utfører løfteoperasjonen:**
 - Avdekke risikoer tilknyttet personell som er med på løfteoperasjonen ved å utføre en risikoanalyse.
8. **Lage en detaljert «Step- by- step» operasjonsprosedyre for alle deler av operasjonen.**

2.5 Undervannsforhold som må tas til betraktning ved undervannsoperasjoner



Figur 6 Begrodd rørledning [13]

Når det skal utføres operasjoner under vann er det flere faktorer som må ta hensyn til enn ved operasjoner over havoverflaten. Slike faktorer kan være [10]:

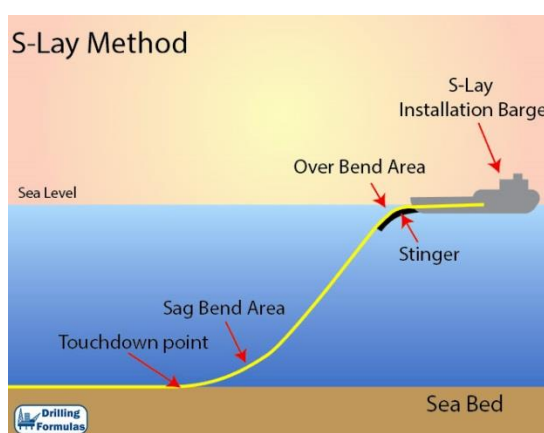
- Det hydrostatiske trykket som øker med vanddypet. Det øker med ca. $0,1\text{N}/\text{mm}^2$ trykk for hver tiende meter.
- Sjøvann gir et meget korrosivt miljø, som kan tære på materialer som ikke er korrosjons beskyttet. Korrosjonsproblemet kan løses ved å bruke et korrosjonsbestandig material, men det vil som regel bli for dyrt å kun benytte korrosjonsbestandige materialer. Det kan da benyttes katodisk beskyttelse, maling eller annen overflatebehandling av materialet.
- Det er generelt dårlig sikt under vann. Dette er spesielt ved dybder over 100m, da det naturlige dagslyset forsvinner. Det kan også forekomme oppvirvling av sedimenter fra havbunnen, dette vil gi redusert sikt når man opererer under vann.
- Sjøvann er et elektrisk ledende medium. Dette gir spesielle krav rundt isolering av elektriske ledninger, kabler og annet elektrisk utstyr som kan kortslutte ved kontakt med sjøvann.
- Vann er et inkompressibelt medium, i motsetning til luft som er kompressibelt. Dette vil kunne gjøre at utstyr som fungerer i luft, ikke nødvendigvis fungerer under vann.
- Havbunnforholdene, hvilken fasthet, sediment type og helning den gitte havbunnen har. Det har mye å si om havbunnflaten tåler belastningen av utstyret som blir plassert på havbunnen.
- Lang avstand fra overflatefartøy til arbeidsområde, her er det høye krav til pålitelighet og sikkerhet. Her kan konsekvens av svikt bli stor og medføre høye kostnader.
- Bølger og værforhold kan ha stor påvirkning på arbeidsoperasjonen, spesielt ved løfteoperasjoner. Her kan det brukes hiv-kompensering for å redusere værfølsomhetens innvirkning på operasjonen som skal bli utført.

2.6 Løftemetoder for undervanns rørledninger

Det er flere metoder for opptak av rørledning fra havbunn. Valg av løftemetode avhenger av flere variabler, disse kan være hvilken type rør det er, dimensjon, havbunnen røret ligger på og lengde på røret. De mest vanlige opptaksmetodene for opphenting av undervannsrør er [1]:

Reversert S-legging:

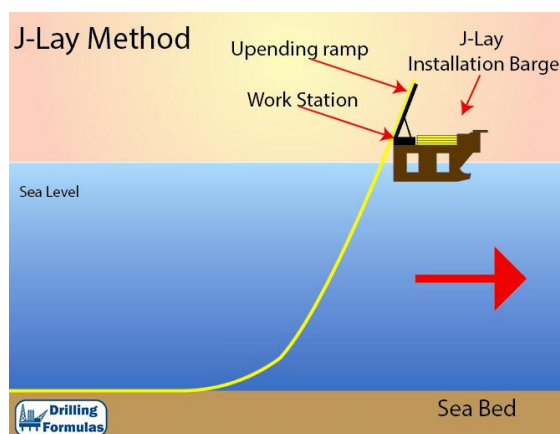
Ved opptak av rørledninger med reversert S-leggemetode, kobles det en vaier på rørenden eller et klammer tilkoblet en vaier på rørenden på rørledningen. Den blir dratt opp så langt horisontalt på dekk som mulig, der rørledningen blir kuttet opp i seksjoner. Normal rutine er at de kuttete seksjonene blir løftet over til et transportfartøy som transporterer rørseksjonene til land for gjenbruk, resirkulering eller deponering. Egner seg godt for opphenting av rør ved mindre dype vann.



Figur 7 Reversert S-legging [14]

Reversert J-legging:

Ved opptak av rørledninger med reversert J-legging er prinsippet mye likt som reversert S-leggemetoden. En vaier eller et klammer som er koblet til en vaier blir koblet på rørenden og dratt opp til fartøyets dekk via en rampe. Forskjellen mellom reversert S-legging og reversert J-legging er at ved reversert J-legging blir rørledningen dratt opp på en rampe som er vertikalt tiltet, noe som reduserer spenningen i røret ved opphenting og gjør at det egner seg godt for rørledninger på dypt vann.



Figur 8 Reversert J-legging [15]

Reversert kveilemetode: («Reversed reel barge method») [1]:

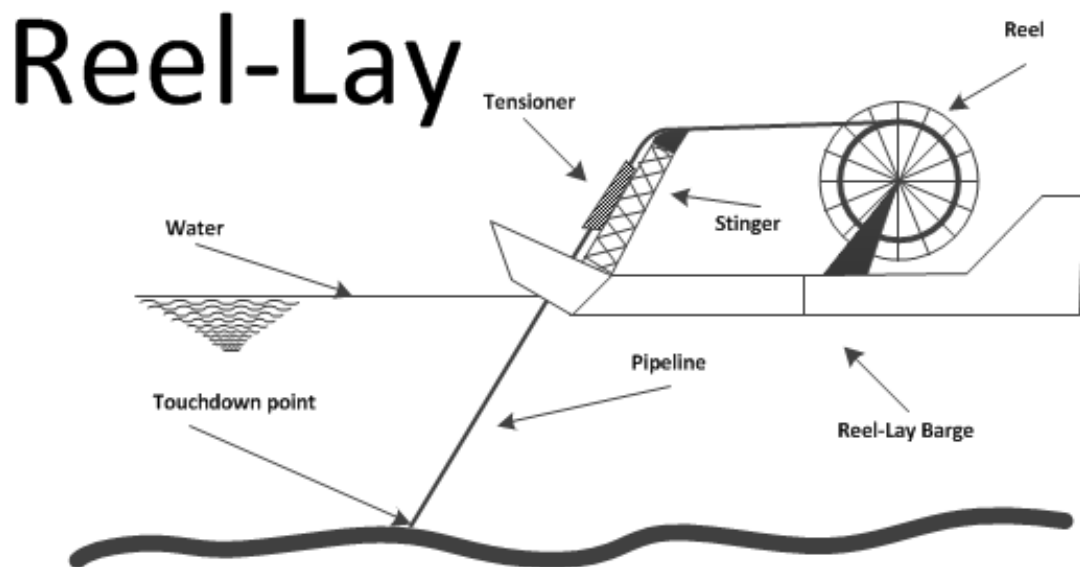
Ved opptak av rørledninger med reversert kveilemetode, kobles det en vaier eller et klammer på rørenden som så blir dratt opp på en motorisert trommel som spinner røret rundt trommelen. Denne løsningen anvendes for fleksible rørledninger, kabler eller andre typer rørledninger uten betongarmering.

Fordeler med kveilemetoden:

- Gjør opptak av rørledninger opptil 10 ganger raskere enn konvensjonelle løftemetoder
- En stabil og sikker opphentingsmetode av rørledninger
- Flere fartøy som kan utføre denne metoden
- Kan installeres i både reversert S- og J leggemetode
- Den rimeligste og mest effektive løsningen for opptak av fleksible rørledninger

Ulemper med kveilemetoden:

- Ugunstig løsning for rørledninger større enn 18 tommer
- Kan ikke brukes for opphenting av rør med betongarmering
- Begrenset lengde av rørledning som kan tas opp på trommelen
- Det vil kunne gi plastisk deformasjon når det kveiles opp på trommelen, dette kan resultere i redusert bruddgrense for røret
- For stålrør, så kan denne metoden kun benyttes opptil ca.12 tommer



Figur 9 Reversert kveilemetode [16]

3 Relevante regelverk

I dette kapittelet vil det tas for seg hvilke regelverk som er benyttet i denne oppgaven og som er relevante for løfteoperasjoner under vann. Regelverk er fastsatt fra myndighetene, som definerer minstekrav for utstyr og prosedyrer.

Tabell 3 Regelverk

Dokument Nr.	Beskrivelse
NS-EN ISO 13628-10:2005	Petroleums- og naturgassindustri- Konstruksjon og drift av produksjonssystem under vann- Del 10: Spesifikasjon for fleksible rør med bundet armering.
NS-EN ISO 13628-11:2008	Petroleums- og naturgassindustri- Konstruksjon og drift av produksjonssystem under vann- Del 11: Fleksible rørsystemer for undervanns og marine bruk
DNV-OS-H101:2011	Marine Operations, General
DNV-OS-H102:2012	Marine Operations, Design and Fabrication
NORSOK Standard U-102:2003	Remotely operated vehicle (ROV) services
NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008	Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger

3.1 NS-EN ISO 13628-10:2005 og NS-EN ISO 13628-11:2008

Dette er deler av Standarden ISO 13628 som gir retningslinjer for design, analyse, produksjon, testing, installasjon og drift av fleksible rørledninger og fleksible rørsystem for landbruk, havbruk og marine installasjoner. Disse standardene er brukt i denne oppgaven i forbindelse med oppbyggingen, håndteringen og forarbeid før opphenting av den fleksible rørledningen.

3.2 DNV-OS-H101:2011 og DNV-OS-H102:2012

Dette er deler av Offshore standarden til DNV. Her finnes informasjon om generelle krav og anbefalinger av last, design og fabrikasjon av marine konstruksjoner. Disse standardene er brukt i oppgaven i forbindelse med generelle designprinsipp for løfteutstyr og sikkerhetsfaktorer som gjelder for marine løfteoperasjoner.

3.3 NORSOK Standard U-102:2003

Denne standarden er en felles NORSOK standard for ROV og tilhørende ROV-Operasjoner. Den gir retningslinjer innenfor alle krav som stilles for en ROV-Operasjon og informasjon om klassifisering av ROV'er. Denne standarden er brukt i forbindelse med oppgaven for å innhente teoretisk informasjon om ROV og krav som stilles til den under operasjonell bruk.

3.4 NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008

Denne standarden består av prosjektering av stålkonstruksjoner i henhold til Eurokode 3. Denne standarden er blitt brukt i rapporten for påvisning av knekkapasitet av massiv sylinder.

4 Kravspesifikasjon til produktet

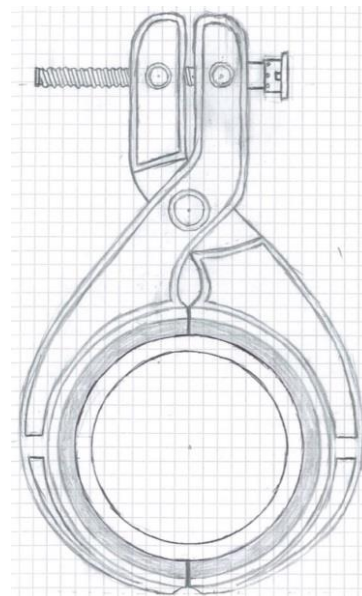
I dette kapittelet vil den tidlige fasen av produktutviklingen bli beskrevet, strategien som ble brukt og fremgangen underveis.

Kravspesifikasjonen som klammeret ble designet etter ble bestemt basert på krav fra bedriften og begrensninger teamet selv har satt for å forenkle design prosessen. De viktigste kravspesifikasjonene som ble vektlagt i designfasen er:

- Manøvreres, festes og låses av en ROV
- ROV'en skal ikke være nødt til å ha tilgang til hele røret for å kunne låse klammeret
- Rørene som skal løftes er fleksible rørledninger som skal kunne gjenbrukes etter løftet. De fleksible rørledningene tåler maksimalt et utvendigtrykk på 10N/mm^2 , så dette trykket må ikke overstiges
- Klammeret må kunne løfte rør med en diameter fra 8" til 16"
- Klammeret skal kunne løfte et rør med en vekt tilsvarende vekten til en masse på 30 000kg på land
- Klammeret blir senket ned til havbunnen i en kurv
- Lukke/åpne mekanismen på klammeret må kunne opereres av et standard "Torque tool class 1-4", som har en tiltrekningskraft på opp til 2700Nm
- Klammeret må kunne brukes på alle olje- og gassfelt på norsk sokkel, altså operere ned til et havdyp på rundt 1100m

4.1 Utforming av alternative løsninger

Det ble besluttet i startfasen av prosjektet at for å komme frem til det beste sluttproduktet, måtte det vurderes flere forskjellige løsninger underveis. Design fasen startet med innhenting av inspirasjon fra klammer og løfte anretninger som fantes på markedet i dag, både «Subsea» og på land. Ut fra kunnskap om eksisterende klammer for løft og retningslinjene som ble satt av IK Norway ble det laget en del prinsippskisser av forskjellige klammere. Klammerne som ble tegnet var alle forskjellig fra hverandre, enten ved at lukke og låse funksjonen eller oppbygningen var forskjellig. Det ble satt fokus på å finne løsninger som var nytenkende og ikke bare oppgraderinger av løsninger som allerede var på markedet. Det ble totalt tegnet 16 løsninger som alle ble vurdert hver for seg.



Figur 10 Skisse løsning 2

4.2 Vurdering av alternative løsninger

1. Vurderingsfase

Når første vurderingsfase skulle gjennomgås for å finne ut hvilke løsninger som skulle foreslås til bedriften, ble det satt opp noen enkle vurderingskriterier. Dette ble gjort for at hver enkelt løsning skulle vurderes ut fra samme referanse. Kriteriene som ble valgt og forklaringen på hvert av kriteriene var:

- **Enkelhet:** Om oppbygningen til løsningen er enkel å sette sammen og vedlikeholde.
- **Pris:** Sett på mengden materialer og detaljene på løsningen
- **Størrelse:** Hvor stor og tung (i luft) løsningen blir i forhold til størrelsen på røret
- **Klemkraft:** Hvor mye kraft løsningen er i stand til å overføre til klemkraft på røret
- **Funksjon:** Hvilke lukkefunksjon løsningen har
- **Håndterbart:** Hvor enkelt det er for en ROV å manøvrere løsningen, sett på plasseringen av ROV løftepunktet på klammeren.
- **Nytenkende:** Likheten til løsninger som allerede finnes på markedet
- **Helhets inntrykk:** Karakter for total inntrykket til løsningen

I tillegg må den endelige løsningen som blir valgt tilfredsstille kravspesifikasjonen ref. punkt 4. Hver løsning ble gjennomgått innad i teamet og vurdert etter kriteriene som ble satt opp. Løsningene ble gitt et terningkast fra 1 til 6 for hvert av kriteriene. Kriteriene for hver løsning ble nøye diskutert og karakter satt. Alle løsningene med karakter som ble presentert for bedriften ligger som vedlegg A – Løsningskatalog.

2. Vurderingsfase

Etter møtet med IK Norway ble det satt opp nye vurderings kriterier, basert på de punktene som de mente var viktigst når en endelig løsning skulle velges. Noen punkter var viktigere enn andre og derfor ble kriterielisten slanket til tre punkter. Der de nye kriteriene etter fallende viktighet er:

- **Klemkraft**
- **Størrelse**
- **Oppbygning**

Der punktet klemkraft sier noe om den potensielle klemkraften en løsning kan oppnå, med tanke på lengden på kraftarmen. Størrelse sier noe om hvor stor klammeret er i forhold til røret. Oppbygning sier noe om løsningens struktur og om dette kan føre til svakheter. For eksempel vil en løsning som er bygget opp av veldig mange deler ha større sannsynlighet for svikt enn en med veldig få deler, fordi det er flere deler det kan oppstå feil i. Karaktersystemet gikk igjen på terningkast der 1 er det dårligste og 6 er det beste. Teamet reduserte antall løsninger ned til de fem mest relevante, og så vurderte løsningene på ny etter de nye kriteriene og tips fra bedriften. Løsningene som ble vurdert i fase 2 er:

- Løsning 1
- Løsning 3
- Løsning 5
- Løsning 6
- Løsning 10

Klemkraften

Klemkraften vurderes ut fra potensialet en løsning har for å overføre moment fra bolt-kraften til kraft på røret. Utregningene ble gjort ved bruk av Newtons 1. lov, sett på momentet om akslingspunktet [17].

$$\sum M = 0 \tag{1}$$

Momentene blir regnt ut som kraft multiplisert med arm, og ligningen blir da (1):

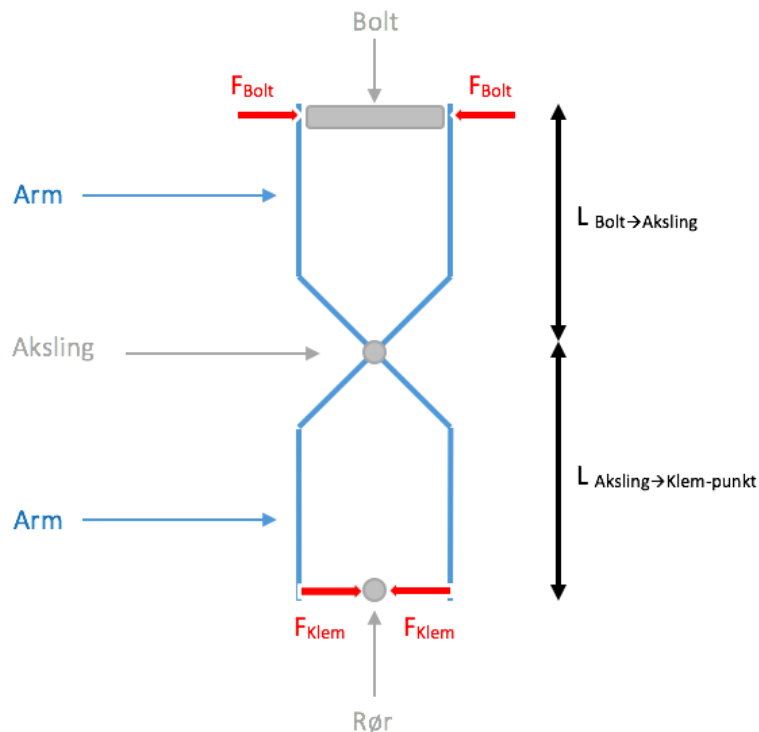
$$\sum M_{Aksling} = 0 \rightarrow F_{Bolt} \cdot L_{Bolt \rightarrow Aksling} - F_{Klem} \cdot L_{Aksling \rightarrow Klem-punkt} = 0$$

Skrevet om til:

$$F_{Bolt} \cdot L_{Bolt \rightarrow Aksling} = F_{Klem} \cdot L_{Aksling \rightarrow Klem-punkt}$$

Løst med hensyn på F_{Klem} for å finne klemkraften på røret:

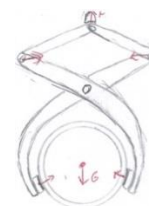
$$F_{Klem} = F_{Bolt} \cdot \frac{L_{Bolt \rightarrow Aksling}}{L_{Aksling \rightarrow Klem-punkt}} \tag{2}$$



Figur 11 Forklaring på klemkraft på rør

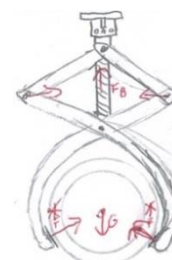
4.2.1 Løsning 1

Denne løsningen ble basert på en løsning som er veldig mye bruk ved løft av rør på land. Når røret løftes vertikalt vil vekten av røret gjøre at utstyret strammer seg. Dette gjør at man ikke trenger ytterligere strammemekanismer eller låser.



Figur 12 Løsning lukkes ved hjelp av tyngdekraft

Problemet med den opprinnelige løsningen er at løftesituasjonen er annerledes, røret skal løftes i rørets lengderetning og ikke vertikalt. Dette gjør at vekten av røret ikke strammer klammen, og derfor måtte løsningen modifieres slik at lukkingen og strammingen av klammen ble gjort av en stramme bolt. Bolten ble satt inn slik at den sto vertikalt på røret, bolten vil da erstatte kraften fra vekten i den opprinnelige løsningen.

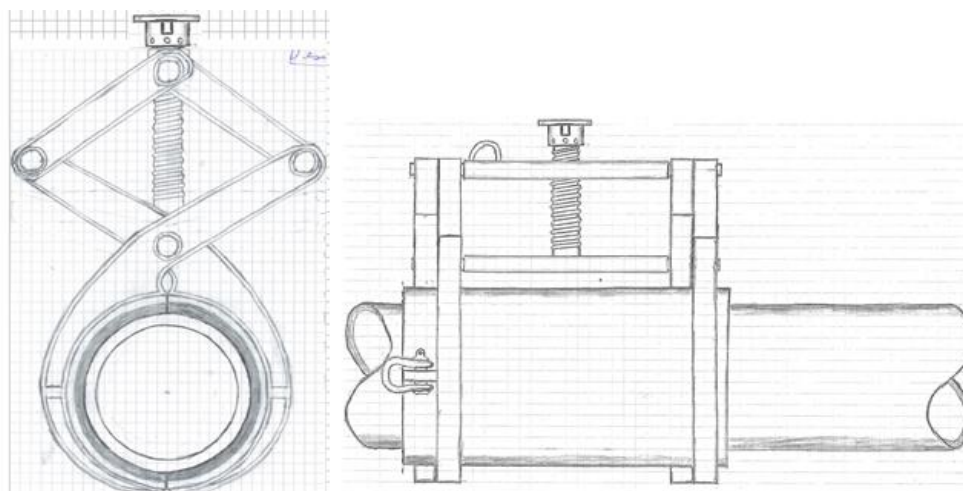


Figur 13 Løsning lukkes ved hjelp av strammebolt

Vurdering:

Tabell 4 Vurdering av løsning 1

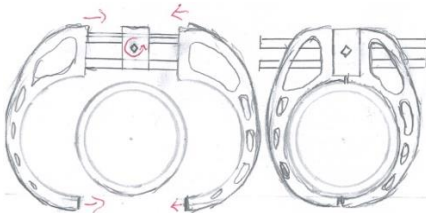
Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Klemkraft	Denne løsningen har potensialet til en veldig bra kraftoverføring fra bolten til røret. Dette er på grunn av at den lange armen fra boltkraften og ned til akslingen i forhold til armen fra akslingen til rørkraften	
Størrelse	En ulempe med at kraftarmen er så lang er at størrelsen vil bli veldig stor. Dette gjør løsningen både vanskelig å feste og å få om bord skipet som skal trekke opp røret.	
Oppbygning	Oppbygningen er relativt enkel, men med en del bevegelige deler skaper dette større sannsynlighet for svikt.	



Figur 14 Løsning 1, sett forfra og fra siden

4.2.2 Løsning 3

Denne løsningen ble basert på et "Subsea" tetningsklammer. Prinsippet gikk på at sidene i klammeret ble dyttet in horisontalt som to separate deler. Hver side del blir støttet opp av fire bjelker, og beveges ut og inn av to gjengede stenger. Denne løsningen ble først og fremst tatt med fordi den hadde en så unik lukkefunksjon. Denne lukkefunksjonen gjør at høyden på klammeret ikke trenger å bli et like stort problem som på noen av de andre løsningene. Det ble også tenkt at de fire gjengede stavnene som åpner og lukker klammen skulle opereres på samme tid. Dette skulle gjøres med at ROV-operasjonspunktet var plassert på fremsiden av løsningen, der den skulle rotere en gjenget stang som videre overførte kreftene til de andre stengene via gir.

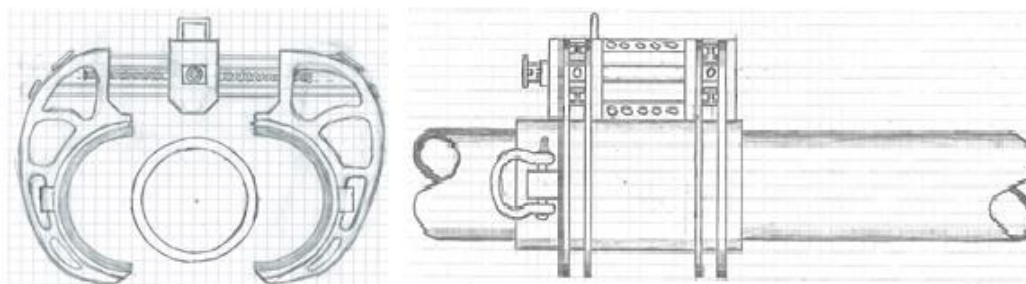


Figur 15 Løsning 3 i åpen og lukket tilstand

Vurdering:

Tabell 5 Vurdering av Løsning 3

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Klemkraft	Minimalt med moment som gir dårlig klemkraft. Det vil være vanskelig å få den ønskede kraften ut av denne løsningen, med tanke på at kraften må nesten være en til en mellom bolt-kraften og kraften på røret. Mye av kraften fra ROV'en vil forsvinne i gir systemet.	
Størrelse	Sidene og overdelen må være veldig store for å ta opp kreftene for hele klammeret. Den vil da bli vanskelig å operere, med tanke på størrelsen og bevegelsen til sidene.	
Oppbygning	Mange bevegelige deler gjør denne løsningen veldig sårbar for feil og svikt. I tillegg til stor belastning på støttebjelkene og de gjengede stavnene.	



Figur 16 Løsning 3, sett forfra og fra siden




4.2.3 Løsning 5

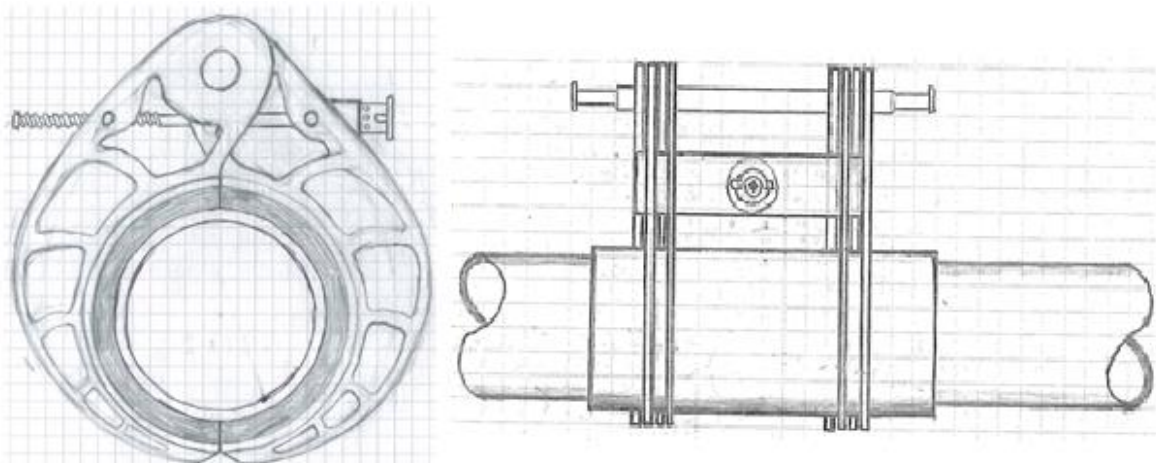
Inspirasjonen til dette klammeret kom fra IK Norway og det de hadde laget av klammer for løft tidligere. Klammeret er bygget opp av to halvsylindere som fordeler kraften slik at spenningene i røret ikke overgår grensen. Hver halvsylinder er støttet opp av fire plater for å ta opp og overføre kreftene fra bolten til røret. Kraften for å lukke og klemme blir gjort av en ROV operert bolt og klammeret åpnes og lukkes med å rotere en rotasjonsaksling i toppen.

For å minimere vekten uten å tape kraft ble store bjelker byttet ut med flere tynne plater. Platene var designet breiere enn bjelkene ville blitt for å tåle kreftene, i tillegg ble det designet inn flere hull i platene for å spare mer vekt.

Vurdering:

Tabell 6 Vurdering av Løsning 5

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Klemkraft	Problemet med denne løsningen er at strammebolten ligger mellom rotasjonsakselen og klempunktet. Dette gjør at kraftarmen fra bolten alltid vil være mindre enn kraftarmen ned til klempunktet. Boltkraften må da være større enn klemkraften på røret, noe som kan bli et problem.	
Størrelse	Løsningen er relativt slank, men høyden kan bli et problem. Men totalt sett er klammen bygget opp av lite material som gjør at vekten blir mindre. Bjelkene har blitt utskåret slik at det er hull i midten for å gjøre løsningen så kraft til vekt effektiv som mulig.	
Oppbygning	Løsningen er veldig enkel i sin oppbygning, dette gjør sannsynligheten for feil mindre.	

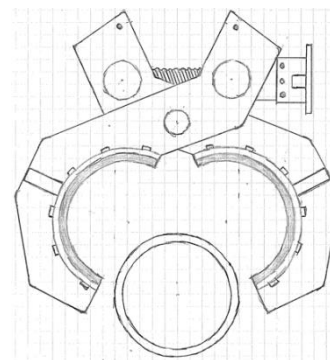


Figur 17 Løsning 5, sett forfra og fra siden

4.2.4 Løsning 6

Løsning 6 ble videredesignet fra IK designet som ble vist i løsning 5, bare at kraftproblemet ble løst med at strammebolt ble flyttet over rotasjonsakslingen. Dette gjør at klammeret vil ha en lukkefunksjon som er bygget på samme prinsipp som en saks.

Klammeret er bygget opp av to bolter som overfører kraften via fire plater ned på røret. Kraften blir fordelt på røret av to halv-sylindere slik at ikke hele kraften fra boltene virker på et punkt som kan medføre skade røret.

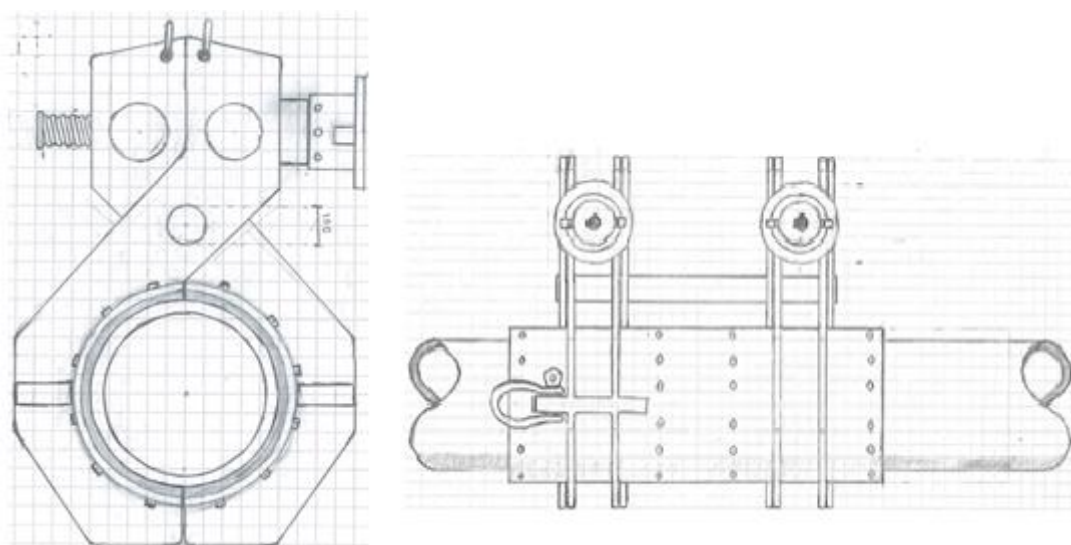


Figur 18 Løsning 6, åpen forfra

Vurdering:

Tabell 7 Vurdering av løsning 6

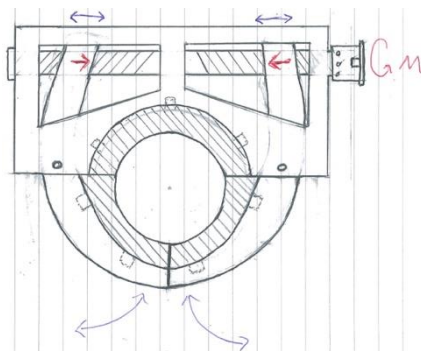
Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Klemkraft	Potensielt kan løsningen overføre veldig mye kraft til klemkraft på røret ved at bolt til akslings kraftarmen kan gjøres så lang som mulig.	
Størrelse	Klammeren kan bli veldig høy hvis bolt til akslings kraftarmen blir lang. Bolten vil stikke ut et stykke når klammeren er lukket og dette kan føre til problemer med at bolten kan hekte seg fast i for eksempel tau på vei opp.	
Oppbygning	Enkel oppbygning men har to bolter som gjør at lukkeprosessen blir litt mer komplisert.	



Figur 19 Løsning 6, sett forfra og fra siden

4.2.5 Løsning 10

Løsning 10 ble utformet etter inspirasjon fra en løsning som finnes i dag. Løsningen er veldig kompakt, og det er dette som gjorde at løsningen ble satset på. Den er bygget opp av en ramme som settes opp på røret, og har to klør som griper rundt underdelen av røret og presser det opp mot rammen. Klammeret blir åpnet og lukket av en bolt, og roterer rundt to akslinger.

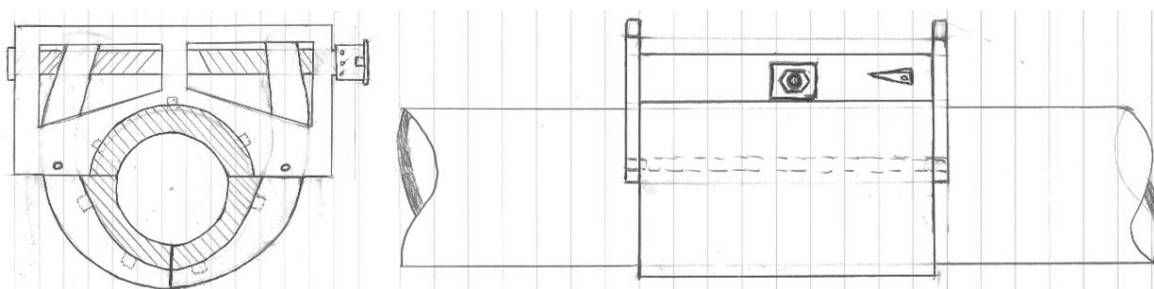


Figur 20 Klammer funksjonen

Vurdering:

Tabell 8 Vurdering av løsning 10

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Klemkraft	Mulighet til å gjøre kraftarmen fra boltene så lang som ønskelig. Klemkraften vil ikke bli et problem. De to klemarmene klemmer nedefra på røret og opp.	
Størrelse	Siden akslingspunktet er midt på siden av røret kan kraftarmen fra boltene være lang uten at høyden blir et problem. Det negative med å ha akslingene på siden av røret er at bredden på klammeret blir stor. I tillegg kan klørne bli ganske massive med tanke på vekt.	
Oppbygning	Enkel oppbygning med at rammen ikke beveger på seg. Problemet er at akslingene blir utsatt for mye skjærespenninger og at boltene blir utsatt for en del bøyespenninger.	



Figur 21 Løsning 10, forfra og fra siden

4.3 Valg av endelig løsning

Når den endelige løsningen skulle velges ble dette gjort i samarbeid med IK Norway. Der IK Norway foreslo hvilke løsninger de var mest interessert i og på hvilket grunnlag. De spesifiserte også hvilke punkter som var viktige å fokusere på når det skulle jobbes videre med løsningene.

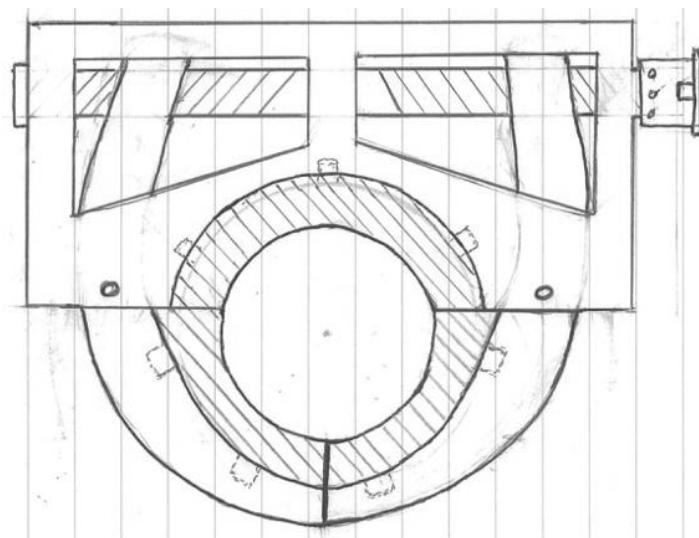
På grunn av at noen av kriteriene var viktigere enn andre ble det besluttet å gradere hvert kriterie for at karakterscoren skulle gjenspeile de egenskapene som var viktige. Med gradering menes det at karakterscoren på de forskjellige kriteriene multipliseres med et tall etter hvor viktig hvert kriterie er. Som førte til at:

- For klemkraft ble karakteren ganget med 2,0
- For størrelse ble karakteren ganget med 1,5
- For oppbygning ble karakteren ganget med 1,0

Tabell 9 Resultat for løsningsvurdering

Løsning	Klemkraft	Størrelse	Oppbygning	Totalt
Løsning 1	5	3	3	17,5
Løsning 3	1	4	2	10
Løsning 5	3	4	5	17
Løsning 6	5	3	4	19,5
Løsning 10	5	4	4	20

Ut fra den totale scoren, veiledning fra IK Norway og diskusjon innad i teamet ble løsning 10 valgt som endelig løsning. At løsningen kunne gjøres relativt kompakt var hovedgrunnen til at denne løsningen ble valgt. Løsning 10 vil videre bli forbedret, dimensjonert og tegnet i Autodesk Inventor.



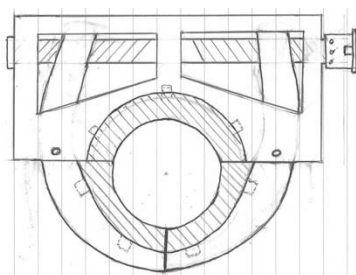
Figur 22 Endelig løsning

5 Valgt løsning, detaljdesign

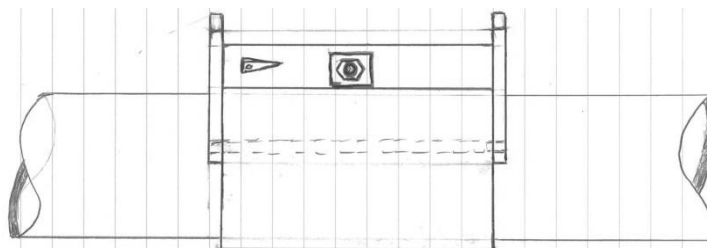
I dette kapitlet blir den valgte løsningen videre designet. Hvert steg i designprosessen blir beskrevet og begrunnelsen for eventuelle endringer blir forklart. Spenningene i utsatte deler blir utregnet og de forskjellige delene vil bli dimensjonert.

5.1 Forbedring av valgt løsning

Løsning 10 ble valgt på grunn av at den hadde det største potensialet for videre utvikling. Det var den eneste løsningen som kunne gjøres relativt kompakt uten å miste for mye av kraftarmen. Men denne løsningen var ikke perfekt og måtte derfor videreutvikles, for at den skulle bli en fungerende løsning.



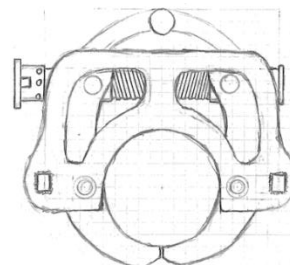
Figur 23 Løsning 10, forfra



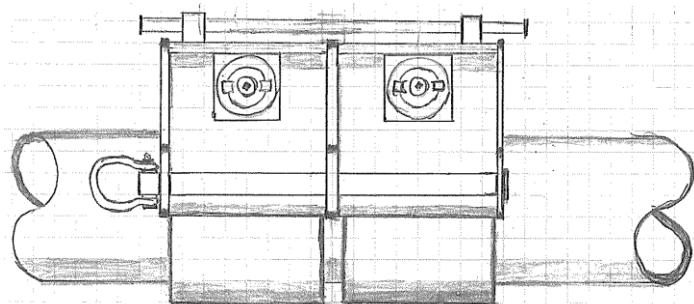
Figur 24 Løsning 10, fra siden

Løsning 10.1

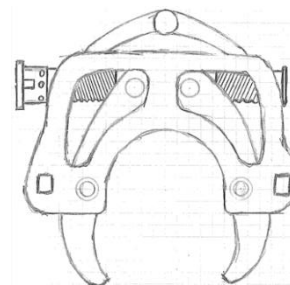
Videreutviklingen av løsning 10, fikk navnet Løsning 10.1. Denne løsningen var mer strømlinjeformet og den hadde fire kleplater i stedet for to. Det ble valgt å bruke fire kleplater i stedet for to fordi platene ellers hadde blitt veldig lange som hadde ført til økte krefter på platen og rammen. En annen fordel med fire plater er at det da er mulig å bruke to strammebolter uten at det vanskeliggjør låsingen av klammeret til røret, med at hver strammebolt har hver sin kleplate som gjør at den ene kan strammes helt før den andre strammes. En løftestang for ROV'en ble installert på toppen av klammeret og det ble lagt til bjelker langs hele sidene som «Shackle'ene» skulle monteres i.



Figur 25 Løsning 10.1, forfra lukket



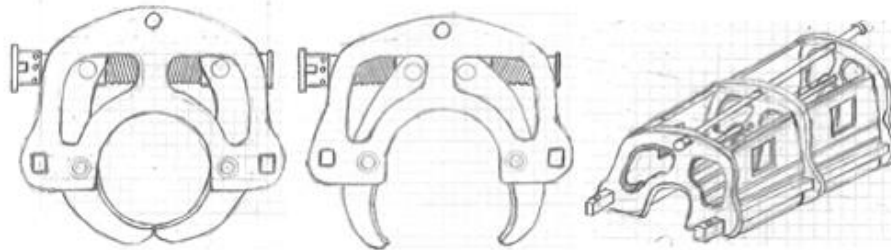
Figur 26 Løsning 10.1, fra siden



Figur 27 Løsning 10.1, forfra åpen

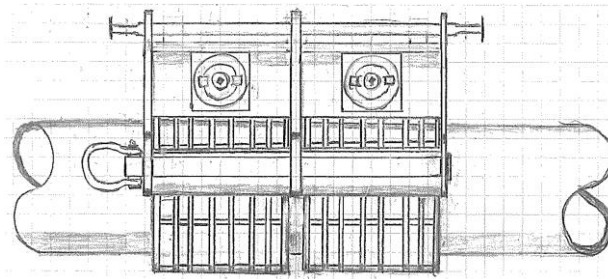
Løsning 10.2

Det ble på et senere tidspunkt oppdaget at vekt fort ble et stort problem, med at mange deler på løsningen ble veldig massive. Løsning 10.1 ble videreutviklet til løsning 10.2 med vekt som hovedtanke.



Figur 28 Løsning 10.2, lukket, åpnet og ramme

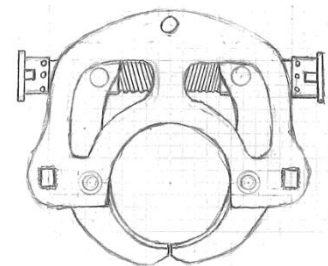
De store klemplatene ble erstattet med åtte vertikale bjelker som var sveiset til en tynn plate for å minimere vekten uten å miste styrke. Deler av platene på siden av rammen ble kuttet bort i tillegg til hele topplaten. Bjelkene som holdt ROV-håndtaket ble fjernet og ramme fronten, midten og akterenden ble gjort høyere for at ROV-håndtaket skulle bli festet i dem.



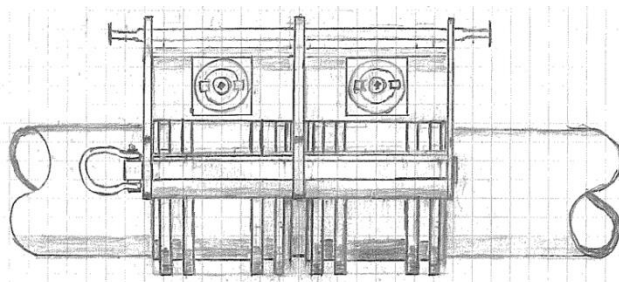
Figur 29 Løsning 10.2, sett fra siden

Løsning 10.3

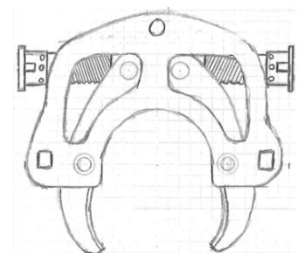
Etter at kreftene på klammeret hadde blitt regnet på, ble det funnet ut at åtte plater pr klemmeplate var altfor mye. Antallet plater pr klemplate ble redusert til fire, både for å redusere vekten men også for at det skulle være mulig å sette sammen klemplatene. Med åtte plater ble avstanden mellom platene så liten at det hadde vært vanskelig å sveise platene til klemplaten. I tillegg ble det etterspurt av IK Norway at klammeret måtte kunne åpnes fra begge sider, det ble lagt inn ekstra «ROV torque bucket» på andre siden av strammeboltene for å gjøre dette mulig.



Figur 30 Løsning 10.3, forfra lukket



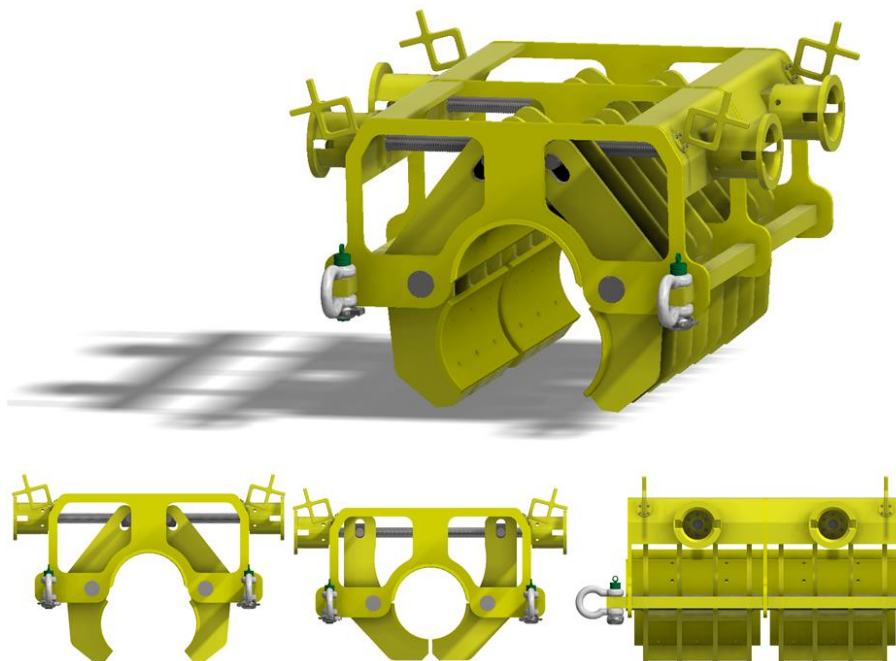
Figur 31 Løsning 10.3, fra siden



Figur 32 Løsning 10.3, forfra åpen

5.1.1 Løsning i Autodesk Inventor

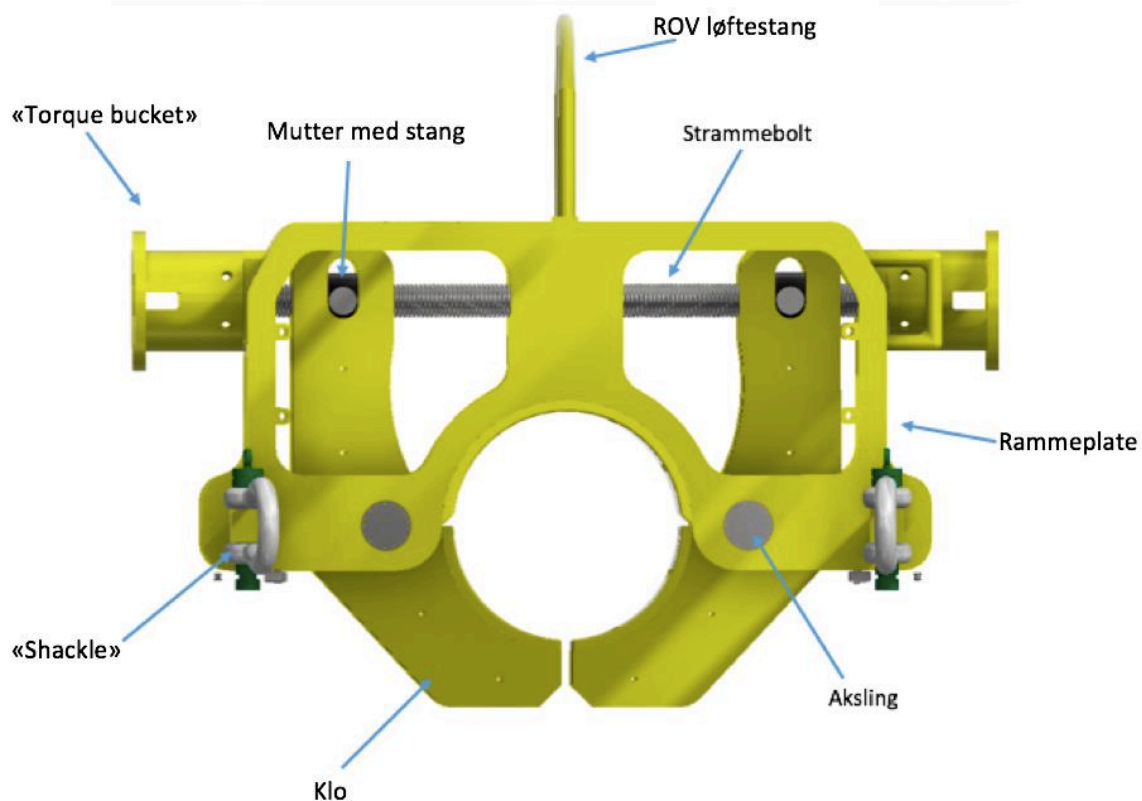
Det ble ikke gjort så mange forandringer på designet når det ble tegnet i Autodesk Inventor. En av delene som ble endret var ROV håndtaket, stangen ble fjernet etter tips fra veileder. Stangen ble erstattet med fire «Fishtails» som er håndtak som er spesialdesignet for ROV'er. Det dukket også et nytt problem mellom strammebolten og klemplatene under tegningen, det var når klammeret sto i åpen stilling ville bolten bli betydelig nedbøyd. Dette kommer av at klemplaten roterer rundt akslingen som gjør at selv om klemplaten er på samme nivå som strammebolten ved lukket klammer vil den ligge noen millimeter under når klammeret er åpen. Løsningen vår ble å lage hullet i enden av klemplaten større, slik at platen kan rotere normalt uten at bolten blir nedbøyd.



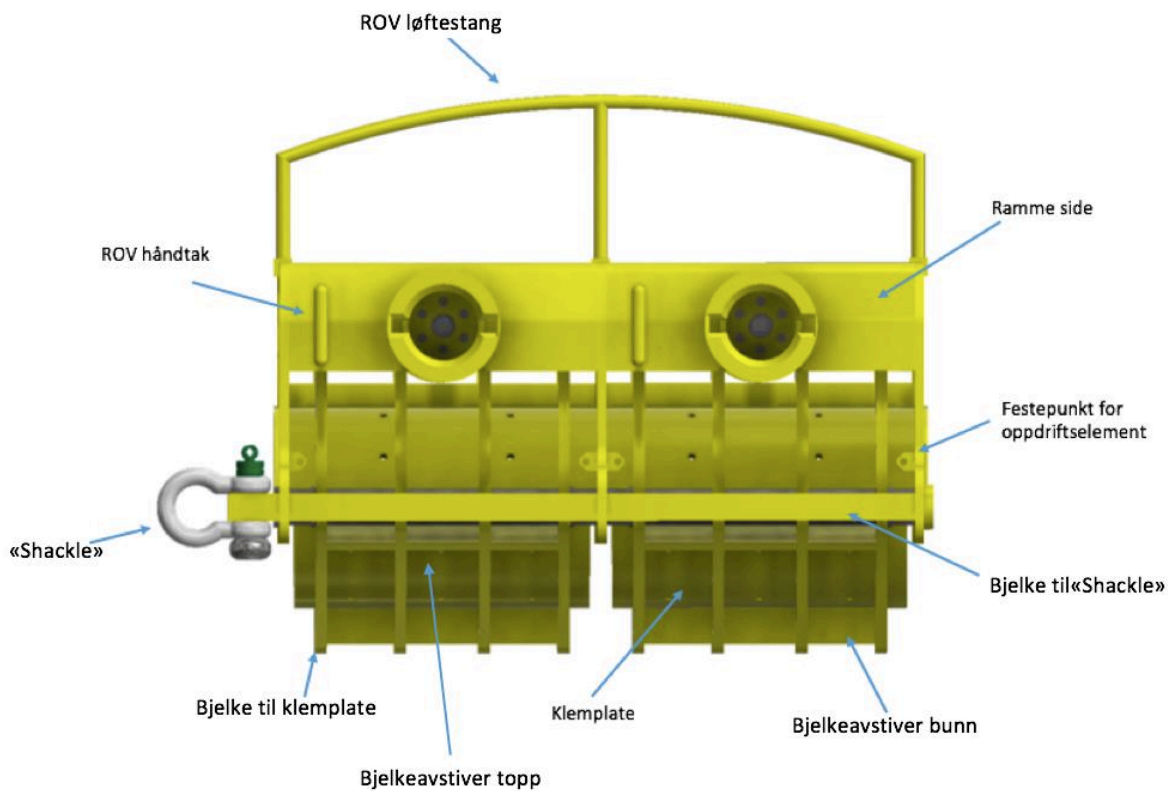
Figur 33 Klammeret tegnet i Inventor fra flere vinkler

5.1.2 Praktiske forbedringer på løsning

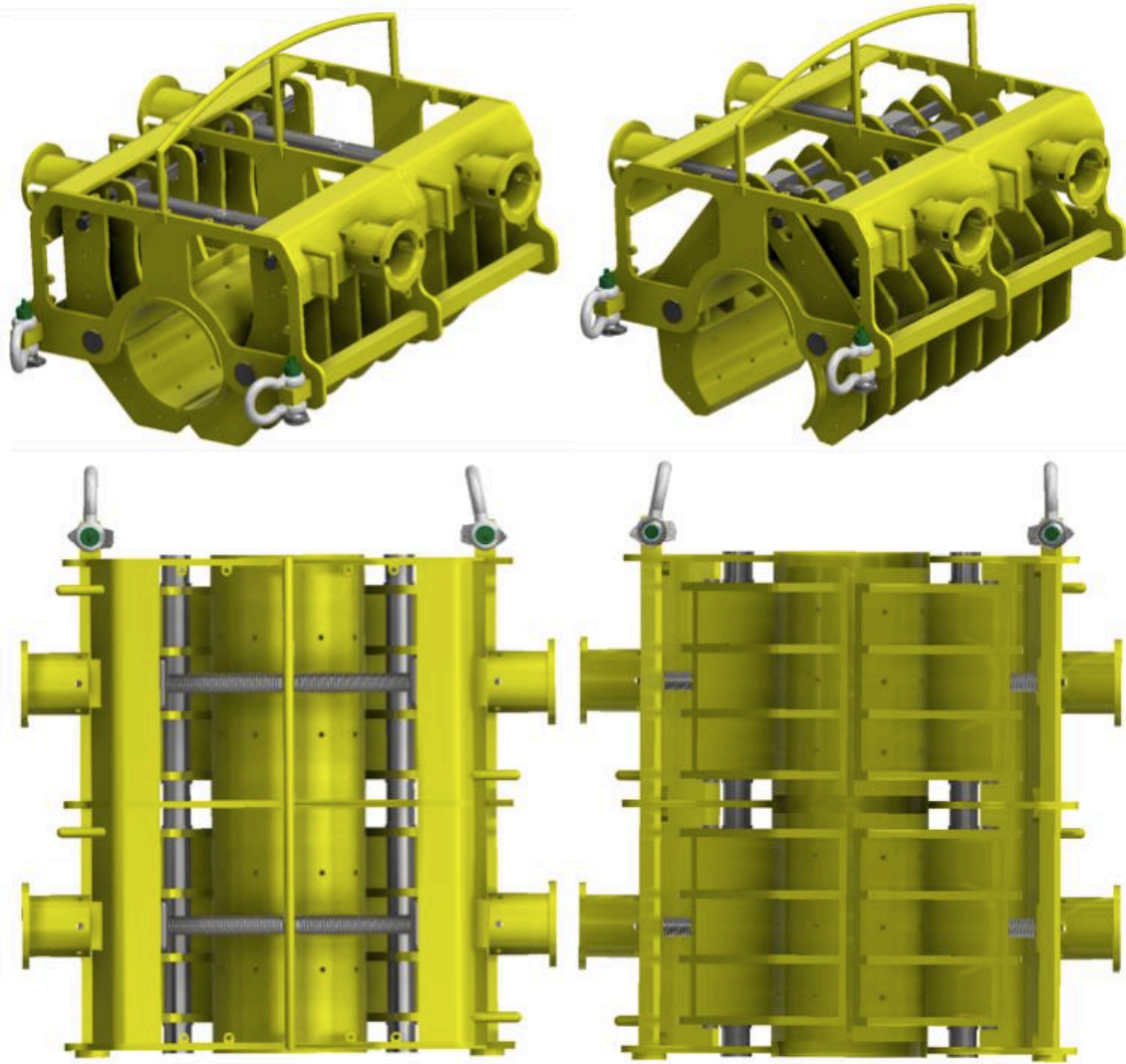
Etter at klammeret ble ferdig designet ble det rådført med en ROV operatør om han hadde noen synspunkter på løsningen og om han eventuelt hadde forbedringer. Han forklarte hvilke problemer han så på løsningen basert på erfaringen hans fra undervanns operasjoner. En løftestang burde gjeninnføres på toppen av klammeret slik at klammeret blir lettere å «fly», altså å føre klammeret. Det neste problemet han så var posisjoneringen av håndtakene som ROV'en skal holde seg fast i mens den åpner/lukker klammeret. Problemet her var at en ROV har som regel gripe-manipulatoren som sin venstre «hånd», dette gjør at håndtaket alltid må være på venstre side av «Torque bucket'en». I tillegg foreslo han at «Fishtails'ene» skulle droppes og erstattes av tykke stenger, dette fordi det var enklere å treffe disse stengene enn «Fishtails'ene» med gripe-manipulatoren. Endringer ble gjort på klammeret etter ROV operatørens råd, det ferdige klammeret ser slikt ut:



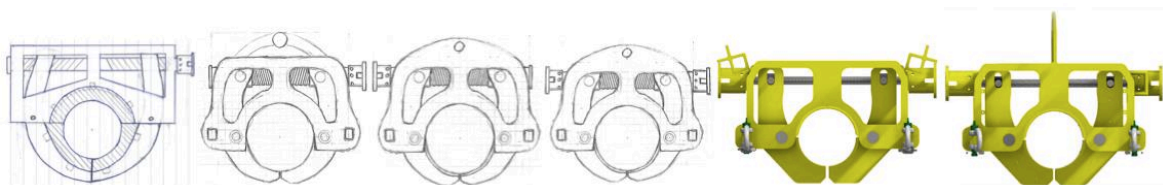
Figur 34 Klammeret med navn satte deler, sett forfra



Figur 35 Klammeret med navn satte deler, sett fra siden



Figur 36 Topp: Klammeret i lukket og åpen posisjon. Bunn: Klammeret sett ovenfra og fra undersiden

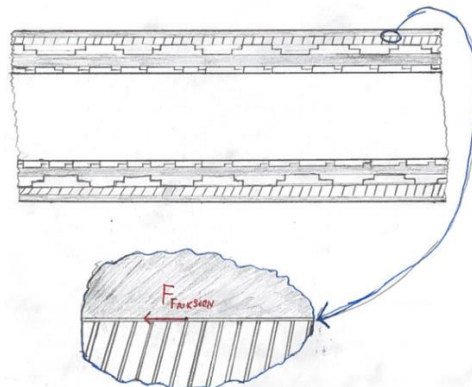


Figur 37 Utviklingen til klammeret fra prinsipp til ferdig produkt

5.2 Dimensjonerende krefter

Det som gjør at klammeret ikke «glipper» røret når det trekkes opp, er friksjonskraften. Dette er kraften som oppstår mellom to flater som berører hverandre. Mer spesifikt er det en statisk friksjonskraft som virker mellom de to flatene.

I dette tilfellet vil det være friksjonskraften mellom lagene i røret som er den dimensjonerende friksjonen og ikke mellom ytterveggen på røret og klammeret. For det som gjør en fleksibel rørledning fleksibel er at lagene i røret kan bevege seg uavhengig av hverandre. For at dette skal kunne skje må friksjonen mellom lagene være liten. En faktor avgjør størrelsen på friksjonen mellom to lag er hvilke materialer de ulike lagene er laget av. For eks vil friksjonen mellom to lag med is være mindre enn to lag med gummi. Denne faktoren heter friksjonsfaktoren og er den som tar hensyn materialtypene som berører hverandre.



Figur 38 Prinsipp tegning av lagene i en fleksibel rørledning og friksjonskraften som virker mellom dem

I følge ekstern veileder er friksjonsfaktoren mellom lagene i fleksible rørledninger på mellom 0,07 og 0,1, mens den er på rundt 0,15 mellom ytterlaget i rørledningen og stål. Friksjonen mellom lagene er da den dimensjonerende friksjonen og det har blitt valgt å sette den til 0,07 for å få en større sikkerhetsfaktor.

5.2.1 Klemkraft på røret

For å finne klemkraften som må til for å skape nok friksjon mellom lagene, slik at røret ikke sklir ut av klammeret, må det startes med maks kraften som klammeret er designet for å tåle. Denne kraften er satt til løft i vertikal retning av et rør med masse på 30 000kg på land. For å holde igjen røret som skaper denne maks kraften må det være en likestor men motsatt rettet kraft, kalt motkraft. Denne motkraften er friksjonskraften.

Formel for å finne vekt [17]:

$$G = m \cdot g \quad (3)$$

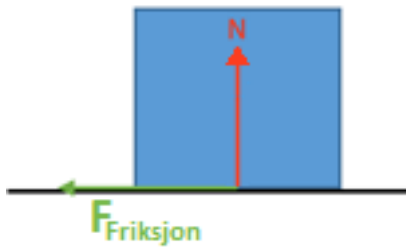
Ligningen for friksjonskraften som settes lik vekten av røret (3):

$$F_{\text{Friksjon}} = G_{\text{Rør}} = m_{\text{Rør}} \cdot g \quad (4)$$

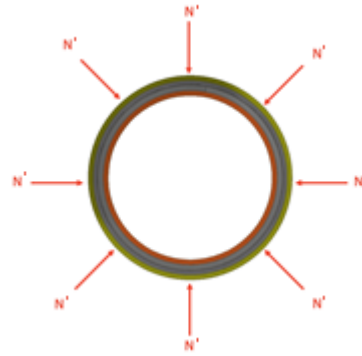
Denne friksjonskraften kan deles inn i friksjonsfaktor multiplisert med normalkraften. Normalkraften er en kraft som virker normalt på friksjonskraften, og siden friksjonskraften virker rundt hele rørets omkrets vil normalkraften også virke rundt hele røret.

Friksjonskraftens sammenheng med normalkraft og friksjon [17]:

$$F_{\text{Friksjon}} = N \cdot f_{s,\text{lag}} \quad (5)$$



Figur 39 Normalkraft og friksjonskraft illustrert



Figur 40 Motkraften til normalkraften illustrert på et rør

Det er motkraften til normalkraften, N' , som er kraften klammeret må overføre til røret for at det ikke skal gli ut, samt at de indre lagene ikke skal gli ut av den ytre kappen. Normalkraften går fra røret og inn på klammeret via kleplatene, og det er denne kraften som er blitt brukt for å dimensjonere klammeret.

Ligning (5) løst for normalkraft (4):

$$N = \frac{F_{\text{Friksjon}}}{f_{s,\text{lag}}} = \frac{m_{\text{Rør}} \cdot g}{f_{s,\text{lag}}} \quad (6)$$

Med sammenhengen om at kraft er lik motkraft skrives ligningen (6) om til:

$$N' = \frac{m_{\text{Rør}} \cdot g}{f_{s,\text{lag}}} \quad (7)$$

Det lagt til en sikkerhetsfaktor, γ_K , for å ta hensyn til forenklete utregninger. Siden klemkraften er den samme som motkraften til normalkraften blir ligningen (7) omskrevet til:

$$F_K = \frac{m_{\text{Rør}} \cdot g \cdot \gamma_K}{f_{s,\text{lag}}} = \frac{30000\text{kg} \cdot 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,2}{0,07} = 5045 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (8)$$

Klemkraften for å holde et rør med maks vekt er da 5045kN .

5.3 Krefter på den fleksible rørledningen

Hovedoppgaven til klammeret er å hente opp den fleksible rørledningen fra havbunnen, på en måte som gjør at rørledningene ikke skades og derfor kan gjenbrukes. Fleksible rørledninger i forskjell til stålrør, bygget opp av flere lag og ikke en solid del. Dette gjør at røret ikke tåler like mye utvendig tykk som et stålrør. Et for stort utvendig trykk kan føre til kollaps i den fleksible rørledningen. Hvis røret blir skadet under opphenting så må det mest sannsynlig kastes, og med den høye prisen for å produsere nye fleksible rørledninger bør dette unngås i stor grad.

Det er mange forskjellige bedrifter som produserer fleksible rørledninger, og en av dem er NOV. Rør spesifikasjonene som klammeret skulle dimensjoneres etter var ikke mulig å finne på nett, så en av produsentene måtte kontaktes. Damir Hren i NOV Danmark tok seg tid til å sende den dataen vi ønsket om rørene. Maks spenningen som både 8", 12" og 16" rørledningene tålte var 10N/mm^2 (se vedlegg J).

Arealet av ytterveggen på et rør er:

$$A = \pi \cdot d \cdot L \quad (9)$$

Før valgt lengde:

Lengden på klemområdet måtte beregnes for å sjekke at spenningen ikke ble oversteget. Det var ikke bare å sette inn en lengde i formelen, fordi i startfasen hadde ikke klammeret plater rundt hele røret. Den hadde to klemlater nede som dekket til halvparten av røret og en mindre bjelke på oversiden av røret slik at ca. en tredjedel av røret var dekket fra oversiden. Dette gjorde at formelen for arealet (9) måtte modifiseres, og arealet av halve røret ble addert med arealet av en tredjedel av toppen, altså en sjettedel.

Modifisert areal så slik ut:

$$A = \frac{\pi \cdot d \cdot L}{2} + \frac{\pi \cdot d \cdot L}{6} = \frac{2 \cdot \pi \cdot d \cdot L}{3} \quad (10)$$

Dette ble videre satt inn i formelen for spenning: [17]

$$\sigma_{Rør} = \frac{F}{A} \quad (11)$$

Der ligningen for spenning (11) ble omskrevet til (8,10):

$$\sigma_{Rør} = \frac{3 \cdot F_K}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot L} \quad (12)$$

Det ble satt opp en tabell etter formelen (12) med rørdimensjonene i vertikal retning og forskjellige klammerlengder i horisontal retning, se tabell 10.

Tabell 10 Spenningsforholdet mellom rørdimensjoner og lende av rør

L \ D	800mm	900mm	1000mm	1100mm	1200mm	1300mm
16" (406,4mm)	7,41 N/mm ²	6,59 N/mm ²	5,93 N/mm ²	5,39 N/mm ²	4,94 N/mm ²	4,56 N/mm ²
12" (304,8mm)	9,88 N/mm ²	8,78 N/mm ²	7,90 N/mm ²	7,18 N/mm ²	6,59 N/mm ²	6,08 N/mm ²
8" (203,2mm)	14,82 N/mm ²	13,17 N/mm ²	11,85 N/mm ²	10,78 N/mm ²	9,88 N/mm ²	9,12 N/mm ²

Ut fra tabellen ble det vurdert at 1300 mm er lengden som skulle brukes videre. En lengde på 1200mm kunne også brukes, men spenningen var så nært 10N/mm² at lengden ble sett på som ugunstig.

Etter valgt lengde:

Etter valgt lengde ble det videre brukt arealmålingsfunksjonen i Inventor brukt for finne det eksakte arealet på kleplatene på det ferdige klammeret. Dette førte til spenningene beregnet etter formel (11):

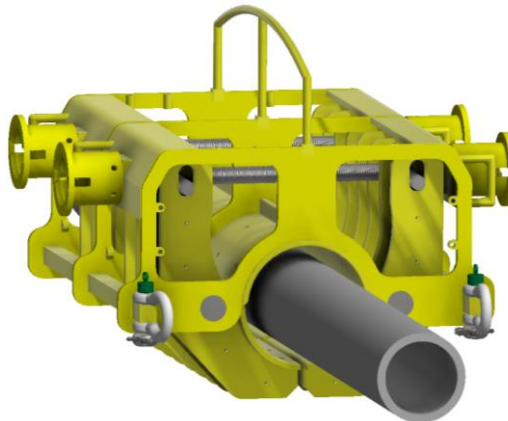
Tabell 11 Spenningen på de fleksible rørledningene for endelig klammer

Dimensjon	Areal	Spenning
16" (406,4mm)	$1606 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$3,14 \text{ N/mm}^2$
12" (304,8mm)	$1131 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$4,46 \text{ N/mm}^2$
8" (203,2mm)	$6880 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$7,33 \text{ N/mm}^2$

Klammeret er dimensjonert til å heve opp fleksible rørledninger av satte dimensjoner opp til spesifisert maks vekt, uten at rørene kollapser.

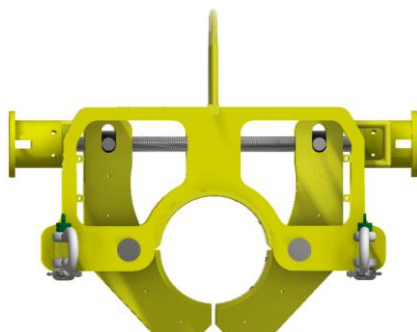
5.4 Avstandsplater for forskjellige rørdimensjoner

Et viktig punkt i spesifikasjonslisten til klammeret var at den skulle kunne brukes til flere rørdimensjoner. For at ikke klammeret skulle bli for stort ble de større rørdimensjonene sett bort fra, både for å kunne designe et mer kompakt klammer og fordi de større dimensjonene av fleksible rørledninger ikke er mye brukt. Det ble valgt at rørdimensjonene som klammeret måtte kunne løfte ble begrenset fra 8" til 16", og at under utregningene skulle dimensjonene spesifiseres til 8", 12" og 16" for å forenkle utregningene.

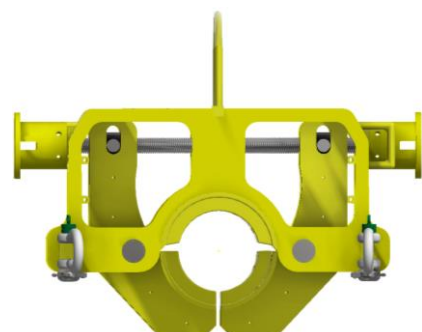


Figur 41 Klammer illustrert med 8" rør uten «Spacer»

For å finne en løsning som gjorde det mulig å løfte flere rørdimensjoner ble det forsøkt å finne eksisterende løsninger, for å se hvordan disse hadde løst problemet. Dette var ikke vellykket på grunn av at det ikke ble funnet noen eksisterende løsninger. Ideene måtte da bygges opp fra bunnen av. Det ble sett på en klo løsning der klemplatene hadde god avstand fra hverandre i bunnen slik at de kunne klemme inn til en mindre rørdimensjon. Denne ideen ble fort forkastet fordi ved en slik løsning ville klemarealet blitt veldig lite, som hadde resultert i et klammer som måtte ha blitt veldig langt. Det ble besluttet å gå for en løsning som IK Norway hadde foreslått, som var avstandsplater som skulle monteres på klemplatene for å få rett dimensjon på klammeret. Disse platene, som gjerne kalles «Spacers» i industrien, skal «fylle» det volumet som hadde oppstått mellom klammeret og røret ved løft av et rør med dimensjon mindre enn 16". Klammeret er uten påmontert avstandsplate dimensjonert til å løfte 16" rør, og ved alle løft av rør mindre enn 16" må avstandsplater i rett størrelse påmonteres. Det trengs avstandsplater til hver dimensjon som skal løftes.



Figur 42 Klammer sett forfra, uten «Spacers»



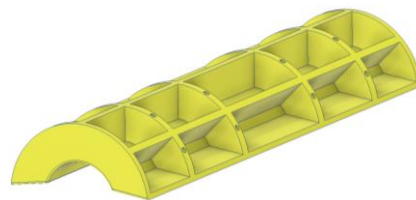
Figur 43 Klammer sett forfra, med «Spacers»

Noe av det som var negativt med å velge avstandsplater som løsning dukket opp under utregningen av klammerets vekt. For selv om avstandsplatene lages i aluminium vil vekten av hver plate være stor, på grunn av det store volumet til platene. For eksempel ville avstandsplatene til 8" rør i aluminium hatt en masse på ca. 350kg tilsvarende en vekt på 3430N. Denne ekstra vekten kan fikses ved å sette på oppdriftselementer, med da dukker det opp et nytt problem. For hvis klammeret så skal brukes på 16" rør er avstandsplaten for 8" ikke påmontert men oppdriftselementene til denne avstandsplaten er, som kan føre til at vekten av klammeret i vann blir negativ. Som gjør at klammeret vil flyte, noe som igjen gjør det blir veldig vanskelig å manøvrere klammeret for en ROV.

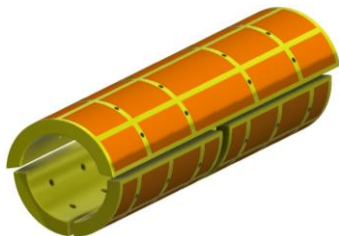
Løsningen på dette problemet ble at material ble tatt bort fra baksiden av avstandsplatene, slik at platene fortsatt hadde samme klemarealet mot røret men mindre masse. Hulrommene på baksiden av platene ble så fylt med oppdriftselement, slik at vekten i vann ble så nær null som mulig. Denne «slankingen» førte til at avstandsplatene uansett dimensjon veide under 400N i vann (se punkt 5.9.2).



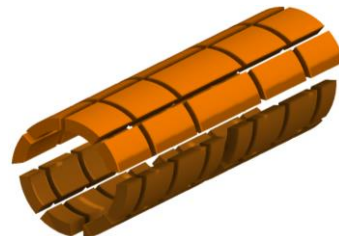
Figur 44 Øvre «Spacer» sett uten «slanking»



Figur 45 Øvre «Spacer» sett med «Slanking»

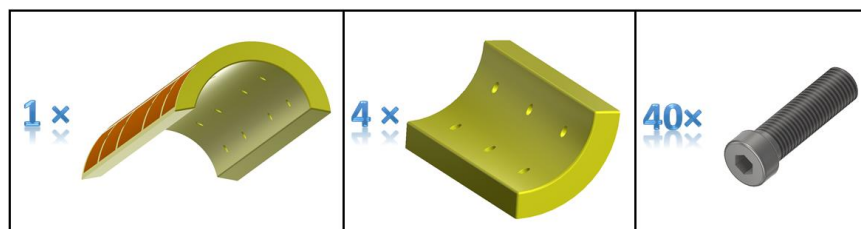


Figur 46 «Spacere» sett med oppdriftselementer



Figur 47 Oppdriftselementer til «Spacere»

Avstandsplatesettet for hver dimensjon består av fem separate plater og 40 M16 bolter. Fire av platene boltes med 6 bolter hver til hver av de fire klempatene, og den siste platen boltes med 16 bolter fast i den store klemlata på toppen.



Figur 48 Antall «Spacere» og antall bolter

5.5 Beregning og dimensjonering

I denne delen skal det foretas håndberegninger i form av krefter som inngår i konstruksjonen og generelle styrkeberegninger, samt sammenligning av jevnføringsspenningen med tillatt spenning. Hvis jevnføringsspenningen er mindre enn den tillatte spenningen er dimensjoneringen gunstig. Generelt beregnes skjærspenning etter formelen [17]:

$$\tau_s = \frac{F}{A_s} \quad (13)$$

I den tillatte spenningen for aluminium 2014-T6 og konstruksjonsstål S355 er det lagt inn en sikkerhetsfaktor for materialene på 1,5. Tillatt spenning beregnes etter formelen [18]:

$$\sigma_{tillatt, Al} = \frac{f_{y, Al}}{\gamma_m} = \frac{414 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 276 \text{ N/mm}^2 \quad (14)$$

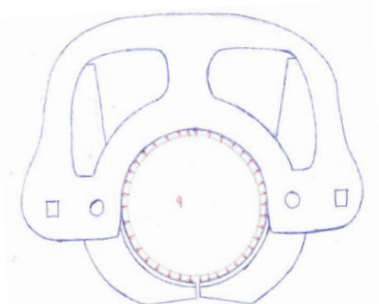
$$\sigma_{tillatt, S355} = \frac{f_{y, S355}}{\gamma_m} = \frac{355 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 236,7 \text{ N/mm}^2 \quad (15)$$

5.5.1 Klør

Dimensjonering av bjelker til kleplaten

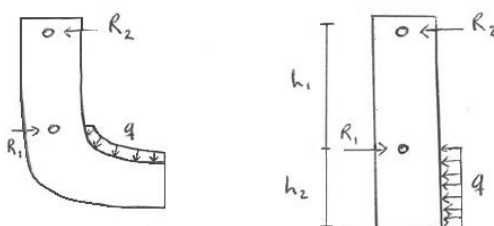
Bjerkene sveises på kleplaten og tar derfor opp bøyemomentet fra bolten. Dette hindrer kleplaten i å deformeres på grunn av bøyning. Klemkraften er fordelt på to klammerdeler og antas å være jevnt fordelt rundt kleplaten og rammen, se figur 48. Dette medfører at en klammerdel vil ha en jevn fordelt kraft på [19]:

$$q = \frac{F_k/2}{\pi \cdot d_{16''}} = \frac{5045 \cdot 10^3 \text{ N}/2}{\pi \cdot 406,4 \text{ mm}} = 1976 \text{ N/mm} \quad (16)$$



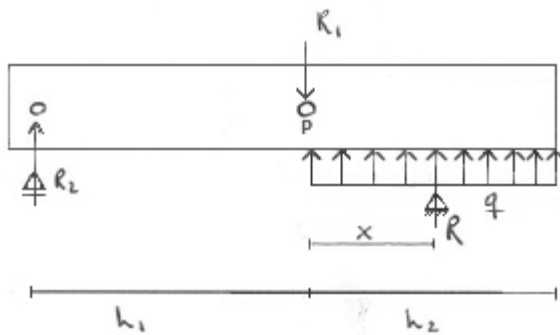
Figur 49 Jevnt fordelt kraft illustrert på klammeret

Nedenfor vises kraftsituasjon av en klo:

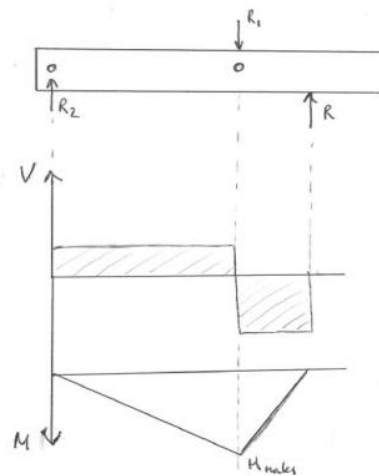


Figur 50 Forenklet kraftbilde av løftesituasjon av en klo

Klemkraften en klo blir utsatt for er resultantkraften, R , på grunn av den jevnt fordelte kraften q . For å finne reaksjonskreftene, R_1 og R_2 , brukes bjelketeori med momentligning og likevektbetingelse (se figur 51).



Figur 51 Kraftsituasjon for en klo



Figur 52 Skjær- og momentdiagram for en klo

Lengde på armen fra bolt til aksling:

$$L_1 = 400\text{mm}$$

Lengde, for buen på kloen, for den jevnt fordelte kraften:

$$L_2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_{16} - 10\text{mm} = \frac{\pi}{4} \cdot 406,4\text{mm} - 10\text{mm} = 309,2\text{mm}$$

Resultantkraften R beregnes etter jevnt fordelt kraft multiplisert med lengden [19]:

$$R = q \cdot L_2 = 1976 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 309,2\text{mm} = 611 \cdot 10^3 \text{N} \quad (17)$$

Lengde for virkelinjen til resultantkraften:

$$x = \frac{L_2}{2} = \frac{309,2\text{mm}}{2} = 154,6\text{mm}$$

Momentligning (1) om punktet P for å finne reaksjonskraft R_2 :

$$\sum M_P = 0 \rightarrow R_2 = \frac{R \cdot x}{L_1} = \frac{611 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 154,6\text{mm}}{400\text{mm}} = 236,2 \cdot 10^3 \text{N} \quad (18)$$

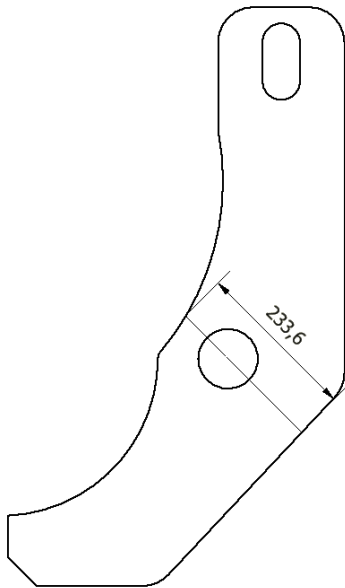
Likevektbetingelse om y-aksen for å finne reaksjonskraft R_1 [17]:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_1 = R + R_2 = 611 \cdot 10^3 \text{N} + 236,2 \cdot 10^3 \text{N} = 847,2 \cdot 10^3 \text{N} \quad (19)$$

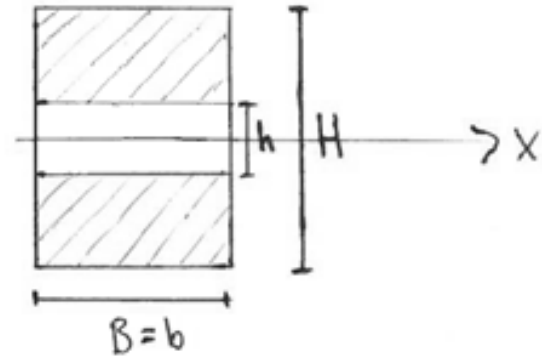
Ved å se på kloens momentdiagram (se figur 52) vil maksimalt bøyemoment være [17]:

$$M_{b,maks} = R_2 \cdot L_1 = 236,2 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 400\text{mm} = 9448 \cdot 10^4 \text{Nmm} \quad (20)$$

På en klo er det fire bjelker sammenføyd på en klemplate. Dette medfører at bredden i treghetsmomentligningen multipliseres med fire. Siden akslingen går gjennom alle bjelkene vil treghetsmomentet for en hul rektangulær snittflate for bjelkene være (se figur 53 og 54) [17]:



Figur 53 Bjelke sett fra siden, tverrsnitt



Figur 54 Bjelke sett ovenfra, tverrsnitt

$$B = 4 \cdot 25 \text{ mm}$$

$$H = 233,6 \text{ mm}$$

$$b = 4 \cdot 25 \text{ mm}$$

$$h = 85 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12} = 1011 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \quad (21)$$

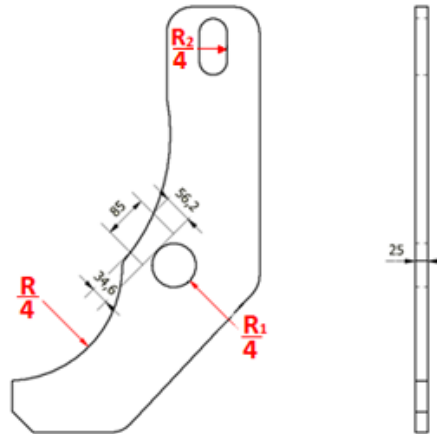
Avstand til nøytralakse:

$$y = \frac{H}{2} = \frac{233,6 \text{ mm}}{2} = 116,8 \text{ mm} \quad (22)$$

Setter inn $M_{b, \text{maks}}$ (20), I_x (21) og y (22) i formelen for bøyespennning og finner bøyespenningen som opptrer på bjelkene [2]:

$$\sigma_b = \frac{M_{b, \text{maks}}}{I_x} \cdot y = \frac{9448 \cdot 10^4 \text{ Nmm}}{1011 \cdot 10^5 \text{ mm}^4} \cdot 116,8 \text{ mm} = 109,2 \text{ N/mm}^2 \quad (23)$$

Bjelkene vil også bli påkjent av skjærspenning og hulltrykkspenning. Det kritiske tverrsnittet befinner seg i hullet til akslingen der reaksjonskraften R_1 (19) innvirker. Akslingen vil da presse inn mot bjelkeveggen. De fire bjelkene tar opp resultantkraften og reaksjonskreftene fordelt på hver av dem, noe som medfører at en bjelke vil ta opp en fjerdedel av disse kreftene, se figur 55.



Figur 55 Bjelkens kraftbilde sett fra siden, mål for kritisk tverrsnitt

Hulltrykkspenning beregnes etter formelen [17]:

$$\sigma_h = \frac{F}{n \cdot d \cdot s} \quad (24)$$

Skriver om formelen (24) for hulltrykkspenning på grunn av reaksjonskraften R_1 (18):

$$\sigma_h = \frac{R_1/4}{d_{aksling} \cdot t} = \frac{847,2 \cdot 10^3 N/4}{85 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}} = 99,7 N/mm^2 \quad (25)$$

Skjærspenning vil oppstå på grunn av avskjæring i bjelkeveggen der reaksjonskraften R_1 virker, omskriver skjærspenningsformelen (13) til:

$$\tau_s = \frac{R_1/4}{A_s} = \frac{847,2 \cdot 10^3 N/4}{34,6 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm} + 56,2 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}} = 99,3 N/mm^2 \quad (26)$$

Formel for jevnføringsspenning er [20]:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (27)$$

Så settes inn bøyespenning (22), hulltrykkspenning (24) og skjærspenning (26) i omskrevet formelen (27) for jevnføringsspenning:

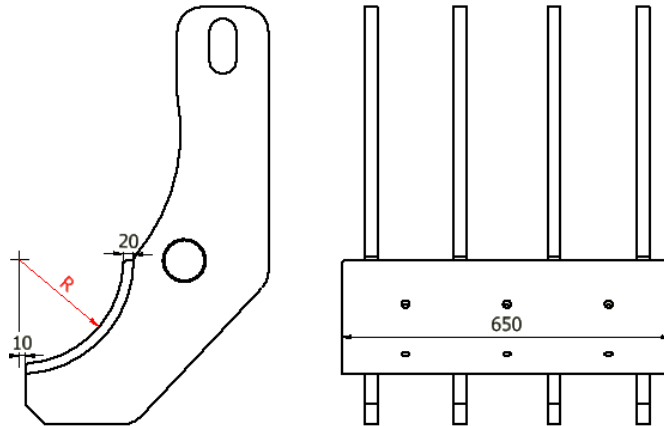
$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_h^2 + 3 \cdot \tau_{Skjær}^2} = 226,8 N/mm^2 \quad (28)$$

$$\sigma_{jf} < \sigma_{tillatt, Al}$$

Jevnføringsspenningen (28) er mindre enn den tillatte spenningen (14).

Dimensjonering av den nedre klemplaten

Klammeret har totalt fire nedre klemplater. En klemplate blir påkjent av klemkraften R (17) og denne kraften virker som en trykkraft, se figur 56.



Figur 56 Bjelke med nedre klemplate, sett forfra og fra siden

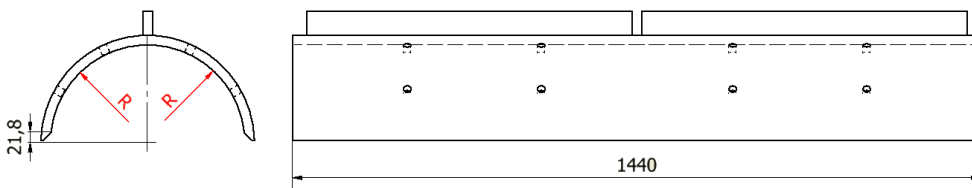
Arealet til klemplaten er lengden multiplisert med bue-lengden, der diameteren er 16'' (406,4mm). Trykkspenningen beregnet etter formel (11) blir da:

$$\sigma_T = \frac{R}{A} = \frac{611 \cdot 10^3 N}{650 \text{ mm} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 406,4 - 10 \text{ mm} \right)} = 3,04 \text{ N/mm}^2 \quad (29)$$

Jevnføringsspenningen (27) blir i dette tilfellet lik trykkspenningen (29), noe som resulterer i at jevnføringsspenningen er mindre enn den tillatte spenningen (14), $\sigma_{jf} = \sigma_T < \sigma_{tillatt, Al}$.

Dimensjonering av den øvre klemplaten

Klammeret har også en lang klemplate på oversiden. På grunn av symmetri ovenfor de nedre klemplatene, vil den øvre klemplaten ta opp det dobbelte av resultatkraften R (17) virkende som trykkraft, se figur 57.



Figur 57 Øvre klemplate, sett forfra og fra siden

Arealet til klemplaten beregnes etter bue-lenge multiplisert med lengden, der diameteren er for 16'' (406,4mm). Trykkspenningen beregnet etter formel (11) blir da:

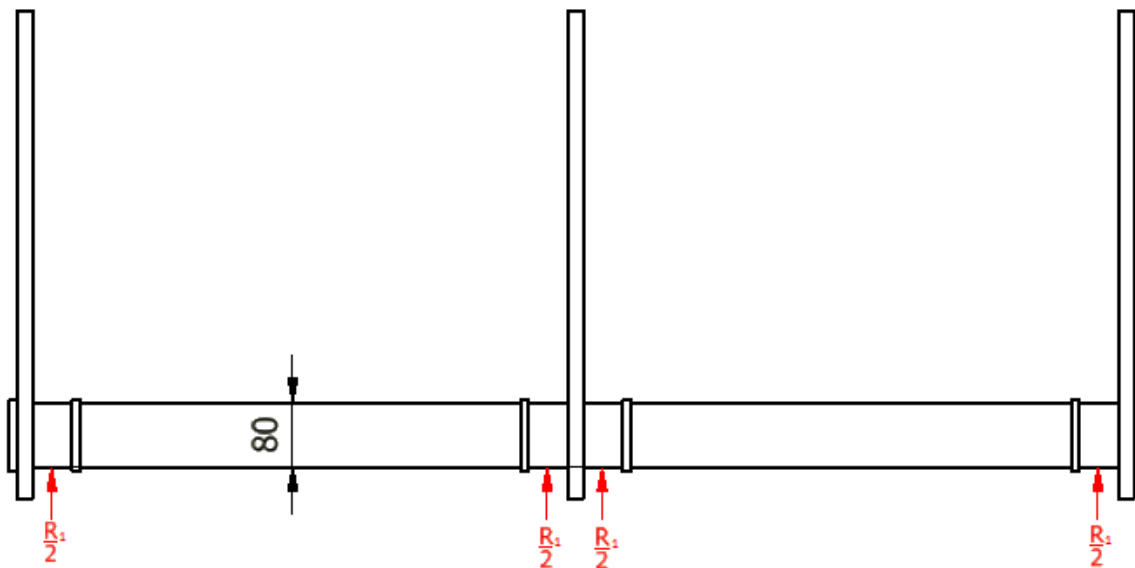
$$\sigma_T = \frac{2 \cdot R}{A} = \frac{2 \cdot 611 \cdot 10^3 N}{1440 \text{ mm} \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot 406,4 - 2 \cdot 21,8 \text{ mm} \right)} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (30)$$

I dette tilfellet blir også trykkspenningen (30) lik jevnføringsspenningen (27), og dette medfører at jevnføringsspenningen er mindre enn tillatt spenning (14), $\sigma_{jf} = \sigma_T < \sigma_{tillatt, Al}$.

5.5.2 Aksling

Dimensjonering av aksling

Det er to akslinger på klammeret, som monteres på hver sin side av rammene. Funksjonen til akslingene er å la bjelkestøttene rotere rundt den, ved hjelp av glidelagre. Nedenfor vises kraftfordelingen til en aksling. Akslingens diameter er 80mm, og bøyespenningen velges å neglisjeres siden akslingen er fastholdt i bjelkestøttene, og antas lik null. Det er to fjerdedeler, altså halvparten, av resultantkraften R_1 som vil virke på akslingen som en radialkraft. Siden hver aksling går gjennom to klammerdeler, virker denne resultantkraften, R_1 (19), fordelt som skjærkraft i rammeposisjonene (se fig.58).



Figur 58 Aksling koblet til rammene, sett fra siden

Skjærkraften som akslingen blir påvirket av er $\frac{R_1}{2}$, og skjærspenningen etter formel (13) skrives om til:

$$\tau_s = \frac{R_1/2}{A} = \frac{847,2 \cdot 10^3 N/2}{\frac{\pi}{4} \cdot (80mm)^2} = 84,3 N/mm^2 \quad (31)$$

Med resultatet fra skjærspenningen (31) satt inn i Jevnføringsspenningsformel (27):

$$\sigma_{jf} = \sqrt{3} \cdot \tau_s = 146 N/mm^2 \quad (32)$$

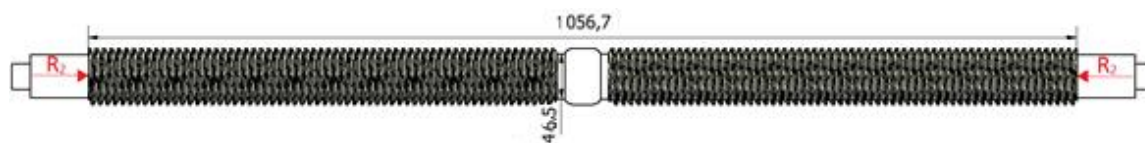
$$\sigma_{jf} < \sigma_{tillatt, s355}$$

Jevnføringsspennningen (32) er mindre enn den tillatte spenningen (15).

5.5.3 Strammebolt

Dimensjonering av strammebolt

Klammeret består av to bolter laget av konstruksjonsstål S355 som står for klemmefunksjonen til klammerdelene. Bolten blir utsatt for resultantkraften, R_2 (18), som virker som en trykkraft. Det er foretatt forenkling av bolten, der det ikke er sett på gjengene til bolten (se figur 59).



Figur 59 Bolt sett fra siden

Bolten blir da sett på som en massiv sylinder med en diameter på 46,5mm.

Trykkspenningen er beregnet ut fra formelen (11):

$$\sigma_T = \frac{R_2}{A} = \frac{236,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} \cdot (46,5 \text{ mm})^2} = 139,1 \text{ N/mm}^2 \quad (33)$$

$$\sigma_T < \sigma_{tillatt, s355}$$

Jevnføringsspenningen (33) er her mindre enn den tillatte spenningen (15), men siden bolten blir utsatt for trykkraft i begge ender må den også kontrolleres for knekking.

Påvisning av knekking etter Eurokode 3 [21]:

I Eurokode 3 er det oppgitt en formel for tverrsnittsklasse for en sirkulær hulprofil. Siden bolten blir sett på som en massiv sylinder, blir diameteren satt lik tykkelsen.

$$d_1 = t = 46,5 \text{ mm} \quad (34)$$

Faktor som er avhengig av flytegrensen og er med på å bestemme tverrsnittsklasse:

$$\varepsilon^2 = \left(\sqrt{\frac{235}{f_y}} \right)^2 = \left(\sqrt{\frac{235}{355}} \right)^2 = 0,66 \quad (35)$$

Bestemmer så tverrsnittsklasse for en sirkulær hulprofil, innsatt faktor (35) og diameter (34) i ligningen for tverrsnittsklasse:

$$\frac{d_1}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 \quad (36)$$

$$1 \leq 33$$

Siden ligningen (36) stemmer medfører dette videre beregning for tverrsnittsklasse 1.

Knekk lengde for bolten:

$$L_{cr} = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 1056,7 \text{ mm} = 528,4 \text{ mm} \quad (37)$$

Tregghetsmoment for massiv sylinder er beregnet etter formelen [17]:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{4} \cdot (46,5 \text{ mm})^4 = 229,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \quad (38)$$

Setter inn tregghetsmomentet (38) og knekk lengde (37) i ligningen for Eulerlast:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 \cdot 229,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^4}{(528,4 \text{ mm})^2} = 170,4 \cdot 10^4 \text{ N} \quad (39)$$

Bestemmer relativ slankhet med innsatt verdi fra Eulerlast (39):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi}{4} \cdot (46,5 \text{ mm})^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{170,4 \cdot 10^4 \text{ N}}} = 0,595 \quad (40)$$

Velger knekkurve C for massive profiler og finner imperfeksjonsfaktor:

$$\alpha_{knekkurve,c} = 0,49 \quad (41)$$

Med innsatt verdier for imperfeksjonsfaktor (41) og relativ slankhet (39) i ligningen for funksjonsfaktoren for reduksjonsfaktoren:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{knekkurve,c} (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,774 \quad (42)$$

Reduksjonsfaktoren blir så funnet med å sette inn verdier for relativ slankhet (39) og funksjonsfaktor (42) i formelen for reduksjonsfaktor:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,788 \quad (43)$$

Dimensjonerende knekk kapasitet blir så funnet med verdien for reduksjonsfaktoren (43):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,788 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (46,5 \text{ mm})^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,05} = 452,4 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (44)$$

Påvisning av knekking, innsatt dimensjonerende knekk kapasitet (44) og trykkraft, $N_{Ed} = R_2$ (18):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{236,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{452,4 \cdot 10^3 \text{ N}} = 0,522 \leq 1$$

Strammebolten har tilstrekkelig kapasitet mot knekking etter Eurokode 3.

5.5.3.1 Gjenge valg

For valg av gjenger, ble det sett etter en gjengetype som skulle klare å stå imot reaksjonskraften, R_2 (18), i bolten. Det ble valgt å bruke sag-gjenger, som er en gjengetype som har forskjellig gjengevinkler, som vil si at gjengen er asymmetrisk. Dette fører til at det kreves mer tiltrekningskraft for å åpne klammeret enn å lukke, som er viktig i dette prosjektet for å minimere risikoen for at klammeret glir opp under løfteoperasjon.

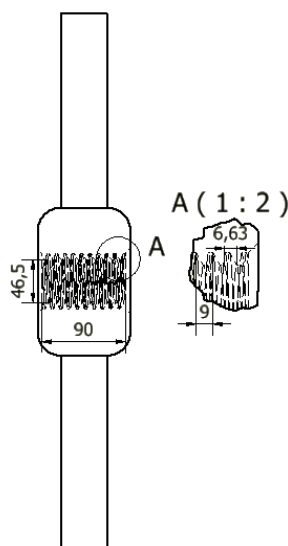
Data for gjengene[22]:

S60x9:

$$d_1 = 46,5\text{mm}$$

$$d_2 = 53,11\text{mm}$$

$$d = 60\text{mm}$$



Figur 60 Mutter med stang til strammebolten

Skjærspenning inntreffer på gjengene når gjengene på «mutter med stang» og gjengene på strammebolten gnisser mot hverandre.

Antall gjenger i «mutter med stang»:

$$n_{\text{gjenger}} = \frac{L_{\text{mutter}}}{P_{\text{pitch}}} = \frac{90\text{mm}}{9\text{mm}} = 10 \quad (45)$$

Skjærareal for gjengene:

$$A_s = \pi \cdot d_1 \cdot b_{\text{gjenger}} \cdot n_{\text{gjenger}} \quad (46)$$

Det oppstår skjærspenning på grunn av avskjæring i gjengene, beregnet etter formel (13), innsatt for skjærarealet (46) med antall gjenger (45):

$$\tau_s = \frac{R_2}{A_s} = \frac{236,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{\pi \cdot 46,5\text{mm} \cdot 6,63\text{mm} \cdot 10} = 24,4 \text{ N/mm}^2 \quad (47)$$

Jevnføringsspenningen etter formelen (27) med kun skjærspenning (47) blir da:

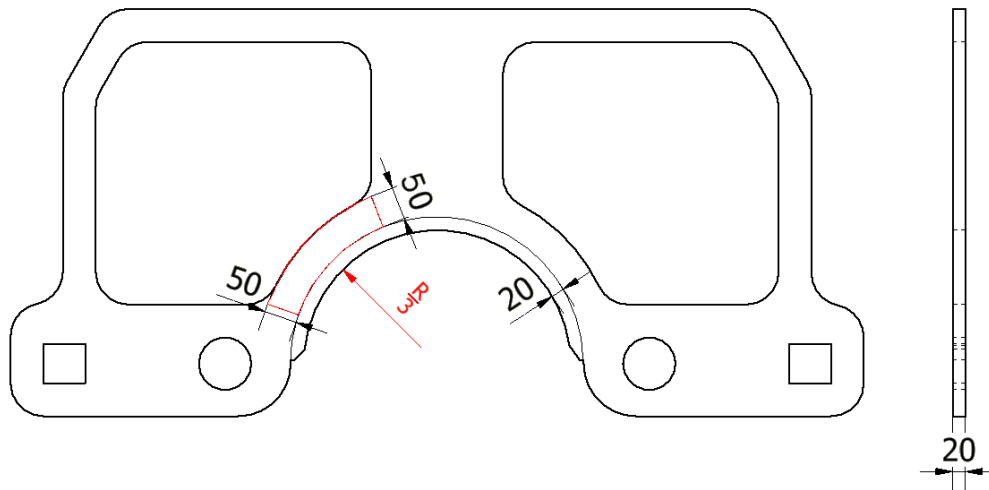
$$\sigma_{\text{jf}} = \sqrt{3} \cdot \tau_s = 42,3 \text{ N/mm}^2 \quad (48)$$

$$\sigma_{\text{jf}} \leq \sigma_{\text{tillatt},s355}$$

Jevnføringsspenningen (48) er mindre enn den tillatte spenningen (15).

5.5.4 Rammeplate

Klammeret består av 3 rammeplater som tar opp kraften $2R$ fordelt på hver av dem. Siden buen på rammeplaten er symmetrisk ovenfor resultantkraften R , vil det oppstå skjærspenning på grunn av avskjæring i buen. Buen på rammeplaten vil ta opp en tredjedel av resultantkraften R (17), se figur 61.



Figur 61 Ramme kraftbilde, sett forfra og fra siden

Skjærspenning på grunn av avskjæring i buen på rammeplaten beregnet etter formel (13):

$$\tau_s = \frac{R/3}{A_s} = \frac{611 \cdot 10^3 \text{ N} / 3}{50 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot 2} = 101,8 \text{ N/mm}^2 \quad (49)$$

Trykkspenning over hele buen på rammeplaten beregnet etter formel (11):

$$\sigma_T = \frac{2 \cdot R/3}{A} = \frac{2 \cdot 611 \cdot 10^3 \text{ N} / 3}{20 \text{ mm} \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot 406,4 - 2 \cdot 21,8 \text{ mm} \right)} = 34,24 \text{ N/mm}^2 \quad (50)$$

Jevnføringsspenningen (27) med innsatt verdier for trykkspenning (50) og skjærspenning (49) blir:

$$\sigma_{if} = \sqrt{\sigma_T^2 + 3 \cdot \tau_s^2} = 179,6 \text{ N/mm}^2 \quad (51)$$

$$\sigma_{if} < \sigma_{tillatt, Al}$$

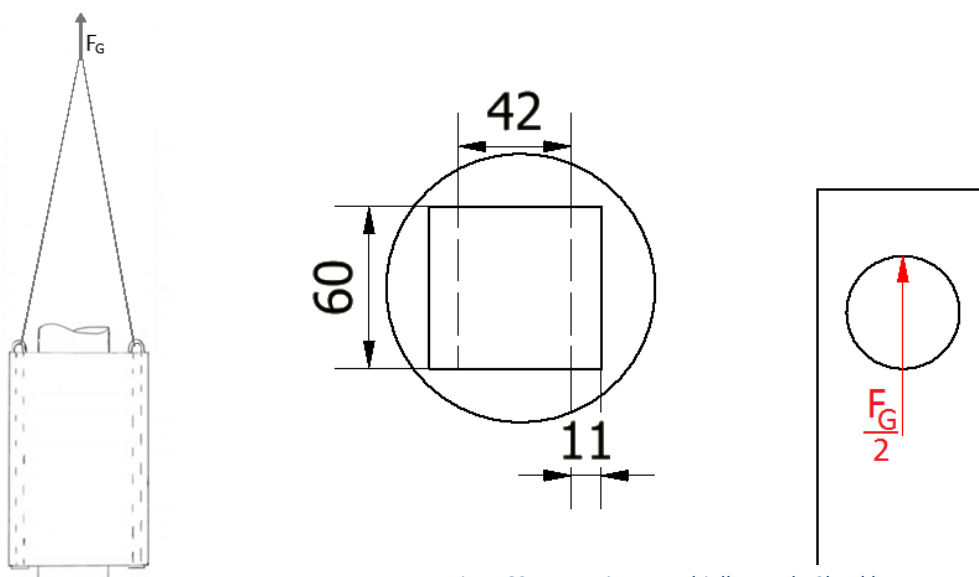
Jevnføringsspenningen (51) er mindre enn den tillatte spenningen (14).

5.5.5 Festebejelke for «Shackles»

Dimensjonering av løftebejelke

Klammeret er konstruert slik at en bjelke på hver side av rammene tar opp kreftene på grunn av vekten til røret ved selve løftet. Hver løftebejelke har en «Shackle» som blir koblet til en «løftewire». De to «Shackle'ene» er festet på løftebejlkene med en «Pin» som går gjennom godset som har en diameter på 42mm.

Kraften som «Wire'en» tar opp er (3): $F_G = m \cdot g = 30000\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 294,3\text{kN}$. Hver løftebejelke vil ta opp kraften F_G fordelt på hver av dem. Det blir antatt at vinkelen mellom «Wire'en» og «Shackle'en» er lik null, dette medfører at en bjelke vil ta opp halvparten av denne kraften (se figur 62 og 63).



Figur 63 Kraftbildet til bjelkene med «Shackles»

Figur 62 Tverrsnitt av en bjelke med «Shackle»

Strekkspenningen beregnes etter formelen (11):

$$\sigma_s = \frac{F_G/2}{A} \cdot \gamma_k = \frac{294,3 \cdot 10^3 \text{ N} / 2}{2 \cdot 60\text{mm} \cdot 11\text{mm}} \cdot 1,2 = 133,8 \text{ N/mm}^2 \quad (52)$$

Kjervfaktor i hullet, se vedlegg K [23]:

$$\lambda_{K_c} = \frac{d}{b} = \frac{42\text{mm}}{64\text{mm}} = 0,66 \rightarrow K_c \approx 2 \quad (53)$$

Jevnføringsspenning etter formel (27) innsatt med strekkspenningen (52) og kjervfaktor (53):

$$\sigma_{jf} = \sigma_s \cdot K_c = 133,8 \text{ N/mm}^2 \cdot 2 = 267,6 \text{ N/mm}^2 \quad (54)$$

$$\sigma_{jf} < \sigma_{tillatt, Al}$$

Jevnføringsspenningen (54) er mindre enn den tillatte spenningen (14).

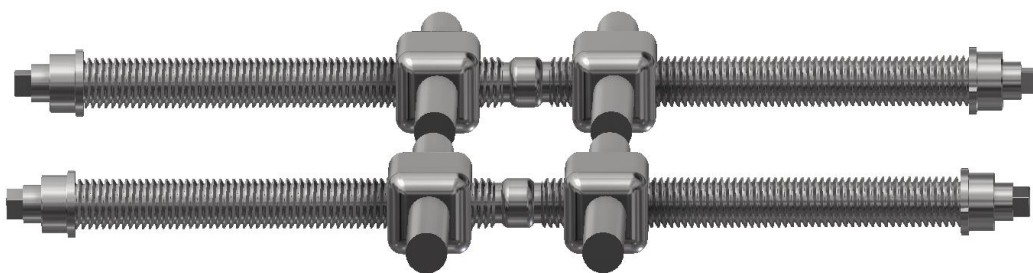
5.6 Tiltrekningskraft fra «Torque tool» på strammebolt

Kraften klammeret må klemme med for å holde røret fast er kjent, men ikke hvor mye kraft klammeret må få tilført fra ROV'en. Denne kraften overføres fra et «Torque tool», som er et verktøy som lar en ROV overføre moment til installasjoner under vann. Et standard «Torque tool class 1-4» kan overføre et moment på opp til 2700Nm, så momentet for å operere klammeret kan ikke være over dette [24]. En ROV kobler «Torque tool'et» til strammebolten ved å føre verktøyet inn i en «Torque bucket». Denne «Bucket'en» holder verktøyet fast mot rotasjon, slik at ikke ROV'en må ta opp rotasjonskreftene fra «Torque tool'et». ROV'en kjører så på hydraulikkvæske som får verktøyet til å begynne å rotere.

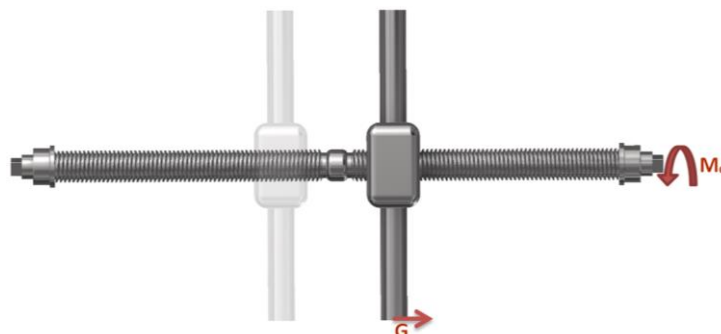


Figur 64 Eksempel på e «Torque tool class 1-4» [25]

For å finne momentet «Torque tool'et» må overføre må det regnes ut hvor mye kraft som blir overført via klemlatten og klembjelkene. Denne kraften kan finnes ved å sette opp bjelken som en fritt opplagret rett bjelke, som ble gjort i kapittel 5.5.1. Der ble R_2 (18) funnet som skal brukes videre in denne delen, og denne kraften brukes for å finne momentet som kreves av «Torque tool'et». Dette gjøres med å bruke motkraften av R_2 som er blitt kalt G_{Bolt} , denne kraften virker fra gjengene på bolten til mutteren.



Figur 65 Strammeboltene med mutter og lager



Figur 66 Moment og last på mutter

Momentet finnes ved å bruke formelen for tilsetningsmoment på skrue [17]:

$$M_o = G_{Bolt} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha + \delta) \quad (55)$$

Der kraften for å lukke klammeret kalles G_{Bolt} og har verdien $236,2 \cdot 10^3 N$ fordi den er motkraft til R_2 . Den midlere diameteren, d_2 , er lik $5311 \cdot 10^{-5} m$ for gjengene som ble valgt $S60 \times 9$. Videre blir den midlere stigningsvinkelen funnet med formelen [17]:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,009m}{\pi \cdot 5311 \cdot 10^{-5}m}\right) \quad (56)$$

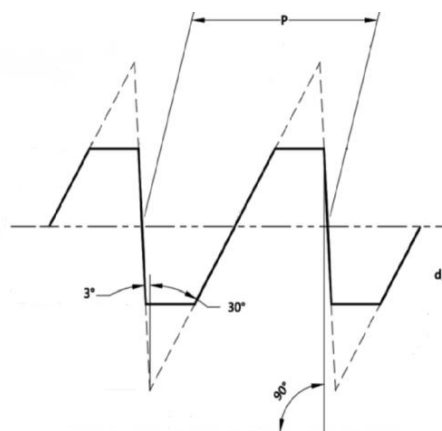
$$\alpha = 0,05389$$

Friksjonsvinkelen finnes med formelen [17]:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\mu}{\cos \varphi}\right) \quad (57)$$

Der μ er friksjonstallet i gjengene, som kan settes til mellom 0,14-0,26 for smurte gjenger [26]. Gjengene på strammebolten skal smøres men på grunn av at den skal opereres under vann er det vanskelig å finne en eksakt verdi. Friksjonstallet blir antatt å være 0,20.

Videre må φ finnes, som er halve gjengevinkelen. Ved sag gjengene som er den valgte gjengetypen vil den har to forskjellige vinkler, den ene retningen på 3° og den andre på 30° . Årsaken til dette er at gjengene skal ha mer motstand når de skrues den ene retningen enn den andre. Klammeret skal være lettere å lukke enn å åpne, for å minske sannsynligheten for at klammeret åpner seg ved et uhell når det løftes opp.



Figur 67 Gjengeprofil med gjengevinkelen og stigning [22]

Når momentet for å lukke klammeret skal finnes er $\varphi = \frac{3^\circ}{2} = 1,5^\circ$ og for å finne momentet for å åpne klammeret er $\varphi = \frac{30^\circ}{2} = 15^\circ$.

Friksjonsvinkelen for å lukke klammeret (57):

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\mu}{\cos\varphi}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,20}{\cos(1,5^\circ)}\right) = 0,1975 \quad (58)$$

Friksjonsvinkelen for å åpne klammeret (57):

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\mu}{\cos\varphi}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,20}{\cos(15^\circ)}\right) = 0,2042 \quad (59)$$

Momentet etter formel (55) blir da for lukking av klammeret, innsatt verdier fra (56,58):

$$M_o = G_{bolt} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha + \delta)$$

$$M_o = 236,2 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \frac{5311 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{2} \cdot \tan(0,05389 + 0,1975)$$

$$M_o = 1611 \text{ Nm}$$

Og for åpning av klammeret etter formel (55), innsatt verdier fra (56,59):

$$M_o = G_{bolt} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha + \delta)$$

$$M_o = 236,2 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \frac{5311 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{2} \cdot \tan(0,05389 + 0,2042)$$

$$M_o = 1656 \text{ Nm}$$

Momentet som er utregnet er bare veiledende, utregningene som er gjort er forenklet og vil derfor ikke kunne gi eksakte tall. Klammeret må testes før bruk slik at det tilførte momentet blir til ønsket klemkraft. Hvis klemkraften blir høyere enn antatt kan det føre til at røret kollapser, og hvis kraften blir mindre kan klammeret «glippe» røret når det trekkes opp. Men det utregnede momentet er godt under maksgrensen til et «Torque tool class 1-4» som er 2700Nm (se vedlegg G), som viser at et standard «Torque tool» kan brukes til å lukke klammeret.

5.7 Lager

Klammeret trenger flere lagre for boltene og klørne. Disse lagrene er av vedlikeholdsfrie glidelagre med bronse belegg, og er korrosjonsbestandig [27]. Hver bolt trenger to aksialglidelagre med flange på enden, dette medfører et behov for fire aksialglidelagre. Klørne trenger et radialglidelager for hver bjelke som roterer rundt akslingen. Dette medfører et behov for seksten radialglidelagre.

Dimensjonen av disse lagrene er spesielle i forhold til ferdigproduserte lagre, og trengs derfor å spesialbestilles. Denne bestillingen foretas gjennom bedriften *Schaeffler* [28].

5.7.1 Lager til strammebolt

Det trengs totalt fire aksialglidelagre med flange løsning, som monteres på endene av boltene. Hvert aksialglidelager skal ta opp en aksialkraft på R_2 .

Dimensjonen av aksialglidelagret (se figur 68):

$$D_o = 70\text{mm}$$

$$D_i = 46\text{mm}$$

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

Selve flangen har en diameter på 80mm og en bredde på 9mm.



Figur 68 Lager for bolt med flange [27]

Kraften R_2 (18) skaper et flatetrykk i lagret, dette trykket er beregnet etter formelen [17]:

$$p = \frac{R_2}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - d_i^2)} = \frac{236,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} \cdot ((70\text{mm})^2 - (46\text{mm})^2)} = 108 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Lager til bjelke

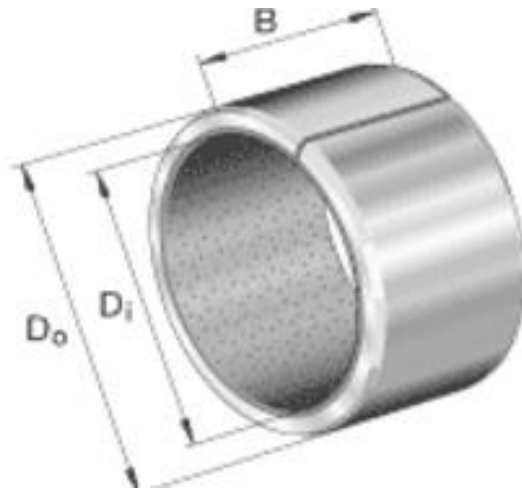
Det trengs totalt seksten radialglidelagre som monteres på akslingene for å gi rotasjon til klørne. Hvert radialglidelager skal ta opp en radiell kraft lik en fjerdedel av reaksjonskraften R_1 (19).

Dimensjonen av radialglidelager, se figur 69:

$$D_o = 85\text{mm}$$

$$D_i = 80\text{mm}$$

$$B = 25\text{mm}$$



Figur 69 Lager for aksling [29]

En fjerdedel av Kraften R_1 skaper et lagertrykk, og er beregnet etter formelen [17]:

$$p = \frac{R_1/4}{D_i \cdot B} = \frac{847,2 \cdot 10^3 \text{ N} / 4}{80\text{mm} \cdot 25\text{mm}} = 105,9 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Materialvalg og korrosjonsbeskyttelse

5.8.1 Materialvalg

Når det skal velges hvilke materialer som skal brukes til klammeret, er det mange forskjellige faktorer som spiller inn for å få en optimal konstruksjon. Faktorer som pris, styrke, vekt, korrosjonsbestandighet og levetid er høyt prioritert når en skal designe et velfungerende klammer som skal brukes under vann og kunne brukes flere ganger. Siden klammeret skal brukes til løfteoperasjoner og ikke være permanent montert under vann, er det ikke nødvendig å benytte seg kun av korrosjonsbestandige materialer. Dette gir da mulighet for vedlikehold på overflaten når klammeret ikke er i bruk. En annen grunn for å ikke kun bruke korrosjonsbestandige materialer er at det er relativt kostbart. Vekt er en annen faktor siden klammeret skal kunne opereres av en ROV og må da ha en maksimal vekt på rundt 500N i vann. Det ble tidlig anslått at ikke ville være mulig uten bruk av oppdriftselement (Se kapittel 5.9.2).

Det ble først bestemt å bruke konstruksjonsstål S355 på alle deler av klammeret, siden dette stålet er det gruppen hadde mest kjennskap til fra før og er et material som ofte blir brukt i offshore utstyr. Konstruksjonsstål S355 har en flytegrense på 355N/mm^2 og har en tetthet på 7850Kg/m^3 [30]. Det ble avdekket at å bygge alle delene i S355 ville bli veldig tungt på grunn av den høye tettheten, og unødvendig å bruke på deler som ikke er så utsatt for krefter, se vedlegg F.

Det ble så undersøkt om å bruke titan til deler av klammeret. Dette på grunn av at titan har det beste styrke til vekt forhold av alle metalliske materialer og har gode korrosjonsegenskaper. Titan har en tetthet på rundt 57% av tettheten til S355 og kan ha en flytegrense fra 400N/mm^2 til over 1000N/mm^2 . Men titan er rundt 15 ganger dyrere enn S355, så dette ble for dyrt å benytte [31].

Det ble besluttet å bruke et høystyrke aluminium til deler av klammeret, Aluminium 2014-T6. Aluminium 2014-T6 er aluminium (90,4%-95%) med kobberlegering (3,9%-5%), som gir materialet en flytegrense lik 414N/mm^2 og har gode korrosjonsegenskaper (se vedlegg F). Materialet er rundt 1,5 ganger så dyrt som S355 og har en tetthet rundt 35% av tettheten til S355 som gjør det til et godt egnet material for klammeret [31].

5.8.2 Korrosjonsbehandling

Sjøvann kan gi store korrosjonsskader på material og det er derfor viktig å behandle materialer som ikke er korrosjonsbestandige for å redusere korrosjonsdannelse. Vanlig konstruksjonsstål S355 ikke er et korrosjonsbestandig material så dette må behandles. Siden det er benyttet både aluminium og stål i klammeret, vil det kunne oppstå galvanisk korrosjonsdannelser, aluminiumet vil virke som en anode for stålet om materialene kommer i direkte kontakt under vann. Det er valgt i dette prosjektet å gi hele klammeret en gul «Subsea coating», en overflatebehandling som skal redusere korrosjonsdannelse. Dette er fordi klammeret skal kun være midlertidig under vann, en overflatebehandling med fargen gul vil gjøre den mer synlig og derav lettere å operere. Det er og en relativt rimelig løsning i forhold til å kun måtte bruke korrosjonsbestandig material. I tillegg til «Subsea coating» kan det vurderes å bruke offeranoder, eller bruken av tynne rustfrie stålskiver mellom der det ellers hadde vært kontakt mellom aluminium og stålet [31].

5.9 Masse og vekt

Vekten til klammeret er viktig på grunn av at klammeret skal flyttes rundt av utstyr som har begrensninger på hvor stor vekt de kan løfte. Vekten må da være kjent av operatøren slik at de kan velge riktig løfteutstyr. I tillegg skal klammeret forflyttes av en ROV når det er helt nedsenket i vann, og det er her den største vektbegrensningen kommer inn. En standard arbeids ROV klarer å løfte objekter med en vekt på opp til 500N med manipulatorene. Dette fører til at hele klammersystemet, altså klammeret, «Shackles» og avstandsplater, som skal designes må ha en vekt på under 500N nedsenket i vann.

Klammerets masse finnes med å multiplisere materialenes tetthet med klammerets volum. Ved en konstruksjon som er bygget opp av flere typer materialer må volumet av hver del ganges med tettheten til det materialet som delen er laget av. For å så addere massene sammen til en totalmasse av klammeret. Volumet til hver del er hentet ut fra «Autodesk Inventor» (se vedlegg D) fordi geometrien til delene er kompliserte, noe som gjør det vanskelig å beregne ut for hånd.

Tettheten til og volumet av aluminium 2014-T6, se vedlegg D:

$$\rho_{Al} = 2800 \frac{kg}{m^3} \quad (60)$$

$$V_{Al} = 0,1724 m^3 \quad (61)$$

Tettheten og volumet av stål S355, se vedlegg D:

$$\rho_S = 7850 \frac{kg}{m^3} \quad (62)$$

$$V_S = 0,0287 m^3 \quad (63)$$

Massen til «Shacklene» og lagrene, se vedlegg D:

$$m_{Shackle} = 16,4 kg \quad (64)$$

$$m_{Lager} = 1,6 kg + 3,2 kg = 4,8 kg \quad (65)$$

Ved å kombinere tettheten til og volumet av aluminium 2014-T6 (60,61) og S355 (62,63) med massen til «Shacklene» og lagrene (64,65) finnes massen til klammeret [10]:

$$m_{klammer} = \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_S \cdot V_S + m_{Shackle} + m_{Lager} = 729,8 kg \quad (66)$$

Totalvekten til klammeret blir beregnet ut fra formel (3), innsatt verdi (66):

$$G = m_{klammer} \cdot g = 729,8 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 7159 N \quad (67)$$

5.9.1 Vekt i vann

Når klammeret er helt nedsunket i vann er vekten mindre enn på land, dette kommer av at i vann vil det være en motkraft til tyngdekraften, som kalles oppdrift. Det er denne oppdriftskraften som gjør at skip kan flyte på vannet selv om de gjerne har en masse på flere tusen tonn.

Tettheten til sjøvann [10]:

$$\rho_V = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (68)$$

Volumet av fortrenget vann, se vedlegg D:

$$V_{Klammer} = 0,2031 \text{m}^3 \quad (69)$$

Setter inn verdier for massen (66), tettheten til sjøvann (68) og volumet (69) av fortrenget vann inn i formel for vekt i vann [10]:

$$W = m_{Klammer} \cdot g - \rho_V \cdot V_K \cdot g \quad (70)$$

$$W = 729,8 \text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,2031 \text{m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 5117 \text{N}$$

Den totale vekten av klammeret nedsunket i sjøvann var langt over det som en ROV kan håndtere. For å få hele klammeret ned til en vekt på under 500N, som er kravet, kan en av tre endringer gjøres. Klammeret kan gjøres mindre, slik at mengden material går ned og derfor også massen og volumet av klammeret. Problemet her er at klammeret skal gripe rundt et rør med satt diameter og en med en satt vekt, slik at dette begrenser hvor liten klammeret minimalt kan være. Størrelsen blir da ikke der vekten skal spares. Det neste alternative er å endre material, ved bruk av et material med lavere massetetthet vil totalvekten gå ned. Men på grunn av at aluminium allerede er det valgte materialet på mesteparten av klammeret vil det være lite å hente her. Men til sammenligning ville klammeret hatt en masse på ca. 1600kg hvis delene som er laget av aluminium var laget av stål. Materialer som er lettere enn aluminium kan være plastikk eller kompositt materialer, men disse blir ofte dyre med de styrkekravene som det stilles i dette prosjektet. Endring av material blir derfor heller ikke det som skal redusere vekten.

Det siste alternativet er å montere oppdriftselementer på klammeret. Med oppdriftselement menes det et material med mindre tetthet enn vann, dette gjør at materialet vil flyte opp på vannet. Dette fungerer på samme måte som en heliums ballong i luft. Der klammeret kan sammenlignes med selve ballongen som vil falle mot bakken separat, men når den ble fylt med helium, som i dette tilfellet kan sammenlignes med oppdriftselementene, vil den stige. Det som avgjør om ballongen stiger eller synker er mengden helium, litt helium så vil den fortsatt falle mot bakken, men med mye helium vil ballongen stige. Dette samme gjelder klammeret, mengden oppdriftselement vil avgjøre om klammeret stiger, synker eller vil være nøytralt i vann. Det som ønskes med et slikt klammer som skal flyttes som et ROV «Tool» er at det er så nøytralt i vann som mulig, dette vil si at det verken synker eller stiger, som gjør det lettere for ROV'en å manøvrere klammeret.

5.9.2 Vekt i vann med oppdriftselementer

Oppdriftselementet som ble valgt til dette prosjektet er av typen LD2000 og leveres av firmaet DIAB [15]. Med dette oppdriftselementet kan klammeret operere ned til en havdybde på 2000 meter, som gjør at klammeret kan brukes på alle felter på norsk sokkel. For det som vanligvis begrenser dybden for undervanns installasjoner er enten trykkbeholderen til elektronikken eller oppdriftselementene, men på grunn av at klammeret ikke har noen elektronikk er det bare oppdriftselementene som begrenser hav dypet.

Oppdriftselementene som er blitt valgt:

Diab LD2000 [32]

Dybde: 2000 m

Tettheten til oppdriftselementene:

$$\rho_o = 425 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (71)$$

Diab LD2000 er laget av et syntaktisk skum, som produsenten selv beskriver som:

- «Høy trykkstyrke, høy oppdrift per kilo og lav vannabsorpsjon gjør syntaktisk skum ideelt for undervannsapplikasjoner som krever høy ytelse og lang levetid.» [32]

Det er disse egenskapene som gjorde at akkurat dette oppdriftselementet ble valgt, relativt lav tetthet selv om det kan brukes ned til 2000 meter under havoverflaten (se vedlegg L).

Volumet av fortrenget vann av oppdriftselementene, se vedlegg D:

$$V_0 = 0,8630 \text{m}^3 \quad (72)$$

Massen til oppdriftselementene blir funnet ved å sette inn volum av fortrenget vann av oppdriftselement (72) og tettheten til oppdriftselementene (71) inn i formel for masse [10]:

$$m_o = V_o \cdot \rho_o = 0,8630 \text{m}^3 \cdot 425 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 366,8 \text{kg} \quad (73)$$

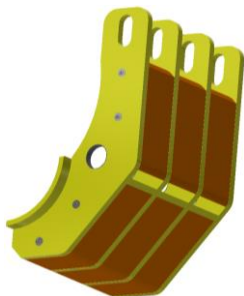
Vekt av klammeret i vann med oppdriftselementer regnes ut med å sette inn massen for klammeret (66), massen for oppdriftselementer (73), tettheten til vann (68), volumet til klammeret (69) og volum for oppdriftselementene (72):

$$W_o = (m_{\text{Klammer}} + m_o) \cdot g - \rho_V \cdot (V_{\text{Klammer}} + V_0) \cdot g \quad (74)$$

$$W_o = (729,8 \text{kg} + 366,8 \text{kg}) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,2031 \text{m}^3 + 0,8630 \text{m}^3) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

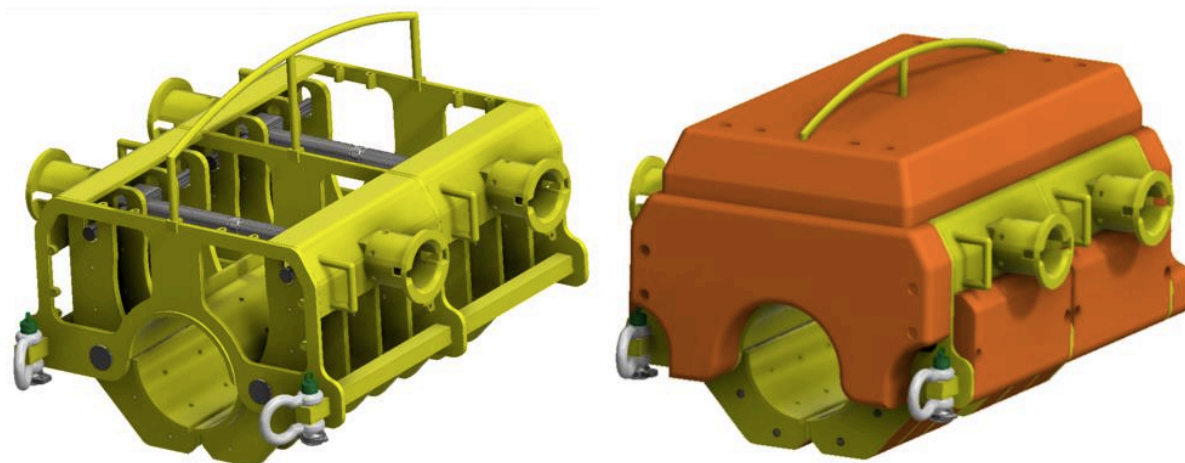
$$W_o = 37,74 \text{N}$$

Vekten av klammeret med oppdriftselementer er 37,74N fullstendig nedsunket i vann. I tillegg til denne vekten kommer også vekten av avstandsplatene hvis de må brukes, som kommer på ca. 300-400N. Den totale vekten av klammeret vil dermed være på under 500N som var kravet for ROV forflytning, selv med avstandsplatene.



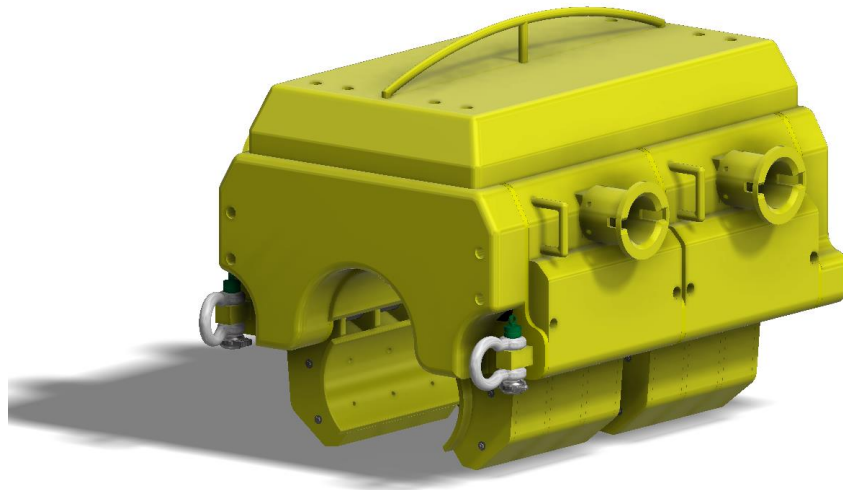
Totalt er det montert på 32 oppdriftselementer på klammeret for å få ønsket oppdrift. På hver av de fire klemplatene er det montert oppdriftselementer mellom alle bjelkene både over og under akslingen. I tillegg er det montert et oppdriftselement foran og akter, to på topp og to på hver av sidene. Oppdriftselementene er fordelt jevnt på rammen for å ikke flytte tyngdepunktet slik at klammeret blir vanskelig å manøvrere.

Figur 70 Klemplaten med oppdriftselementer



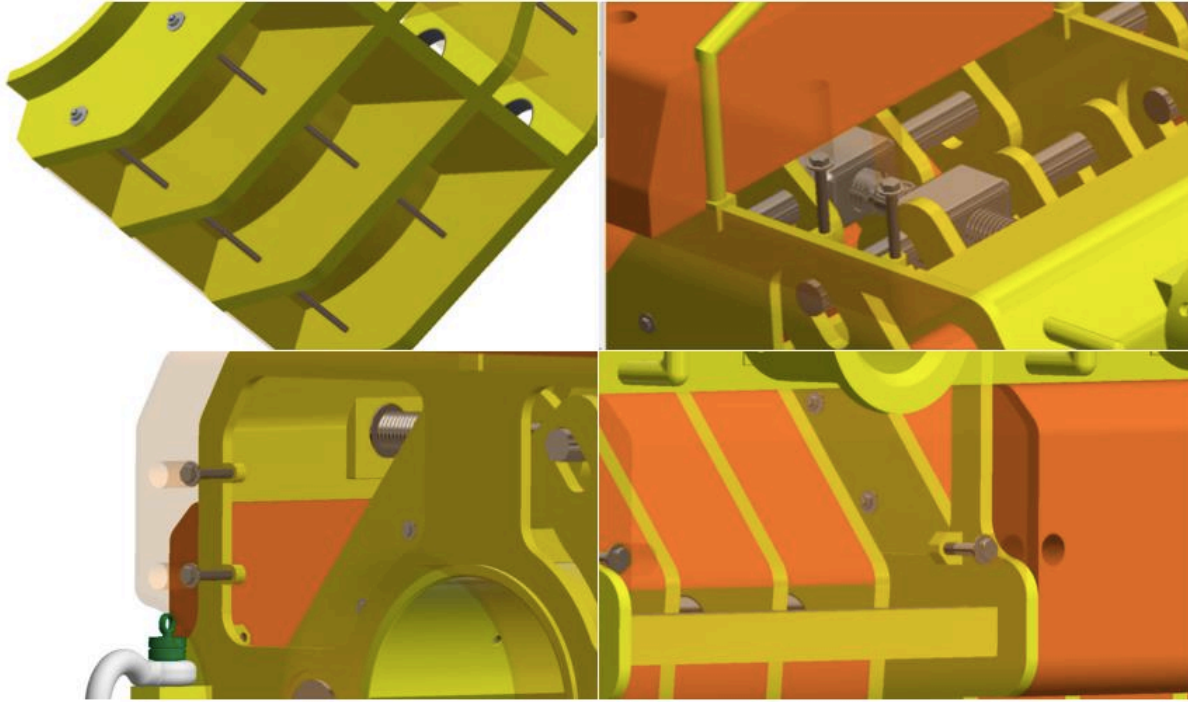
Figur 71 Klammeret uten og med oppdriftselementer

Oppdriftselementene er her farget oransje for å synliggjøre hva som er oppdriftselementer og hva som er selve klammeret. Det vanlige er å farge oppdriftselementene i samme farge som klammeret, som ofte er gul for å gjøre utstyret mer synlig under vann. Klammeret kan se noe slikt ut etter produksjon:

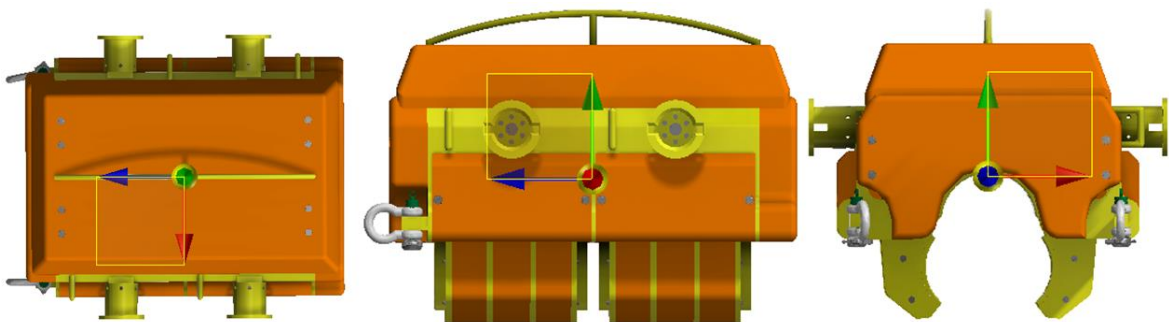


Figur 72 Klammeret kan se slik ut etter produksjon

Alle oppdriftselementene er festet til rammen med bolter, dette er gjort fordi elementene skal være lette å skru av. Det er viktig at operatøren lett kommer til alle delene av klammeret når det skal spyles, slik at alt sjøvann blir spylt bort. Oppdriftselementene mellom kleplate bjelkene er festet med to gjennomgående bolter hver, som går gjennom alle fire bjelkene og de tre oppdriftselementene mellom. Oppdriftselementene på side, front, akter og topp er boltet rett inn i rammen. Elementet på toppen er delt i to, både for at de skal være mulig å montere uten å koble fra ROV løfte-stangen. Men også på grunn av at hver del nå har en masse på ca. 70 kg som er mulig å forflytte uten å være nødt til å bruke kran, i forhold til en del som ville hatt en masse på ca. 140 kg.



Figur 73 Boltene som holder oppdriftselementene på plass



Figur 74 Kulene representerer klammerets tyngdepunkt, funnet ved bruk av Autodesk Inventor «Center of gravity» funksjon

6 Sammenligning av beregninger

I dette kapittelet vil spenningene i alle de utsatte delene utregnes i ANSYS. I tillegg vil ANSYS beregningene bli sammenlignet med håndberegningene.

6.1 ANSYS beregninger

6.1.1 Spenning- og deformasjonsanalyse for «bjelke til klemplate» i ANSYS

Static Structural

I «Static Structural» er det lagt inn to krefter, klemkraften R (17) og reaksjonskraften R₂ (18). Klemkraften vises som rød pil A og består av to kraftkomponenter, i x-aksen og y-aksen, som utgjør en fjerdedel av klemkraften. Reaksjonskraften vises som rød pil C og består av en kraftkomponent, i x-aksen, som utgjør en fjerdedel av reaksjonskraften fra «mutter med stang». Det er også lagt inn et sylindrisk opplager B og et friksjonsløst opplager D (se figur 75).

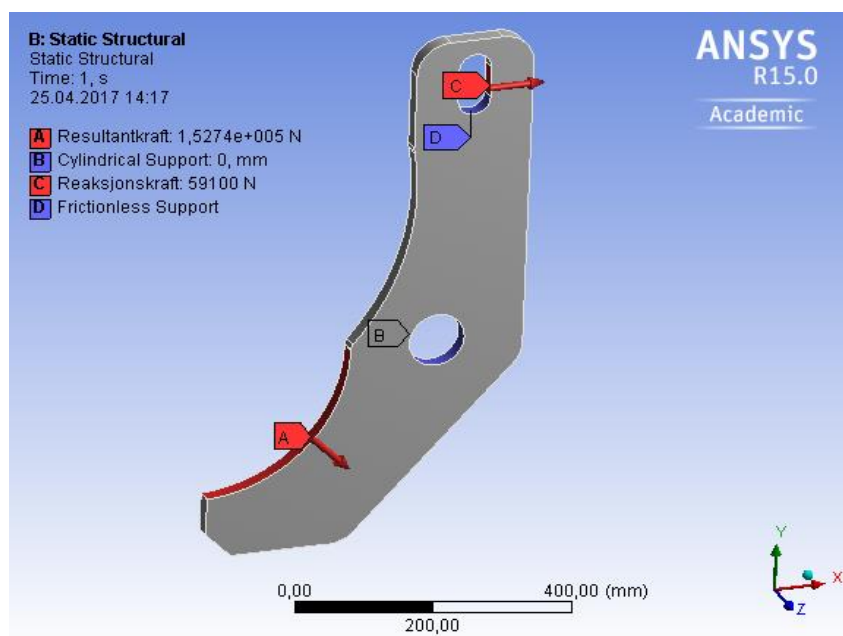
Kraften A er lagt inn slik (referer til punkt 5.5.1):

$$\text{Kraftkomponent} = \frac{R/4}{\sqrt{2}} = \frac{152,8kN}{\sqrt{2}} = 108kN$$

- X-aksen: 108kN
- Y-aksen: -108kN

Kraften C er lagt inn slik:

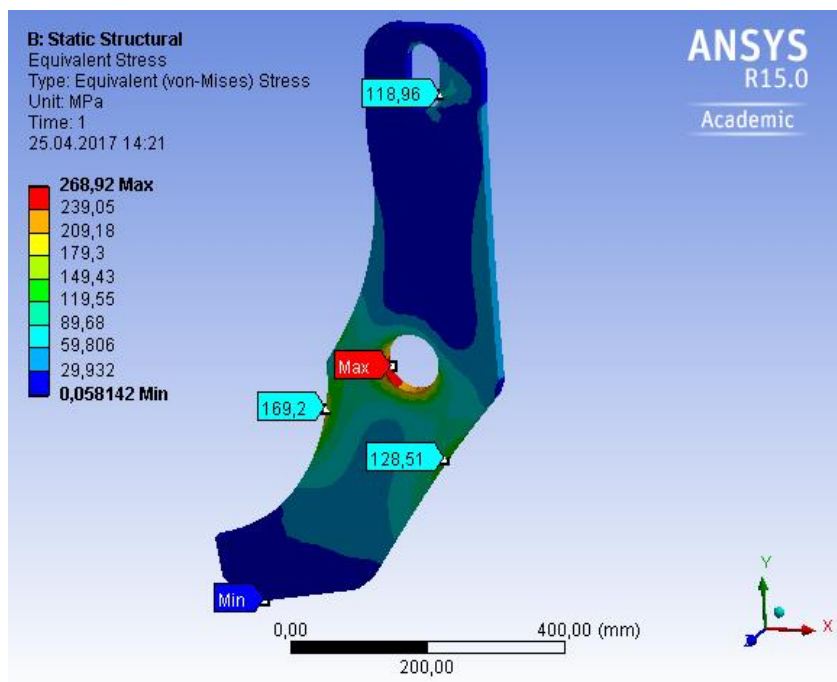
- X-aksen: 59,1kN



Figur 75 «Static Structural» for «bjelke til klemplate» i ANSYS

Ekvivalent spenning i «bjelke til kleplate» etter von Mises kriteriet

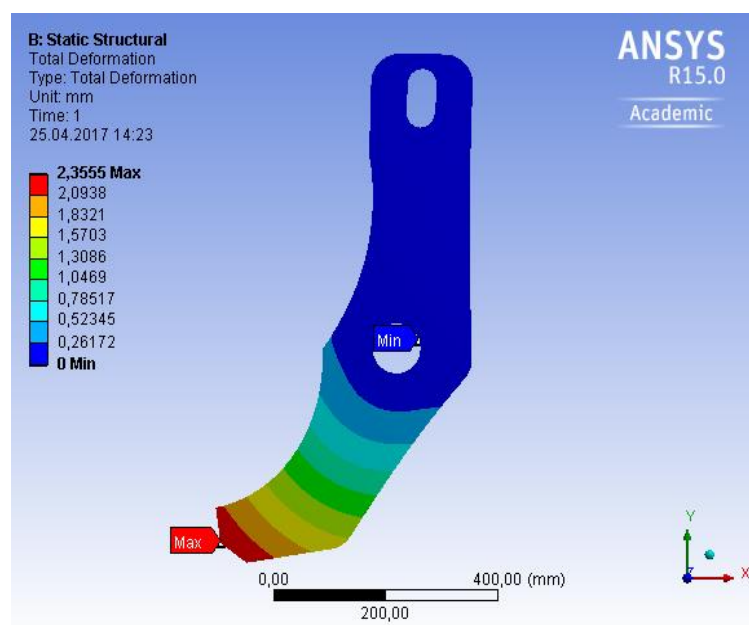
Den største ekvivalente spenningen som opptrer på bjelken er i det kritiske tverrsnittet, som antatt i håndberegningene, i hullet til akslingen (se figur 76). Denne ekvivalente spenningen er på $268,9\text{N/mm}^2$.



Figur 76 Ekvivalent spenning for «bjelke til kleplate» i ANSYS

Total deformasjon på «bjelke til kleplate»

Den totale deformasjonen til bjelken vil være på maksimalt 2,36mm, se figur 77.



Figur 77 Total deformasjon for «bjelke til kleplate» i ANSYS

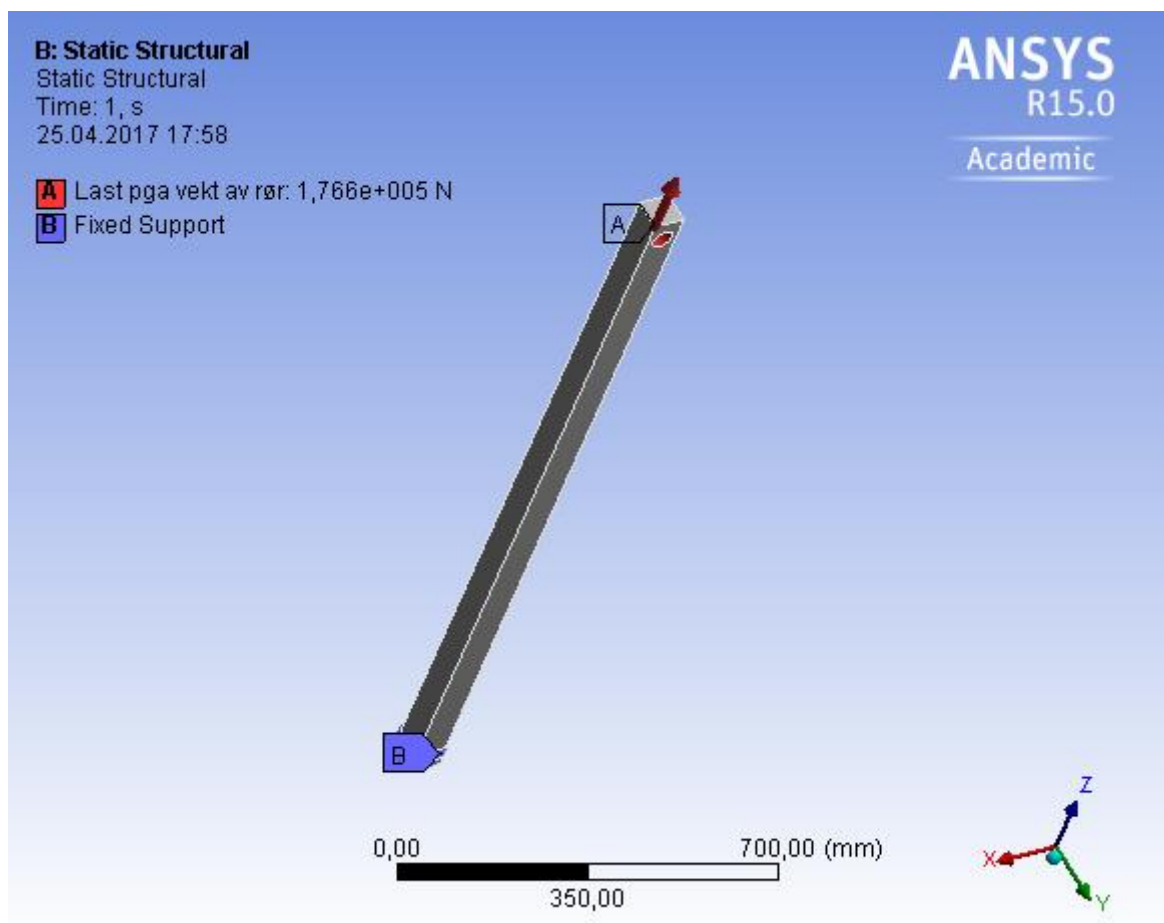
6.1.2 Spenning- og deformasjonsanalyse for «bjelke til Shackle» i ANSYS

Static Structural

I «Static Structural» er det lagt inn en kraft A som tilsvarer halvparten av kraften som trengs for å utføre løftet av den fleksible rørledningen. Kraften A vises som rød pil og virker i hullet langs z-aksen. Denne kraften vil påføre bjelken strekkspenning. Det er også lagt inn et fast innspent opplager B som vises i blå farge, se figur 78.

Kraft A er lagt inn slik (refererer til punk 5.5.5):

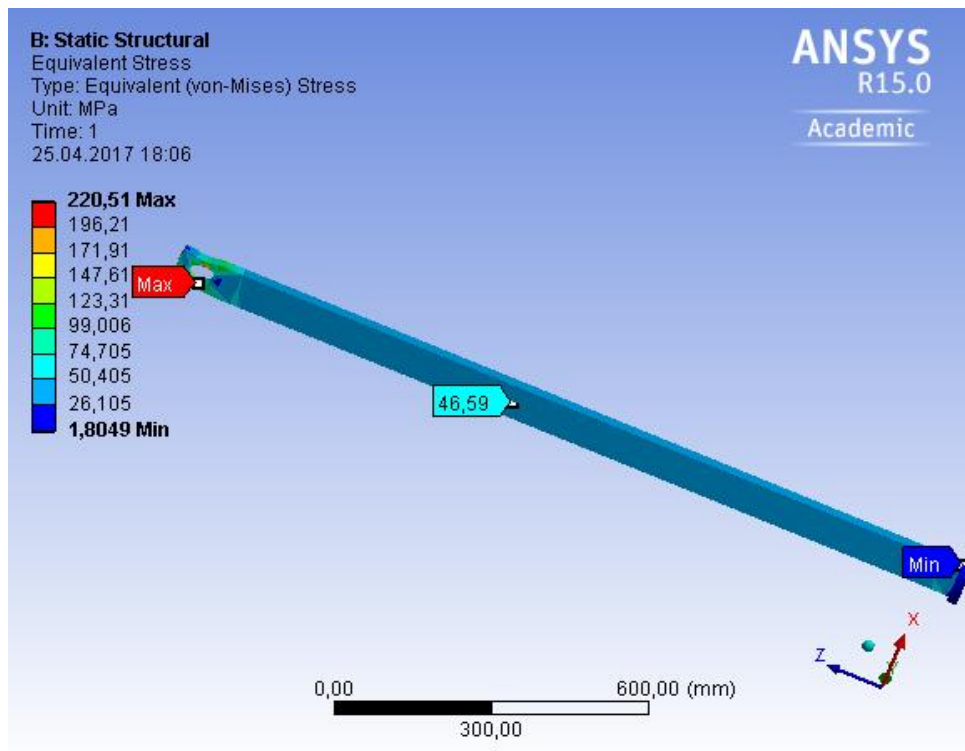
- Z-aksen: 176,6kN



Figur 78 «Static Structura»l for «bjelke til Shackle» i ANSYS

Ekvivalent spenning i «bjelke til Shackle» etter von Mises kriteriet

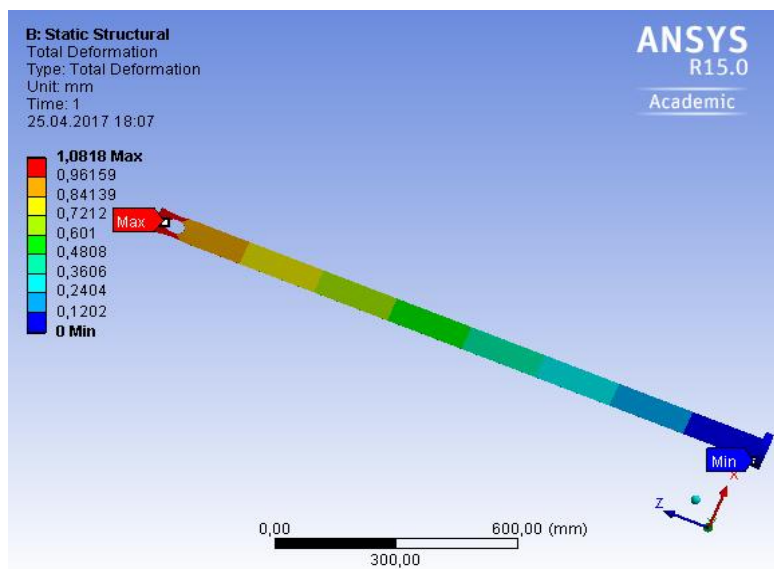
Den største ekvivalente spenningen befinner seg i det kritiske tverrsnittet, som antatt i håndberegningene, er i hullet til bjelken. Denne ekvivalente spenningen er på maksimalt $220,5\text{N/mm}^2$, se figur 79.



Figur 79 Ekvivalent spenning for «bjelke til Shackle» i ANSYS

Total deformasjon på «bjelke til Shackle»

Den totale deformasjonen av bjelken vil være på maksimalt 1,08mm, se figur 80.



Figur 80 Total deformasjon av «bjelke til Shackle» i ANSYS

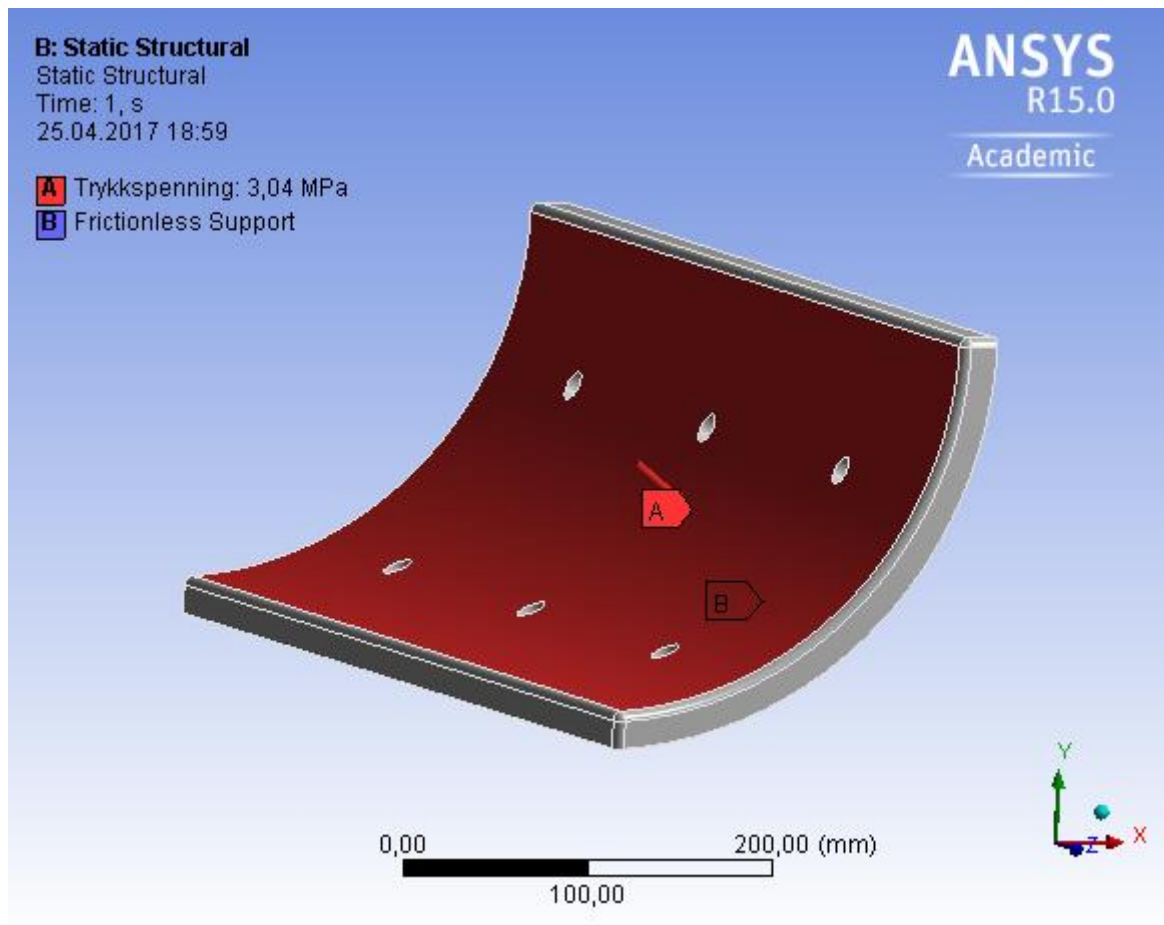
6.1.3 Spenning- og deformasjonsanalyse av «klemlate nede» i ANSYS

Static Structural

I «Static Structural» er det lagt inn en trykkspenning A, som tilsvarer klemkraften R (17). Klemkraften R er omgjort til en trykkspenning. Det er også lagt inn et friksjonsfritt opplager på baksiden av klemlaten, se figur 81.

Trykkspenningen A er lagt inn slik (refererer til punkt 5.5.1):

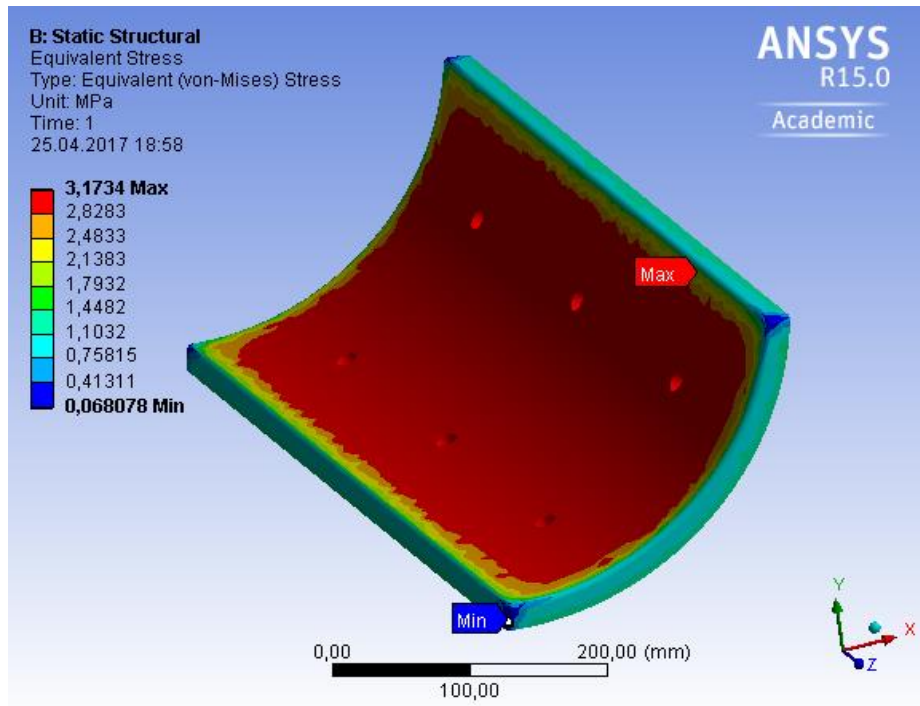
- Trykk normalt på platen: 3,04 N/mm²



Figur 81 «Static Structural» for «klemlate nede» i ANSYS

Ekvivalent spenning i «klempate nede» etter von Mises kriteriet

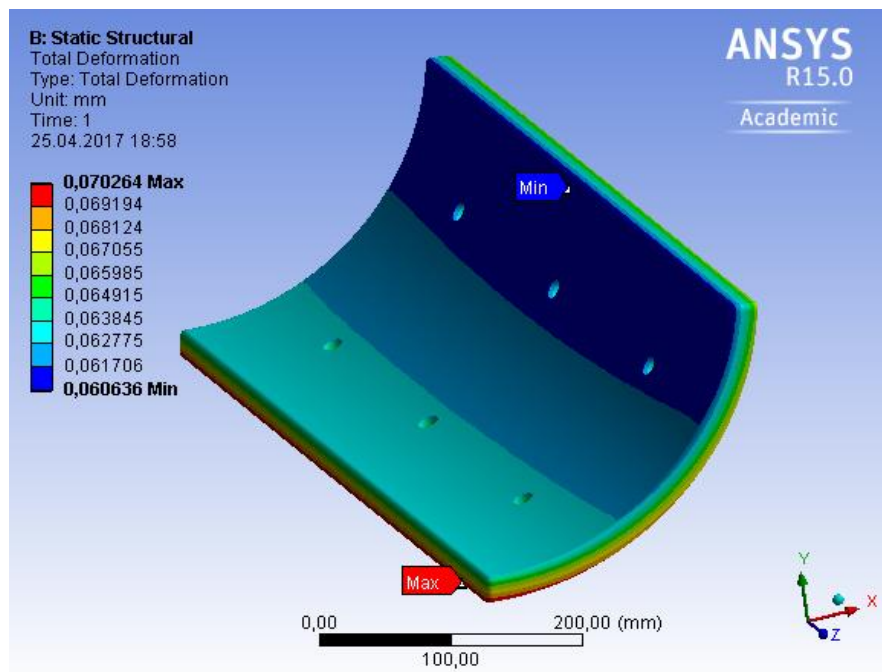
Den største ekvivalente spenningen er på maksimalt $3,17 \text{ N/mm}^2$, se figur 82.



Figur 82 Ekvivalent spenning for «klempate nede» i ANSYS

Total deformasjon av «klempate nede»

Nedenfor vises den totale deformasjonen av klempaten, denne vil være maksimalt $0,07 \text{ mm}$ (se figur 83).



Figur 83 Total deformasjon av «klempate nede» i ANSYS

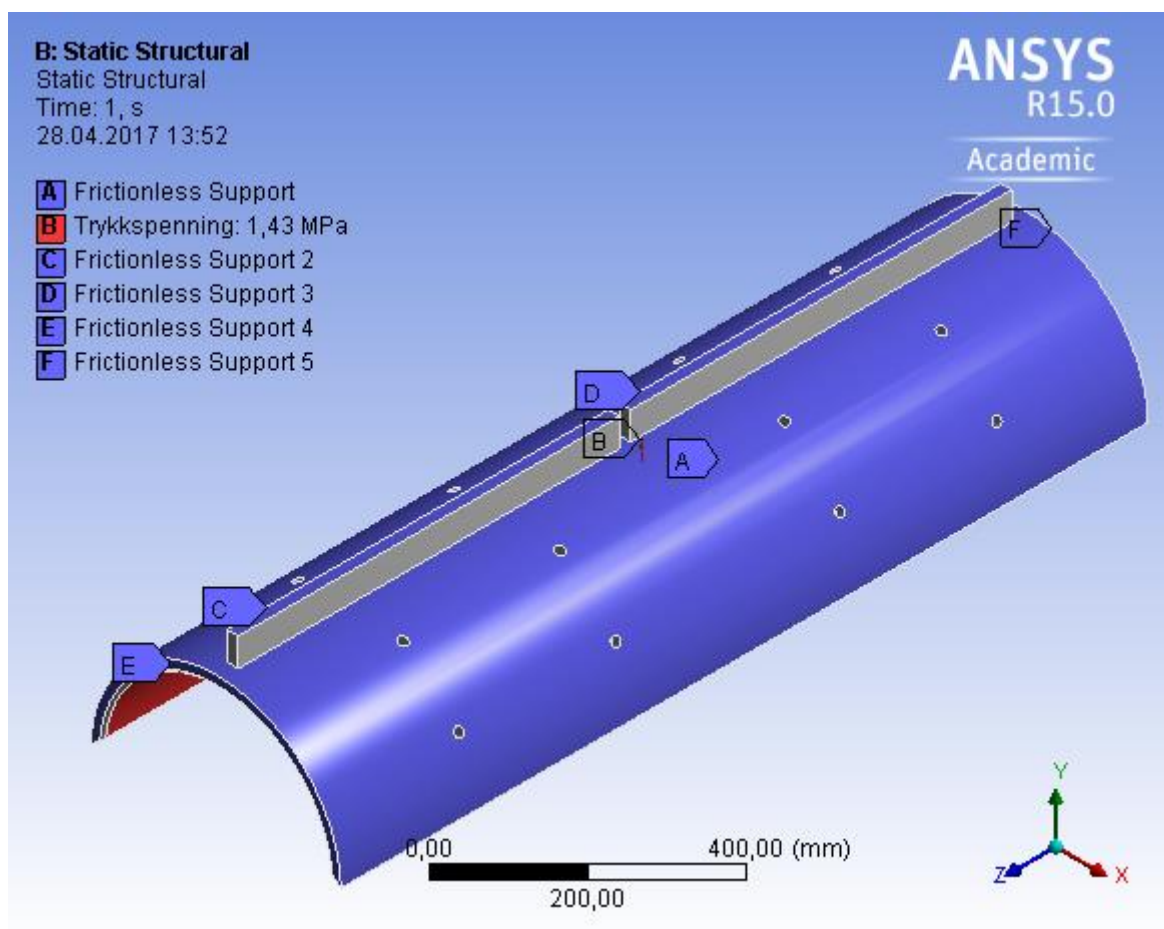
6.1.4 Spenning – og deformasjonsanalyse av «klemlate topp» i ANSYS

Static Structural

I «Static Structural» er det lagt inn en trykkspenning B på grunn av resultantkraften R (17). Siden den øvre klemlaten er symmetrisk over de nedre klemlatene, vil den øvre klemlaten ta opp en kraft tilsvarende 2R. Det er også lagt inn et friksjonsfritt opplager på oversiden A, to friksjonsfrie opplagre på side flatene (E og F) og to friksjonsfrie opplagre på toppen (C og D) av klemlaten (se figur 84).

Trykkspenningen B er lagt inn slik:

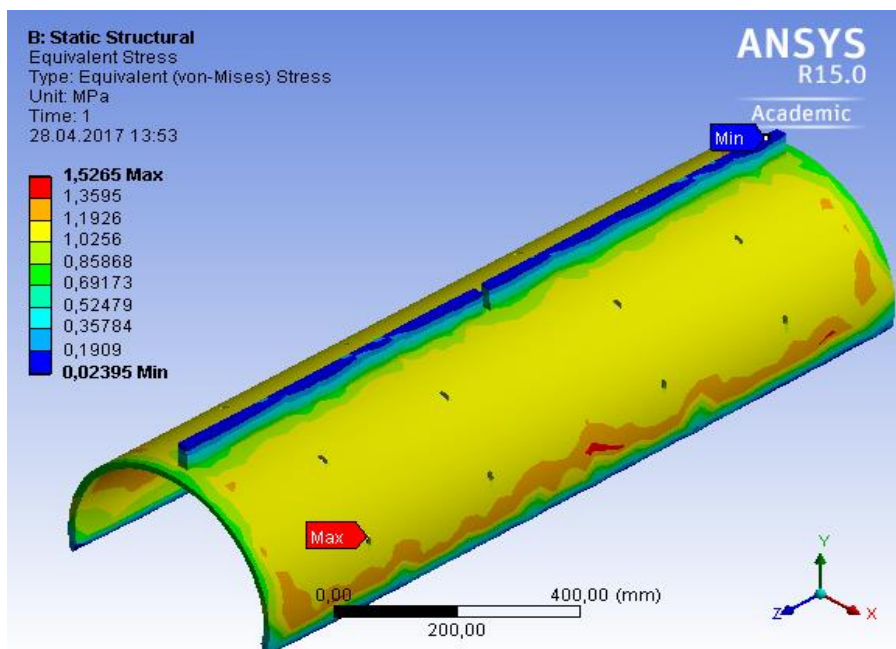
- Trykk normalt på undersiden av klemlaten (refererer til punkt 5.5.1): 1,43 N/mm²



Figur 84 «Static Structural» for «klemlate topp» i ANSYS

Ekvivalent spenning i «klempate topp» etter von Mises kriteriet

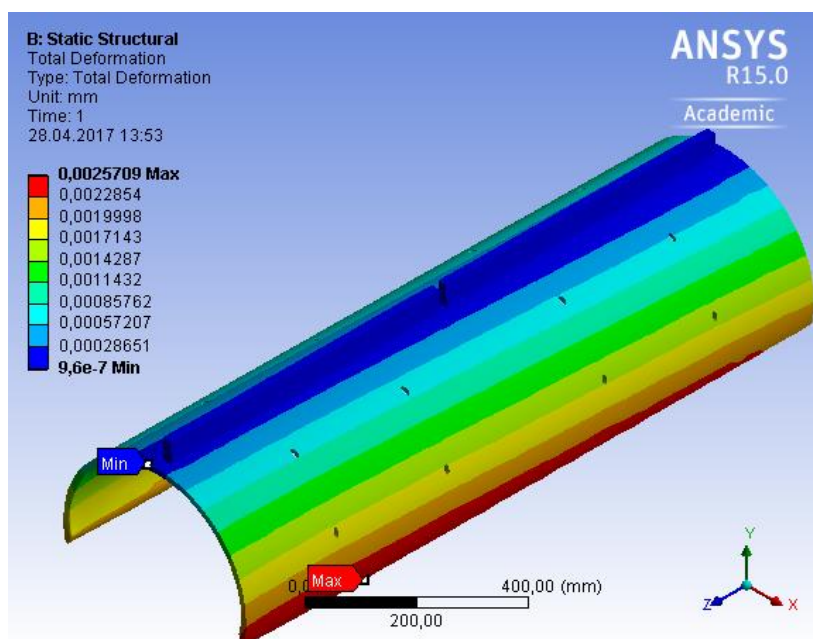
Den største ekvivalente spenningen som oppstår i «klempate topp» er i bolthullene som er til montering av «Spacerne». Denne ekvivalente spenningen er på maksimalt $1,53 \text{ N/mm}^2$, se figur 85.



Figur 85 Ekvivalent spenning for «klempate topp» i ANSYS

Total deformasjon av «klempate topp»

Den totale deformasjonen av klempaten vil være maksimalt 0,0026mm, se figur 86.



Figur 86 Total deformasjon av «klempate topp» i ANSYS

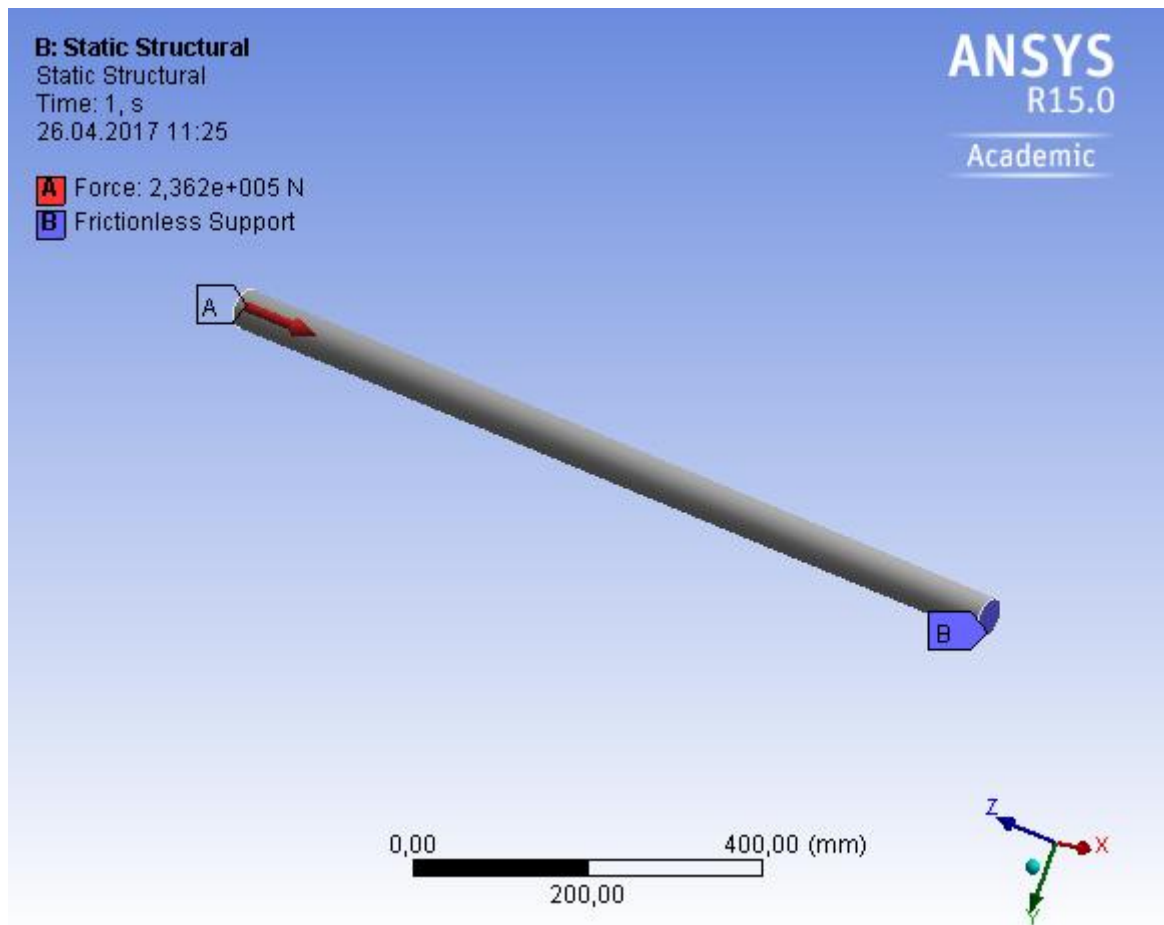
6.1.5 Spenning – og deformasjonsanalyse av strammebolt i ANSYS

Static Structural

I «Static Structural» er det lagt inn en kraft A på grunn av reaksjonskraften R_2 (18). Boltene er forenklet for å kunne analyseres i ANSYS og gjengene er fjernet fra sylindremetnet. Det er også lagt inn et friksjonsfritt opplager B på andre enden av boltene, se figur 87.

Kraften A er lagt inn slik (refererer til punk 5.5.3):

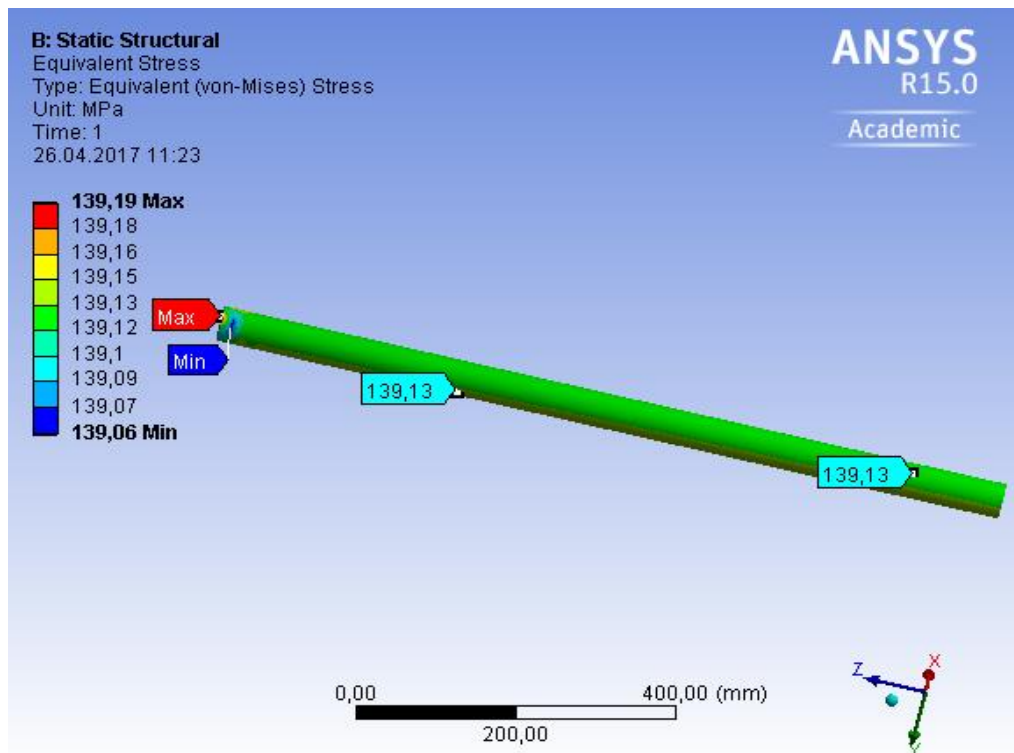
- Z-aksen: -236,2kN



Figur 87 «Static Structural» for strammebolt i ANSYS

Ekvivalent spenning i strammebolten etter von Mises kriteriet

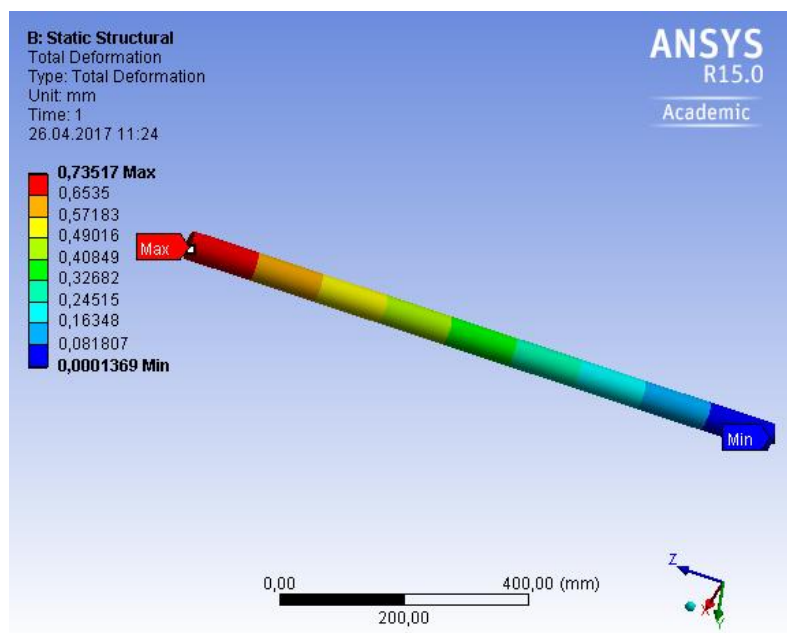
Den største ekvivalente spenningen som opptrer på bolten vil være på maksimalt $139,2 \text{ N/mm}^2$, se figur 88.



Figur 88 Ekvivalent spenning for strammebolt i ANSYS

Total deformasjon av strammebolten

Den totale deformasjonen av strammebolten vil være på maksimalt $0,74 \text{ mm}$, se figur 89.



Figur 89 Total deformasjon av strammebolt i ANSYS

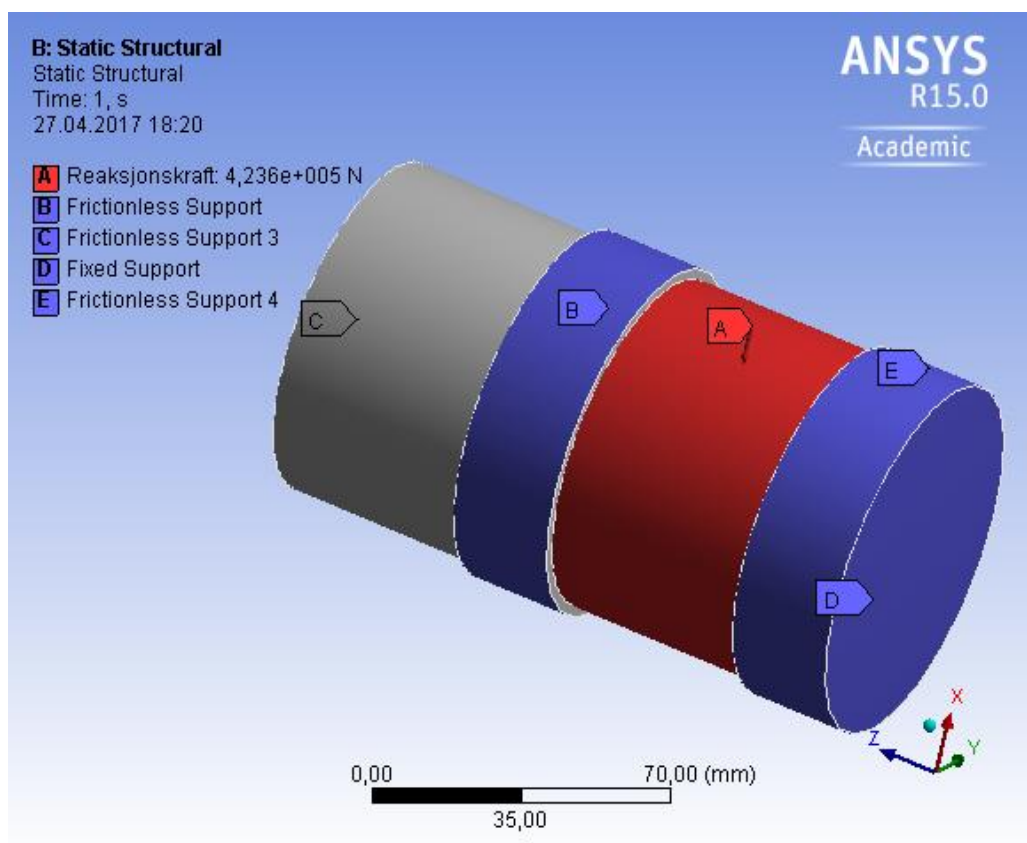
6.1.6 Spenning – og deformasjonsanalyse av aksling i ANSYS

Static Structural

Akslingen er forenklet for analysering i ANSYS. Det er bare sett på en liten del av akslingen, men kraftsituasjonen er den samme (se figur 90). I «Static Structural» er det lagt inn en kraft A som tilsvarer halvparten av reaksjonskraften R_1 (19). Det er også lagt inn tre friksjonsfrie opplagre (B, C og E) og et fast innspent lager D.

Kraft A er lagt inn slik, refererer til punkt 5.5.2:

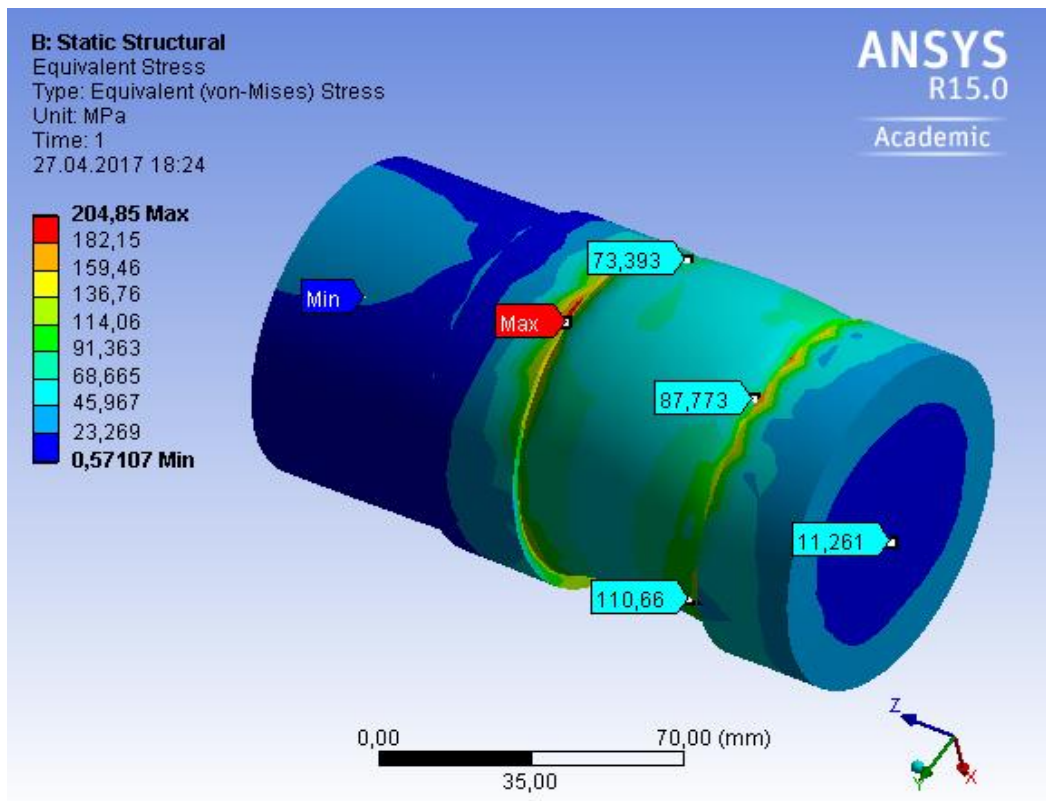
- X-aksen: -423,6kN



Figur 90 «Static Structural» for aksling i ANSYS

Ekvivalent spenning i akslingen etter von Mises kriteriet

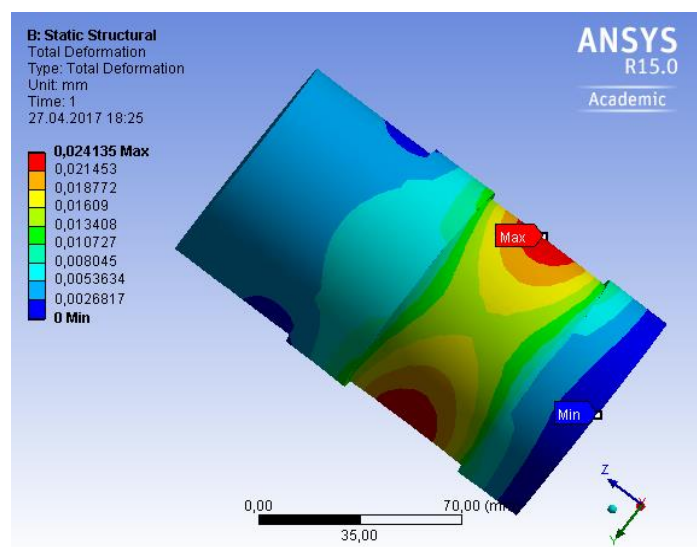
Den største ekvivalente spenningen som opptrer på akslingen vil være på maksimalt $204,9\text{N/mm}^2$, se figur 91.



Figur 91 Ekvivalent spenning for aksling i ANSYS

Total deformasjon av akslingen

Den totale deformasjonen av akslingen vil være på maksimalt $0,024\text{mm}$, se figur 92.



Figur 92 Total deformasjon av aksling i ANSYS

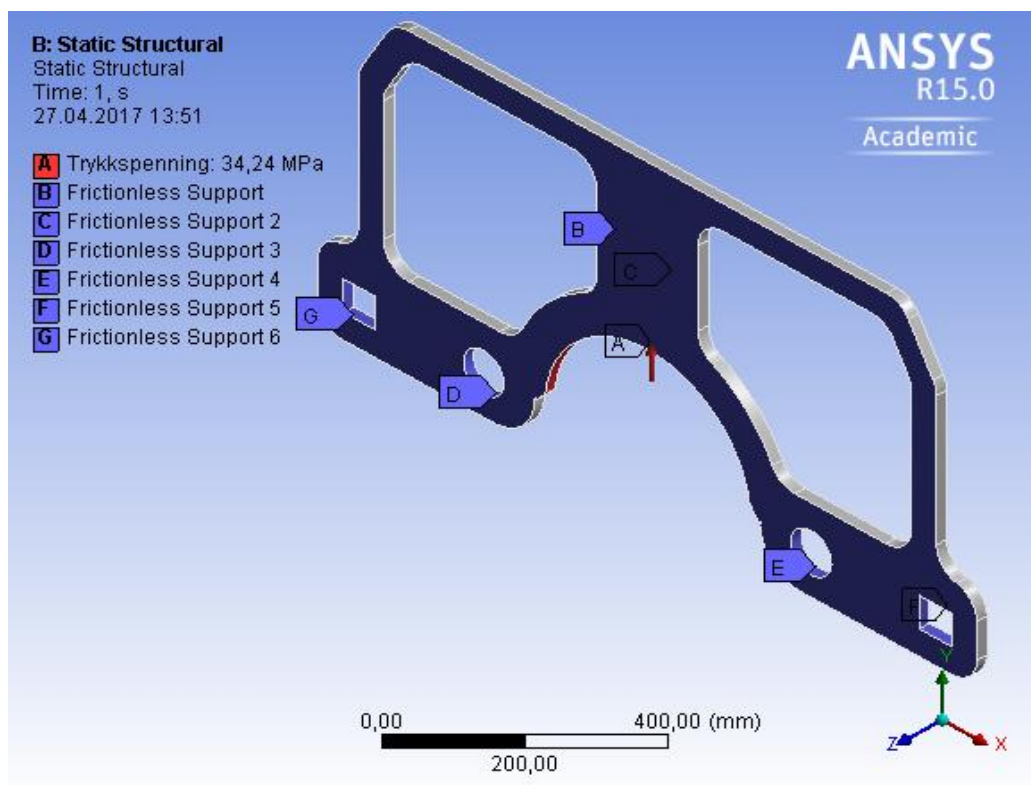
6.1.7 Spenning – og deformasjonsanalyse av «rammeplate» i ANSYS

Static Structural

I «Static Structural» er trykkspenningen A lagt inn og denne tilsvarer to tredjedeler av reaksjonskraften R (17) fordelt over arealet tilsvarende «klempate topp». I den nedre rammebuen er det lagt inn tykkelsen av «klempate topp». Dette er gjort for at kraftsituasjonen skal være realistisk. Det er også lagt inn seks friksjonsfrie opplagre i rammen, se figur 93.

Trykk A er lagt inn slik:

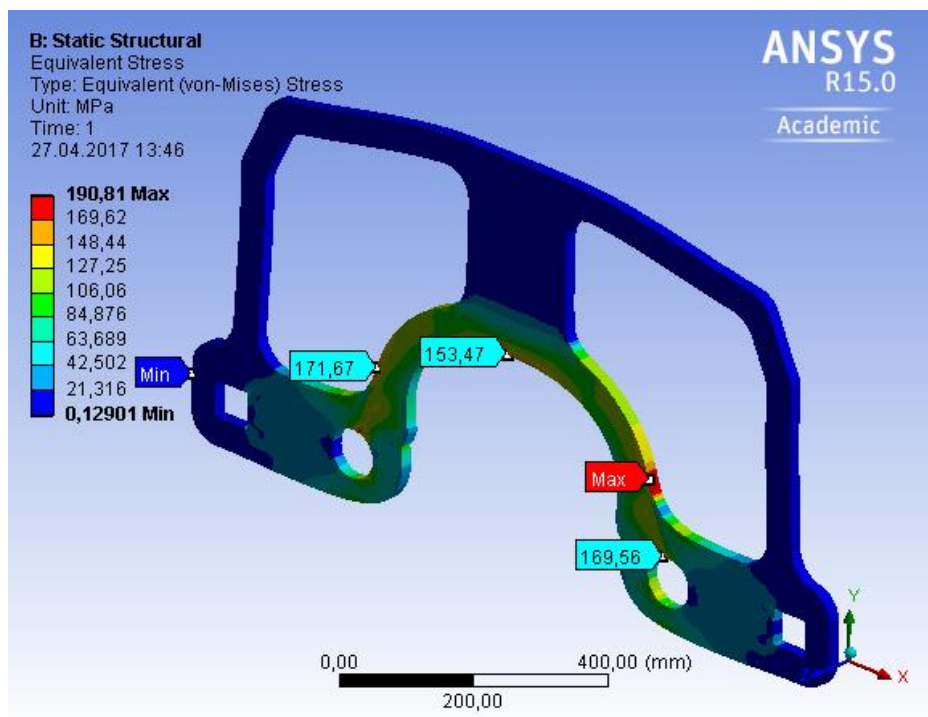
- Trykkspenning normalt på rammebuen (refererer til punkt 5.5.4): $34,24\text{N/mm}^2$



Figur 93 «Static Structural» for rammeplaten i ANSYS

Ekvivalent spenning i rammeplaten etter von Mises kriteriet

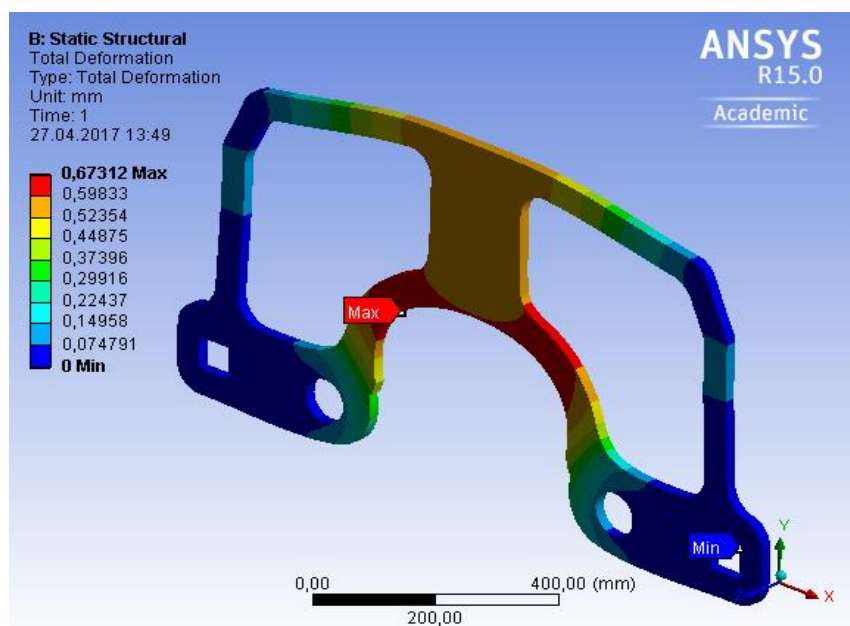
Den største ekvivalente spenningen opptrer, som antatt i håndberegningene, i rammebuen på rammeplaten. Denne er på maksimalt $190,2\text{N/mm}^2$, se figur 94.



Figur 94 Ekvivalent spenning for rammeplaten i ANSYS

Total deformasjon av rammeplaten

Den totale deformasjonen av rammeplaten vil være på maksimalt 0,67mm, se figur 95.



Figur 95 Total deformasjon av rammeplaten i ANSYS

6.2 Sammenligning av håndberegninger og ANSYS-beregninger

Det er forventet at det kan oppstå et avvik mellom håndberegningene og ANSYS-beregningene på $\pm 25\%$. Tabellen nedenfor (se tab.) viser en oversikt over beregnet spenninger for håndberegninger og ANSYS. Det er også regnet ut et avvik for å kontrollere håndberegningene opp imot ANSYS.

Avviket er beregnet etter formelen:

$$\text{Avvik} = \left(1 - \frac{\text{Resultat håndberegning}}{\text{Resultat Ansys}}\right) \cdot 100\%$$

Tabell 12 Sammenligning av hånd- og ANSYS-beregninger

Komponent/klammerdel	Ekvivalent spenning fra håndberegning	Ekvivalent spenning fra ANSYS	Avvik i prosent
Bjelke til kleplate (Klør)	226,8N/mm ²	268,9N/mm ²	15,7%
Kleplate nede (Klør)	3,04N/mm ²	3,17N/mm ²	4,1%
Kleplate topp (Klør)	1,43N/mm ²	1,53N/mm ²	6,54%
Aksling	146N/mm ²	204,9N/mm ²	28,7%
Bjelke til «Shackles»	267,6N/mm ²	220,5N/mm ²	-21,4%
Strammebolt	139,1N/mm ²	139,2N/mm ²	0,07%
Rammeplaten	179,6N/mm ²	190,8N/mm ²	5,87%

6.2.1 Refleksjon mellom håndberegninger og ANSYS-beregninger

I håndberegningene er geometrien og kraftbildet forenklet, noe som skaper variasjon av resultatet i forhold til ANSYS-beregningene. I strukturer med hull, bestemmes kjervfaktorer i ANSYS gjennom «Mesh». ANSYS versjonen som er tilgjengelig er en akademisk versjon med begrensninger, noe som gjør at ANSYS ikke klarer å generere en tilstrekkelig nok «Mesh» på strukturer med kompliserte geometrier. Dette fører igjen til variasjon av spenningsresultat.

FEM-analysen i ANSYS kan gi lokale punkter med små spenningskonsentrasjoner som kan være en del høyere enn det som er forventet fra håndberegningene. Disse kommer av at ANSYS deler opp strukturen i små elementer. Med en «Mesh» generert høyere, ville disse spenningskonsentrasjonene blitt lavere, derfor kan disse neglisjeres.

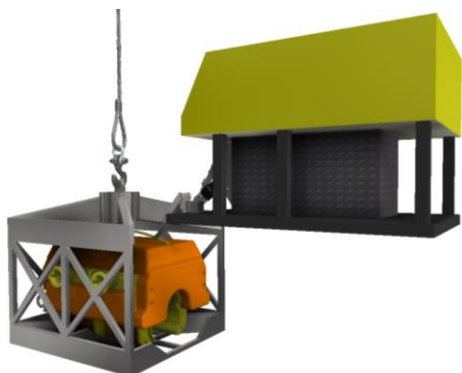
I håndberegningene kan det være spenninger som ikke er tatt i betraktning men som ANSYS har tatt betraktning av. I «Static Structural» bestemmes lager på strukturen. Disse lagrene er satt opp tilnærmet virkelig lagerplassering. ANSYS tar ikke hensyn til at lagrene kan gi litt etter, noe som også skaper høyere spenninger.

7 Bruk av klammer

I dette kapittelet vil det bli vist hvordan klammeret brukes og hvilke rutiner som må gjennomgås både før og etter en operasjon.

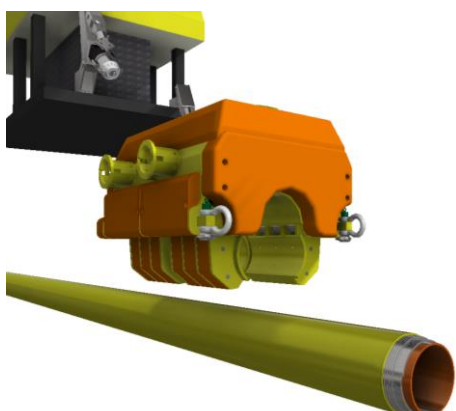
7.1 Prosedyre for bruk av klammer ved undervanns løfteoperasjon

En løfte operasjon ved bruk av klammeret kan foregå slik:



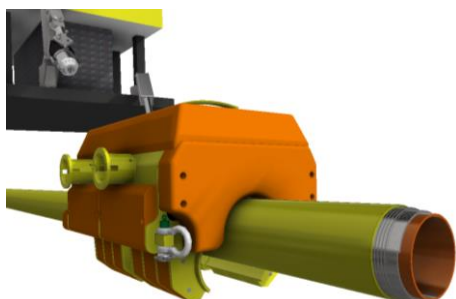
Figur 96 Klammeret i kurven

Klammeret senkes ned til havbunden i en kurv. Den plukkes så opp av en ROV.



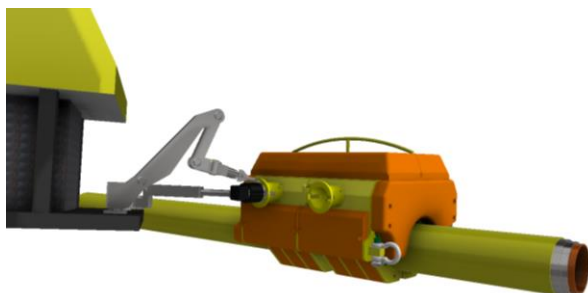
Figur 97 Klammeret i posisjon over røret

Klammeret stilt i posisjon ovenfor røret av ROV'en slik at klammeret er klart for å senkes ned på røret.



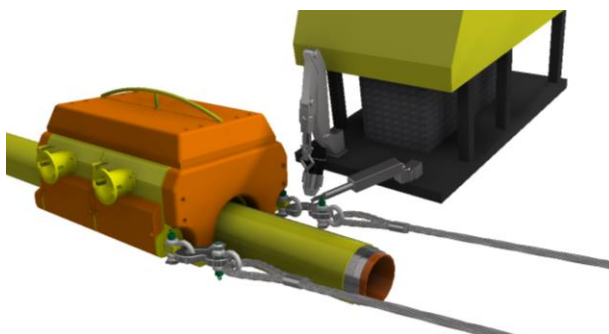
Figur 98 Klammeret plassert ned på røret

Klammeret er ført ned i posisjon på røret, og ROV'en flytter seg til en av «Torque bucket'ene» og posisjonerer «Torque tool'et».



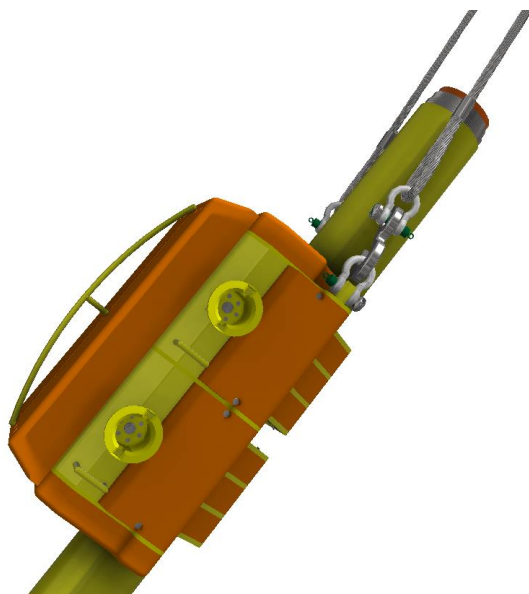
Figur 99 Klammeret lukkes

ROV'en lukker den ene klammerdelen med hjelp av det et ROV-håndterbart «Torque tool». Dette gjøres så for den andre klammerdelen.



Figur 100 Løftewirer kobles til

ROV kobler til «løftewire 'ne» fra overflatefartøy til «Shackle'ene» på klammeret



Figur 101 Klammeret med røret trekkes opp

Opphenting kan begynne. Rørets vinkel vil endres under opphenting helt til det nås en helt vertikal stilling, som vil holdes helt til røret er nådd overflatefartøyet

7.2 Vedlikehold av klammer

For at klammerets funksjon og pålitelighet skal kunne opprettholdes til enhver tid, så er det nødvendig å ha et godt vedlikeholdssystem på klammeret. Dette kan oppnås ved å ha sjekklister som blir utført av personell før og etter den har vært i operasjonell bruk, slik at klammeret alltid er i en pålitelig stand til å utføre løfteoperasjoner. En sjekkliste før operasjonell bruk vil bestå av en visuell inspeksjon av klammer, funksjonstest av åpne/lukke mekanisme, smøring av lager og gjenger og påse at alle bolter og festemidler er tilstrekkelig tiltrukket. En sjekkliste etter operasjonell bruk vil være å ta av avstandsplater og ytre oppdriftselementkappe for å så rengjøre hele klammeret og spyle med ferskvann for å hindre korrosjonsdanning, visuell sjekk og smøring av lager og gjenger. Se Vedlegg I, for sjekklister før og etter operasjonell bruk av klammeret.

8 Avsluttende diskusjon

Gruppen mener at de har i denne oppgaven konstruert et klammer som tilfredstiller kravene IK Norway definerte. Klammeret har innen gode rammer kapasitet til å løfte det som ble spesifisert uten å gjøre skade på den fleksible rørledningen under løfteoperasjon. Klammeret er mekanisk og kan opereres fra begge sider, noe som reduserer risiko for funksjonssvikt og gjør det til et pålitelig produkt. Om det hadde blitt benyttet hydraulisk styrt lukkesystem, ville det fortsatt vært ideelt å ha en mekanisk lukkemekanisme. Derfor mener gruppen at det ikke er nødvendig med hydraulisk lukkesystem.

Klammeret vil og kunne håndtere konvensjonelle stive stålrør med samme dimensjoner som klammeret er konstruert for. Dette er på grunn av den høye klemkraften det kan fås ut av klammeret. Dette gir et større marked for operasjoner som klammeret kan utføre.

Det er god utnyttelse og plassering av oppdriftselement, slik at en ROV kan fullt bevege klammeret rundt uten problem under vann. Dette er på grunn av den lave tyngden klammeret har i vann med oppdriftselement og et tilnærmet sentrert tyngdepunkt som gjør at den vil bli meget håndterbar under vann for en ROV.

Siden det er to strammebolter til to separate klemlater, vil det ikke være nødvendig med forspenning av hver bolt. Dette vil spare tid under montering av klammer til rørledning siden hver bolt kan tiltrekkes tilstrekkelig individuelt.

Vurdert opp imot eksisterende løsninger vil det utviklede klammeret være mer anvendelig i løfteoperasjoner der det skal løftes fleksible rørledninger av forskjellige dimensjoner. Det vil være mer økonomisk å bruke et klammer med forskjellige avstandsplater fremfor å medbringe flere klammere.

Det anbefales å bruke to ROV'er under montering av klammeret til rørledningen, eksempelvis en arbeids-ROV og en observasjons-ROV. Dette slik at en arbeids-ROV tar seg av montering av klammeret, mens en observasjons-ROV påser at klammeret er i rett posisjon og at monteringen foregår på riktig måte uten å skade rør eller utstyr.

Det må ta hensyn til at klammeret har noe høy tyngde i luft, som kan gjøre det komplisert å forflytte den rundt på dekket til overflatefartøyet.

Det har blitt anbefalt å frakte klammer med bruk av kran fra overflatefartøy ned til havbunn i en kurv, der en arbeids-ROV henter klammer ut fra kurven og begynner prosessen med montering av klammeret på det fleksible røret.

Når klammeret skal brukes, må det merkes at det må være full tilgjengelighet rundt røret for at klammeret skal få låst seg. Dette gir ekstra forarbeid med å grave ut røret eller løfte det opp tilstrekkelig nok slik at klammeret kan låses rundt hele røret.

Siden klammeret har en del oppdriftselementer for å ha en lav tyngde i vann, kan vedlikehold av klammeret bli tidskrevende. Dette med tanke på at oppdriftselementer må tas av for å komme til for eksempel strammebolt og lagre som trenger jevnlig rensing og smøring.

9 Konklusjon

Det finnes i dag flere klammer for opptak av fleksible rørledninger som skal gjenbrukes. Men det er mangel på klammere som kan håndtere flere rørdimensjoner, og som er fullt ROV operert.

Det ble gjort et forsøk på å løse problemstillingen med å skissere opp alternative løsninger. Løsningene ble vurdert etter kravspesifikasjonene, der krav som klemkraft ble vektlagt mer enn andre. Ut i fra dette ble en løsning for videreutvikling valgt.

I videreutvikling av valgt løsning ble klammeret dimensjonert etter klemkraft for å kunne holde fast røret, samt at klemkapasiteten til røret ikke ble overskredet. Videre ble klammerets kritiske deler foretatt styrkeberegninger på, som ble kontrollert opp mot resultatene fra et styrkeberegningsprogram. Det ble også fikset praktiske problemer som dukket opp underveis i design fasen av klammeret.

Klammerets vekt i vann er blitt holdt under ROV'ens løftekapasitet ved hjelp av oppdriftselementer, bruk av aluminium og reduksjon av unødvendig material. Klammeret er designet med mulighet for å montere på avstandsplater for å kunne håndtere mindre rørdimensjoner.

Ut i fra resultatene av styrkeberegningene for hånd og styrkeberegningsprogrammet er resultatene av spenningene lavere enn tillatt spenning. Noe som tilsier at konstruksjonen er tilstrekkelig dimensjonert.

Gruppen mener at klammeret anses som mulig å realisere og produsere, men kan med fordel undersøkes og testes videre.

Gjennom denne oppgaven har gruppen fått god erfaring innenfor metodisk arbeid, undervanns løfteoperasjoner, konstruksjonsmetodikk, styrkeberegninger og arbeid med standarder. Gruppen har fått god utnyttelse av fagene materiallære, fasthetslære, undervannsteknologi og maskinkonstruksjon. Oppnådd kunnskap gjennom disse fagene har vært meget relevant for denne type problemstilling, og har gjort at denne oppgaven har vært meget passende og aktuell for gruppen.

Kontaktliste

Navn	Firma	Telefon	Mail	Web
Christian Knutsen	IK Norway AS	+47 51443204	Christian.Knutsen@ik-worldwide.com	www.ik-worldwide.com
Bozidar Sevic	IK Norway AS	+47 51443200	Bozidar.Sevic@ik-worldwide.com	www.ik-worldwide.com
Damir Hren	NOV	+45 43483000	Damir.Hren@nov.com	www.nov.com/flexibles
Kjell Eivind Helgesen	HVL	-	KjellEivind.Helgesen@hsh.no	-

Referanser

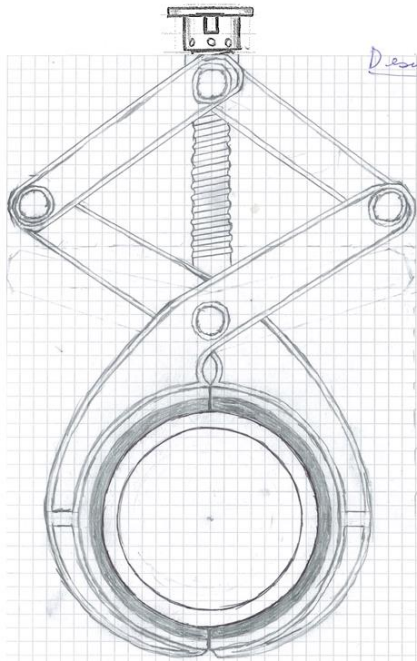
- [1] Offshore pipelines (Boyun Guo, Gulf professional publishing, 2014)
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/hogskbergen-ebooks/reader.action?docID=1323703>
- [2] <http://ik-worldwide.com/who-we-are/ik-group/about/>
- [3] <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>
- [4] <http://www.ansys.com/About-ANSYS>
- [5] <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>
- [6] NS-EN ISO 13628-11:2008 Petroleums- og naturgassindustri konstruksjon og drift av undervannsproduksjonssystem Del 11: Fleksible rørsystem for undervanns og marine bruk.
- [7] http://www.nov.com/Segments/Completion_and_Production_Solutions/Subsea_Production_Systems/Flexible_Pipe_Systems/Designing_Flexible_Pipes/Materials_and_Profiles/Materials_and_Profiles.aspx
- [8] <https://www.royalihc.com/en/products/offshore/pipelay/reel-lay-vessels>
- [9] Failure modes, inspection, testing and monitoring, SEAFLEX, Chapter 3.1
http://www.ptil.no/getfile.php/135780/PDF/P5996RPT01REV02cSeaflex_JanMuren.pdf
- [10] Undervannsteknologi kompendium (Jens Christian Lindaas, 2013)
- [11] <https://allseas.com/equipment/subsea-equipment/>
- [12] http://www.vanbeest.nl/VanBeest/media/VanBeest/products/Brochures/GP_ROV_EN.pdf
- [13] <http://www.theonltd.com/news/subsea-pipeline-inspection-repair-and-maintenance/>
- [14] <http://www.drillingformulas.com/pipe-line-s-lay-method/>
- [15] <http://www.drillingformulas.com/j-lay-pipeline-installation/>
- [16] <http://www.tomarine.com/images/Reel-Lay-01.png>
- [17] S. E. Pedersen, J. Gustavsen, S. Kaasa og O. Olsen. 7. Utgave (2008). *Teknisk formelsamling med tabeller*, Oslo: Universitetsforlaget.
- [18] A. Lund. 2. Utgave (1999). *Mekanikk og fasthetslære*, Bergen: Fagbokforlaget. Side.167
- [19] F. Igrens. 7. Utgave (2005). *Statikk*, Trondheim: Tapir Akademisk Forlag. Side.93
- [20] A. Lund. 2. Utgave (1999). *Mekanikk og fasthetslære*, Bergen: Fagbokforlaget. Side.169
- [21] NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008
- [22] <http://www.ring-plug-thread-gages.com/PDChart/Metric-Buttress-thread-data.html>
- [23] Maskinkonstruksjon 1 – Teknisk Vedlegg
- [24] <http://www.oceaneering.com/tooling/rov-torque-tools/torque-tool-class-1-4/>
- [25] Norwegian Offshore Rental, Torque tool class 1-4 (API 17D)
<http://offshorerental.no/product/torque-tool-class-1-4-api-17d/>
- [26] A. Lund. 2. Utgave (1999). *Mekanikk og fasthetslære*, Bergen: Fagbokforlaget. Side.174
- [27] <http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br/EGF..-E40-B?#EGF..-E40-B>
- [28] <http://www.schaeffler.no/content.schaeffler.no/no/index.jsp>
- [29] <http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br/EGB..-E40-B?#EGB..-E40-B>
- [30] D. R. Askeland, P. P. Fulay, W. J. Wright. Sixth Edition, SI. *The Science and Engineering of Materials*. Siste side.
- [31] S. Kalpakjian, R. S. Schmid. 7th ed. Singapore: Pearson Education.
- [32] Diab group, "Syntactic foams"
<http://www.diabgroup.com/en-GB/Products-and-services/Core-Material/Syntactic-Foams>

Vedleggs liste

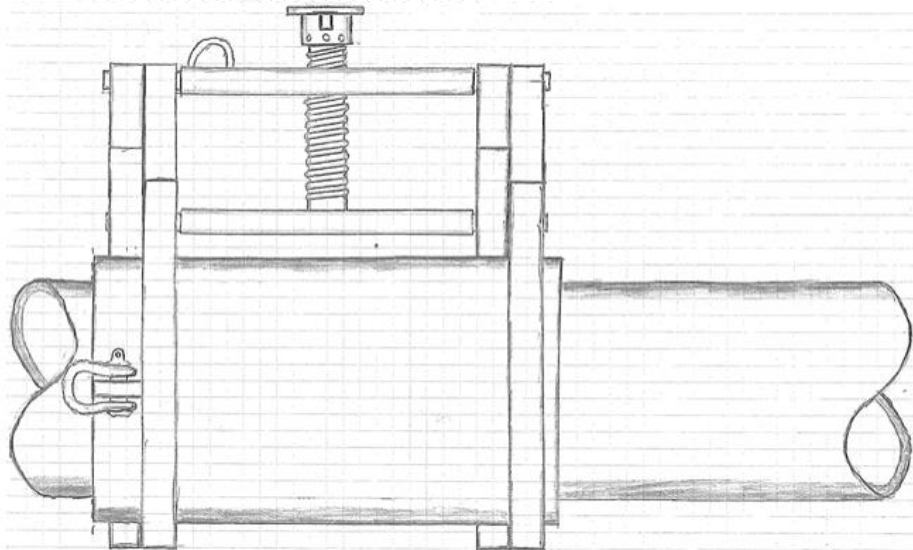
Vedlegg	Type vedlegg	Side
Vedlegg A	Løsningskatalog	I
Vedlegg B	Tekniske tegninger	X
Vedlegg C	Deler som skal bestilles	XI
Vedlegg D	Masse og volum	XII
Vedlegg E	Van Beest-Green Pin Shackles	XV
Vedlegg F	Dataark materialer	XVI
Vedlegg G	ROV Torque tool	XX
Vedlegg H	ROV data	XXI
Vedlegg I	Sjekklistor	XXIII
Vedlegg J	Spesifikasjon for fleksible rør	XXV
Vedlegg K	Kjervfaktor	XXVI
Vedlegg L	Dataark for oppdriftselementer	XXVII

Vedlegg A: Løsningskatalog

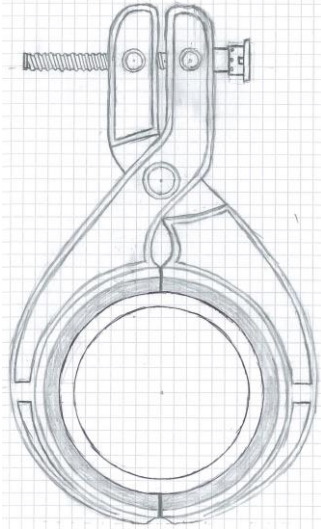
Løsning 1



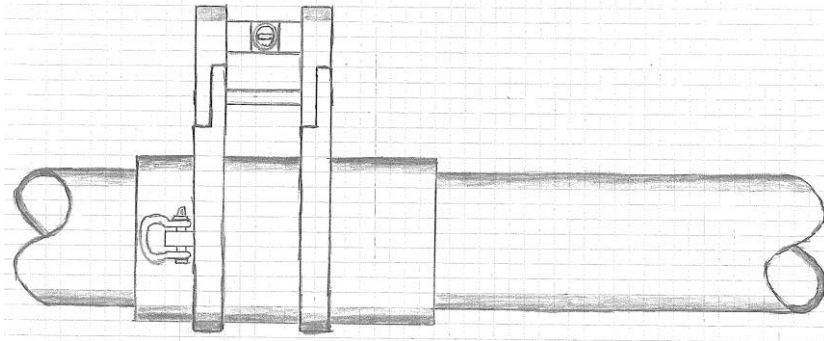
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



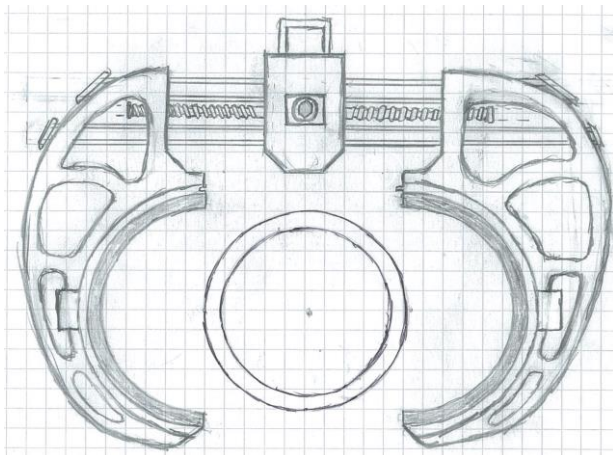
Løsning 2



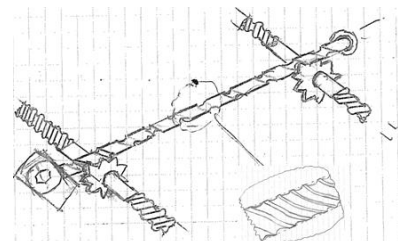
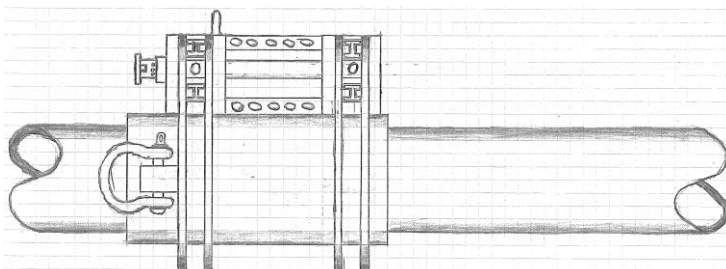
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



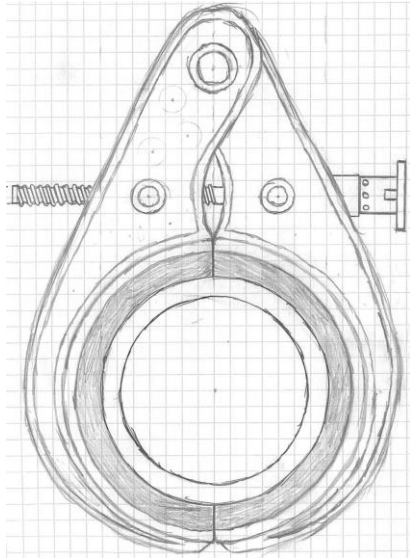
Løsning 3



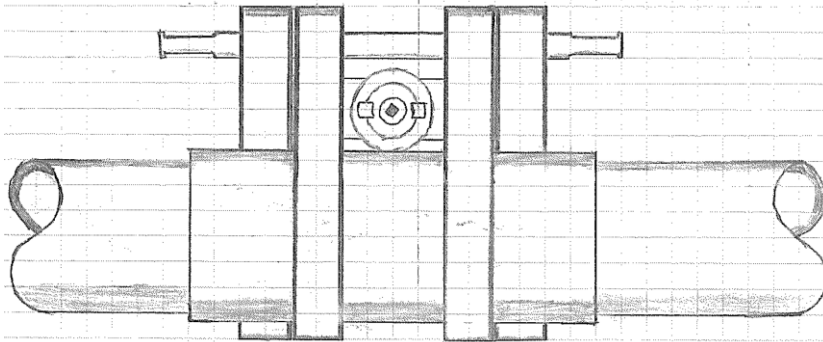
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



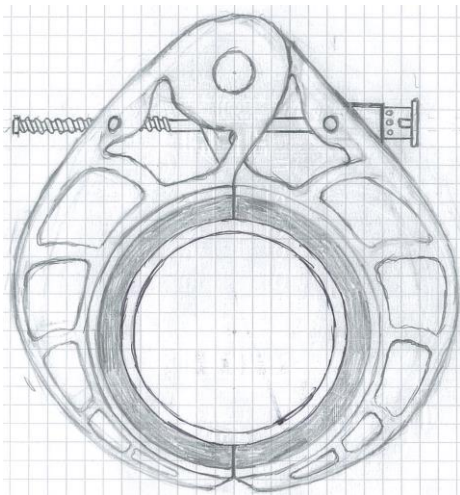
Løsning 4



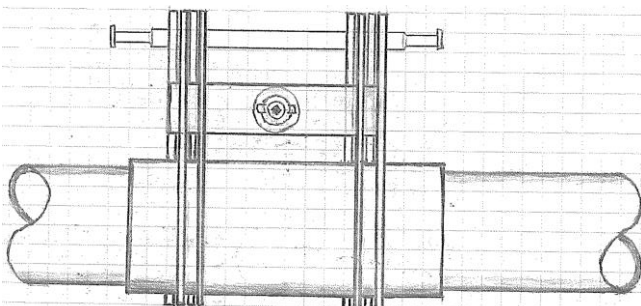
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



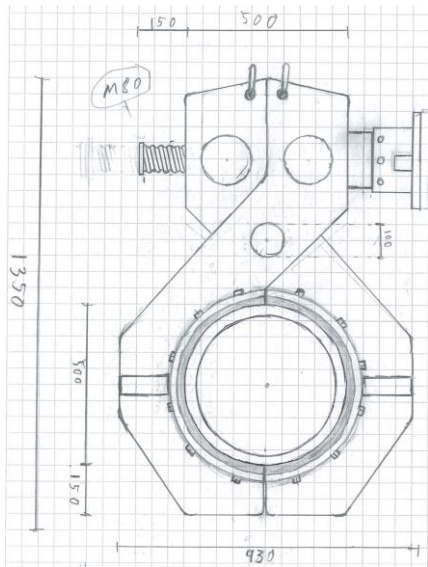
Løsning 5



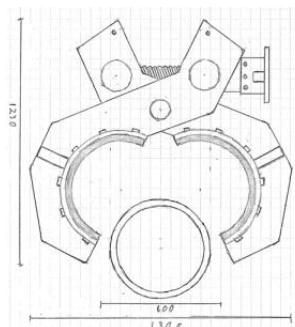
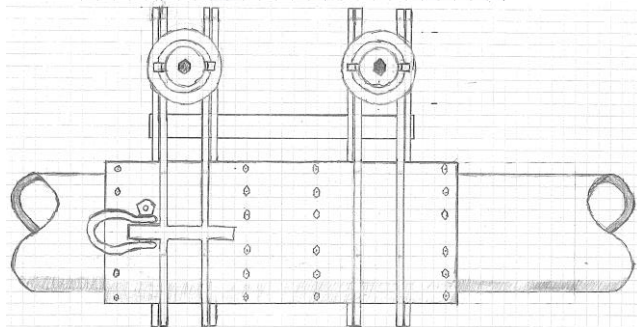
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



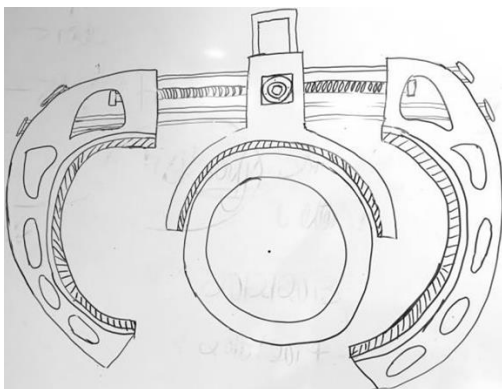
Løsning 6



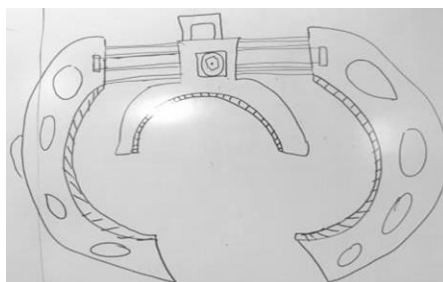
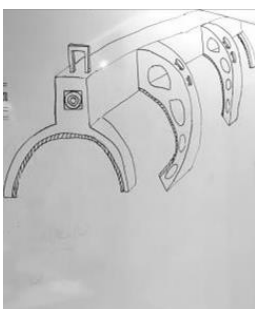
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



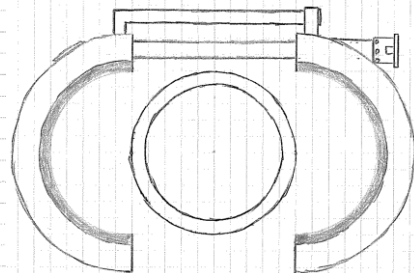
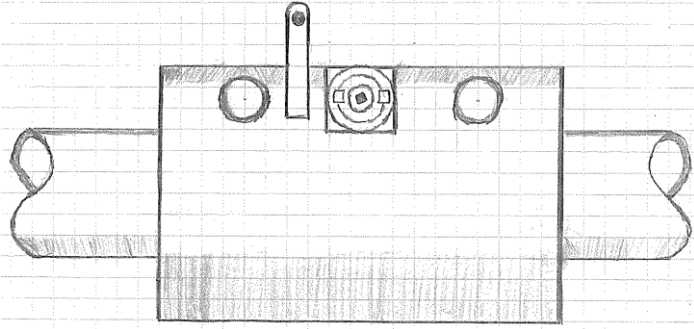
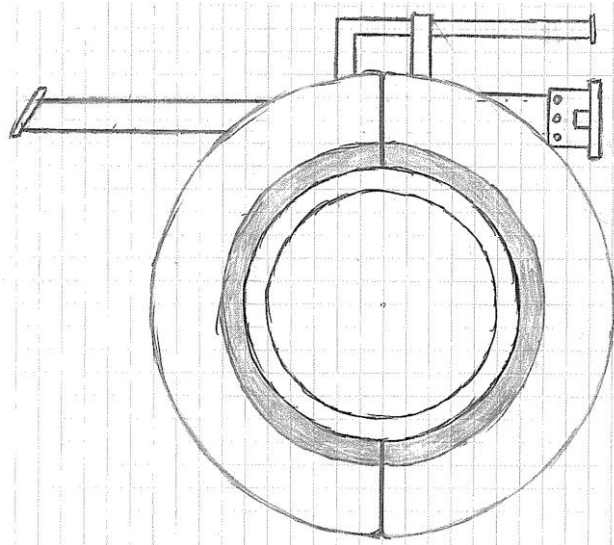
Løsning 7



Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	

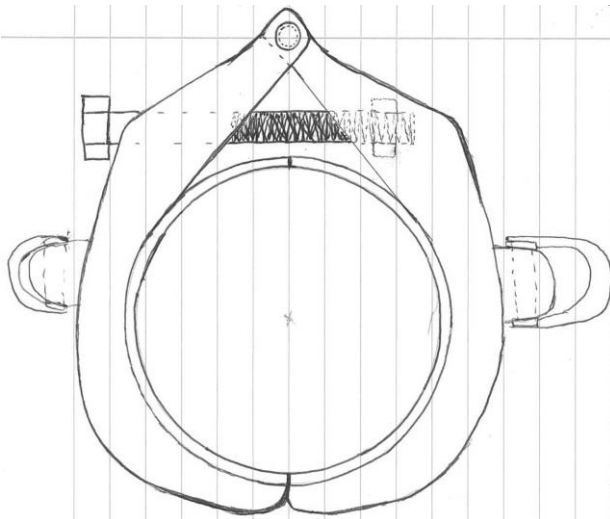


Løsning 8



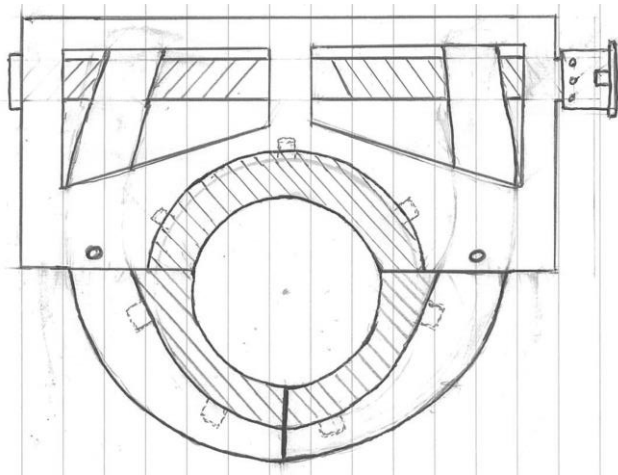
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	

Løsning 9

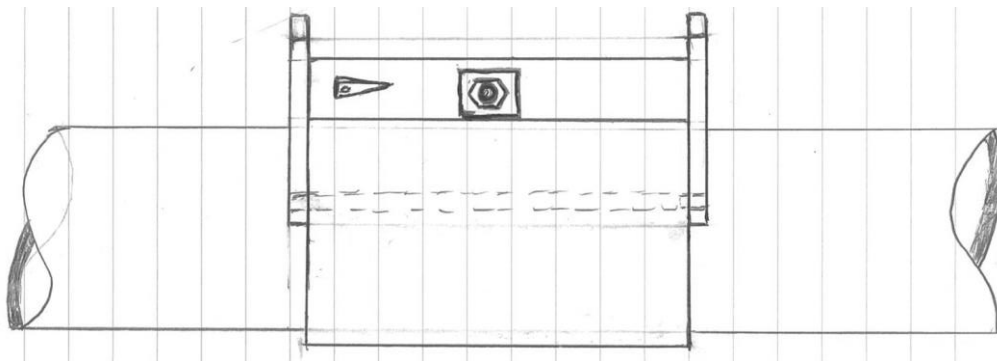


Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	

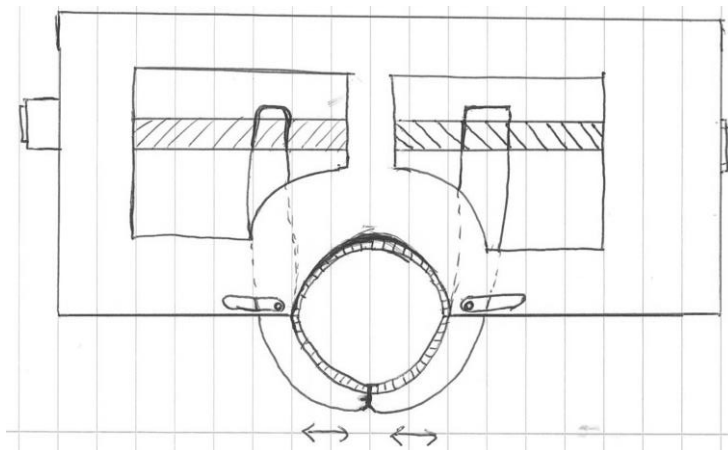
Løsning 10



Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	

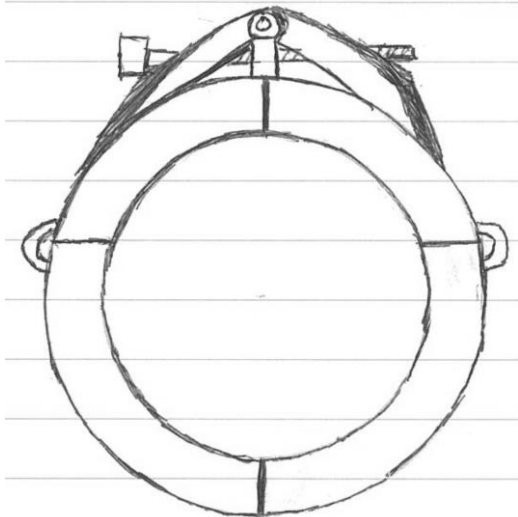


Løsning 11

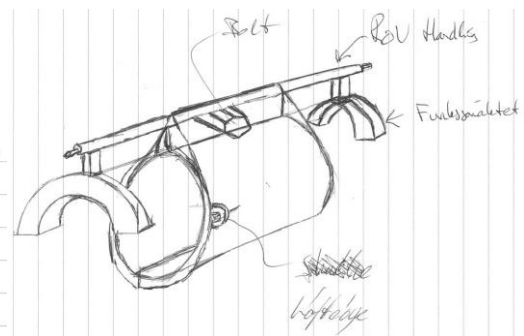
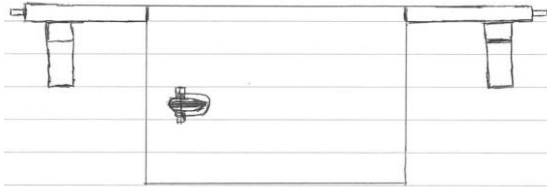


Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	

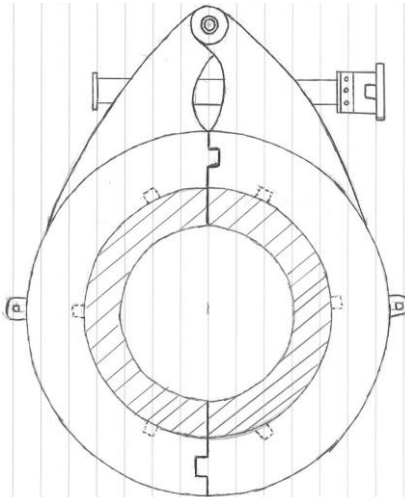
Løsning 12



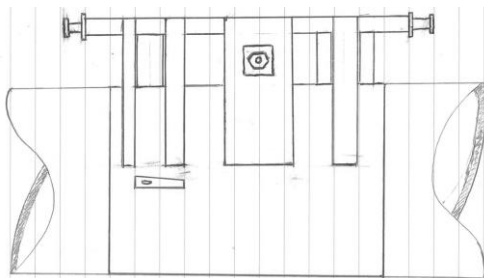
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



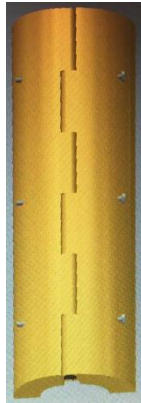
Løsning 13



Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



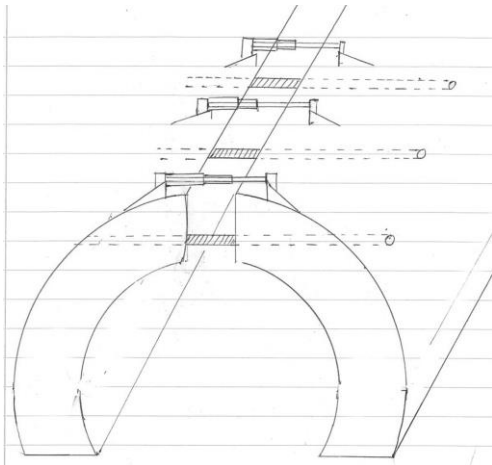
Løsning 14



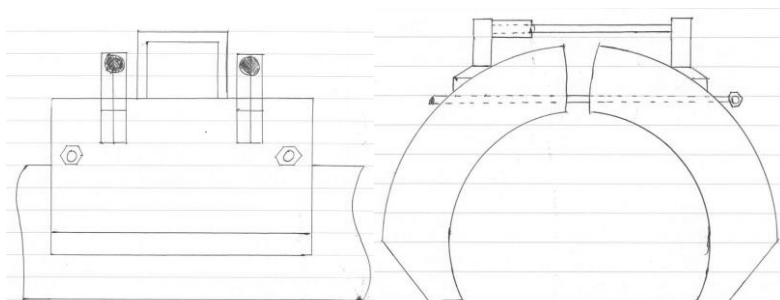
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



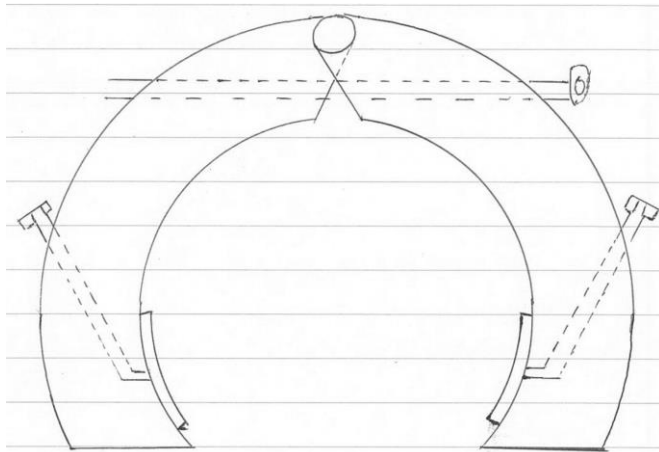
Løsning 15



Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	



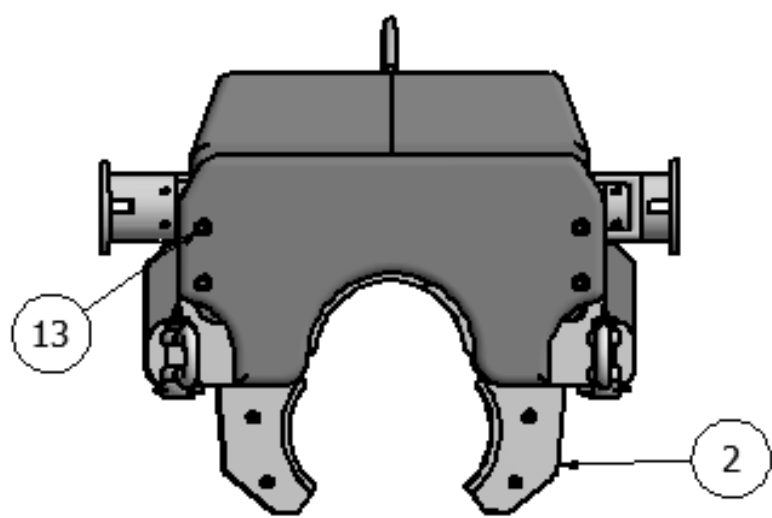
Løsning 16



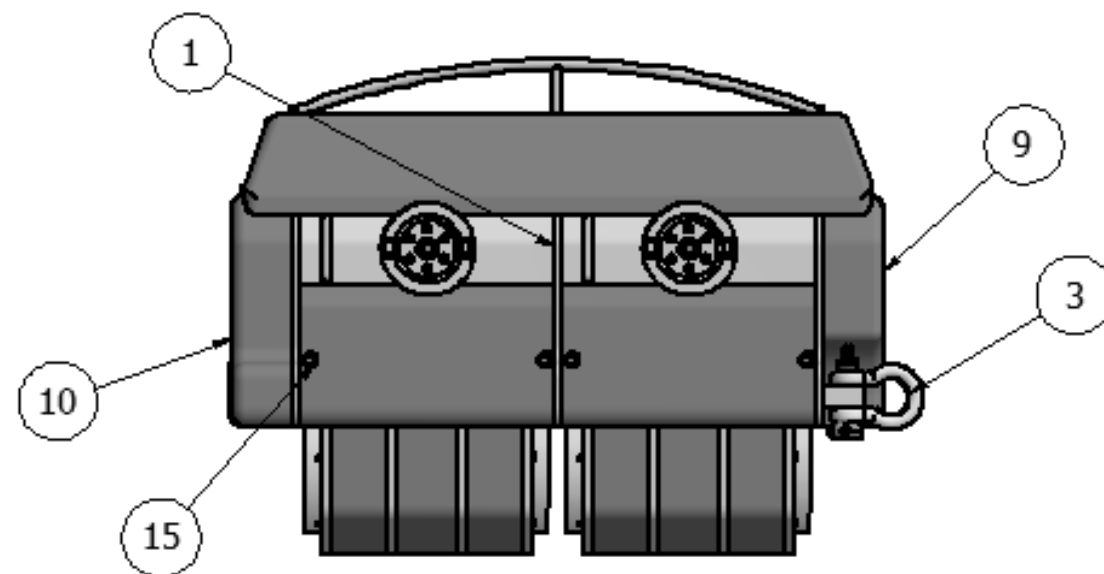
Enkelhet	
Pris	
Størrelse	
Klemkraft	
Funksjon	
Håndterbart	
Nytenkende	
Helhets inntrykk	

Vedlegg B: Tekniske tegninger

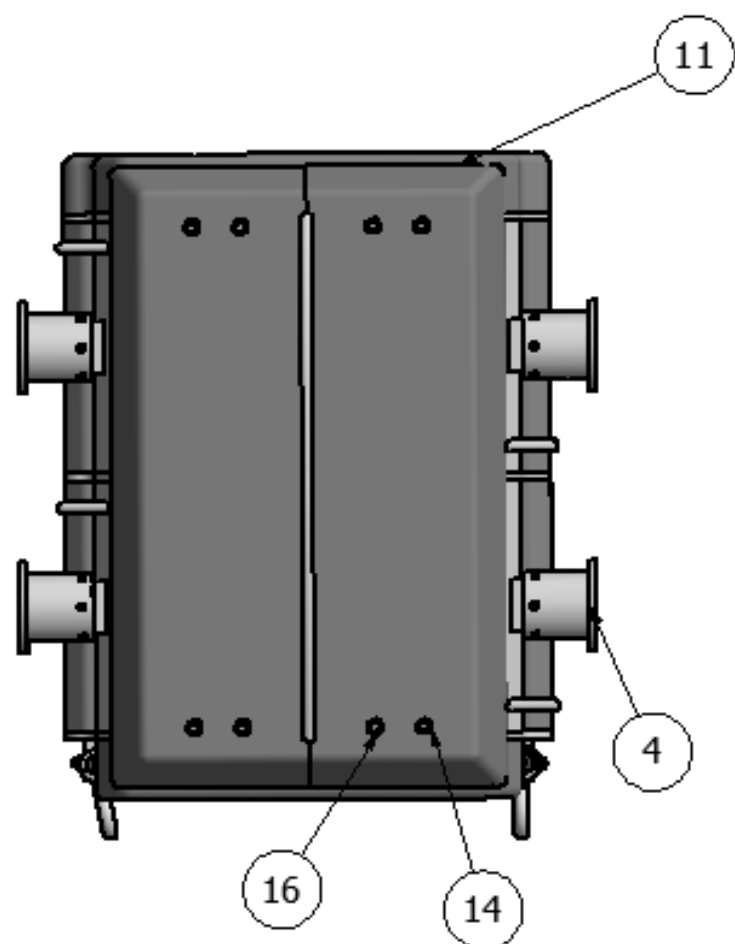
Tegnings navn	Tegnings Nr.
Klammer, Sheet 1/3	01
Klammer, Sheet 2/3	02
Klammer, Sheet 3/3	03
Ramme, Sheet 1/2	04
Ramme, Sheet 2/2	05
Klo, Sheet 1/2	06
Klo, Sheet 2/2	07
Avstandsplate 12", Sheet 1/2	08
Avstandsplate 12", Sheet 2/2	09
Avstandsplate 8", Sheet 1/2	10
Avstandsplate 8", Sheet 2/2	11
Bjelke til kleplate	12
Kleplate nede	13
Kleplate topp	14
Aksling	15
Klo stopper	16
Bjelke til «Shackle»	17
Strammebolt	18
Mutter med stang	19
Rammeplate	20
Festepunkt for oppdrift side	21
Festepunkt for oppdrift front/akter	22
Festepunkt for oppdrift topp	23
Ramme side	24
ROV løftestang	25
Oppdriftselement foran	26
Oppdriftselement akter	27
Oppdriftselement topp	28
Oppdriftselement side	29
Oppdrift bjelke bunn 150mm	30
Oppdrift bjelke midt 150mm	31
Oppdrift bjelke bunn 160mm	32
Oppdrift bjelke midt 160mm	33
Bjelkeavstiver bunn 150mm	34
Bjelkeavstiver midt 150mm	35
Bjelkeavstiver bunn 160mm	36
Bjelkeavstiver midt 160mm	37
Avstandsplate 8" bunn	38
Oppdriftselement 8" bunn	39
Avstandsplate 8" topp	40
Oppdriftselement 8" topp	41
Avstandsplate 12" bunn	42
Oppdriftselement 12" bunn	43
Avstandsplate 12" topp	44
Oppdriftselement 12" topp	45



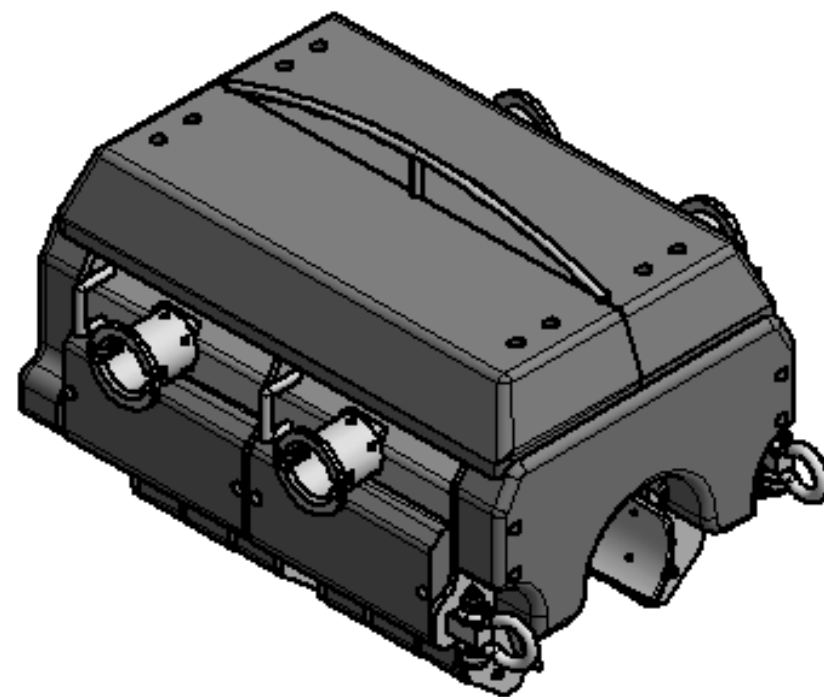
Sett forfra



Sett fra venstre



Sett ovenfra



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Ramme
2	4	Klo
3	2	Green-Pin shackle
4	4	"Torque Bucket"
5	8	Bolt til "Torque Bucket"
6	2	Strammebolt
7	4	Mutter med stang
8	4	Lager til strammebolt
9	1	Oppdriftselement foran
10	1	Oppdriftselement akter
11	2	Oppdriftselement topp
12	4	Oppdriftselement side
13	8	Bolt til oppdrift foran
14	24	Skive 16Ø-38Ø
15	8	Bolt til oppdrift side
16	8	Bolt til oppdrift topp

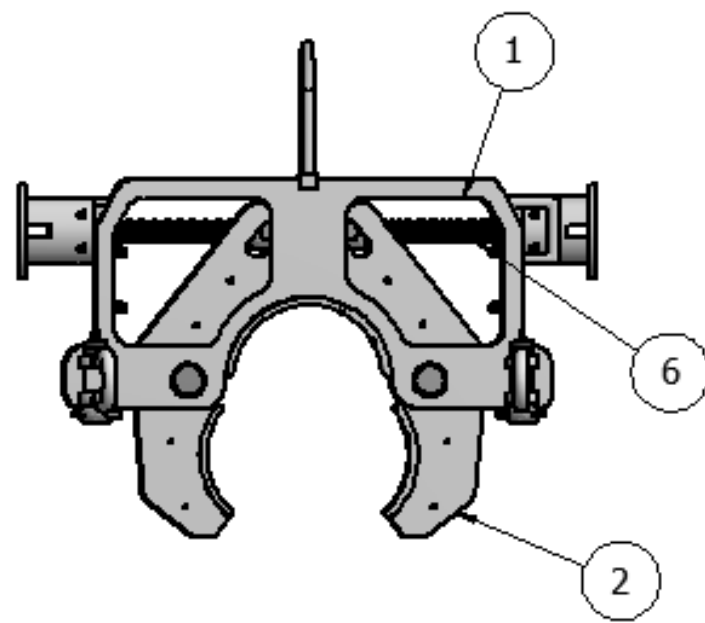
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material # 2014-T6_S355 & LD2000	Scale 1:20	Date 20.04.2017
--	-------------------------------------	---------------	--------------------



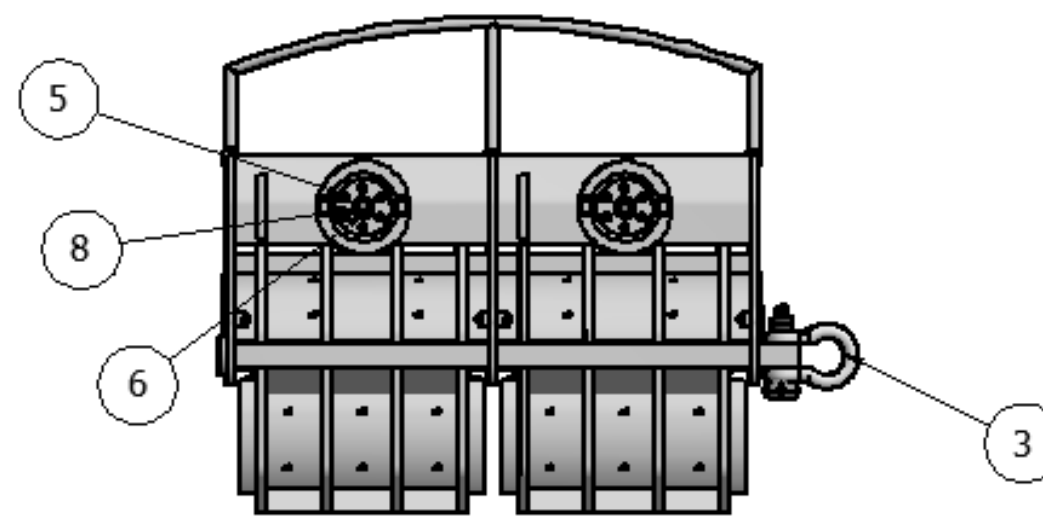
Klammer til løfting av fleksible rørledninger

Klammer

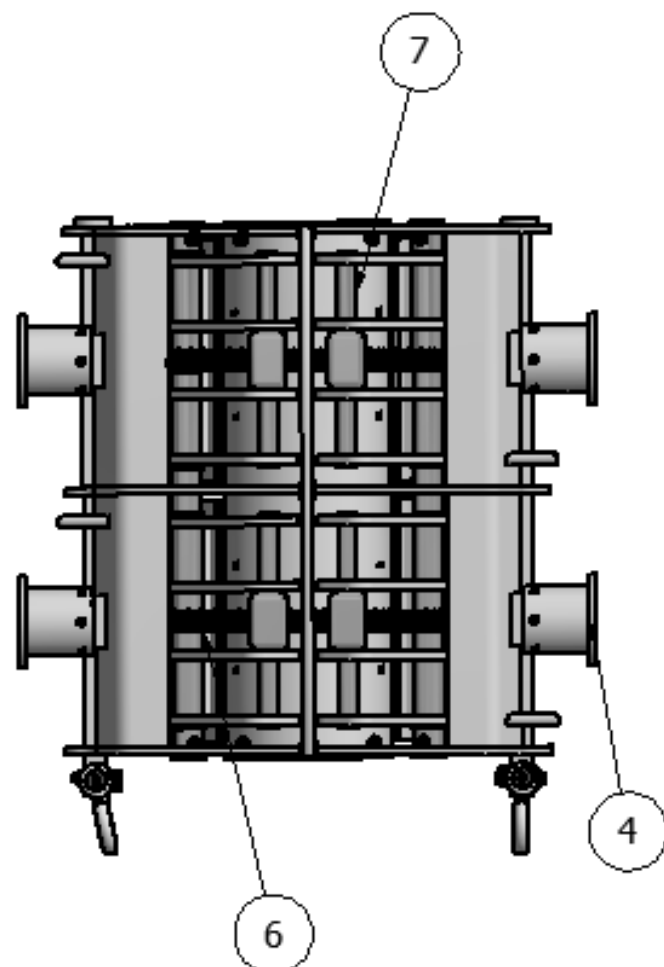
Draw Nr. 01
Sheet 1 / 3



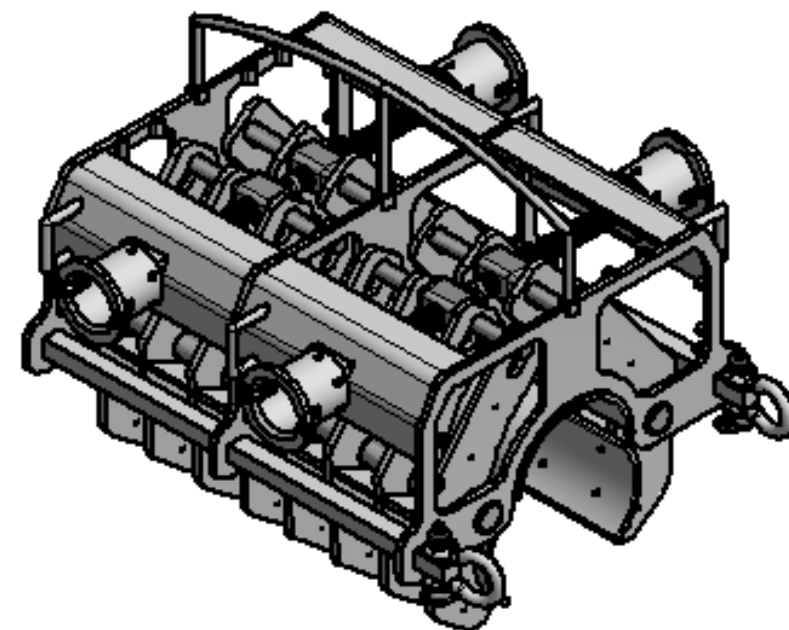
Sett forfra



Sett fra venstre



Sett ovenfra



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Ramme
2	4	Klo
3	2	Green-Pin shackle
4	4	"Torque Bucket"
5	8	Bolt til "Torque Bucket"
6	2	Strammebolt
7	4	Mutter med stang
8	4	Lager til strammebolt
9	1	Oppdriftselement foran
10	1	Oppdriftselement akter
11	2	Oppdriftselement topp
12	4	Oppdriftselement side
13	8	Bolt til oppdrift foran
14	24	Skive 16Ø-38Ø
15	8	Bolt til oppdrift side
16	8	Bolt til oppdrift topp

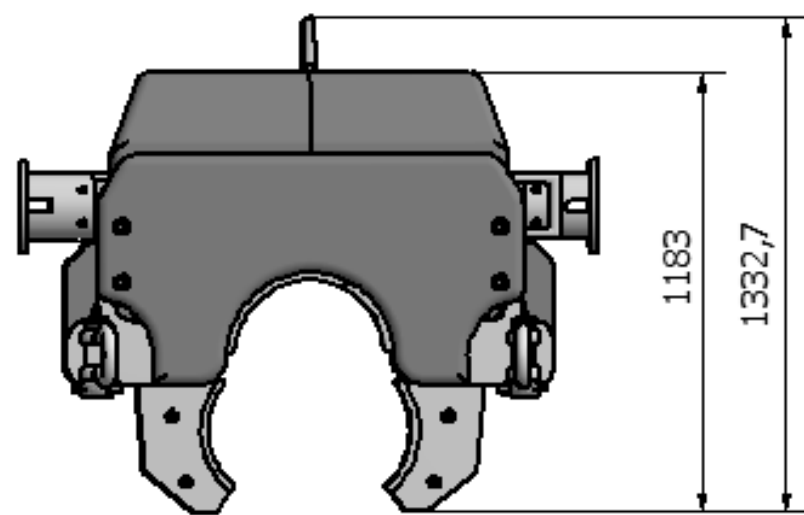
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material W 2014-T6_S355 & LD2000	Scale 1:20	Date 20.04.2017
--	-------------------------------------	---------------	--------------------



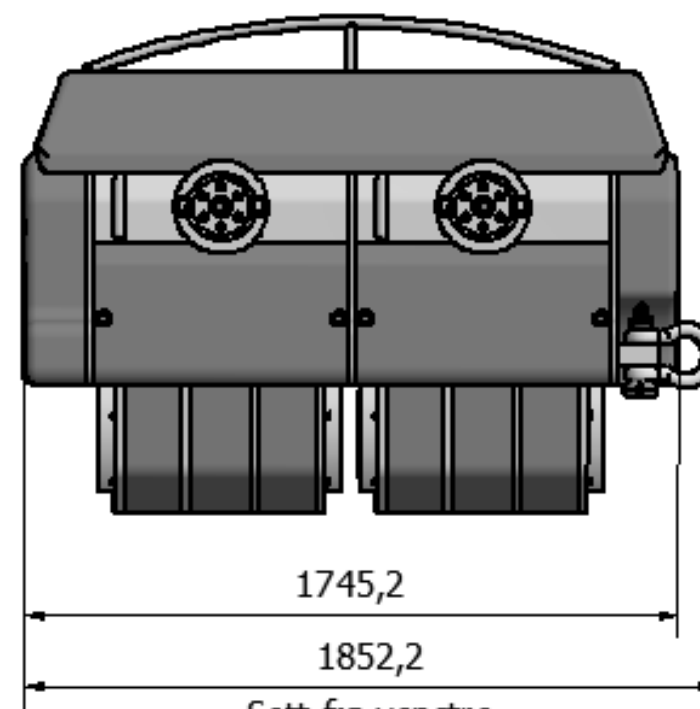
Klammer til løfting av fleksible rørledninger

Klammer

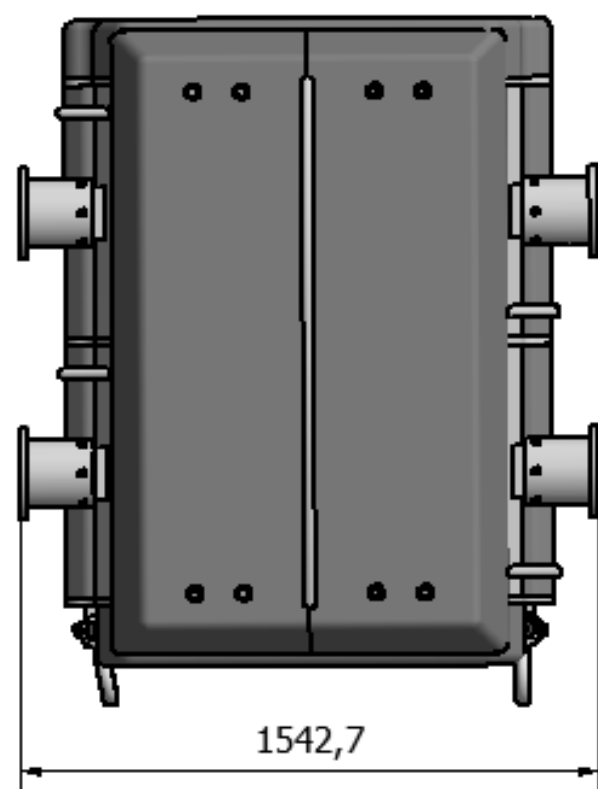
Draw Nr. 02
Sheet 2 / 3



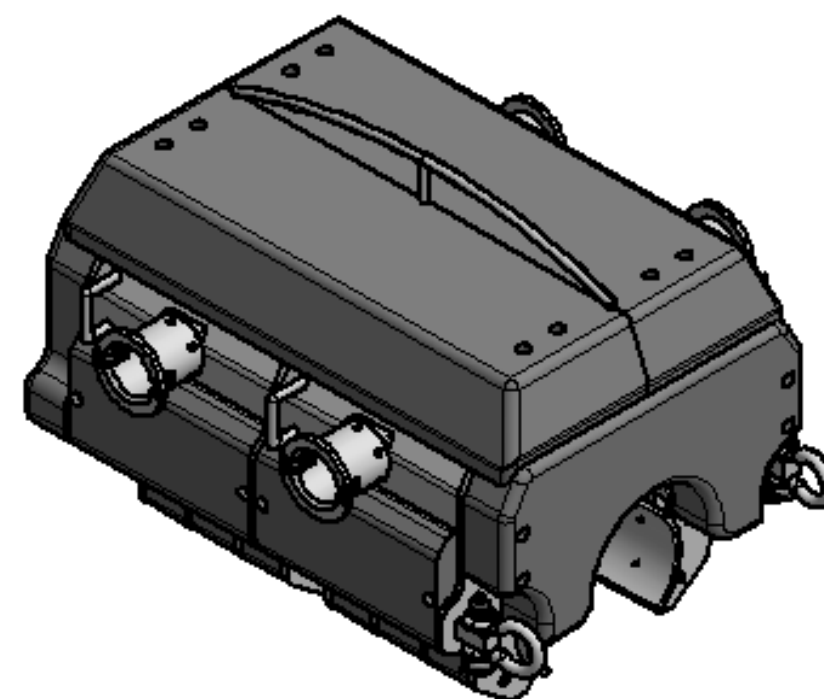
Sett forfra



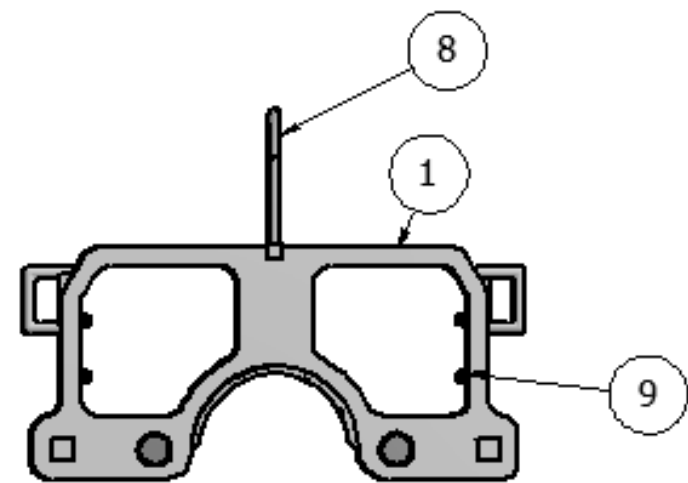
Sett fra venstre



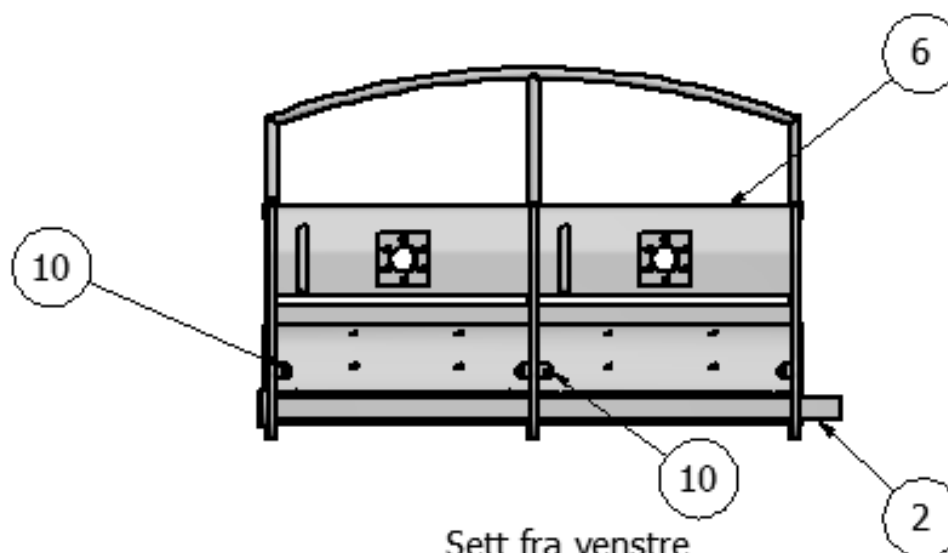
Sett ovenfra



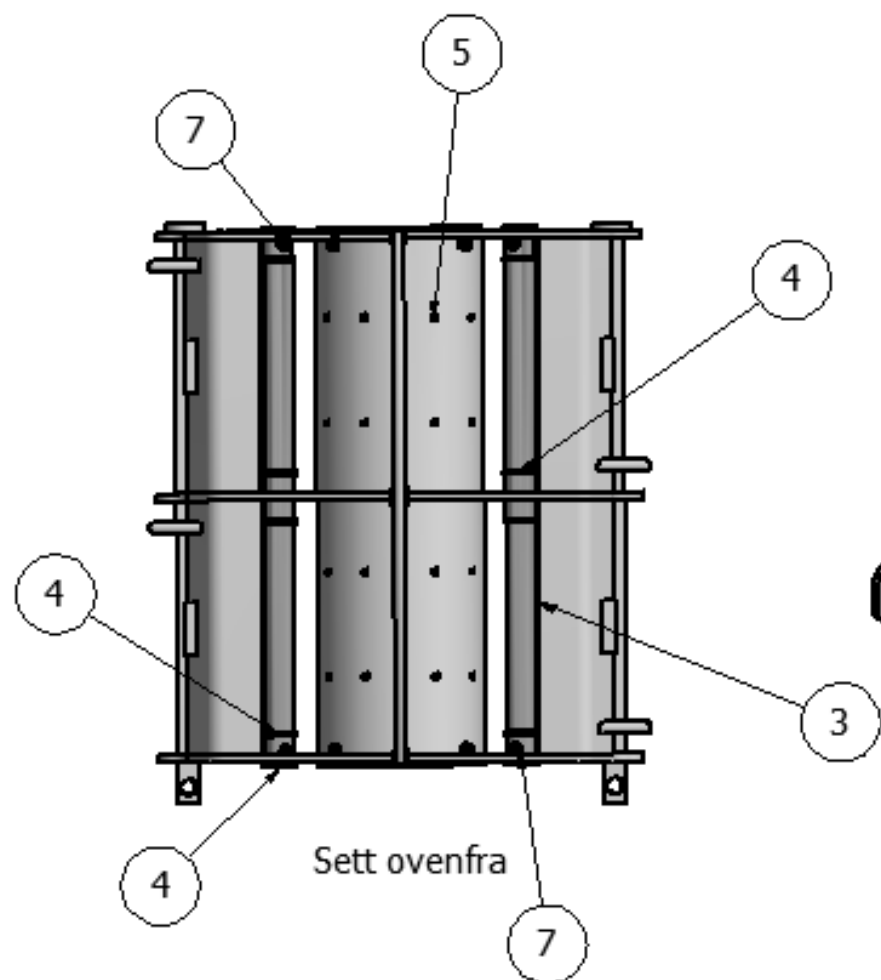
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6, S355 & LD2000	Scale 1:20	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Klammer		Draw Nr. 03	Sheet 3 / 3



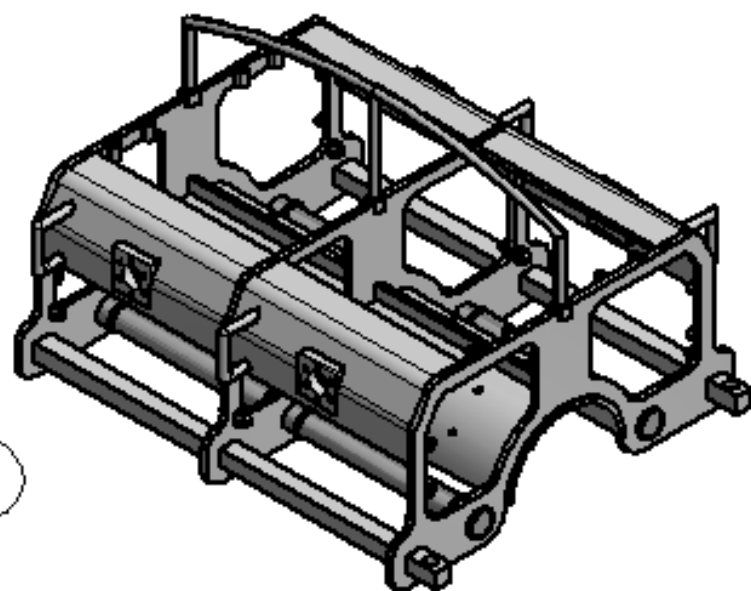
Sett forfra



Sett fra venstre



Sett ovenfra



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER
1	3	Rammeplate
2	2	Bjelke til "Shackle"
3	2	Aksling
4	10	Klo stopper
5	1	Kleplate topp
6	4	Ramme side
7	8	Festepunkt for oppdriftselement topp
8	1	ROV løftestang
9	8	Festepunkt for oppdriftselement foran/akter
10	8	Festepunkt for oppdriftselement side

Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6 & S355	Scale 1:20	Date 20.04.2017
--	-------------------------------	---------------	--------------------

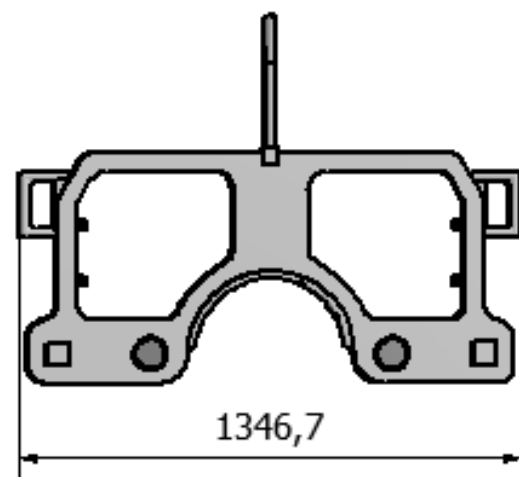


Klammer til løfting av fleksible rørledninger

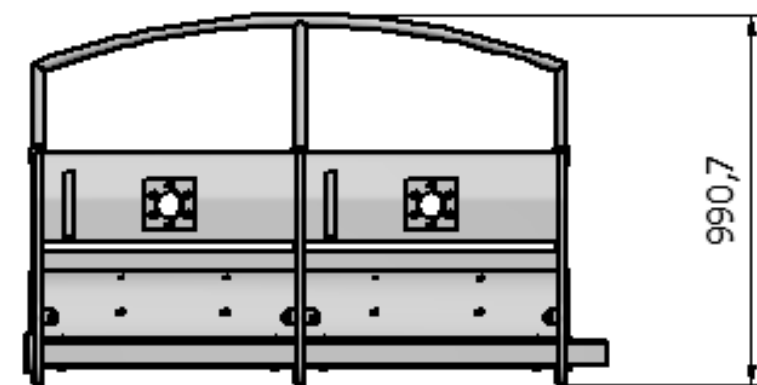
Ramme

Draw Nr.
04

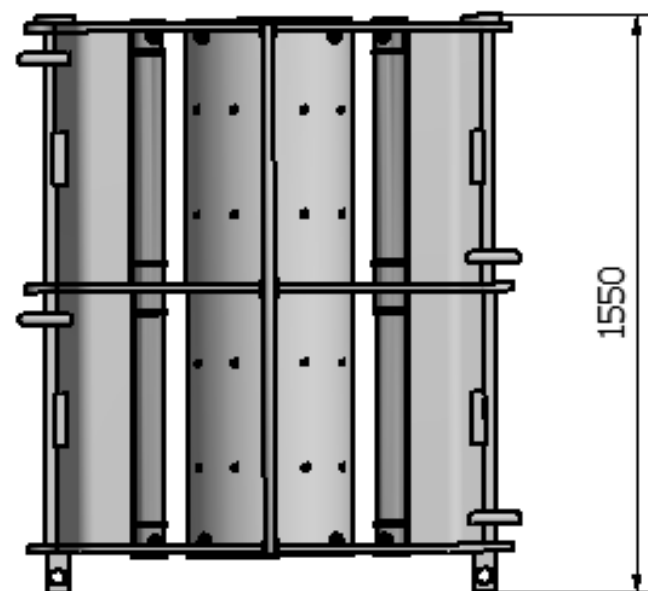
Sheet
1 / 2



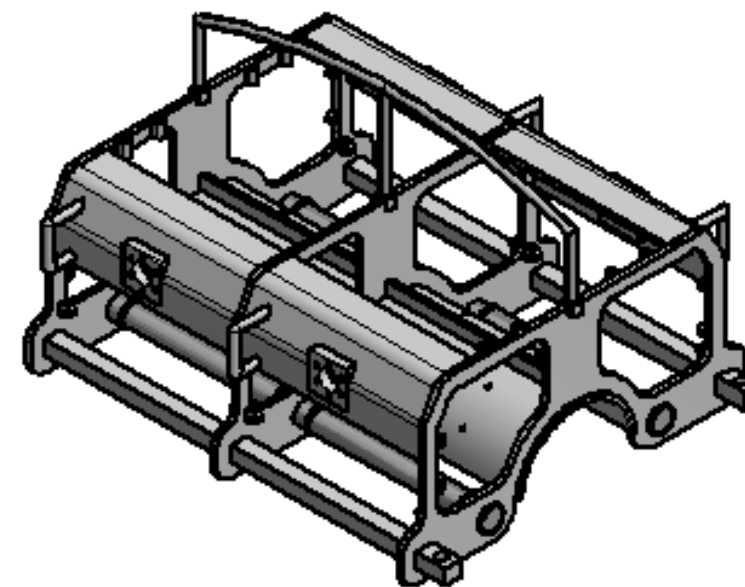
Sett forfra



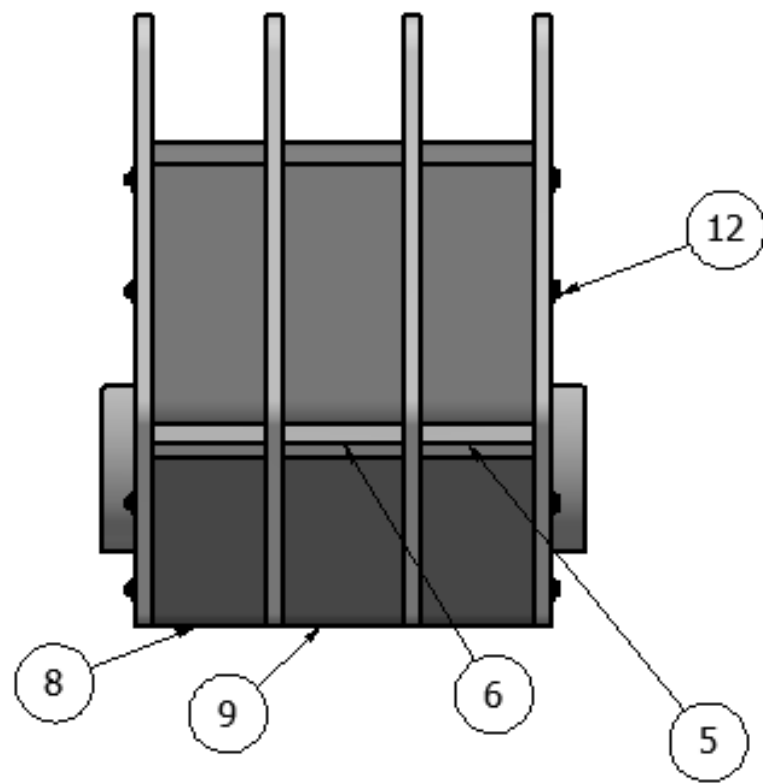
Sett fra venstre



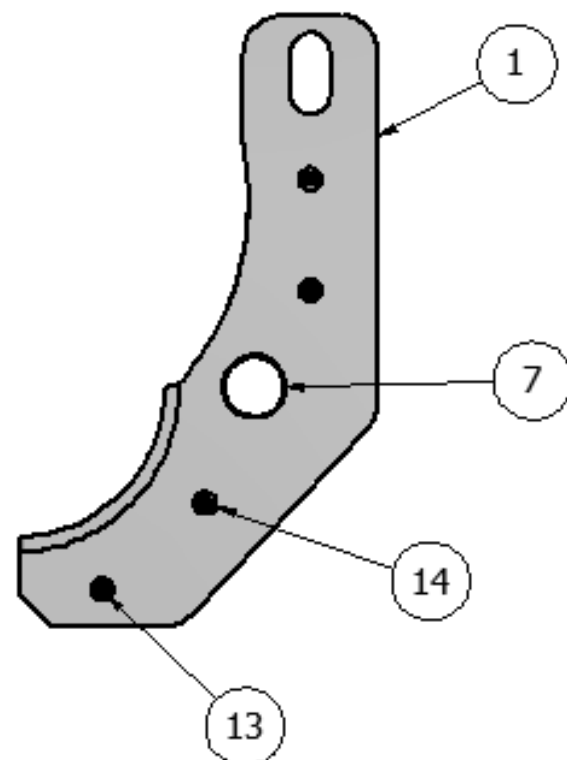
Sett ovenfra



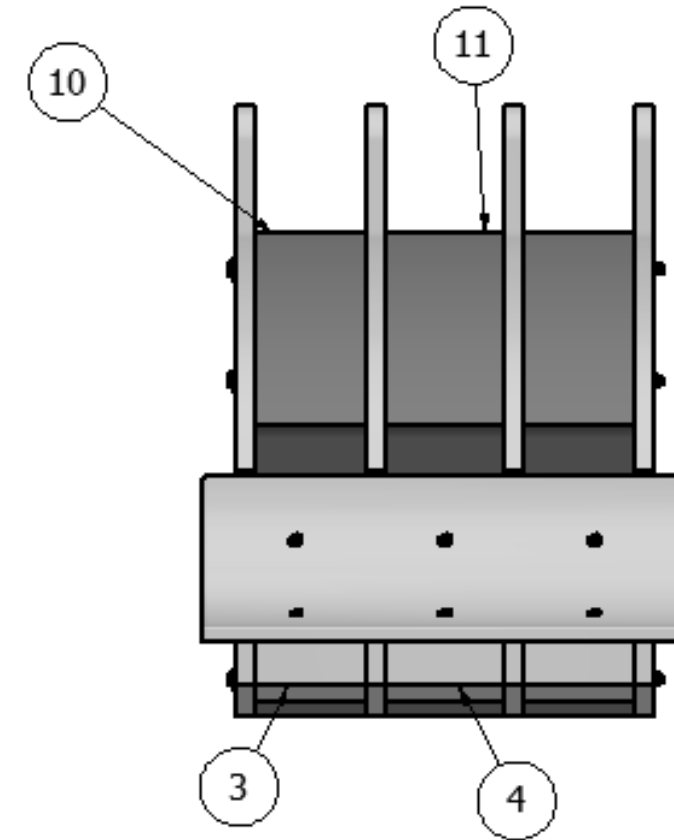
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6 & S355	Scale 1:20	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Ramme	Draw Nr. 05



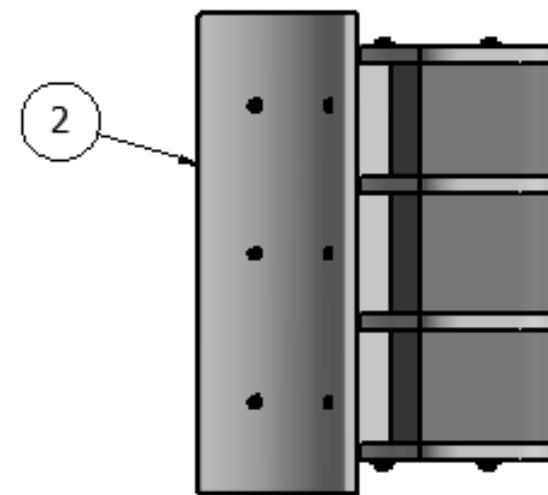
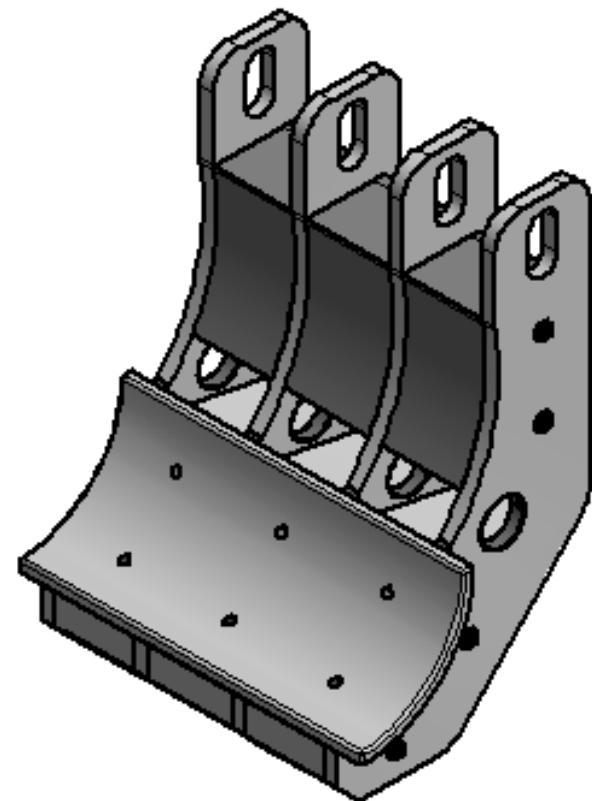
Sett fra høyre



Sett forfra



Sett fra venstre



Sett ovenfra

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	4	Bjelke til kleplate
2	1	Kleplate nede
3	2	Bjelkeavstiver bunn 150mm
4	1	Bjelkeavstiver bunn 160mm
5	2	Bjelkeavstiver midt 150mm
6	1	Bjelkeavstiver midt 160mm
7	4	Lager til bjelke
8	2	Oppdrift bjelke bunn 150mm
9	1	Oppdrift bjelke bunn 160mm
10	2	Oppdrift bjelke topp 150mm
11	1	Oppdrift bjelke topp 160mm
12	4	Bolt, bjelke
13	4	Mutter, bjelke
14	8	Skive, bjelke

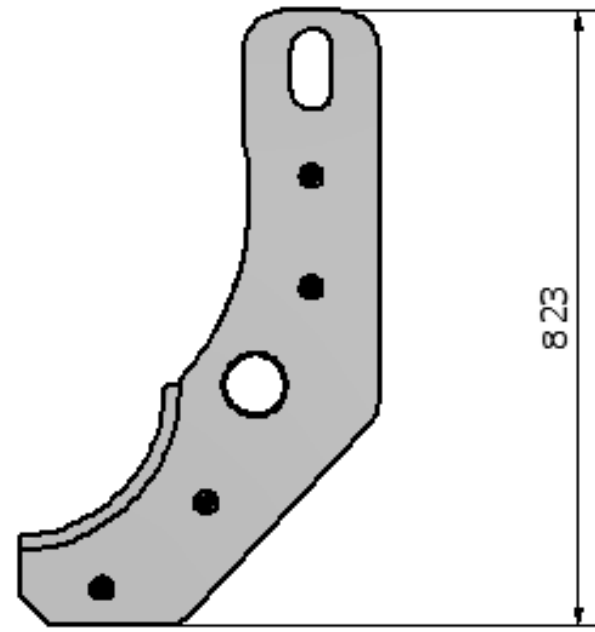
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6, S355 & LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
--	---------------------------------------	---------------	--------------------



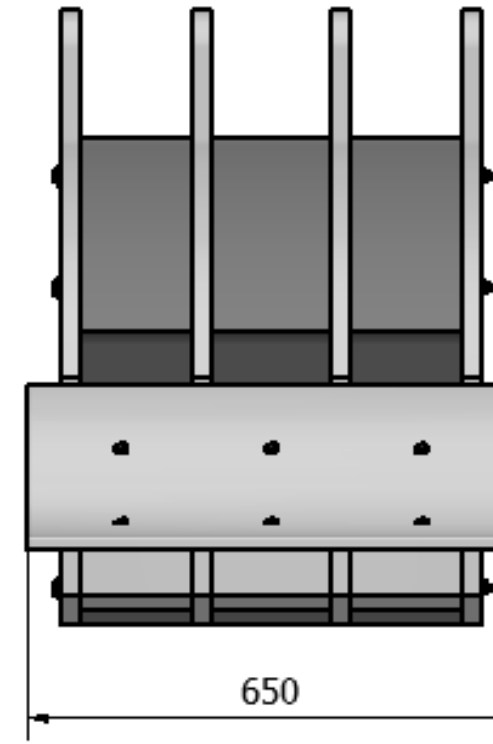
Klammer til løfting av fleksible rørledninger

Klo

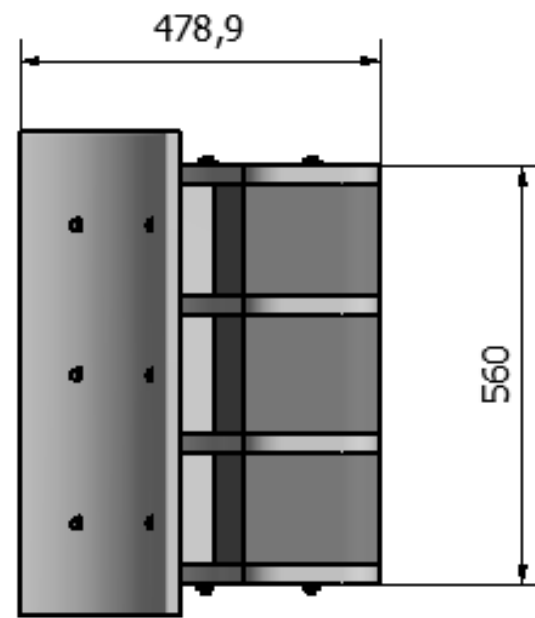
Draw Nr. 06 Sheet 1 / 2



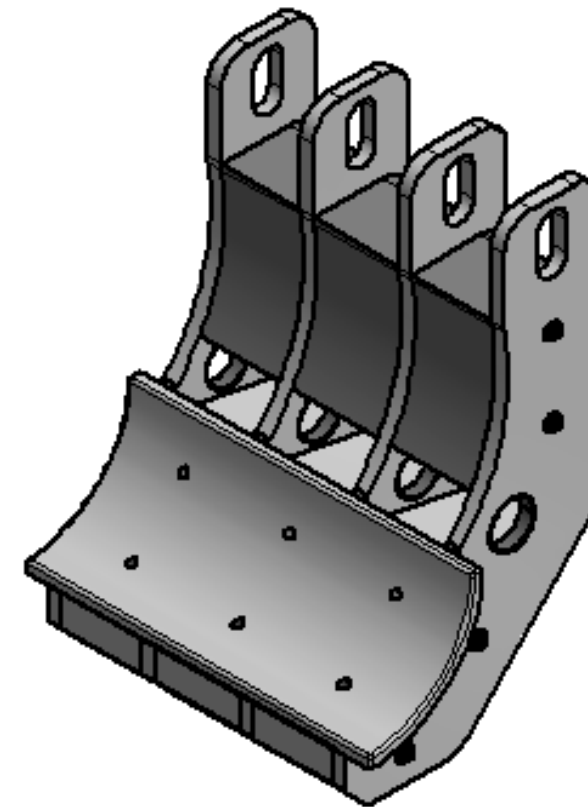
Sett forfra




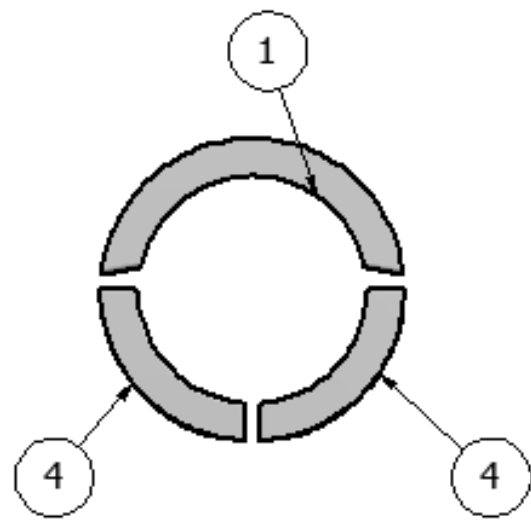
Sett fra venstre



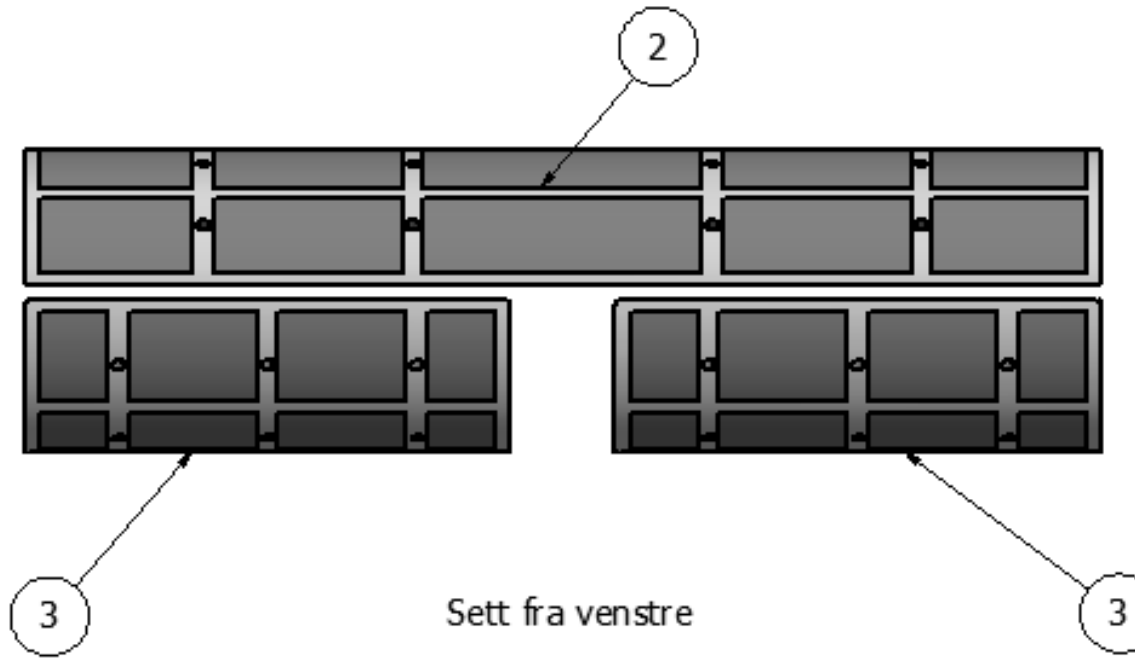
Sett ovenfra



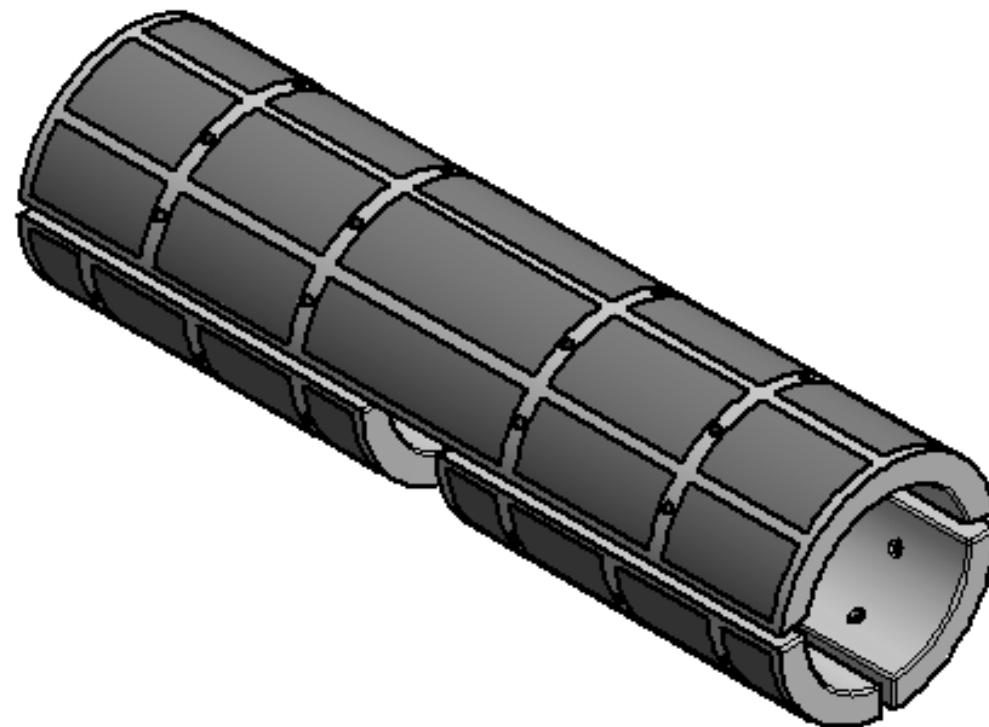
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6, S355 & LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Klo	Draw Nr. 07	Sheet 2 / 2



Sett forfra



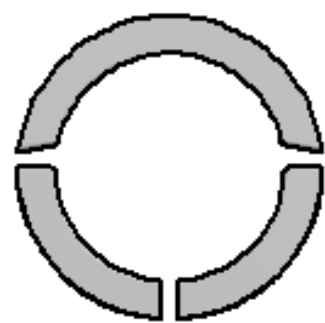
Sett fra venstre



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Avstandsplate 12" topp
2	1	Oppdriftselement 12" topp
3	4	Oppdriftselement 12" bunn
4	4	Avstandsplate 12" bunn

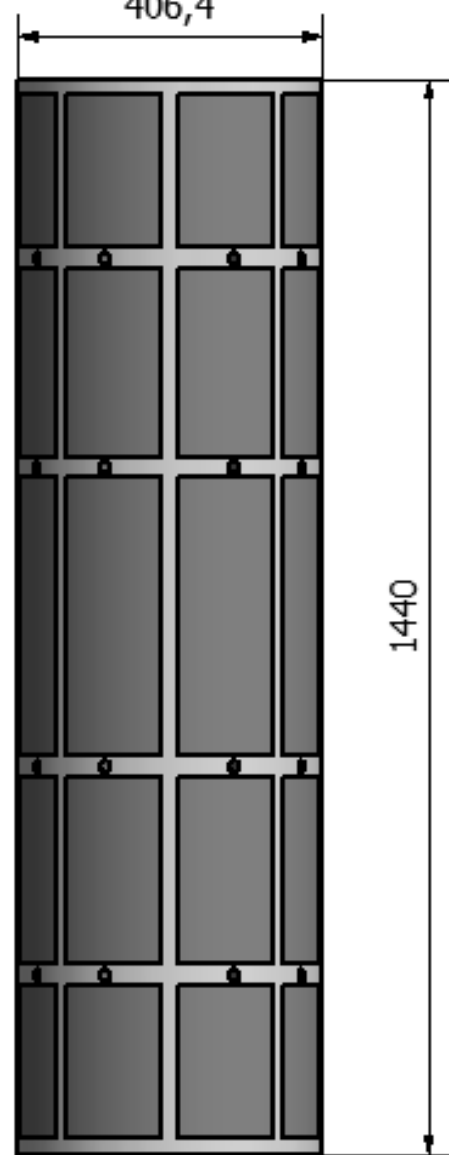
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6 & LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
--	---------------------------------	---------------	--------------------

	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Avstandsplater 12"	Draw Nr. 08	Sheet 1 / 2



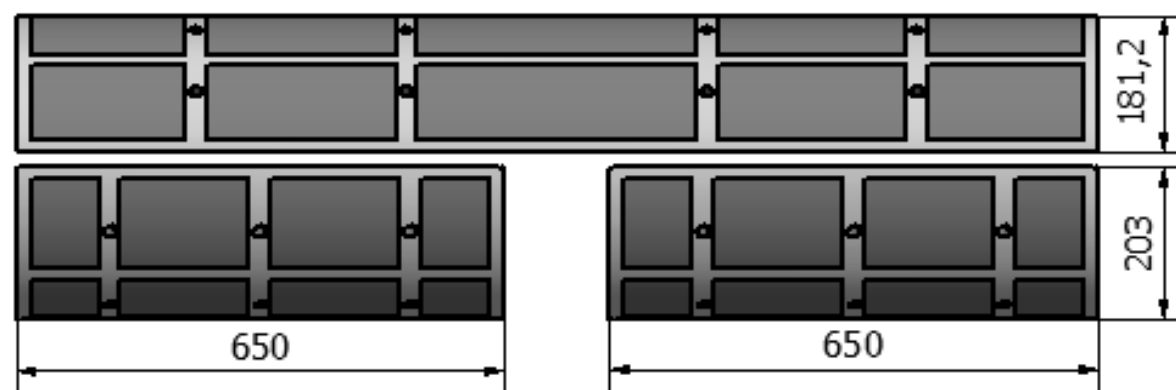
Sett forfra

406,4



1440

Sett ovenfra



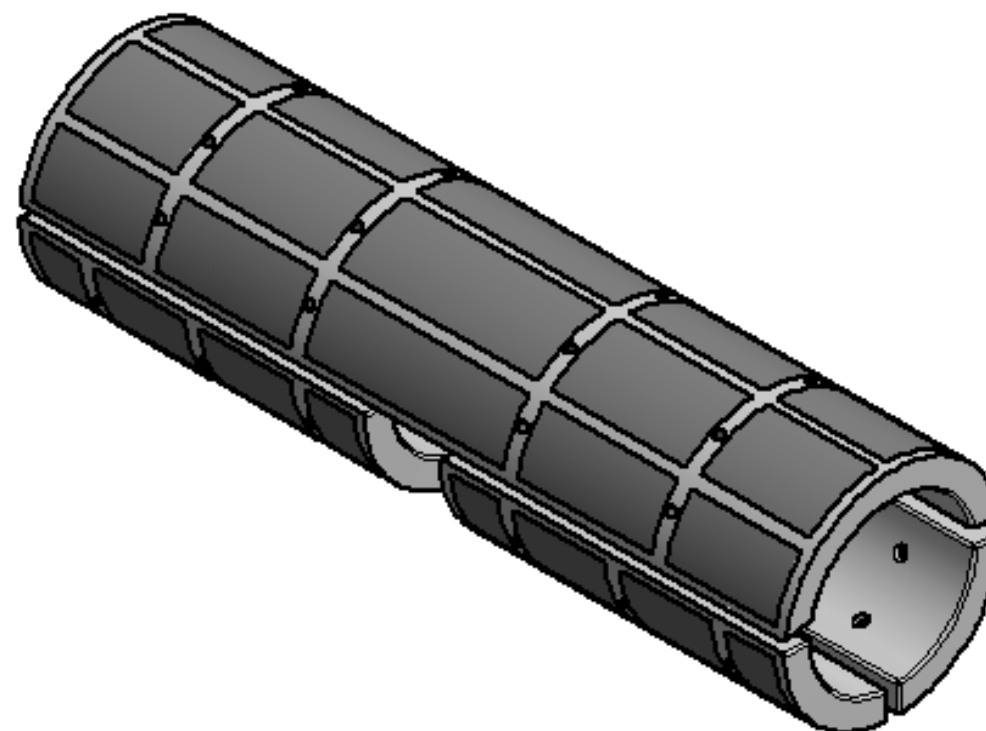
181,2

203

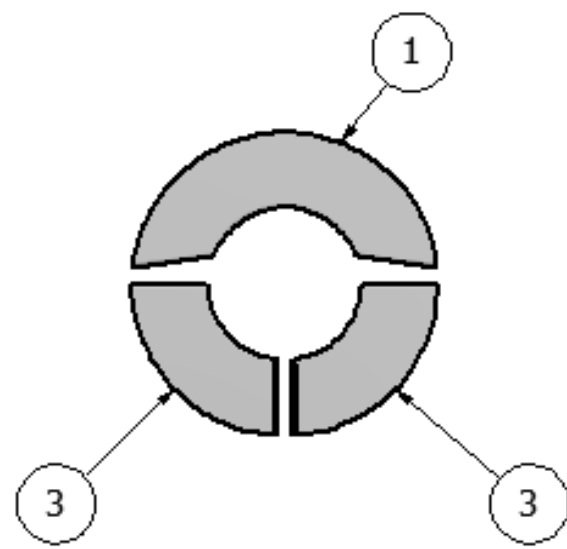
650

650

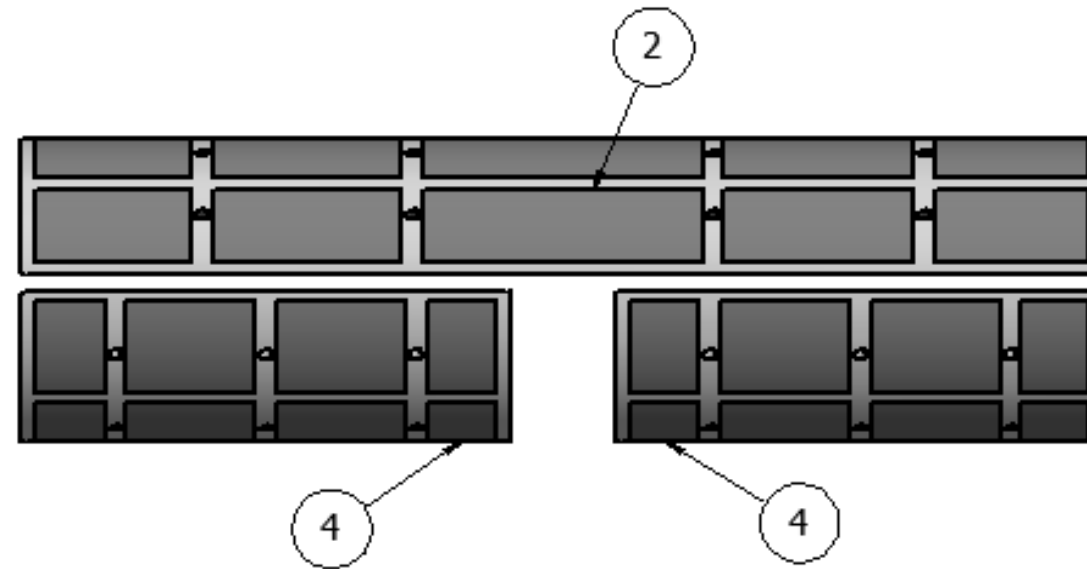
Sett fra venstre



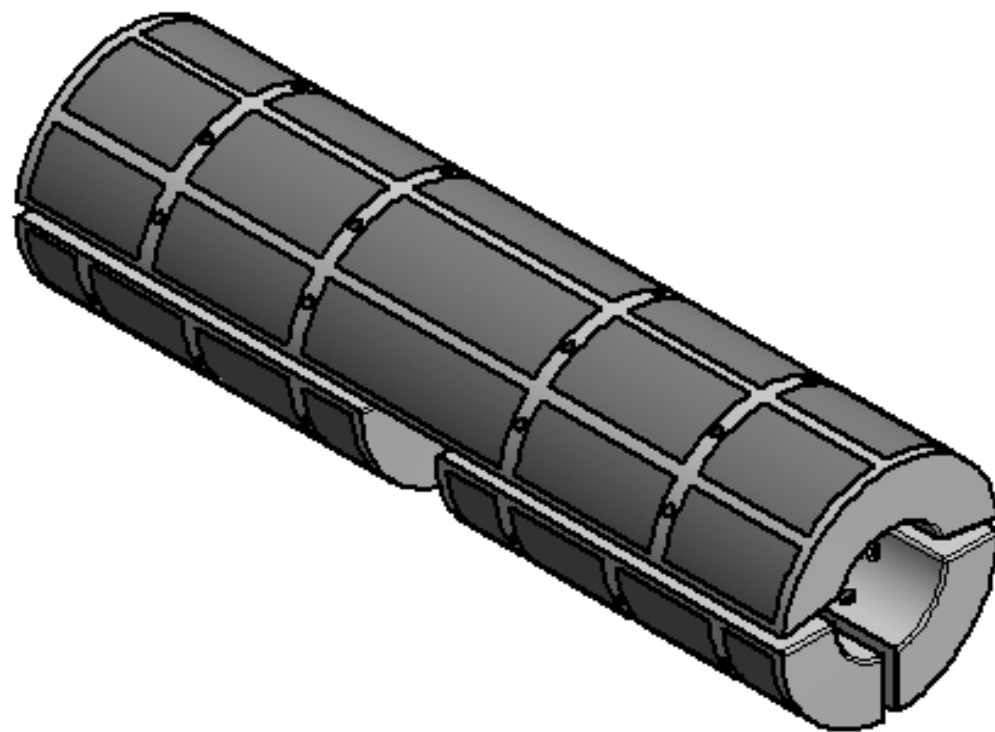
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6 & LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Avstandsplater 12"		Draw Nr. 09	Sheet 2 / 2



Sett forfra



Sett fra venstre



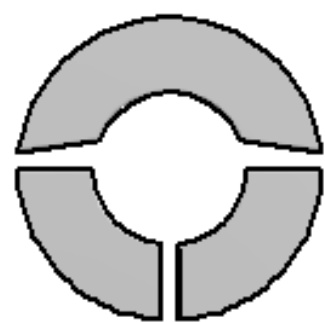
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Avstandsplate 8" topp
2	1	Oppdriftselement 8" topp
3	4	Avstandsplate 8" bunn
4	4	Oppdriftselement 8" bunn

Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6 & LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
--	---------------------------------	---------------	--------------------

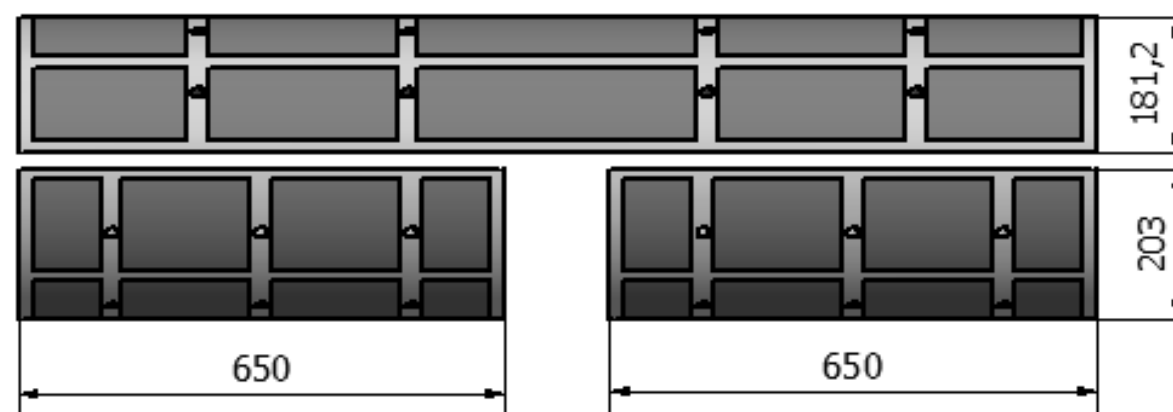


Klammer til løfting av fleksible rørledninger

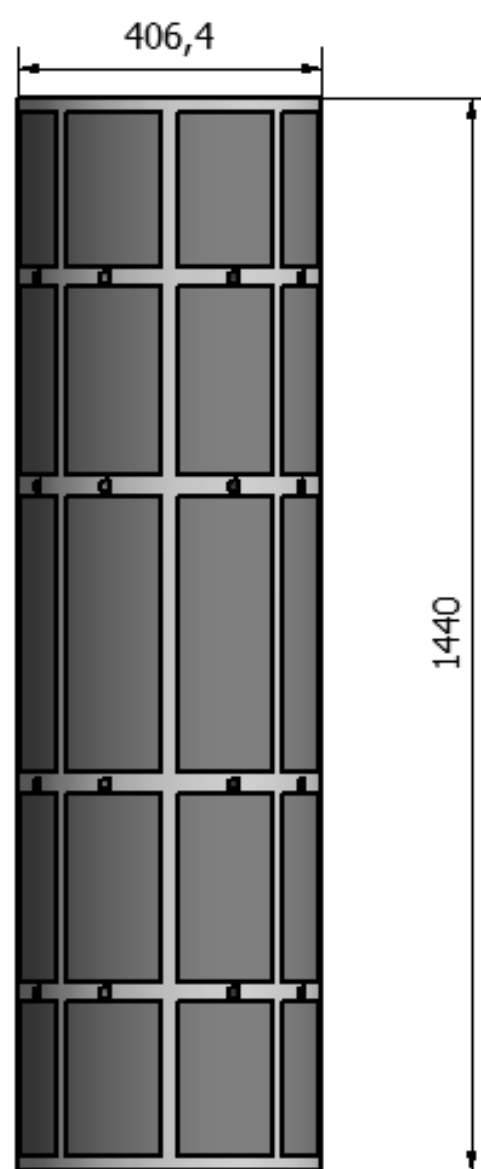
Avstandsplater 8"	Draw Nr. 10	Sheet 1 / 2
-------------------	----------------	----------------



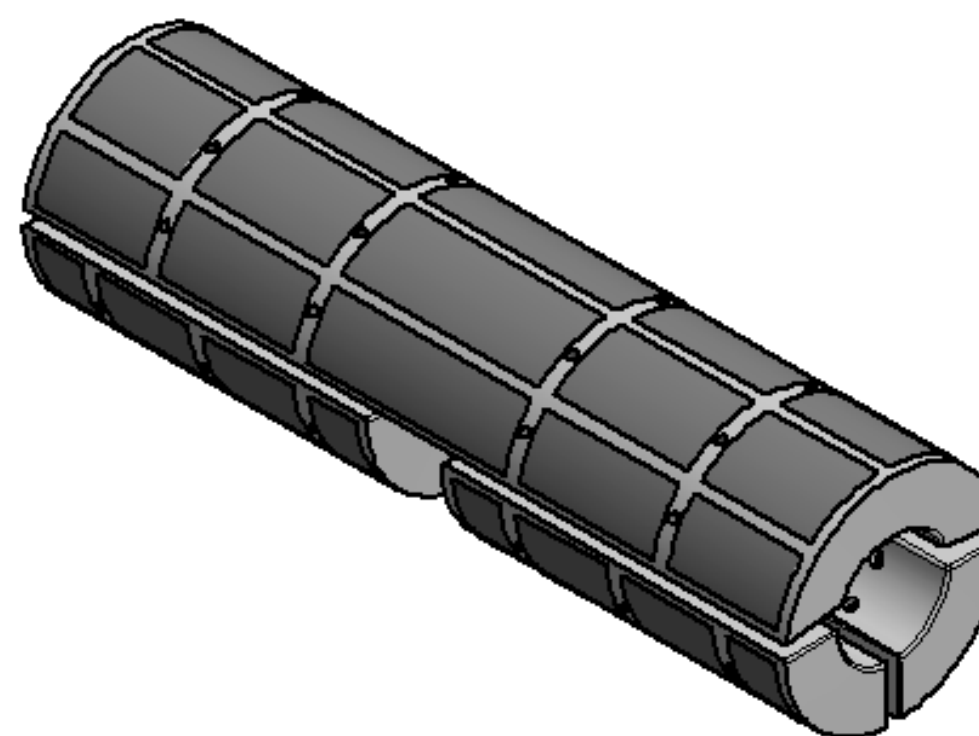
Sett forfra



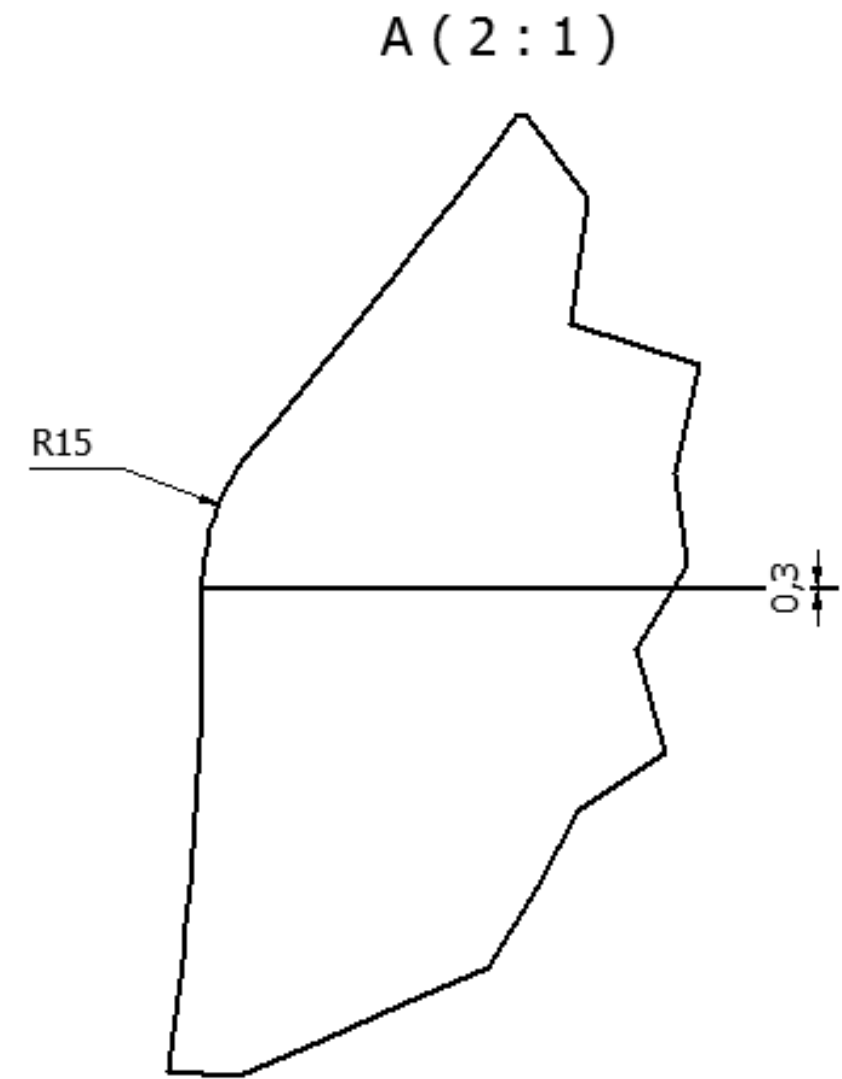
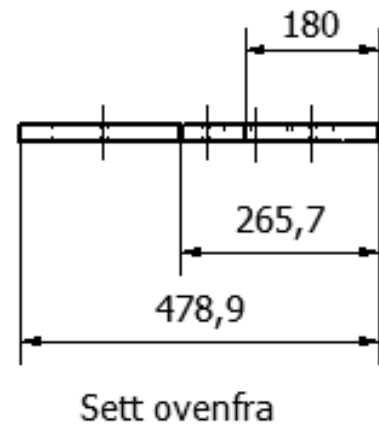
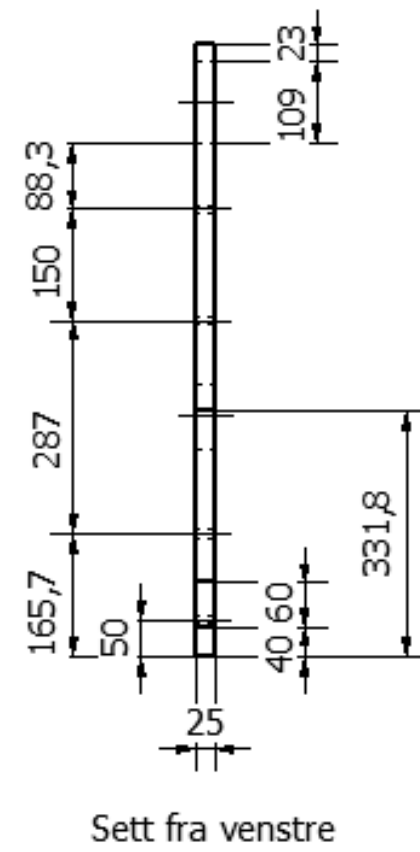
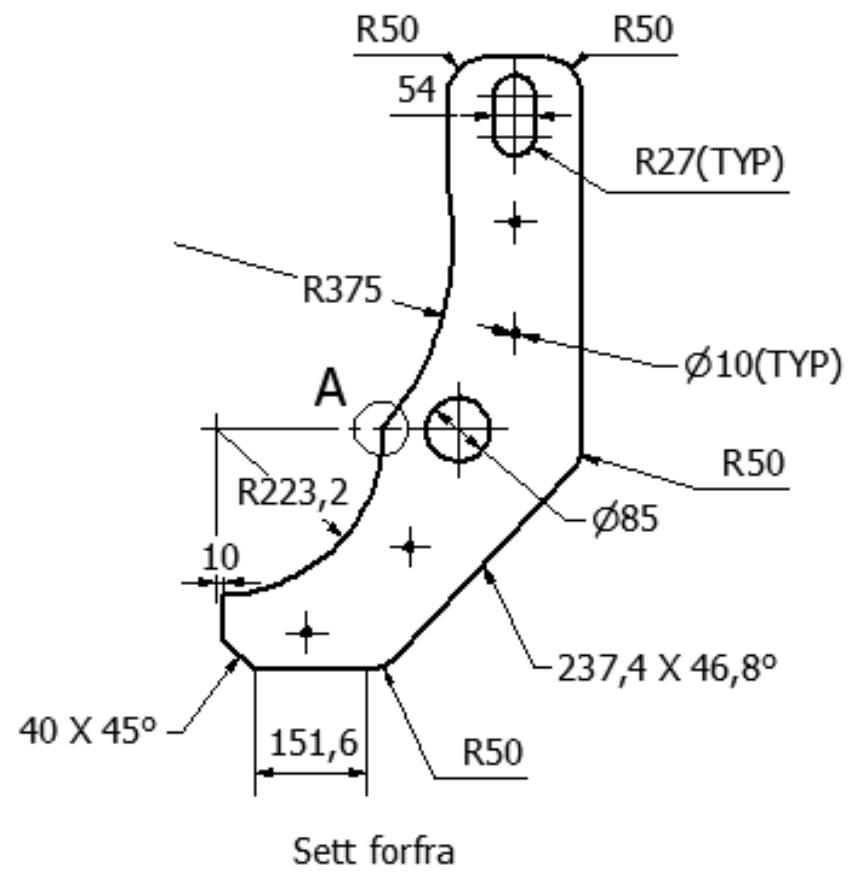
Sett fra venstre




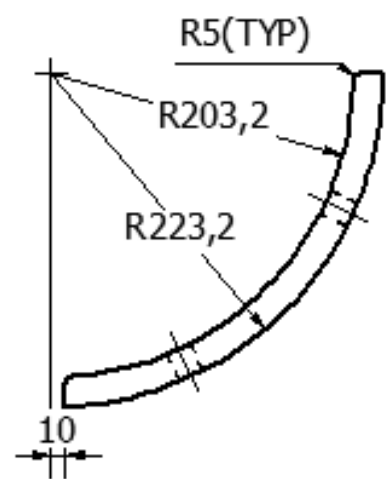
Sett ovenfra



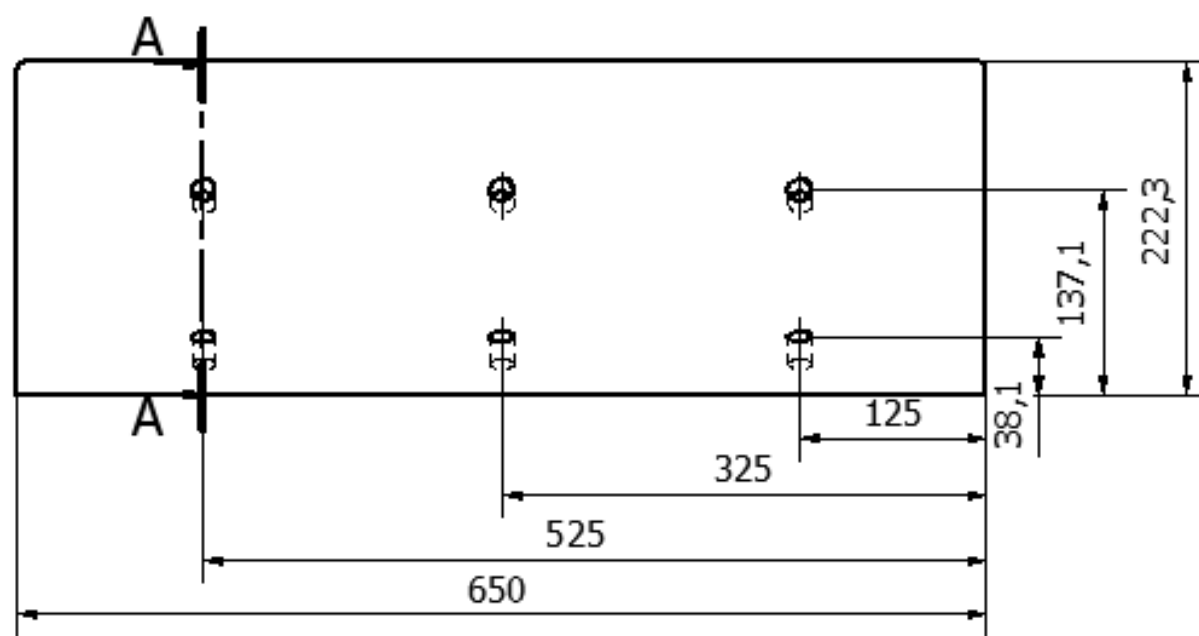
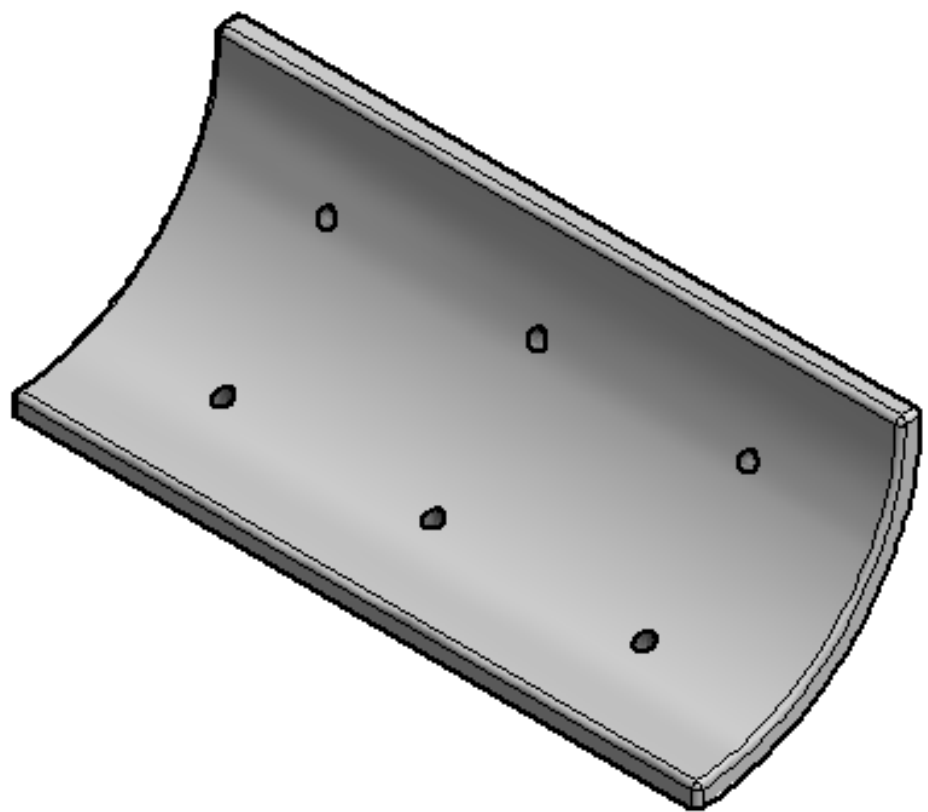
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6 & LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Avstandsplater 8"	Draw Nr. 11



Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Bjelke til klemplate	Draw Nr. 12 Sheet 1 / 1

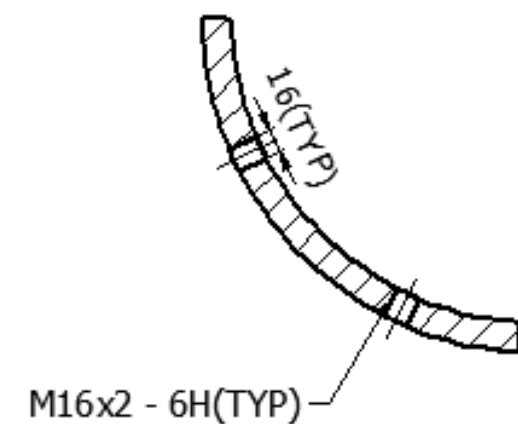


Sett forfra

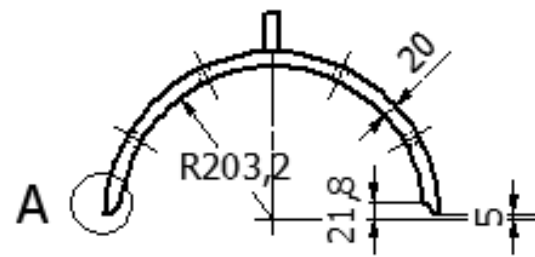


Sett fra venstre

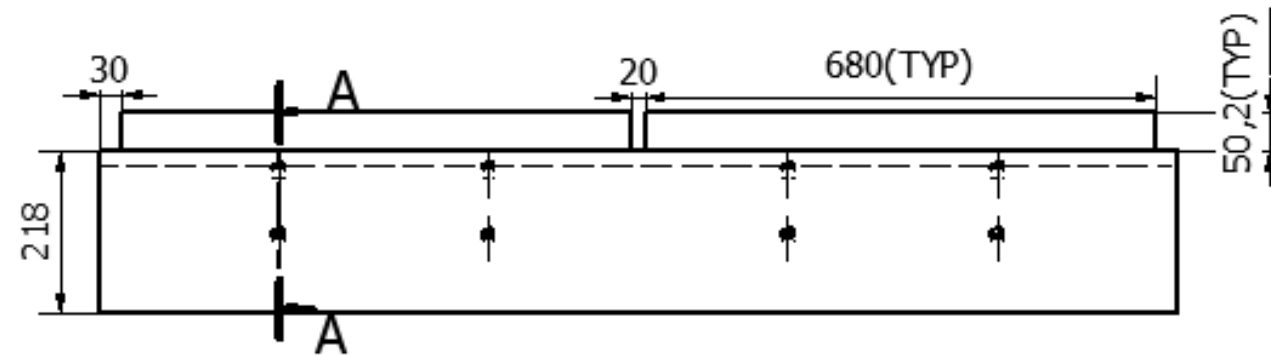
A-A (1:5)



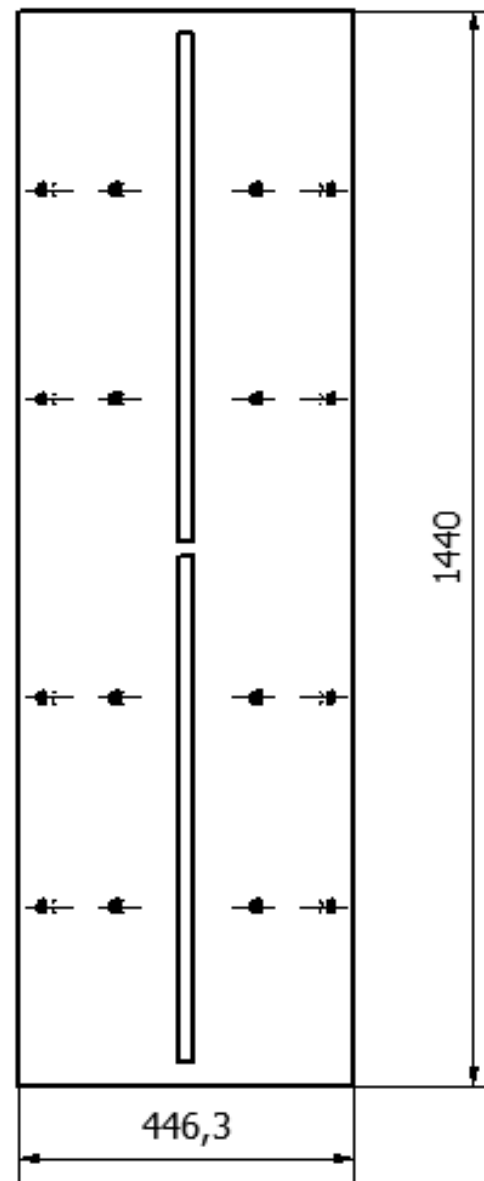
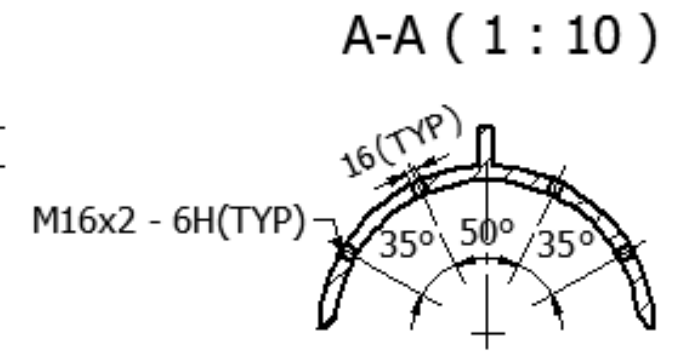
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Klempate nede	Draw Nr. 13	Sheet 1 / 1



Sett forfra

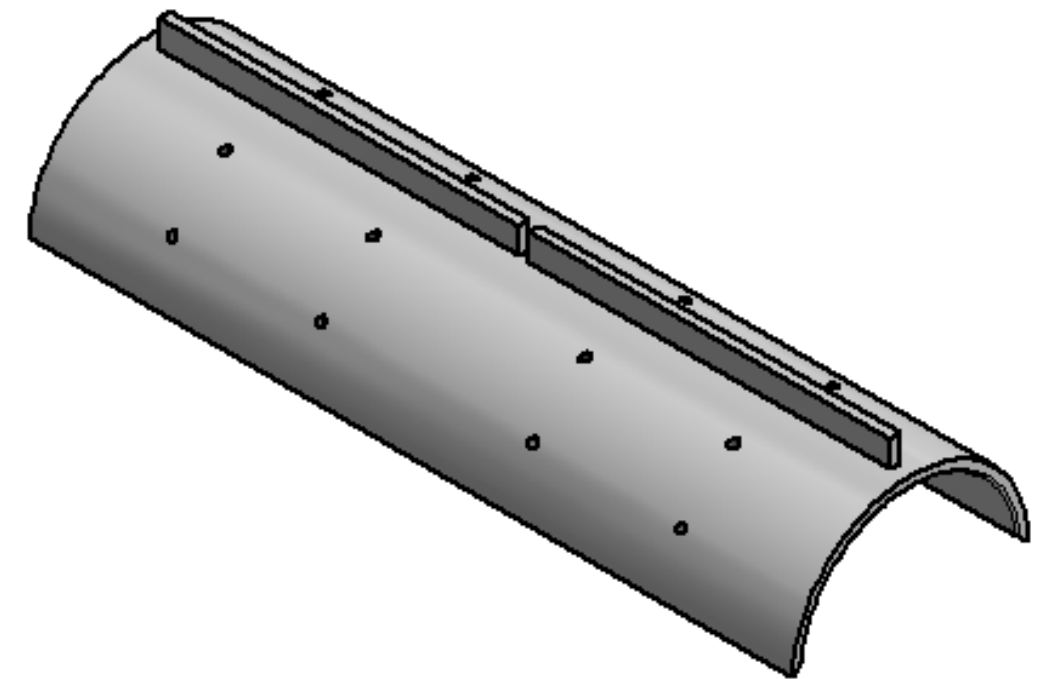
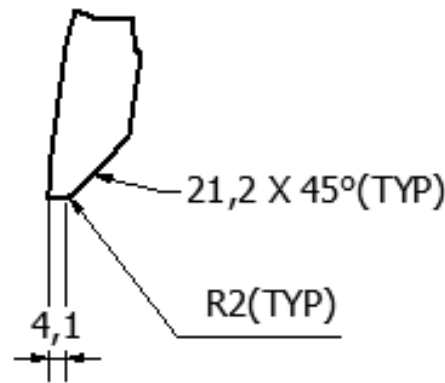


Sett fra venstre



Sett ovenfra

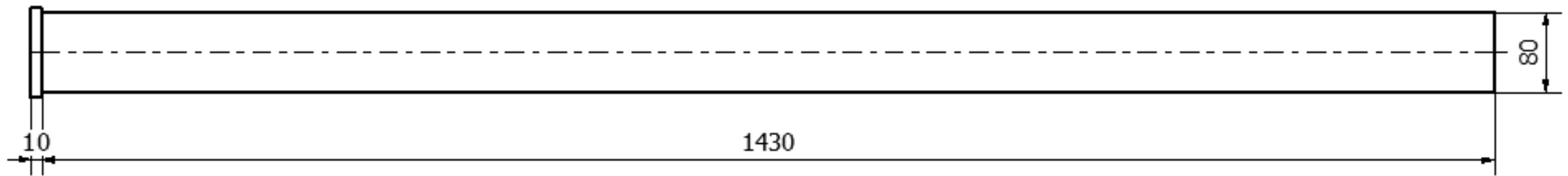
A (1:2)



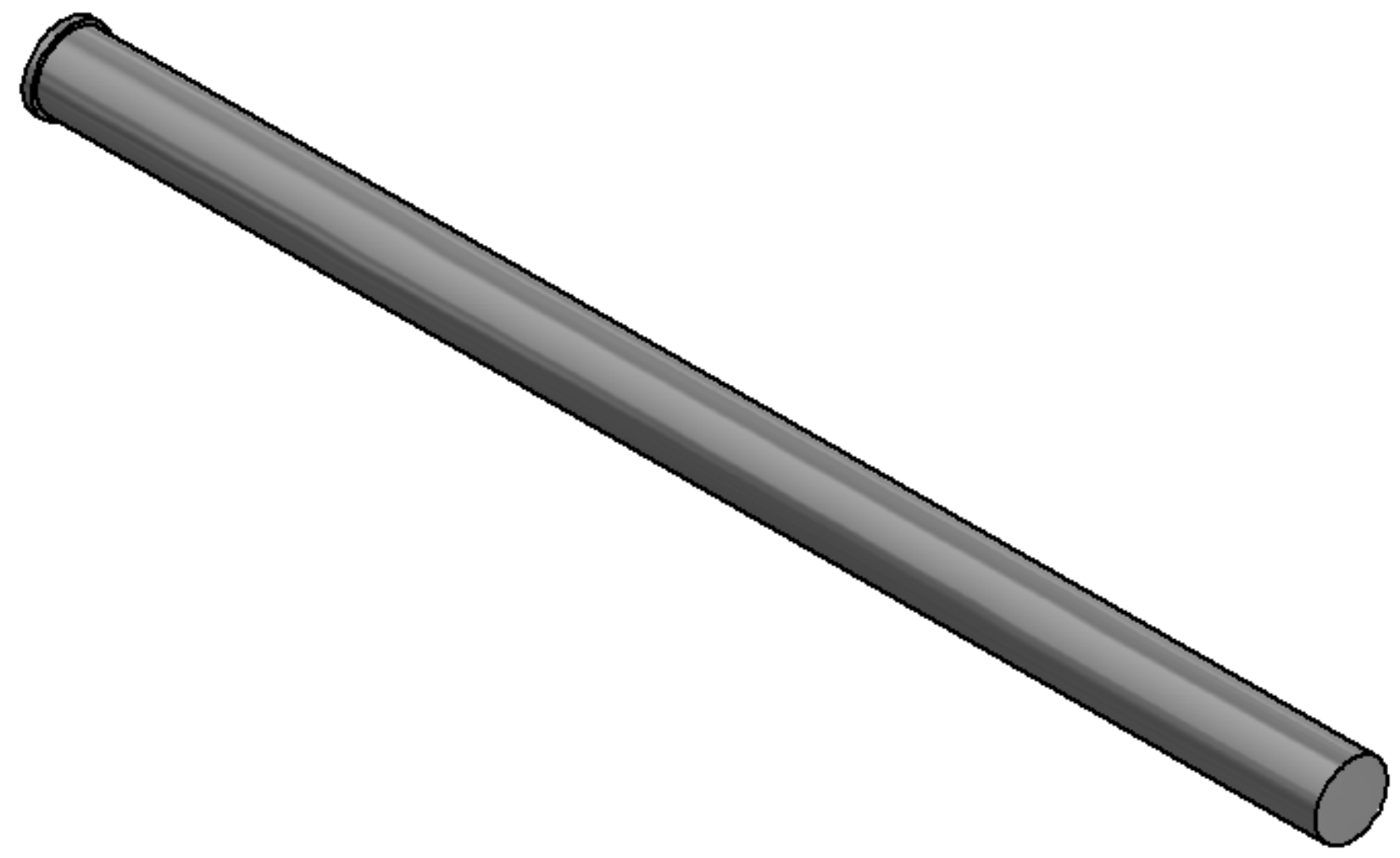
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Kleplate topp	Draw Nr. 14




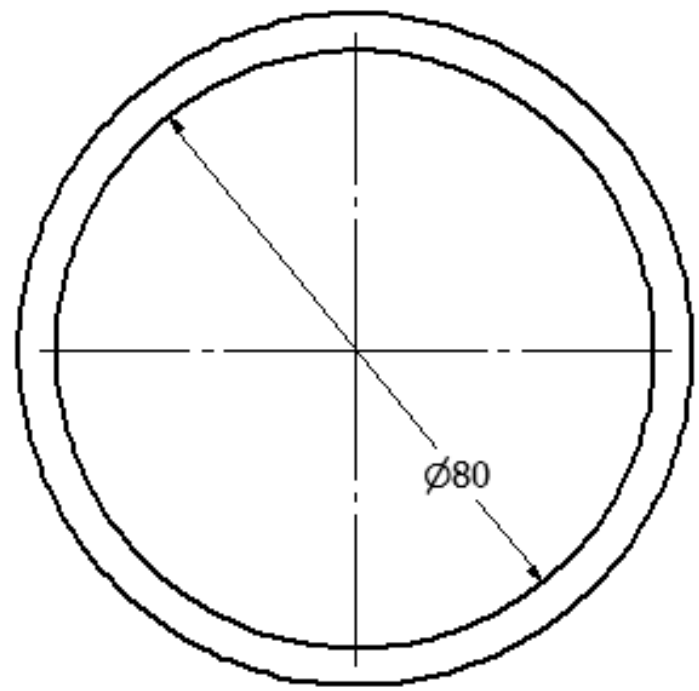
Sett forfra



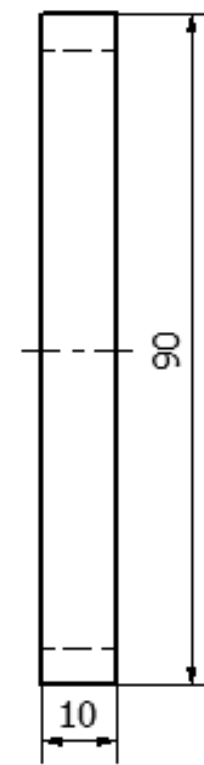
Sett fra venstre



Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material S355	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Akksling	Draw Nr. 15	Sheet 1 / 1




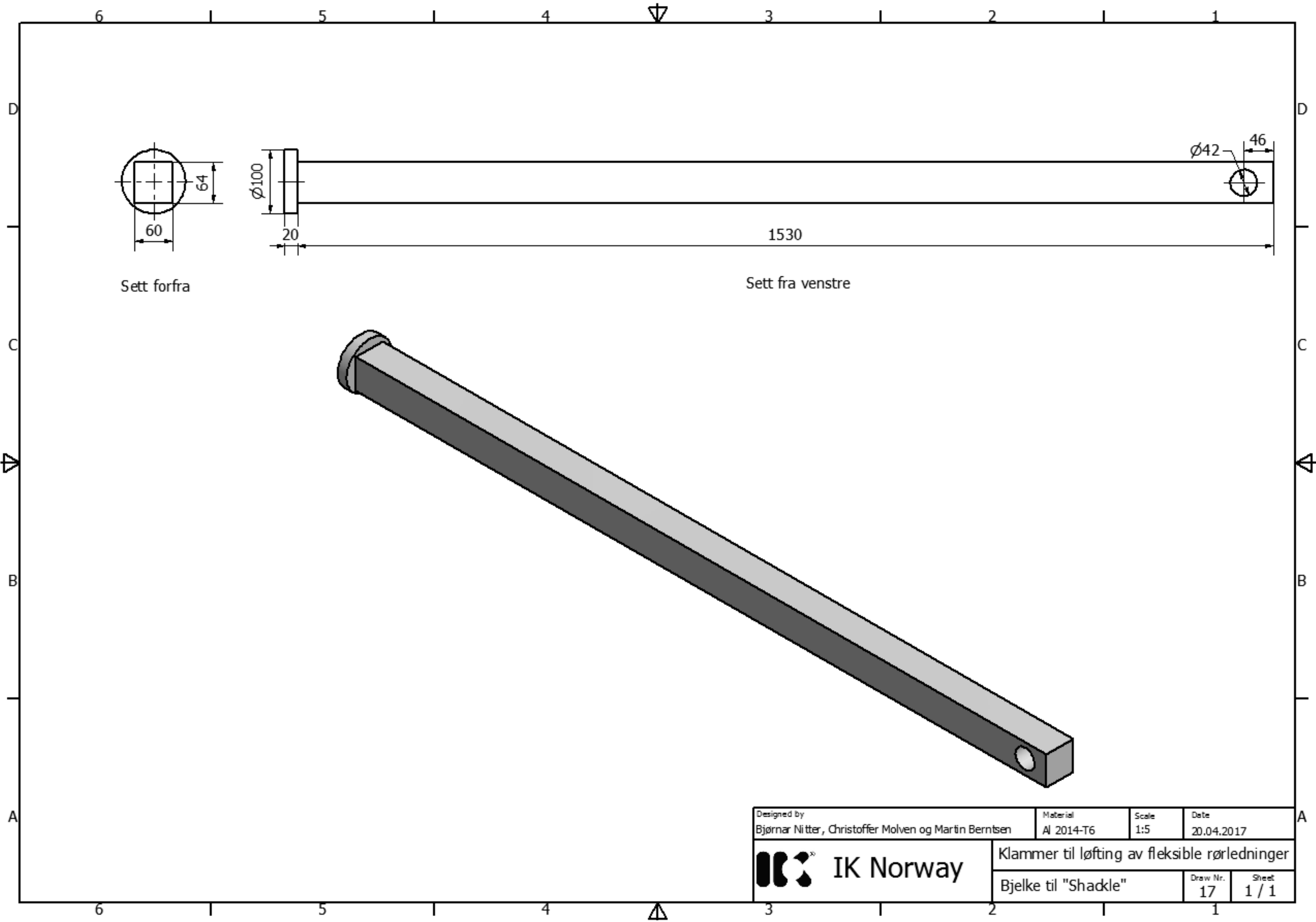
Sett forfra



Sett fra venstre




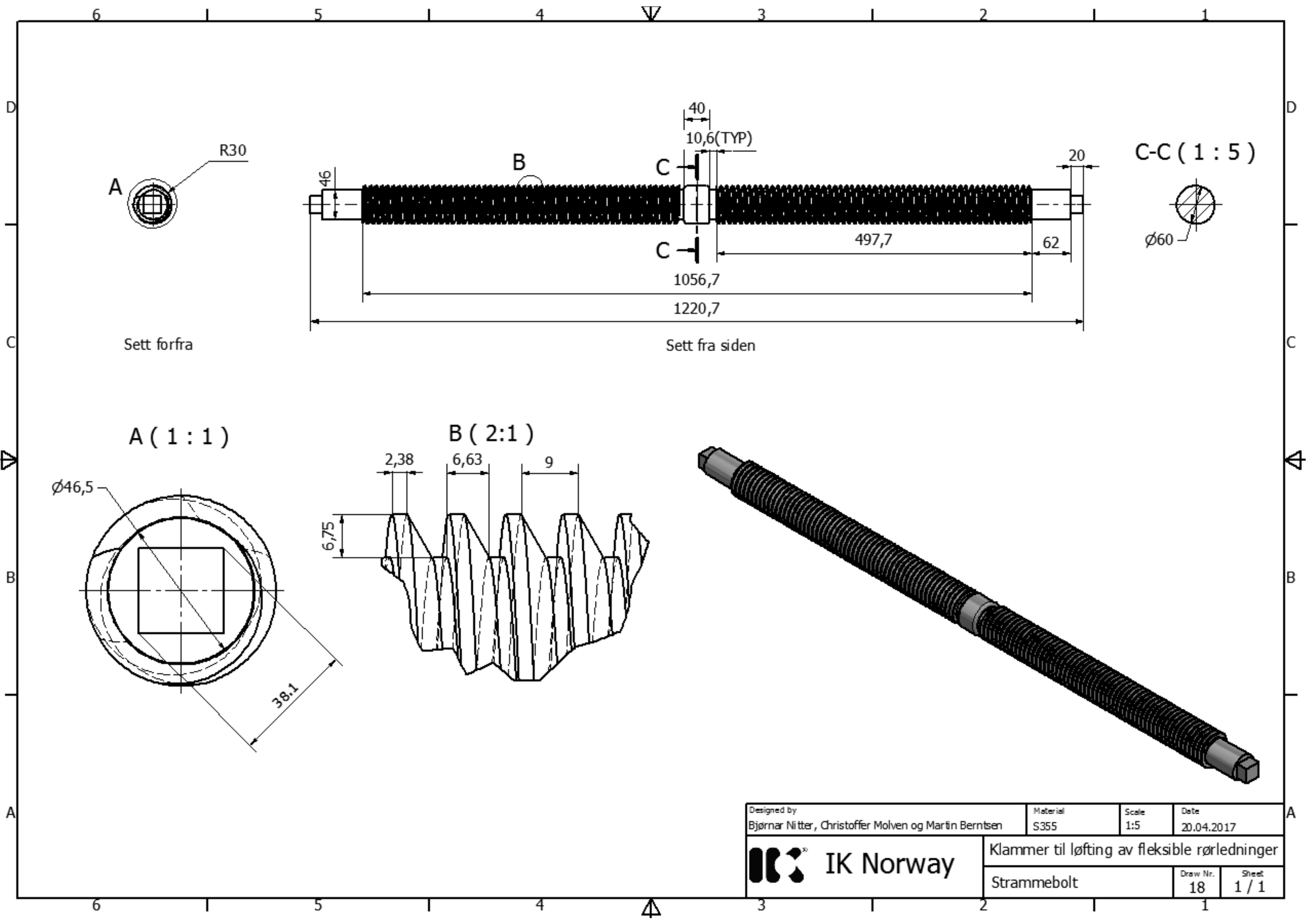
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material S355	Scale 1:1	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Klo stoppper	Draw Nr. 16	Sheet 1 / 1



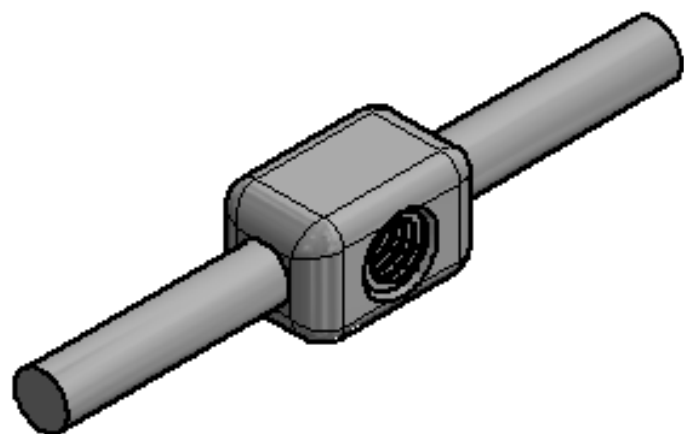
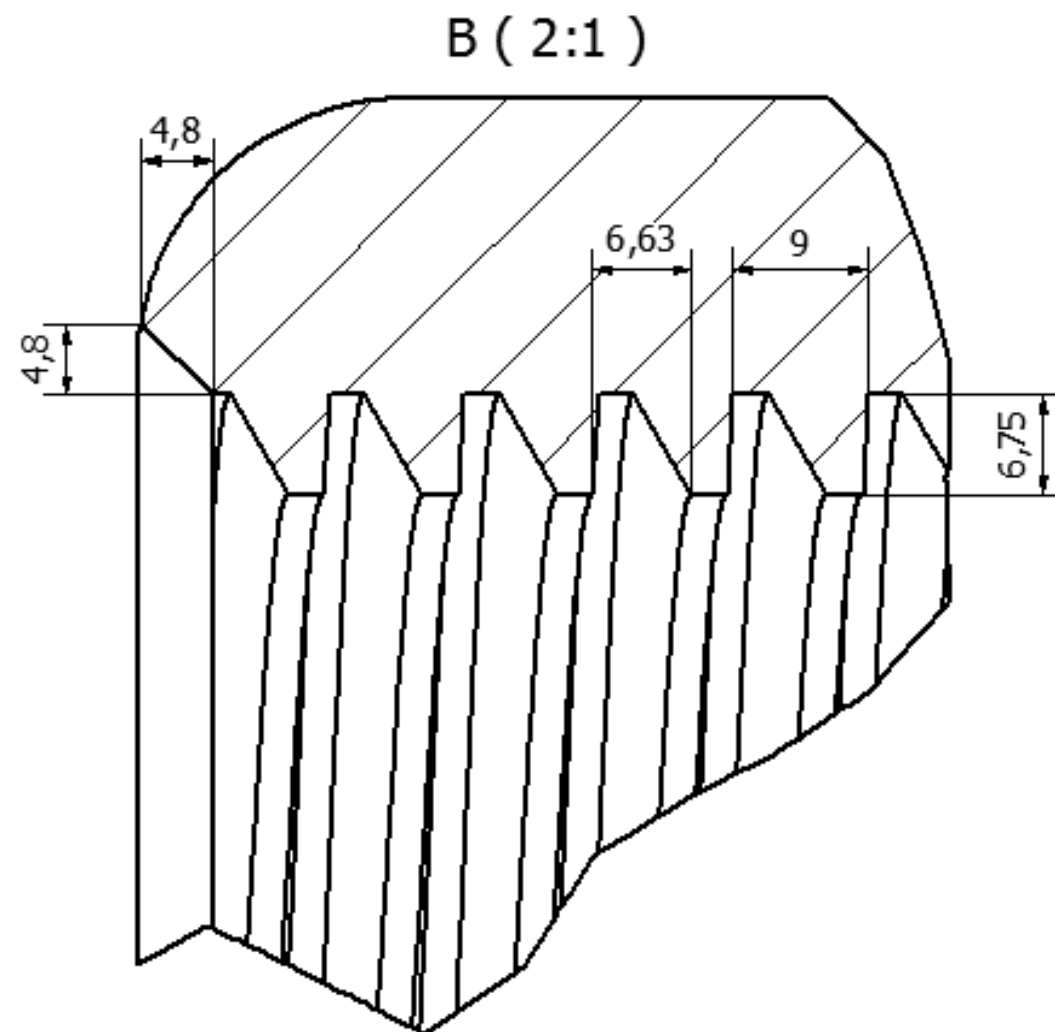
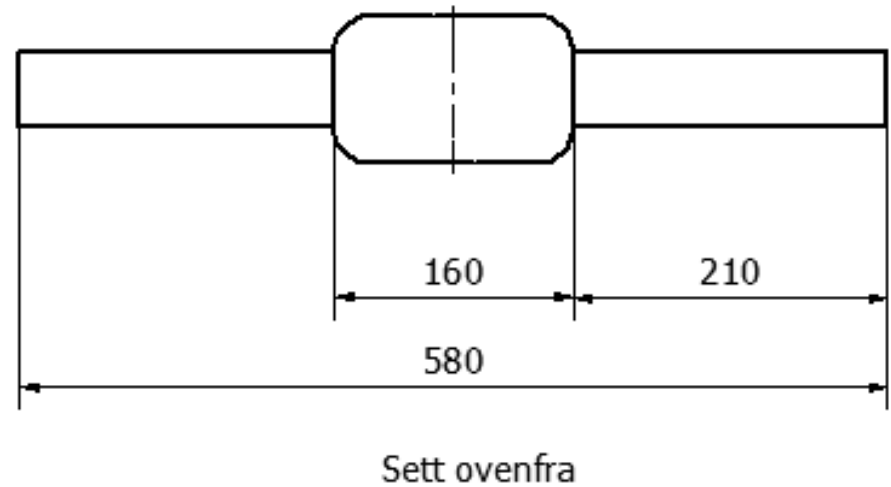
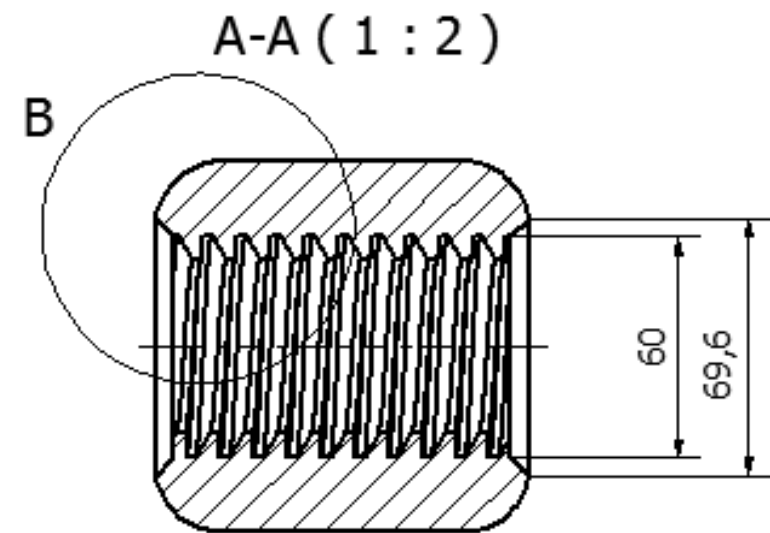
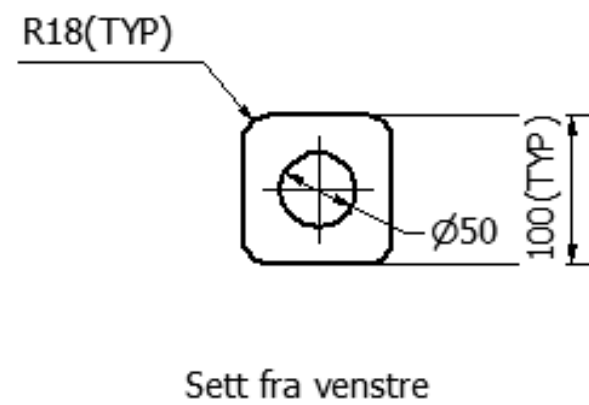
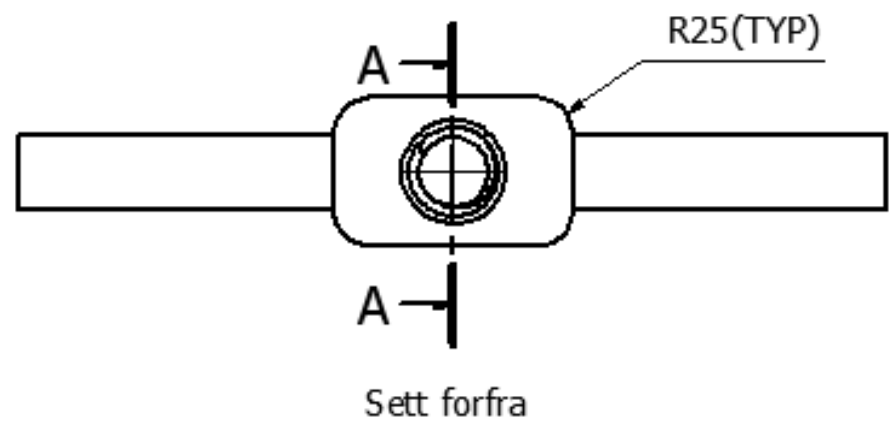
Sett forfra


Sett fra venstre

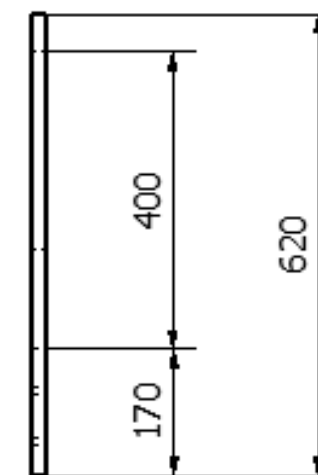
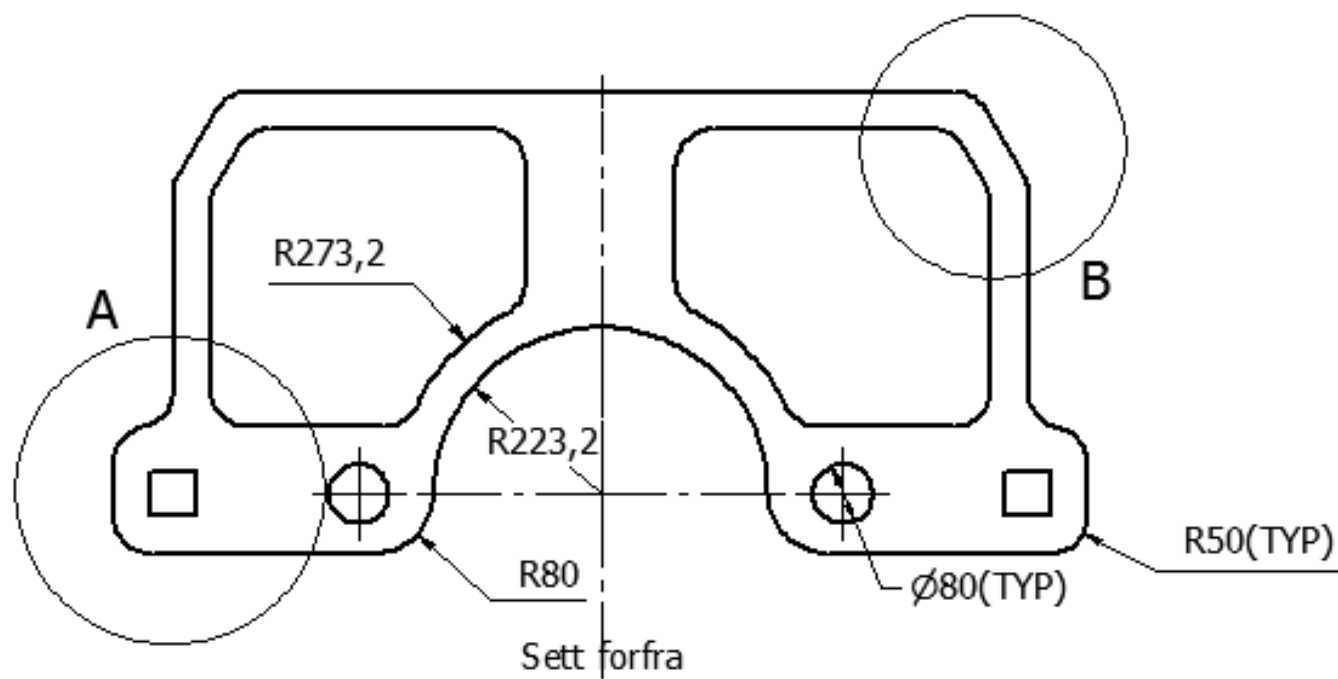
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		Draw Nr. 17
	Bjelke til "Shackle"		Sheet 1 / 1



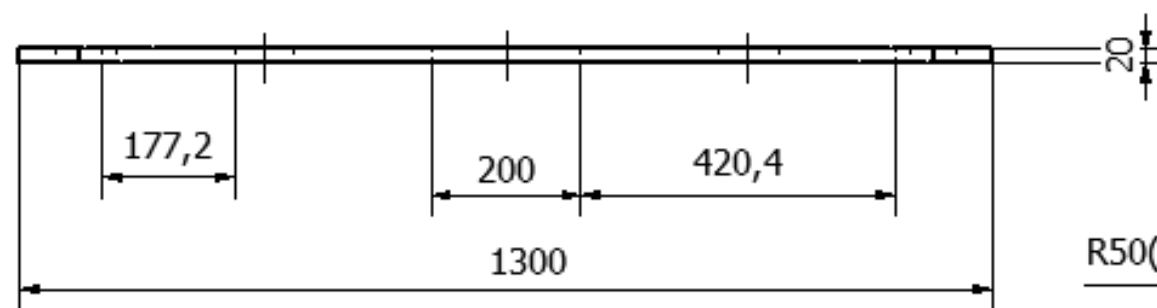
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material S355	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Strammebolt	Draw Nr. 18	Sheet 1 / 1



Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material S355	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Mutter med stang		Draw Nr. 19	Sheet 1 / 1



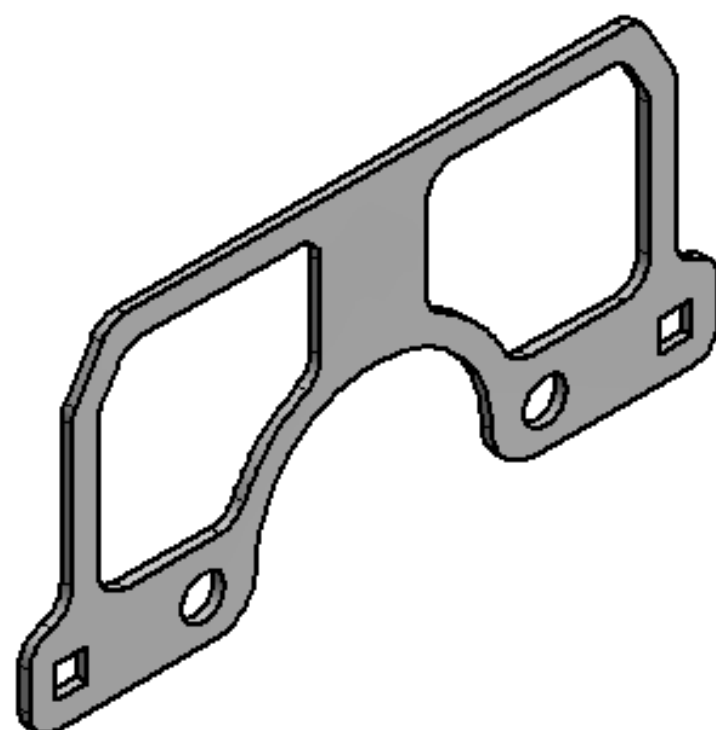
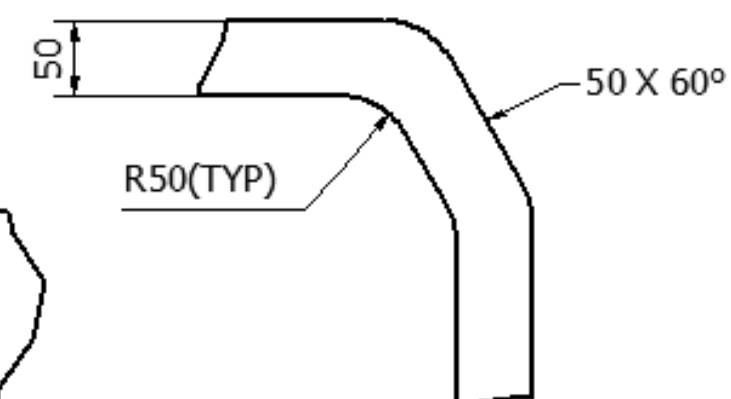
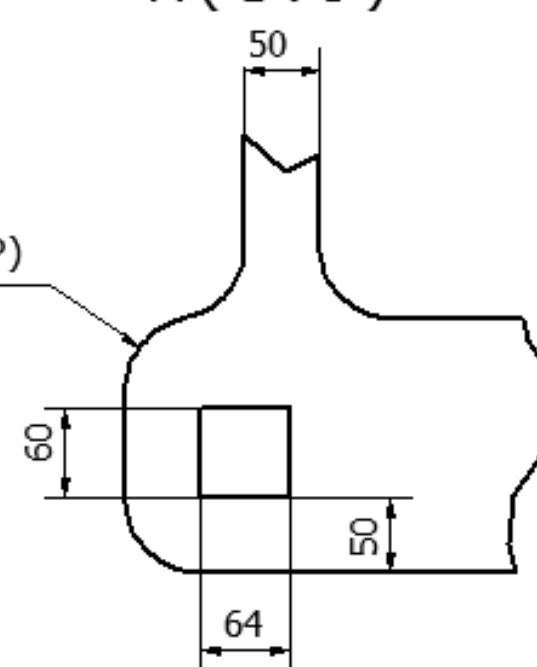
Sett fra venstre



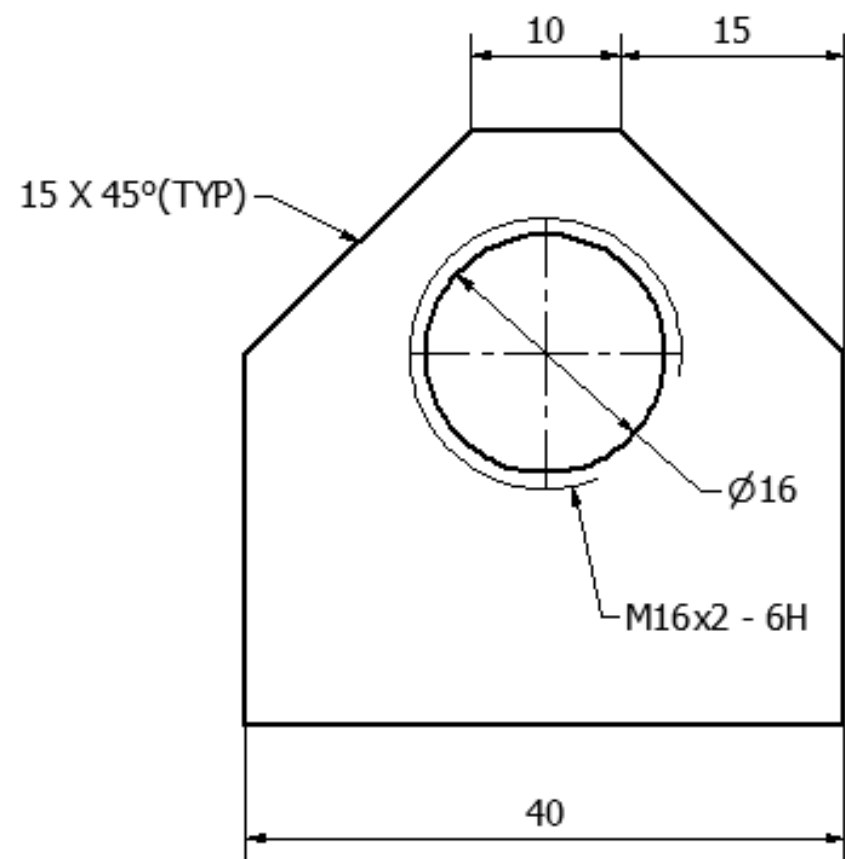
Sett ovenfra

A (1:5)

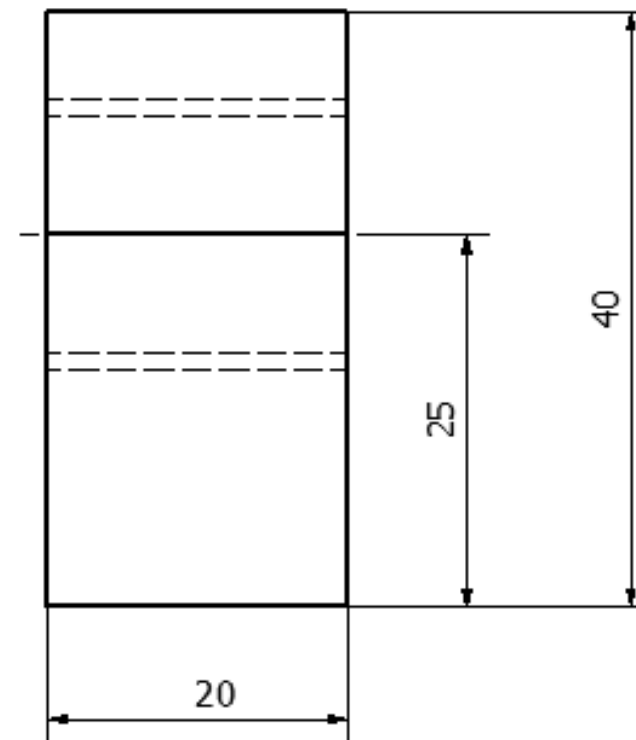
B (1:5)



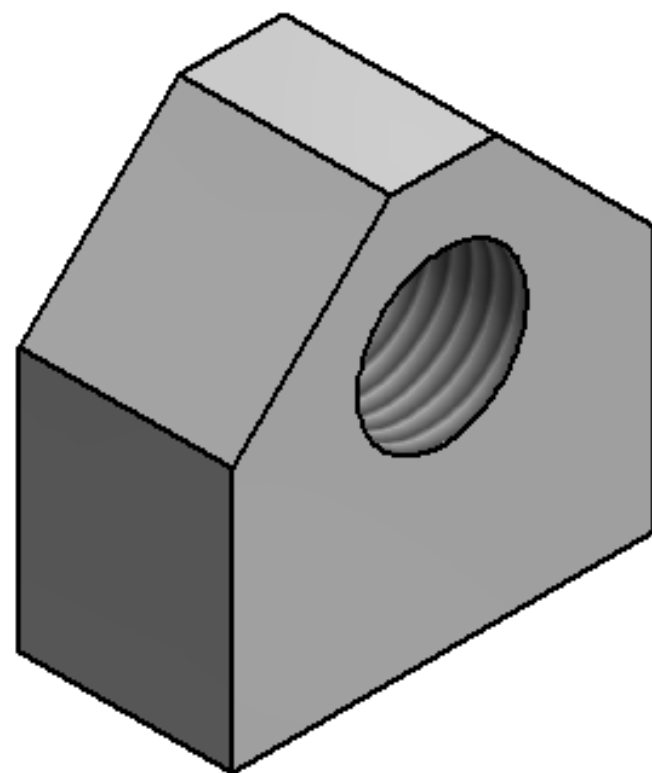
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Rammeplate	Draw Nr. 20




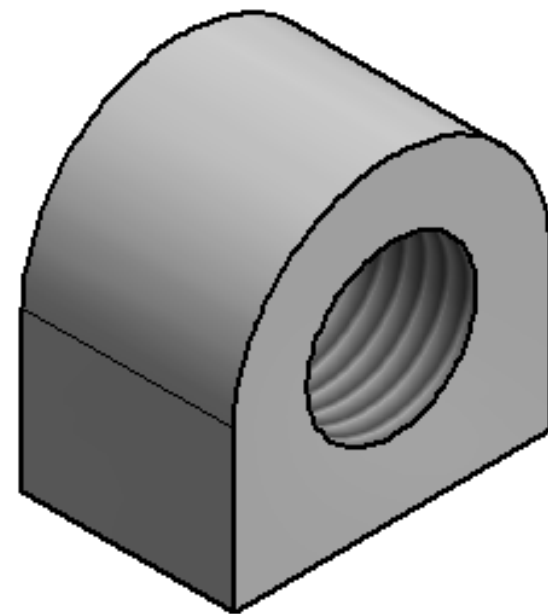
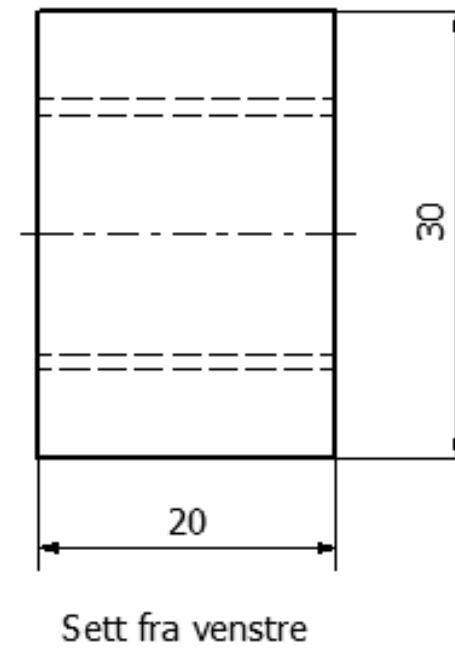
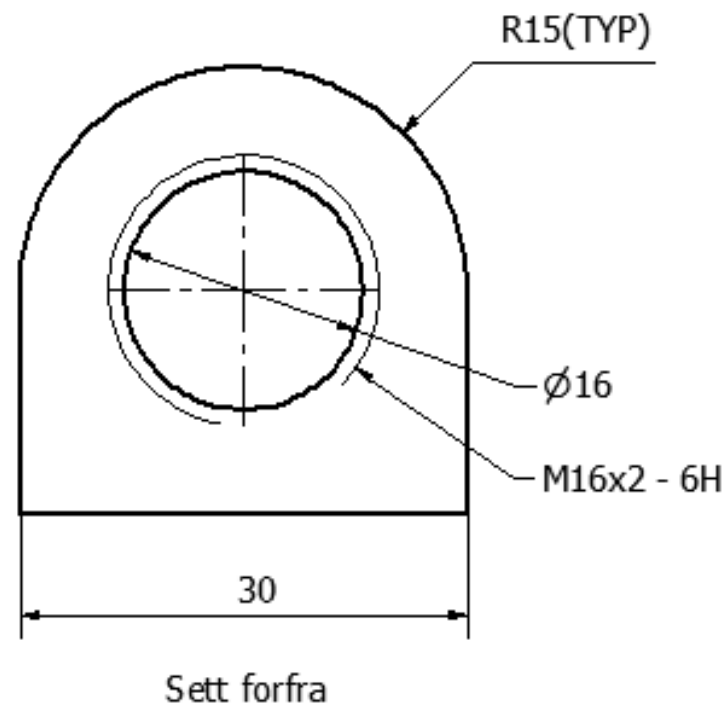
Sett forfra




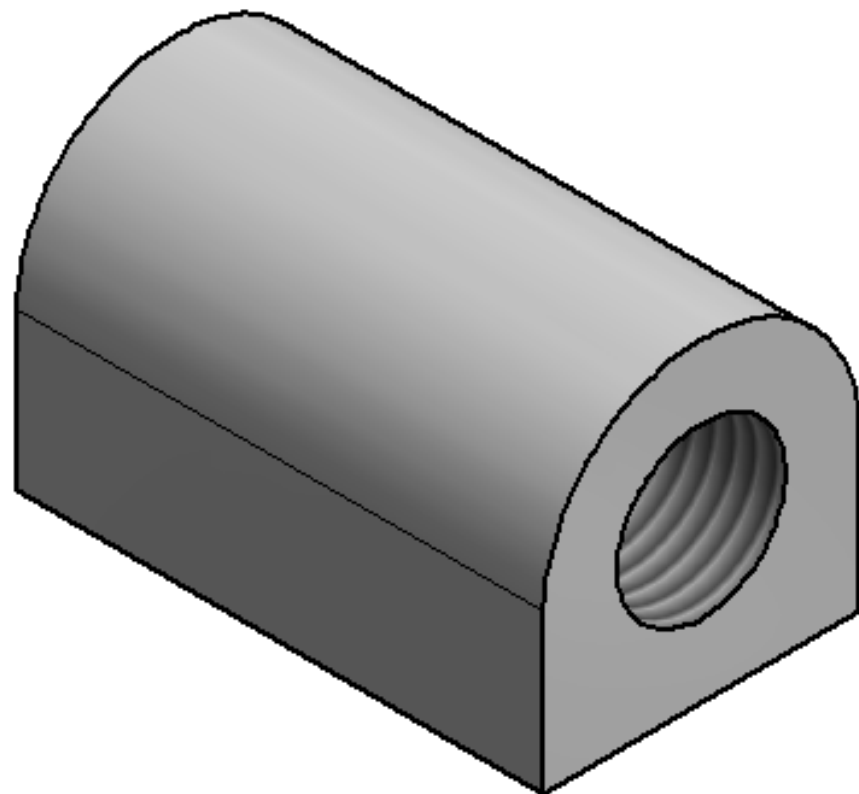
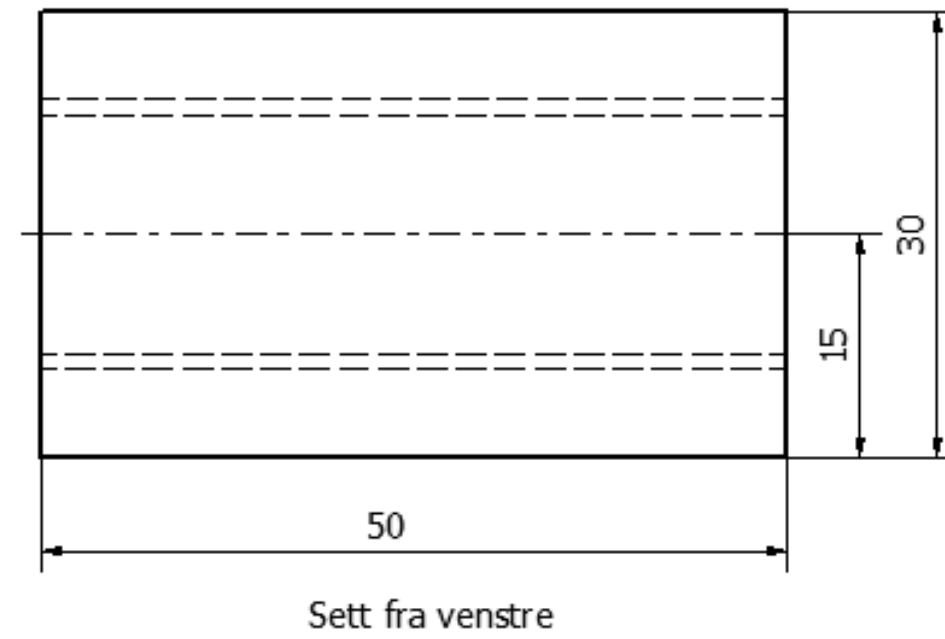
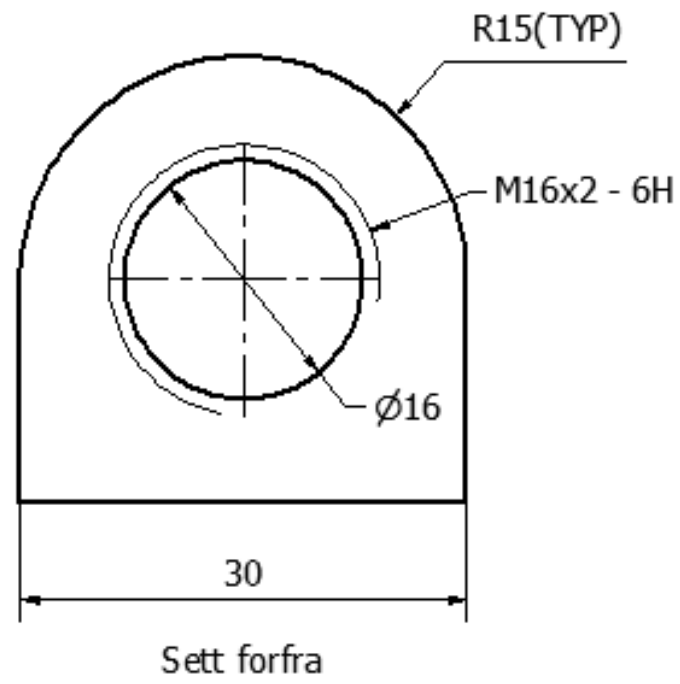
Sett fra venstre




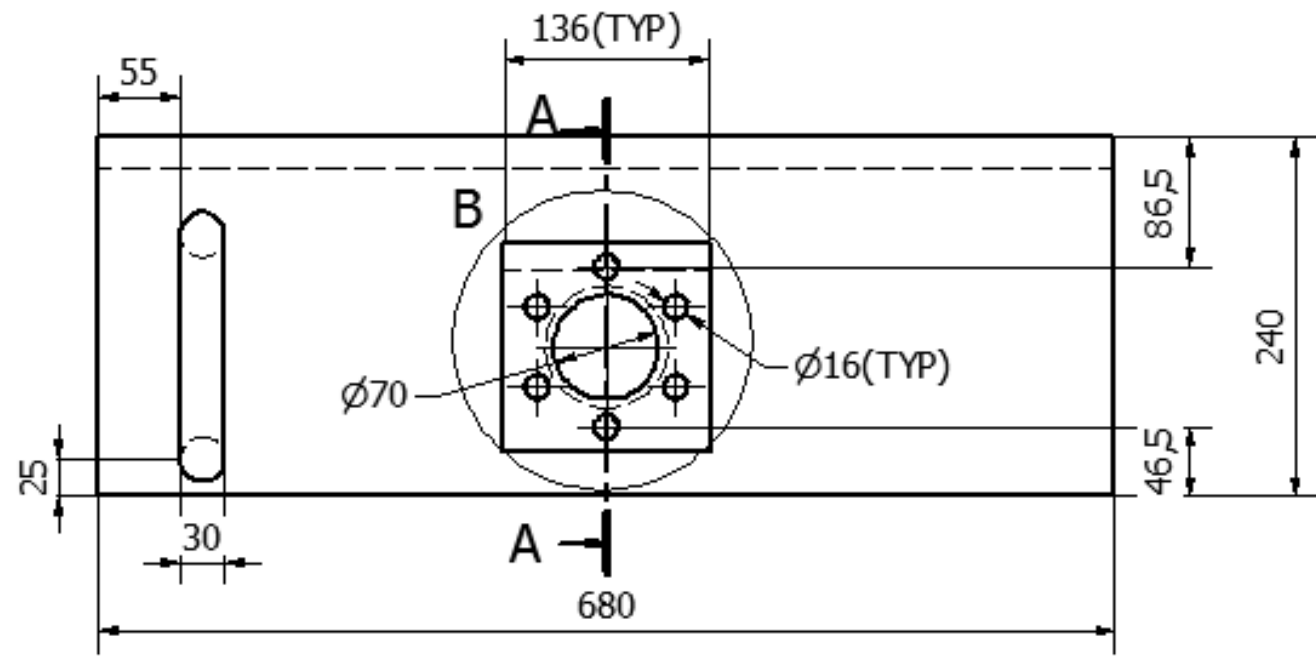
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 2:1	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Festepunkt for oppdrift side	Draw Nr. 21	Sheet 1 / 1



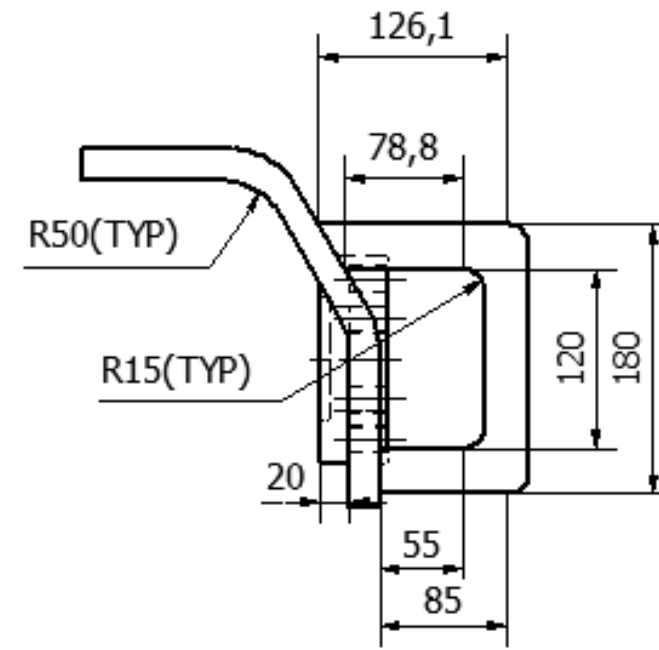
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 2:1	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Festepunkt for oppdrift foran/akter	Draw Nr. 22	Sheet 1 / 1



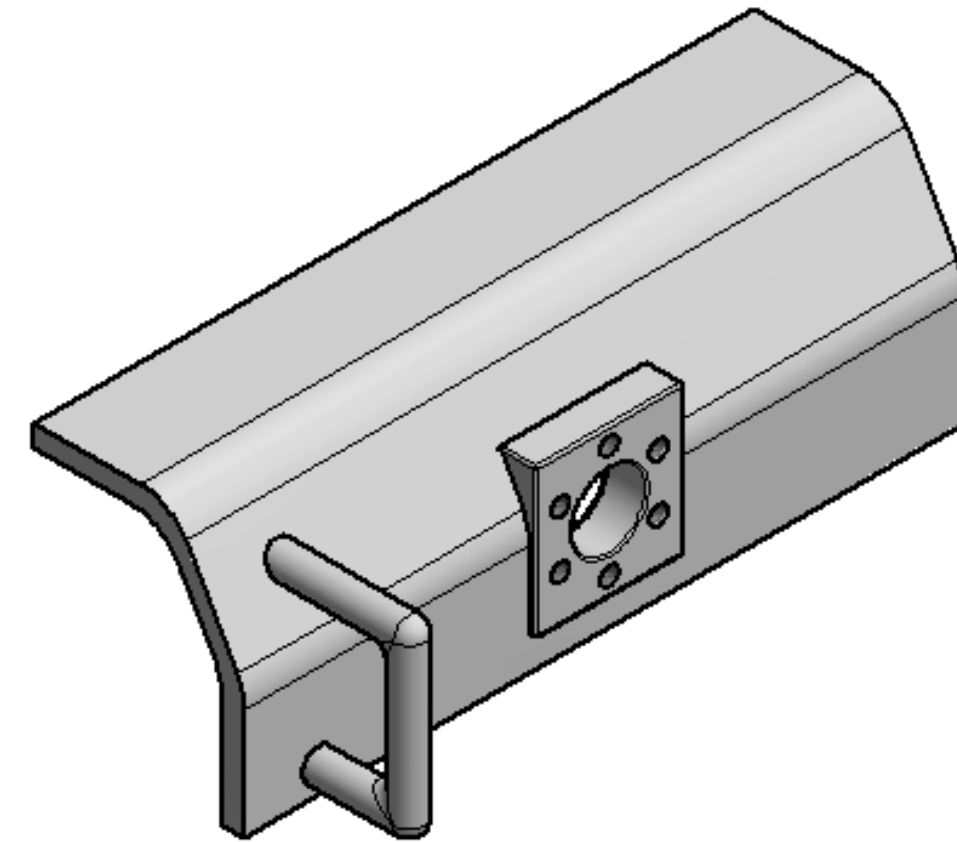
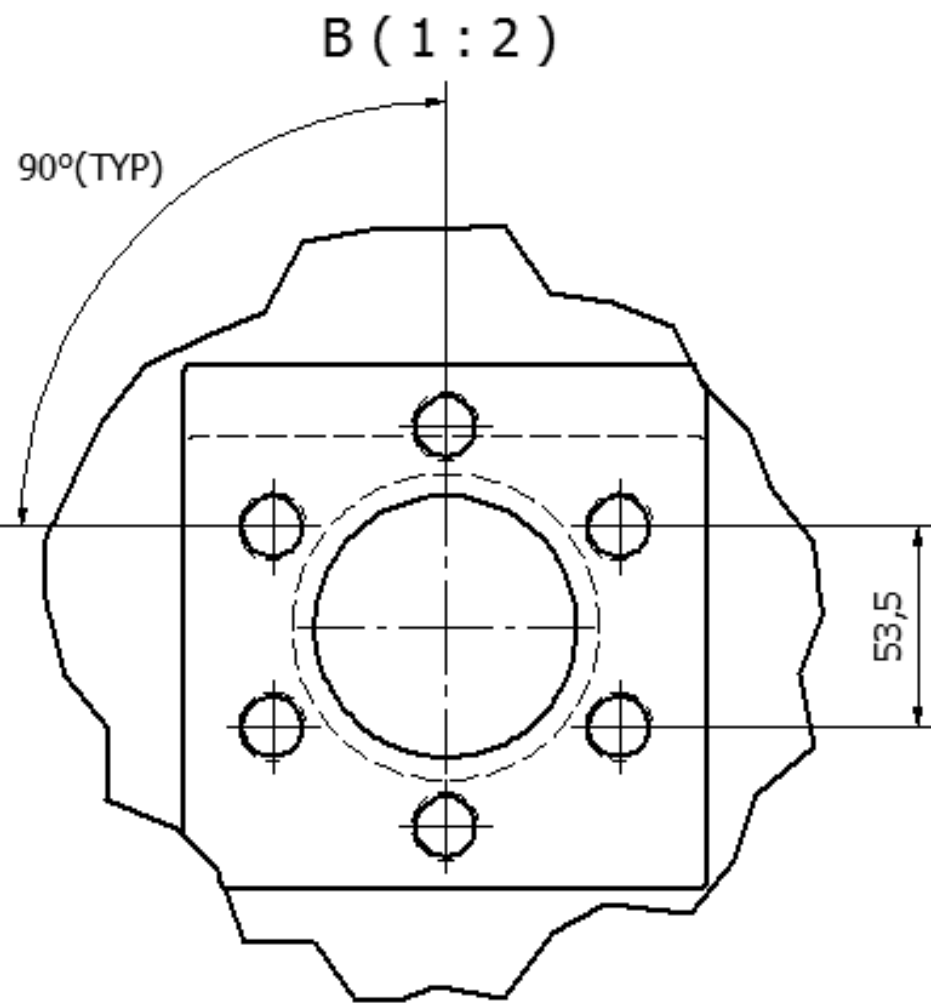
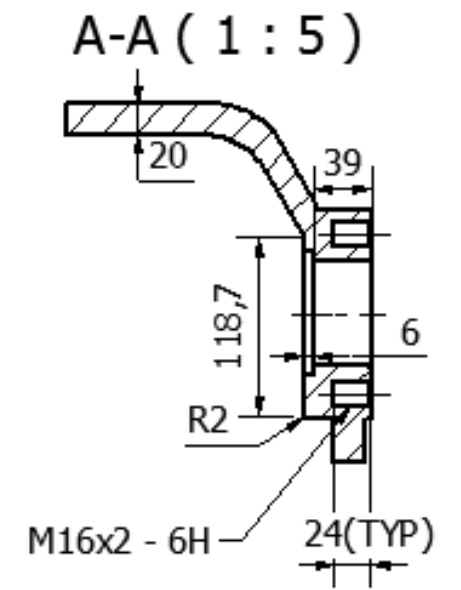
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Mølven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 2:1	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Festepunkt for oppdrift topp	Draw Nr. 23	Sheet 1 / 1




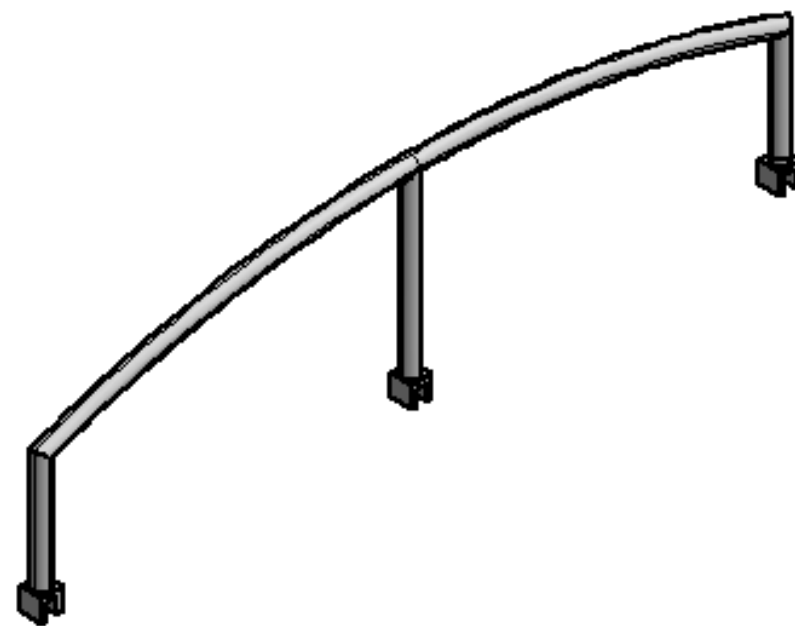
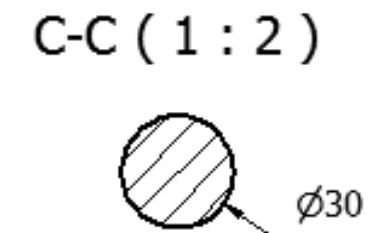
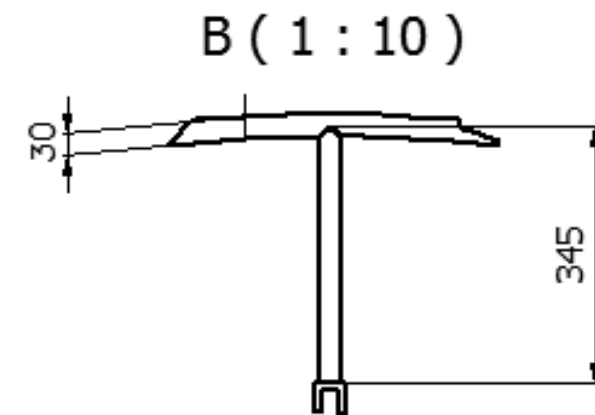
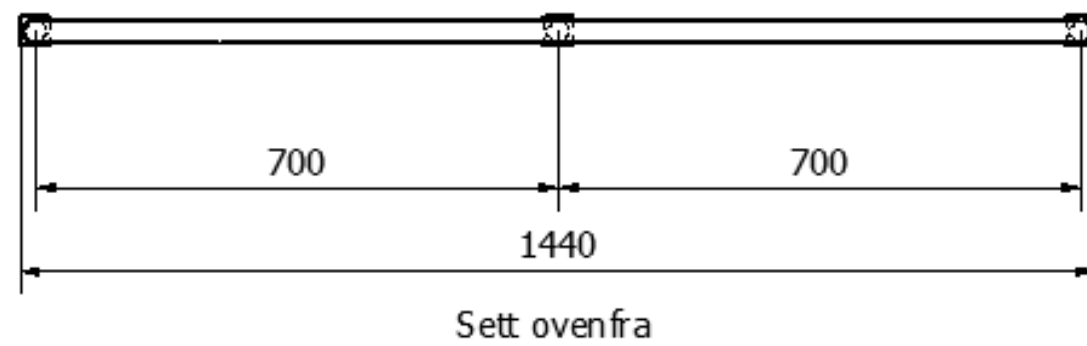
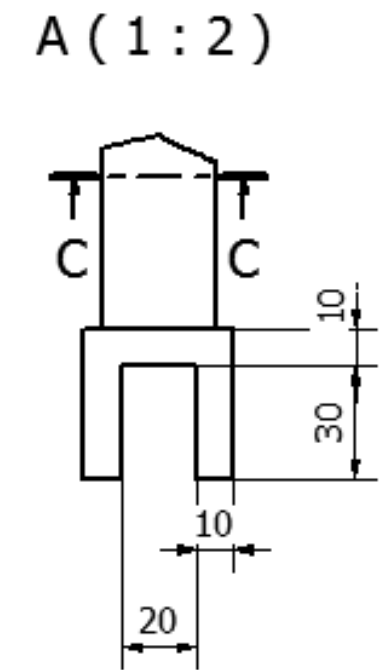
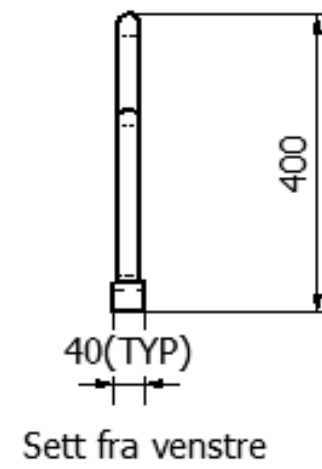
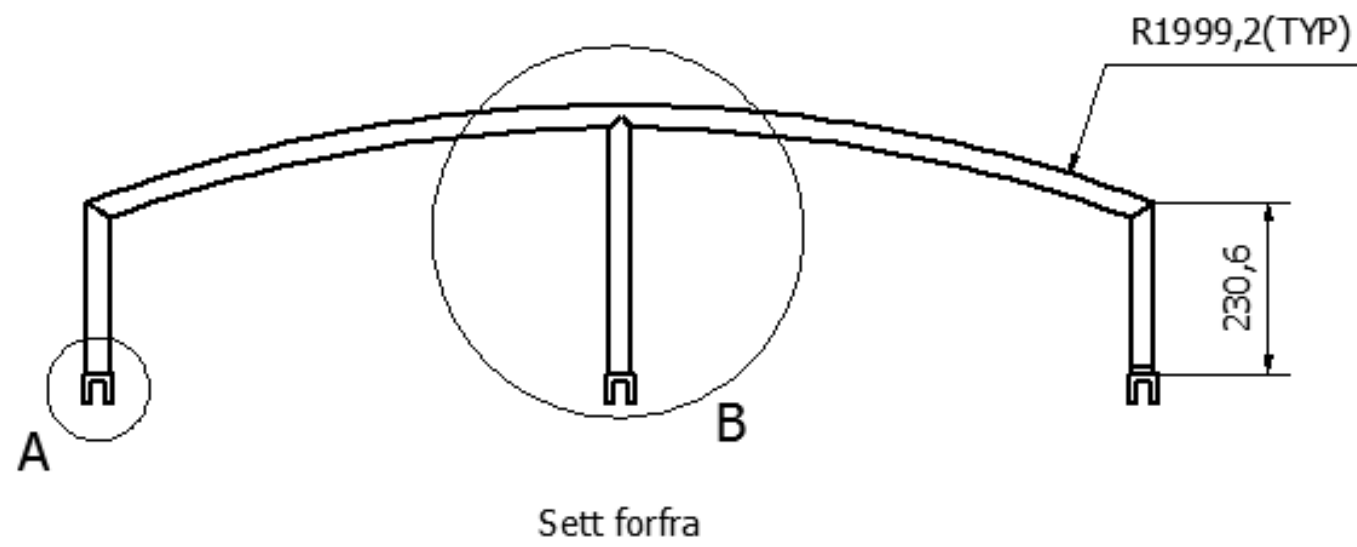
Sett fra høyre




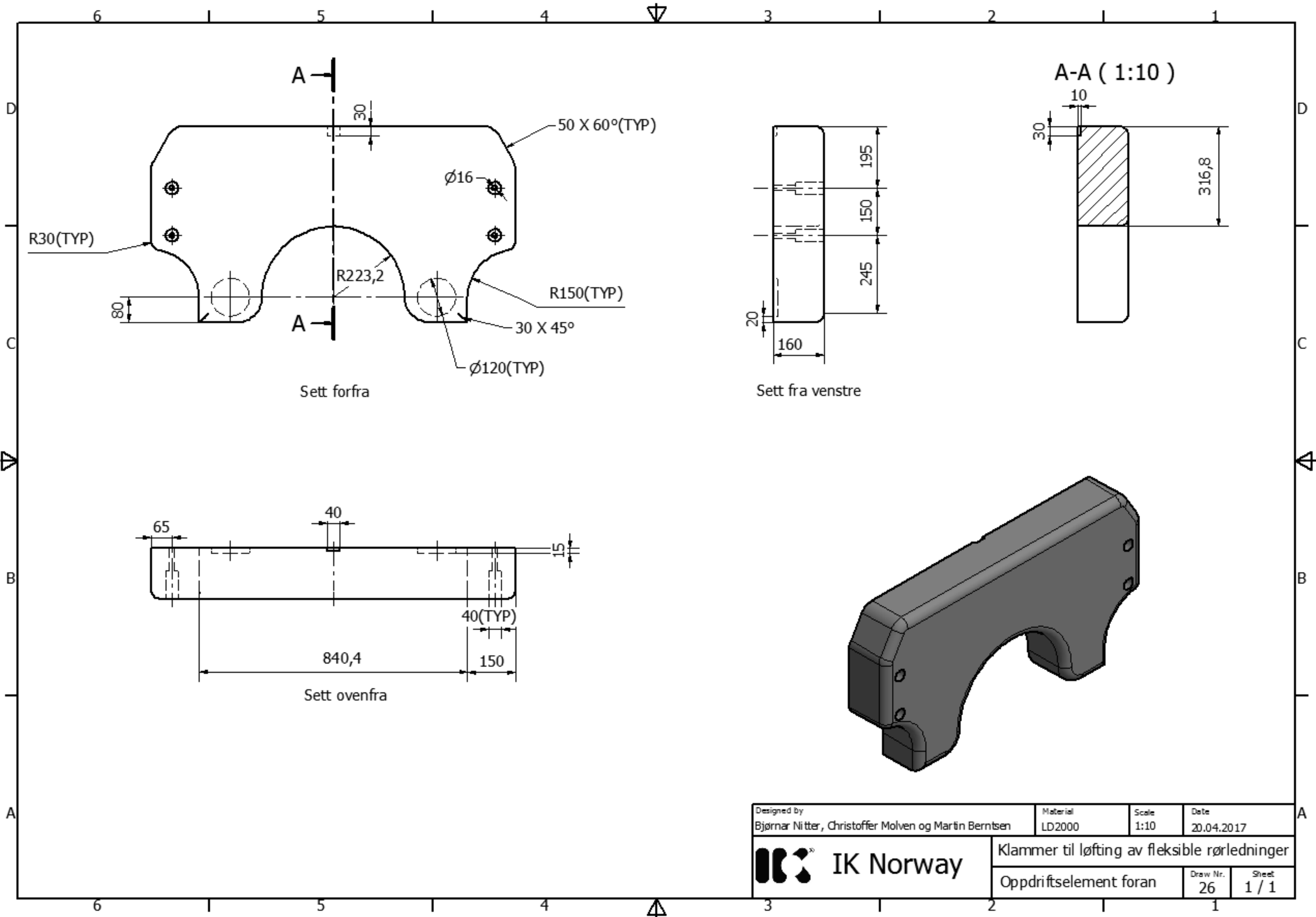
Sett forfra



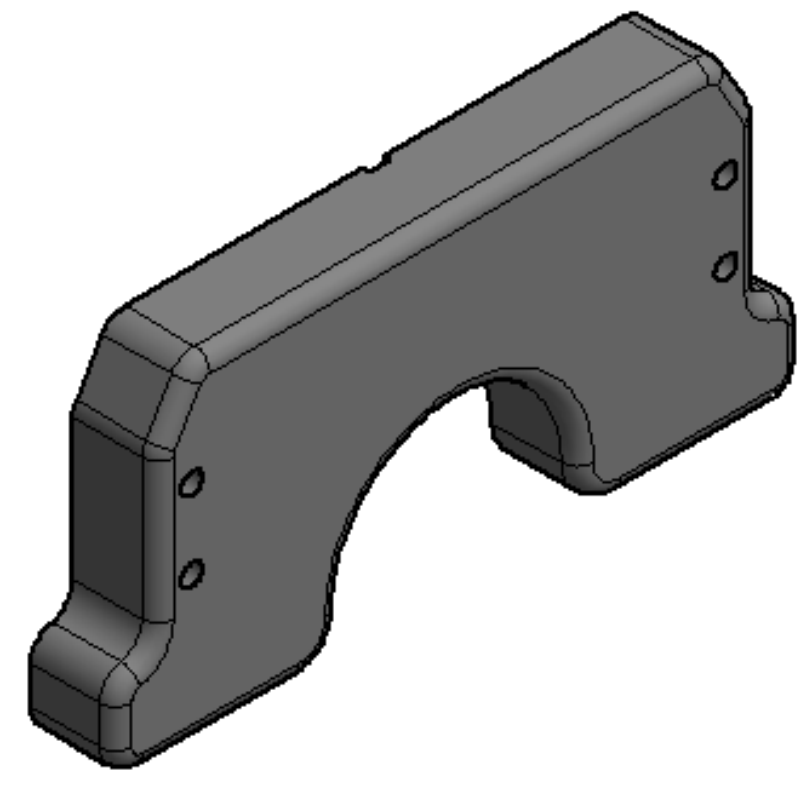
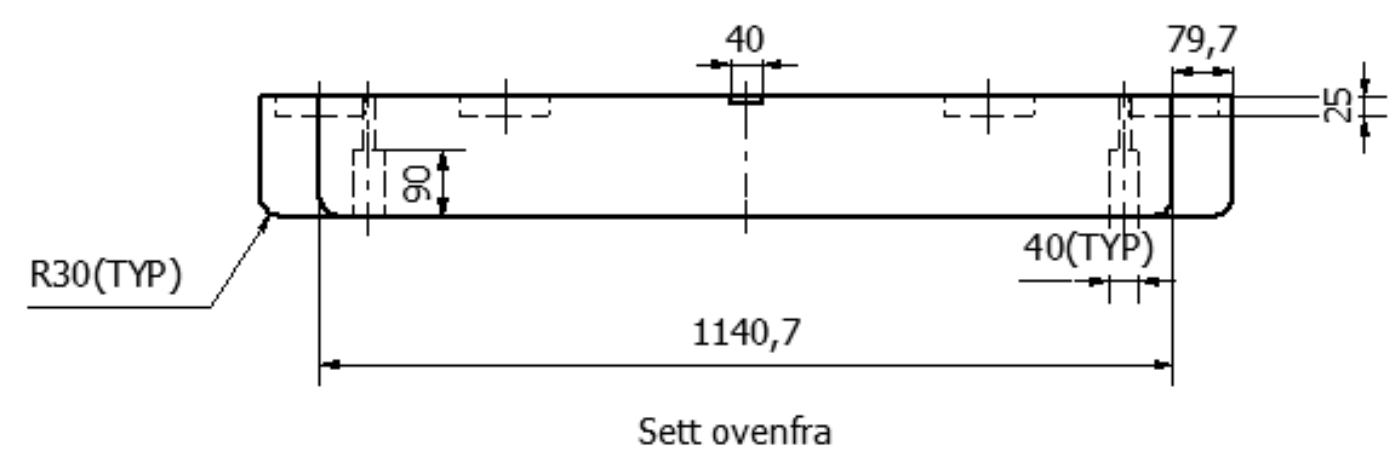
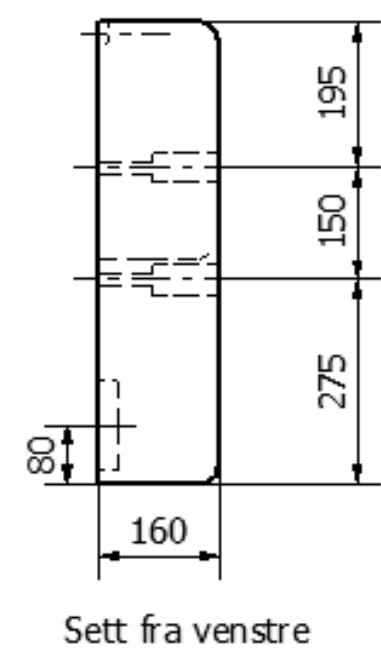
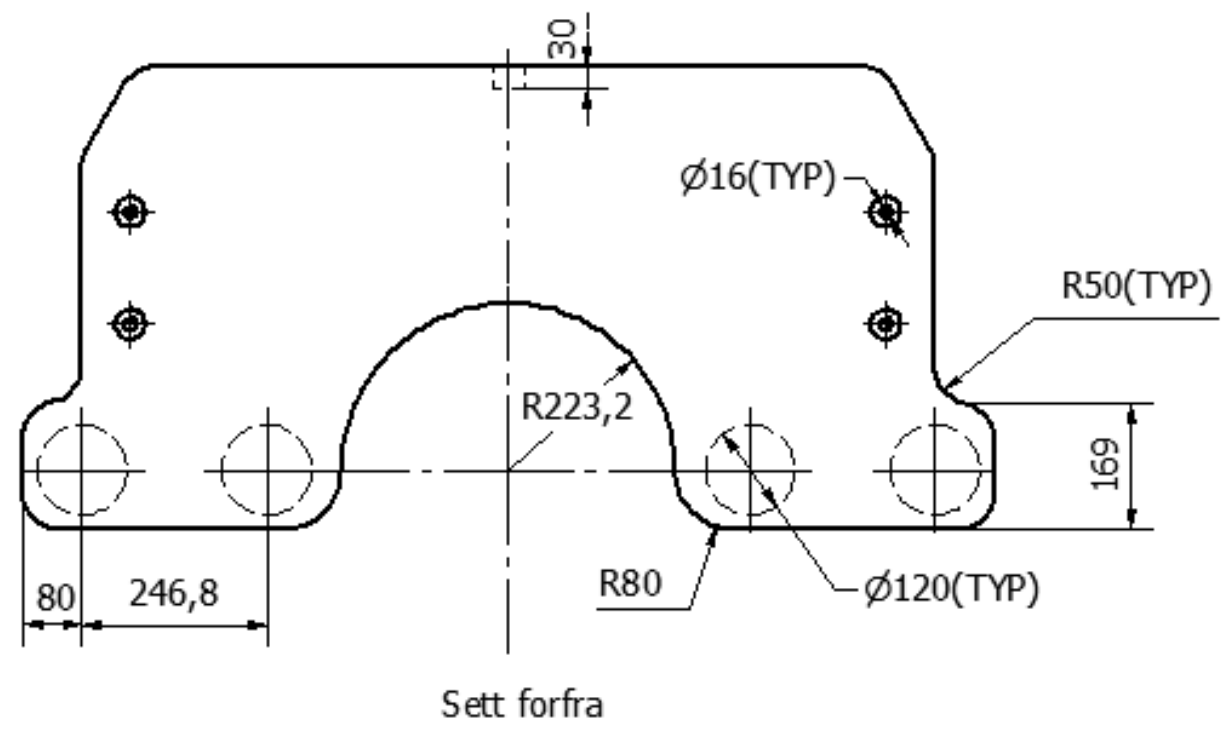
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Ramme side		Draw Nr. 24	Sheet 1 / 1




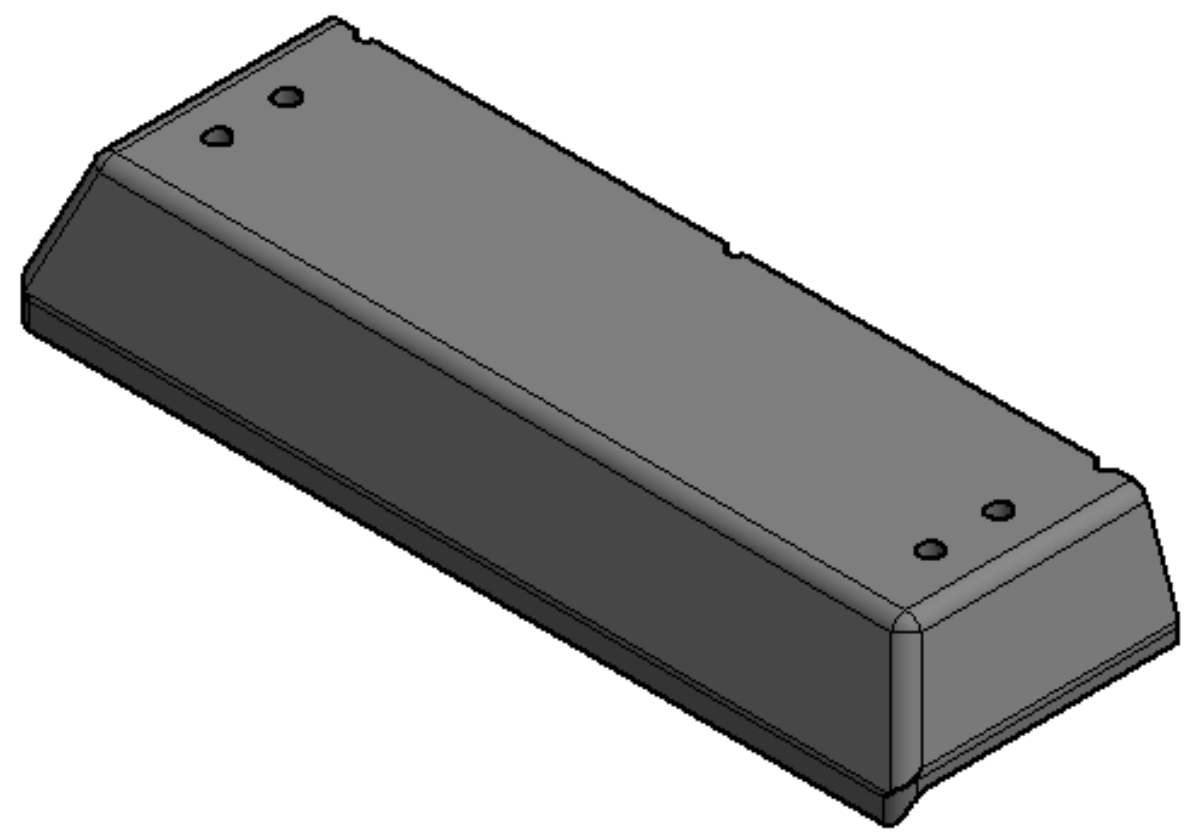
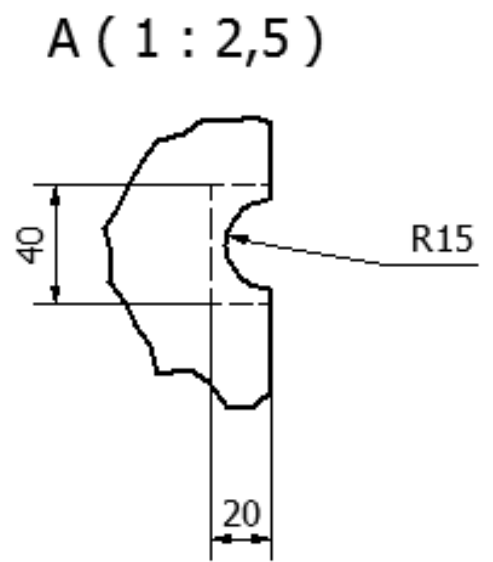
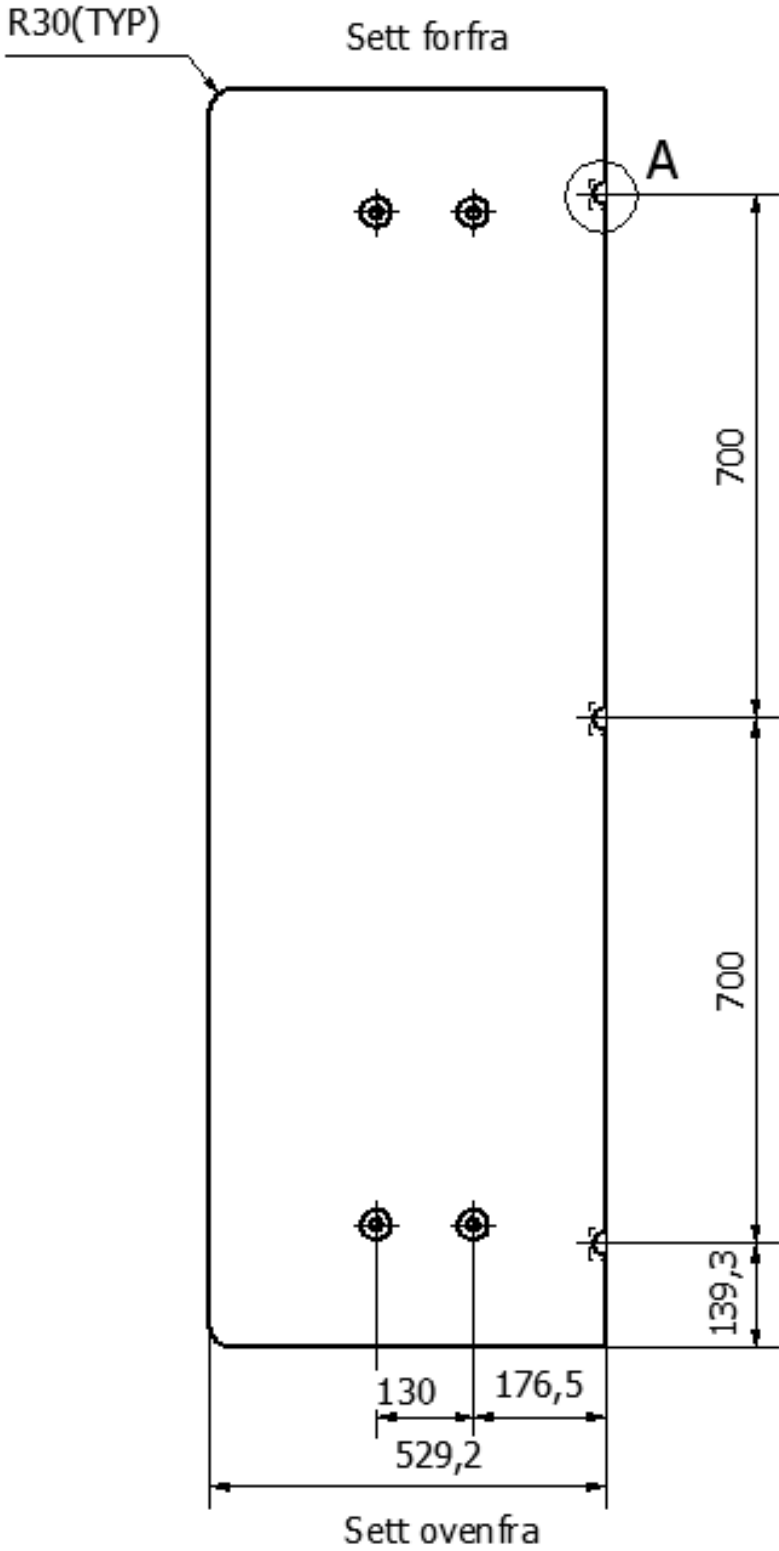
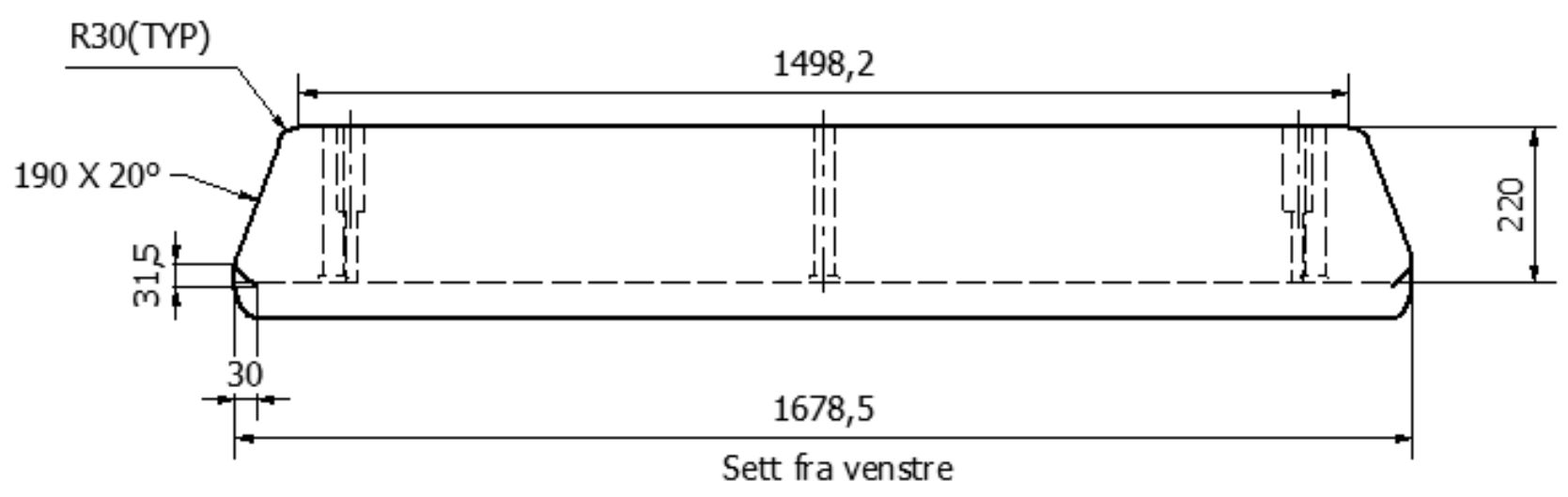
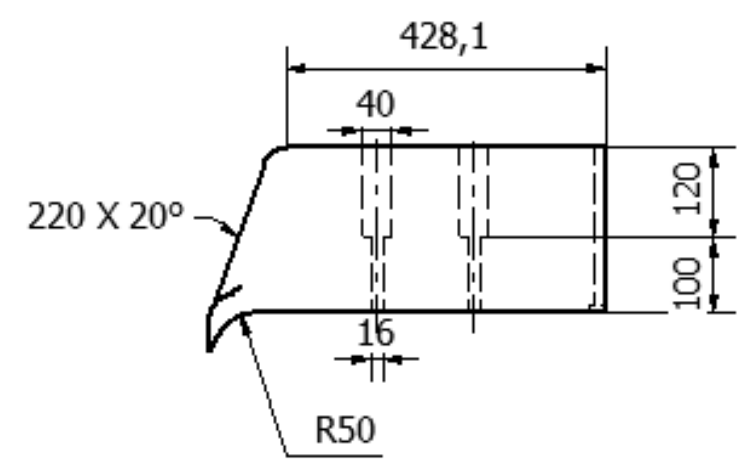
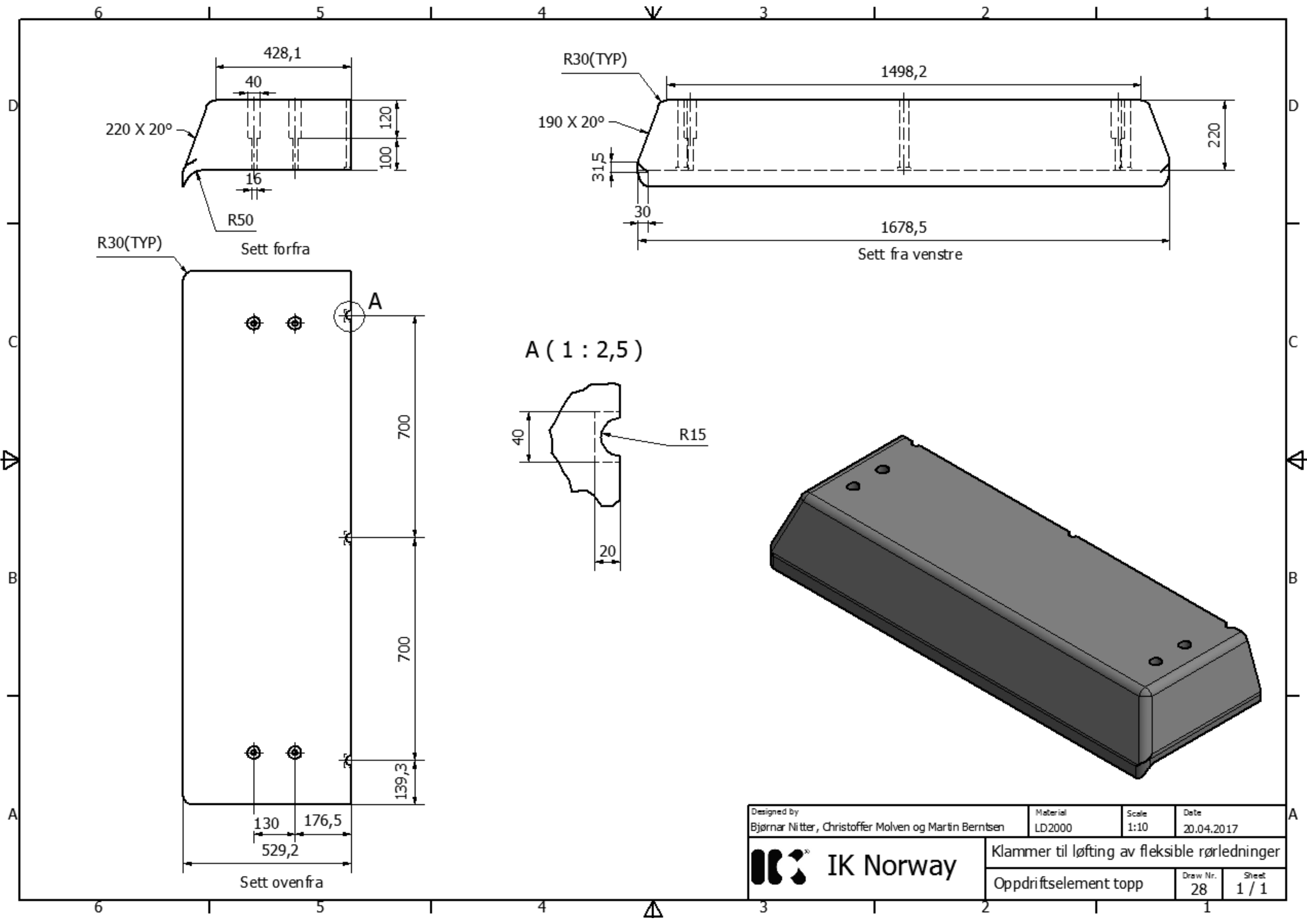
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		ROV løfte stang	Draw Nr. 25




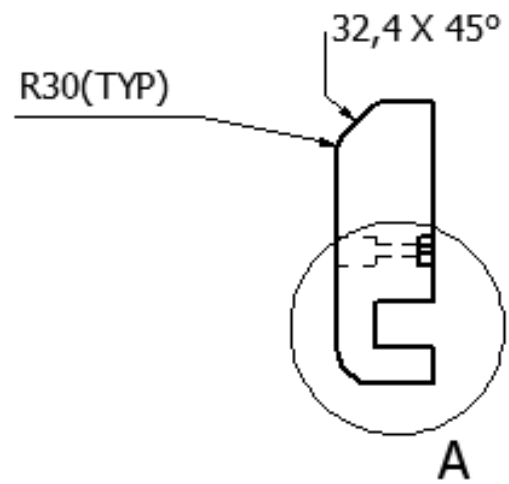
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Oppdriftselement foran	Draw Nr. 26



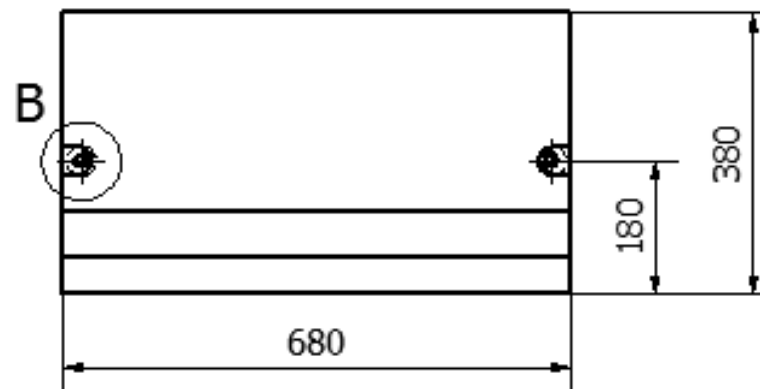
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Oppdriftselement akter	Draw Nr. 27	Sheet 1 / 1



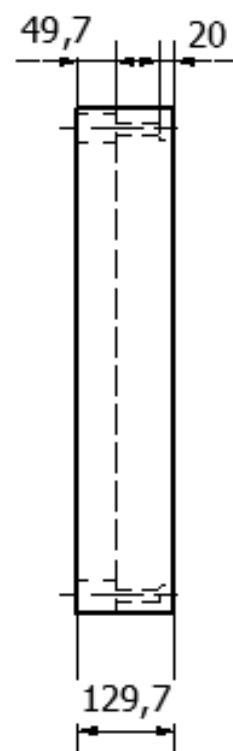
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Oppdriftselement topp	Draw Nr. 28 Sheet 1 / 1



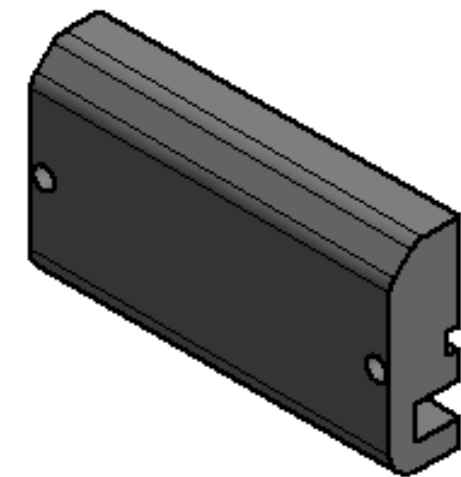
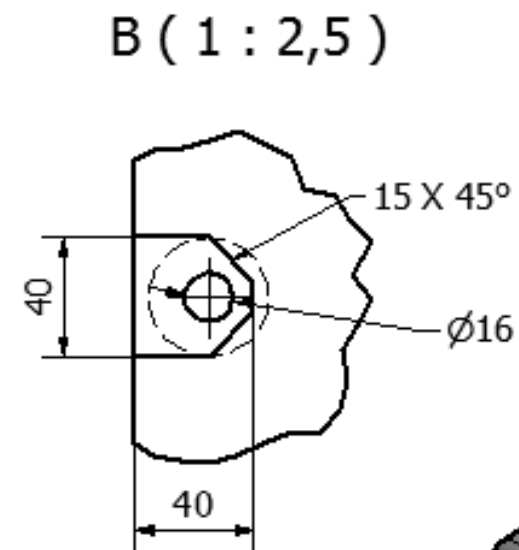
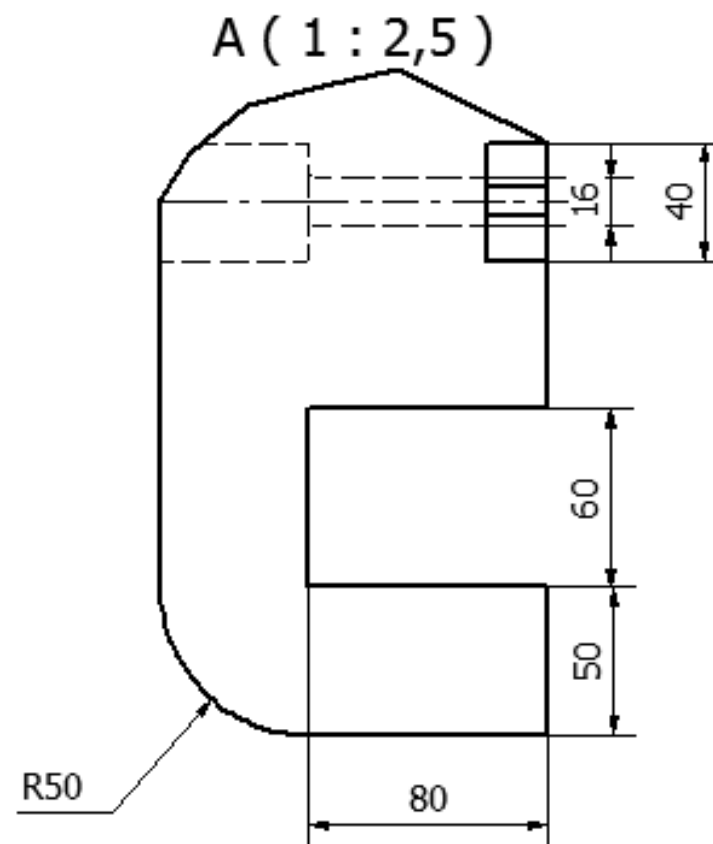
Sett forfra




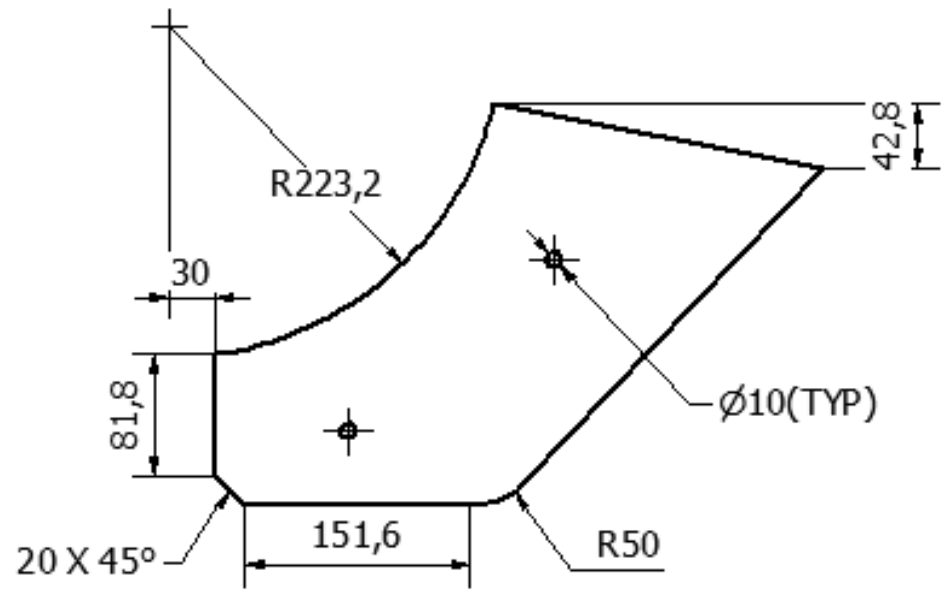
Sett fra venstre



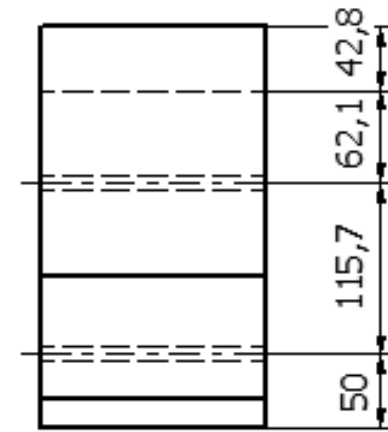
Sett ovenfra



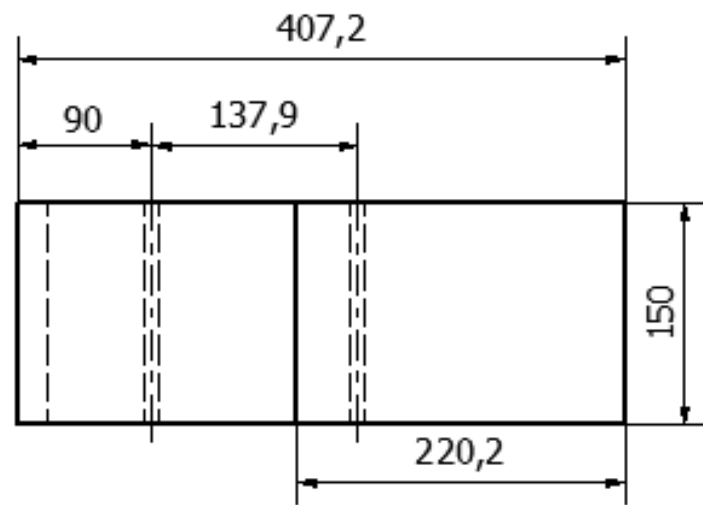
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Oppdriftselement side	Draw Nr. 29



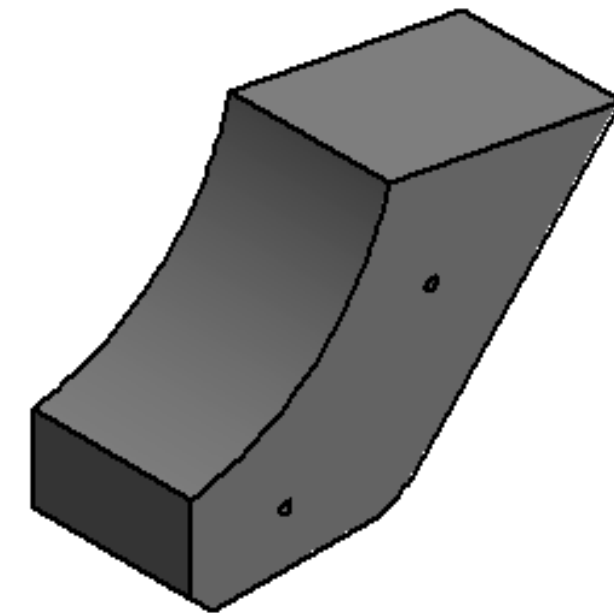
Sett forfra




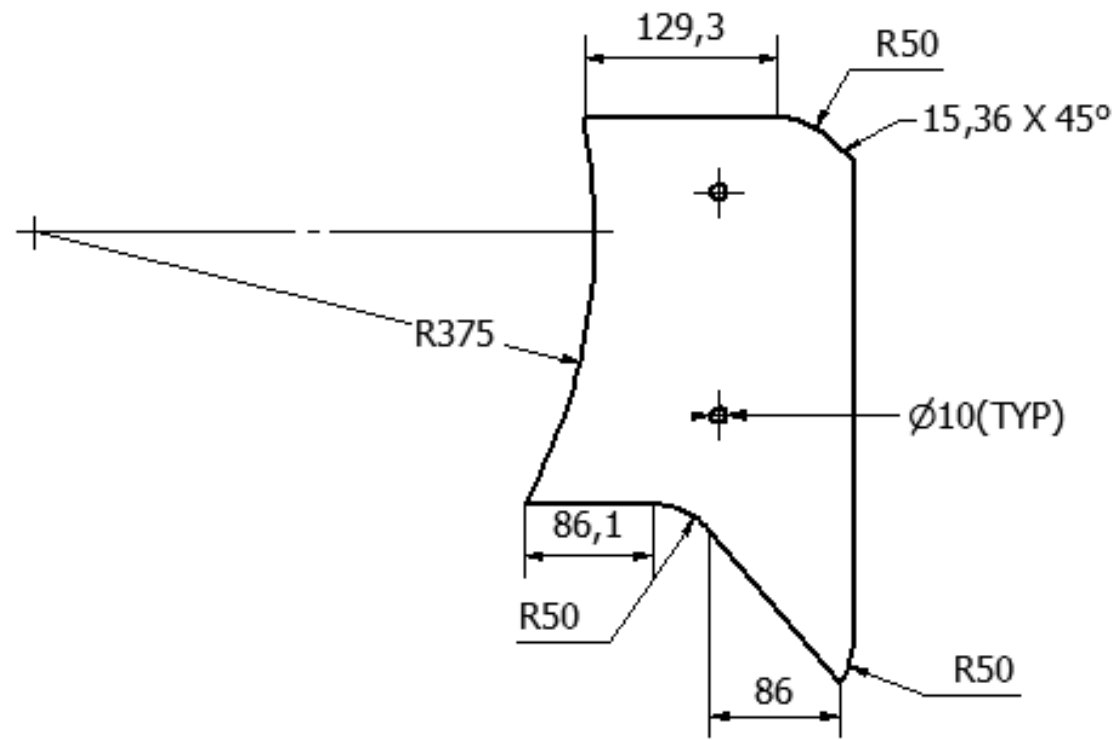
Sett fra venstre



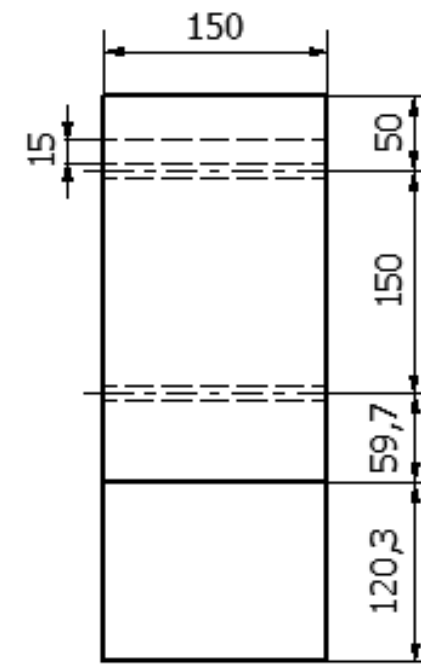
Sett ovenfra



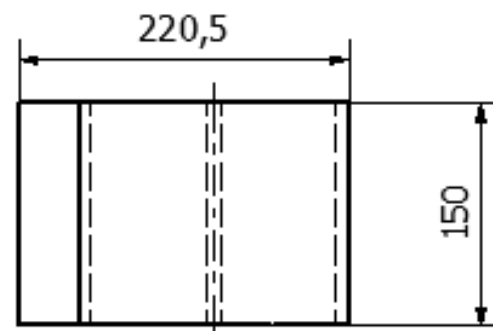
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Oppdrift bjelke bunn 150mm	Draw Nr. 30	Sheet 1 / 1



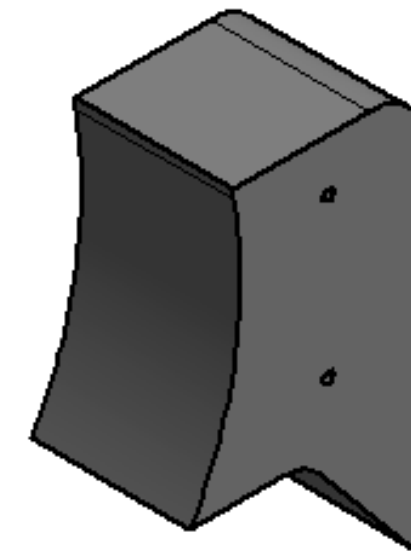
Sett forfra




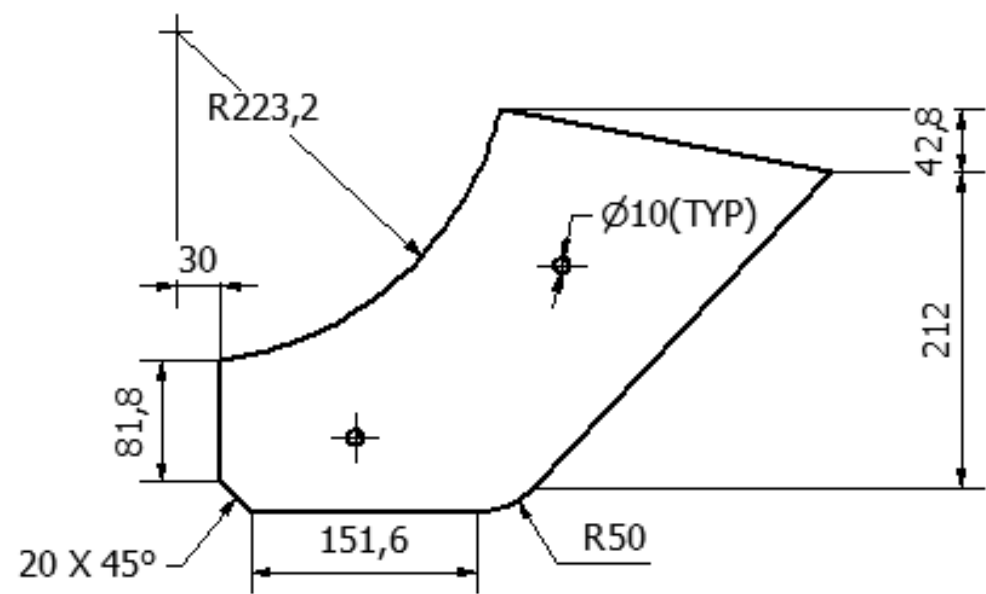
Sett fra venstre



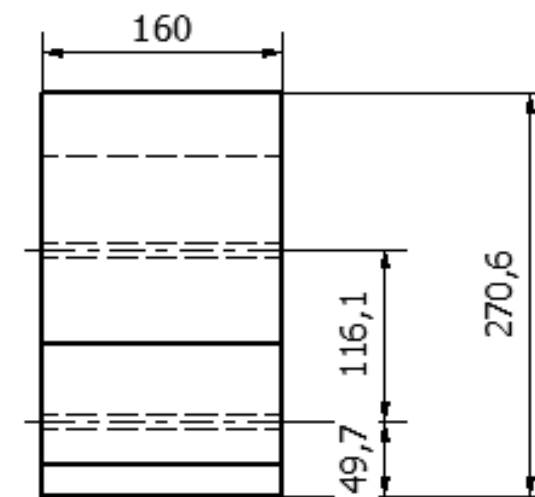
Sett ovenfra



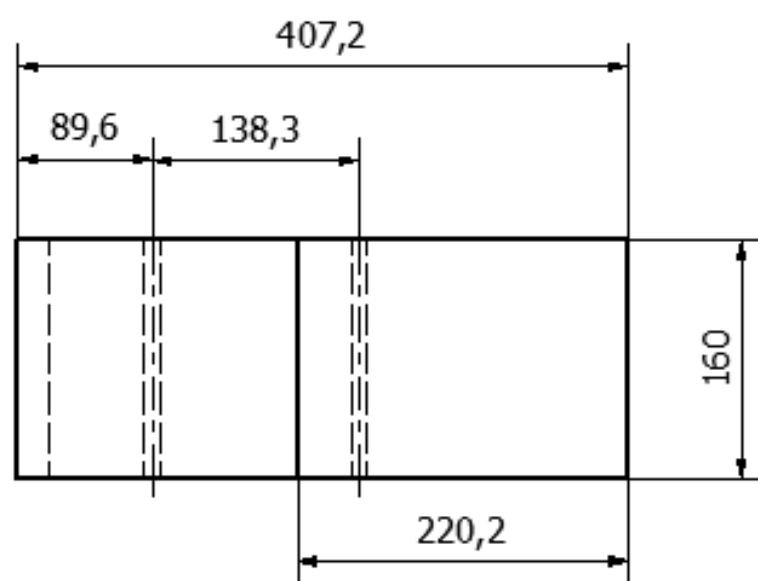
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Oppdrift bjelke midt 150mm	Draw Nr. 31	Sheet 1 / 1



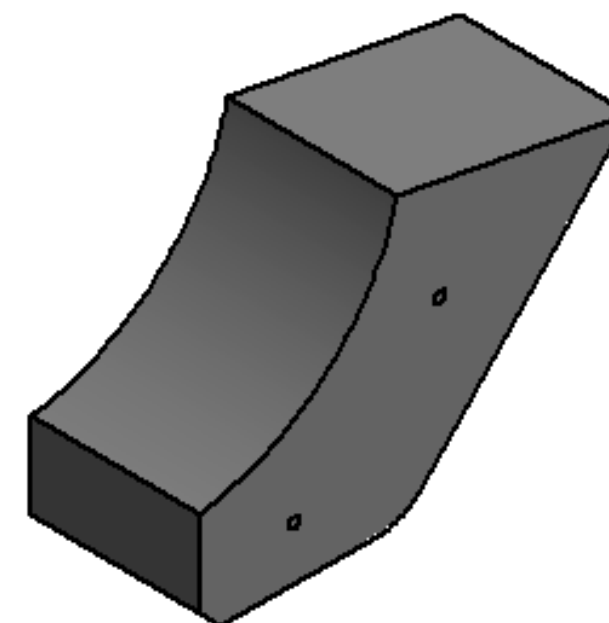
Sett forfra



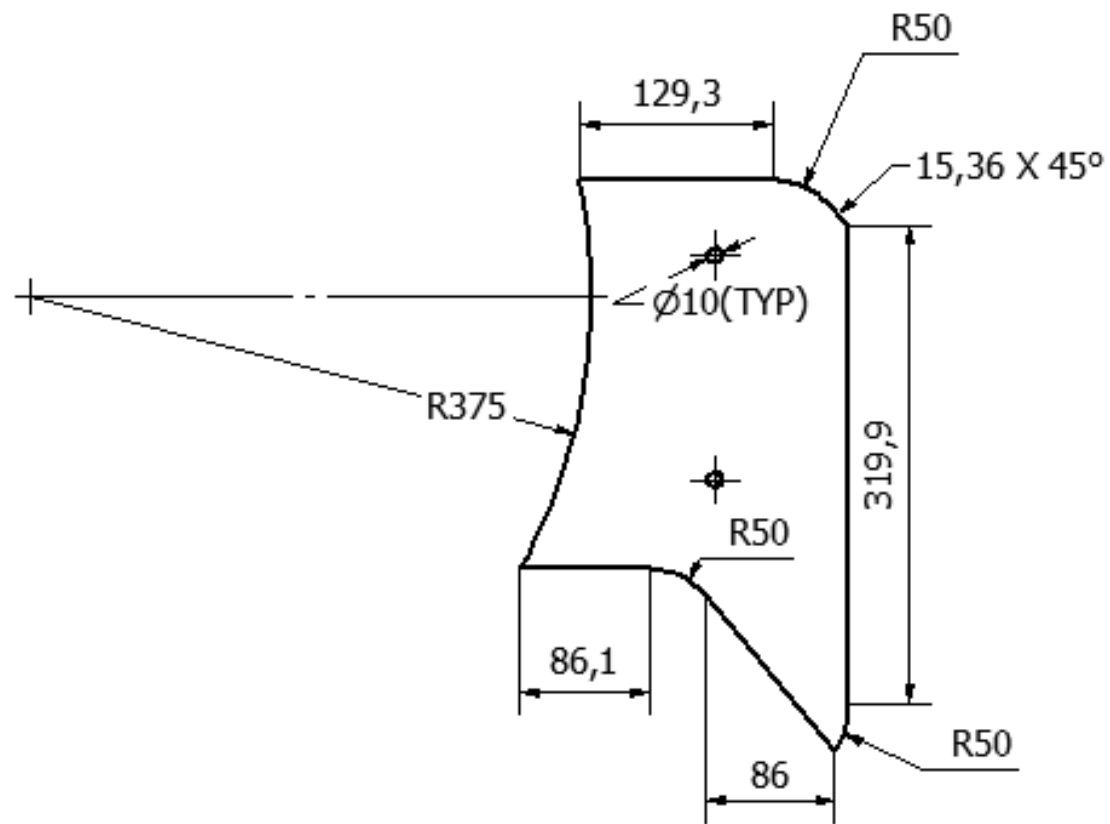
Sett fra venstre



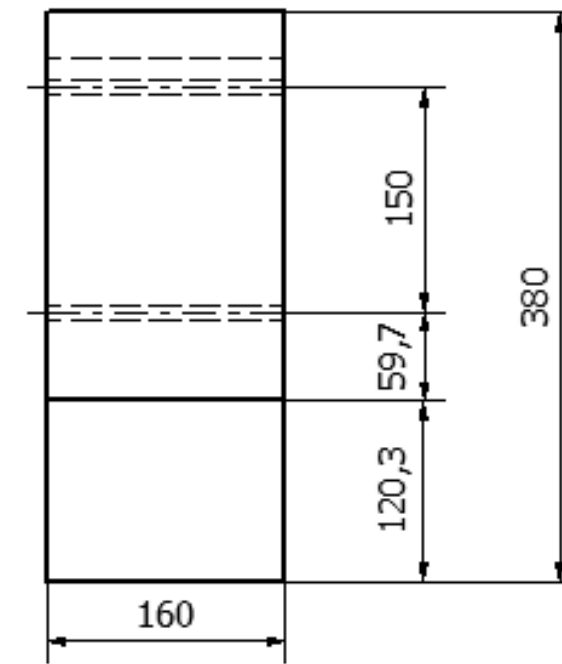
Sett ovenfra



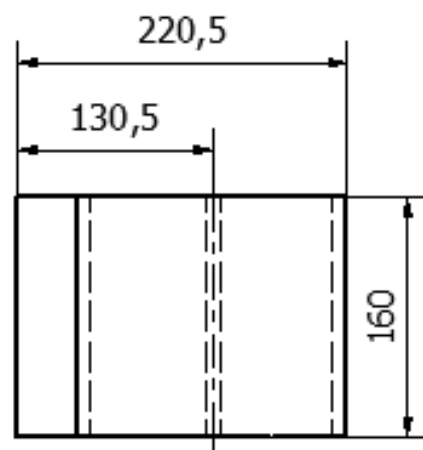
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Oppdrift bjelke bunn 160mm	Draw Nr. 32 Sheet 1 / 1



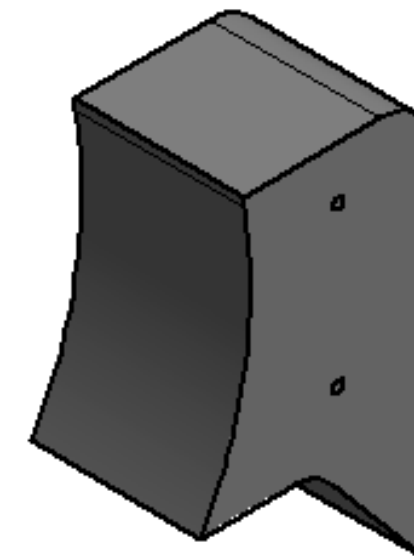
Sett forfra




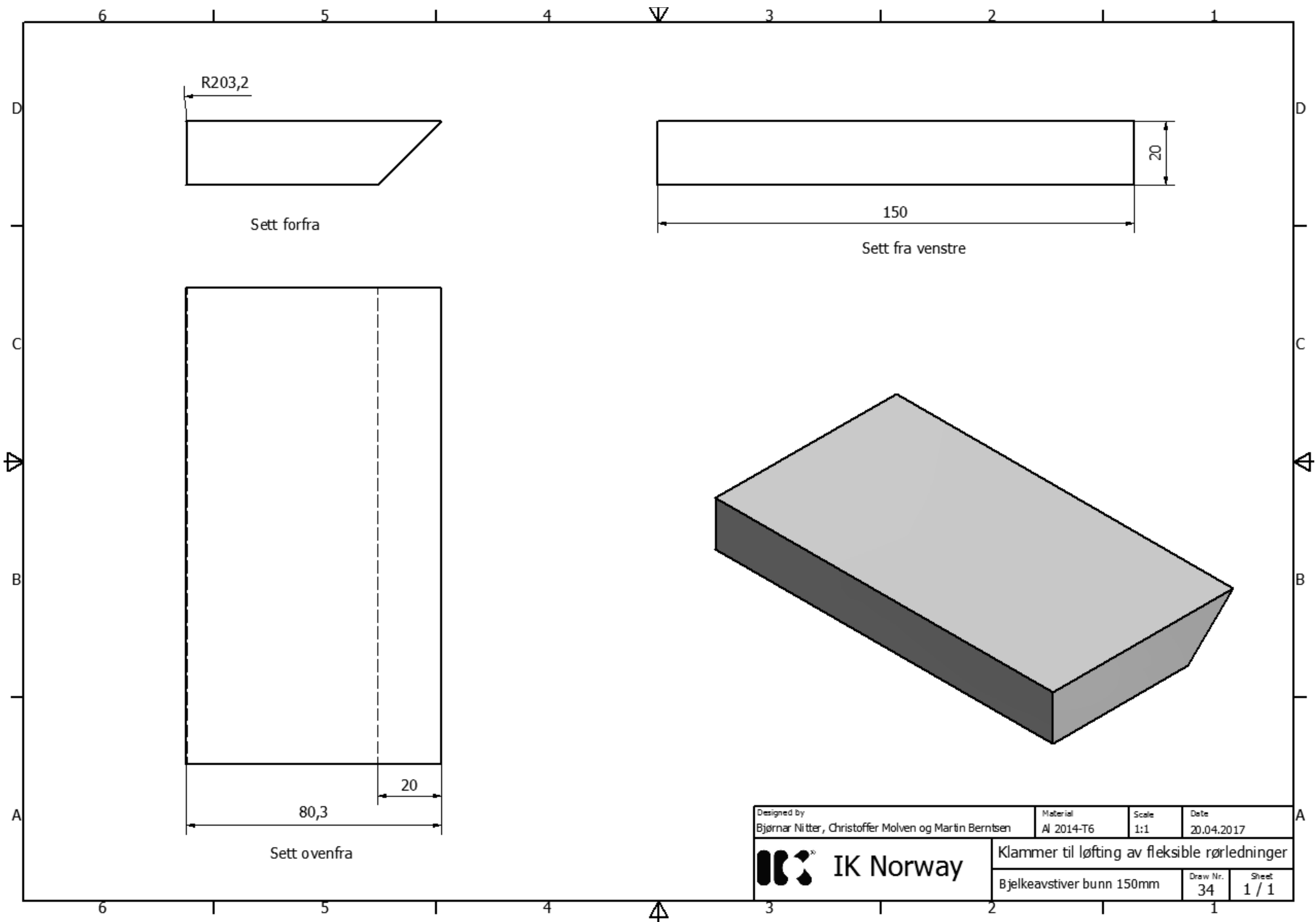
Sett fra venstre

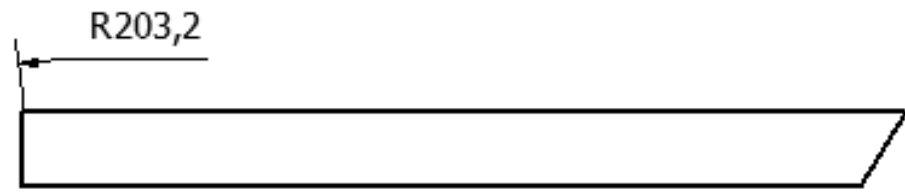
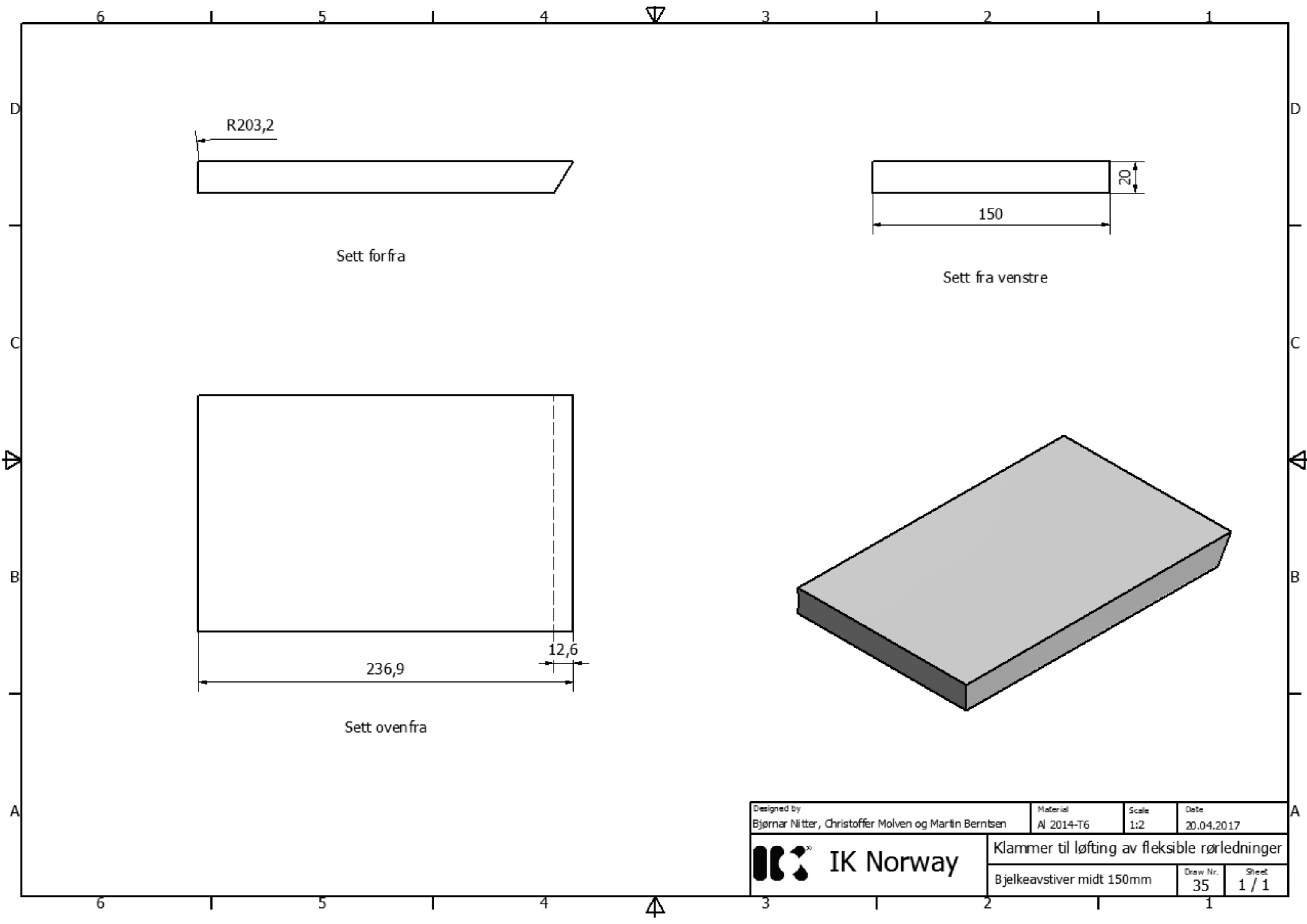


Sett ovenfra

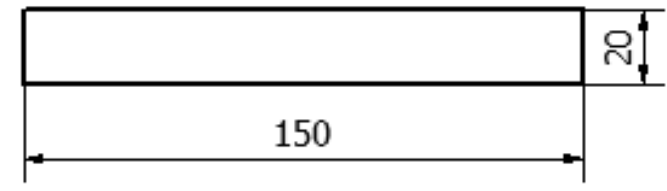


Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Oppdrift bjelke midt 160mm	Draw Nr. 33	Sheet 1 / 1





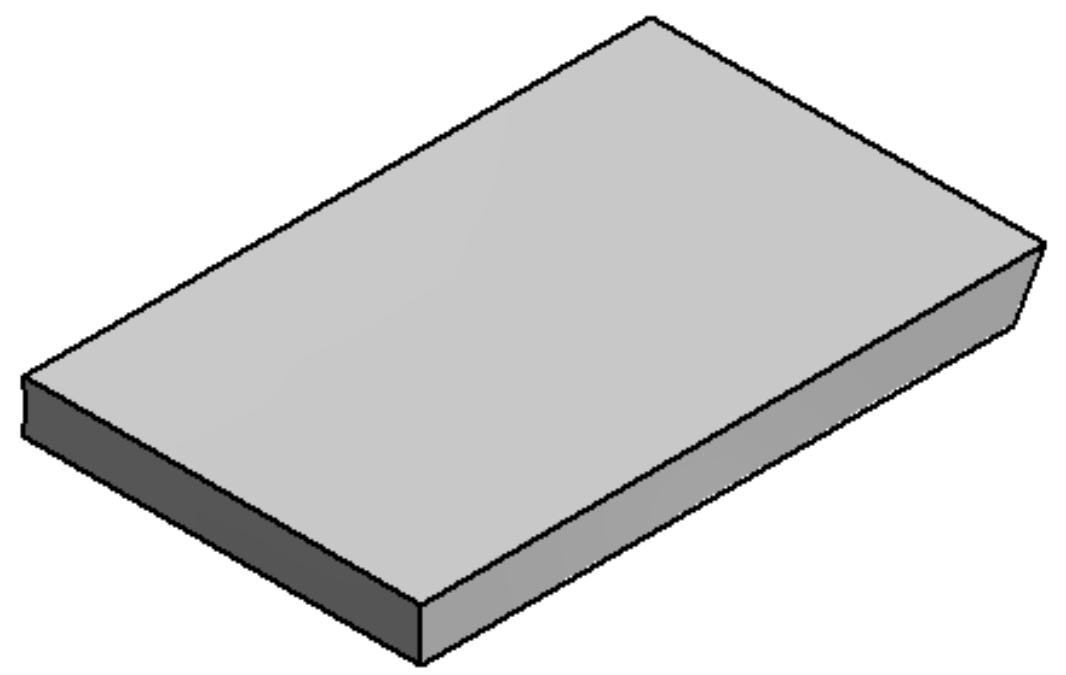
Sett forfra



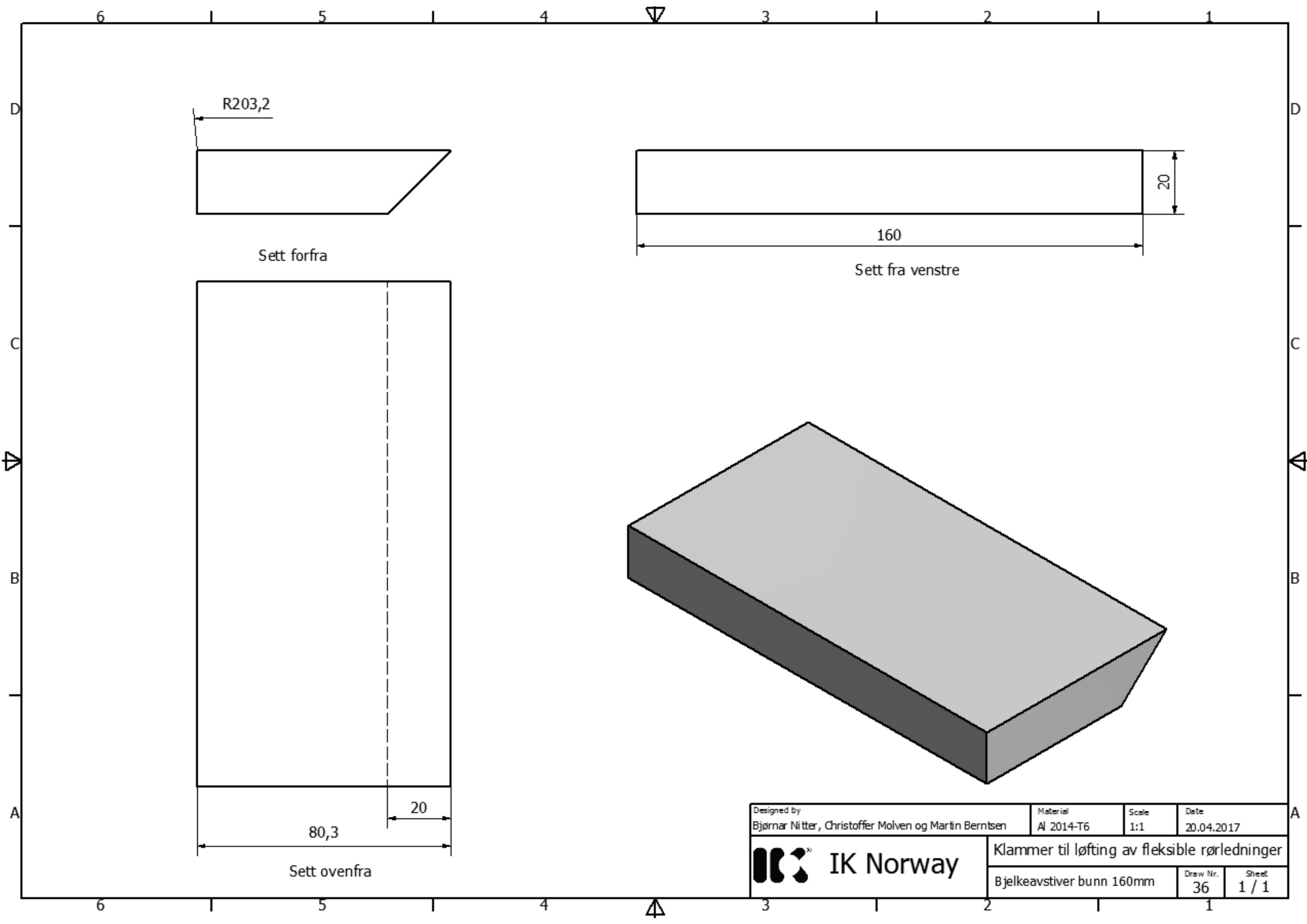
Sett fra venstre



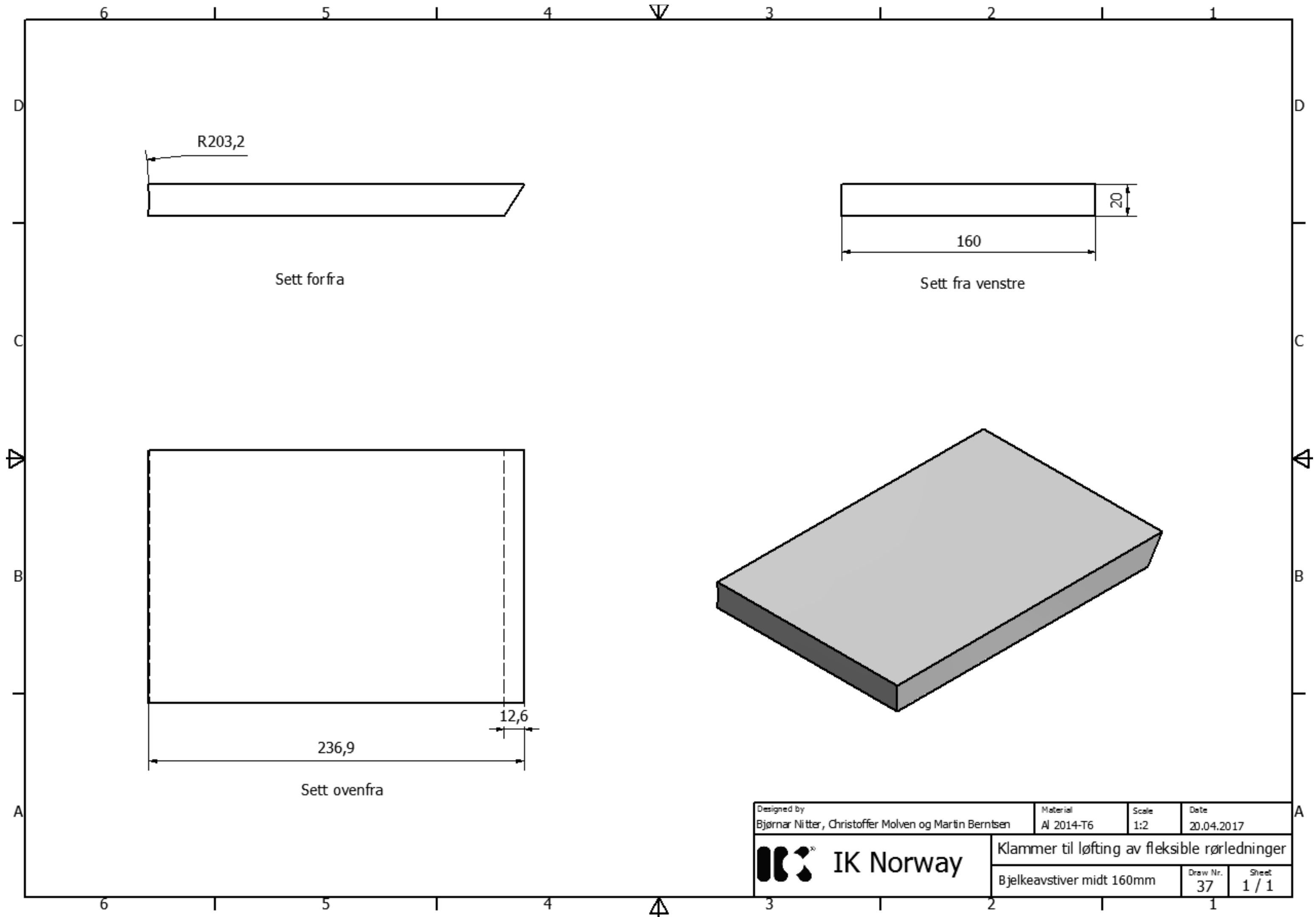
Sett ovenfra




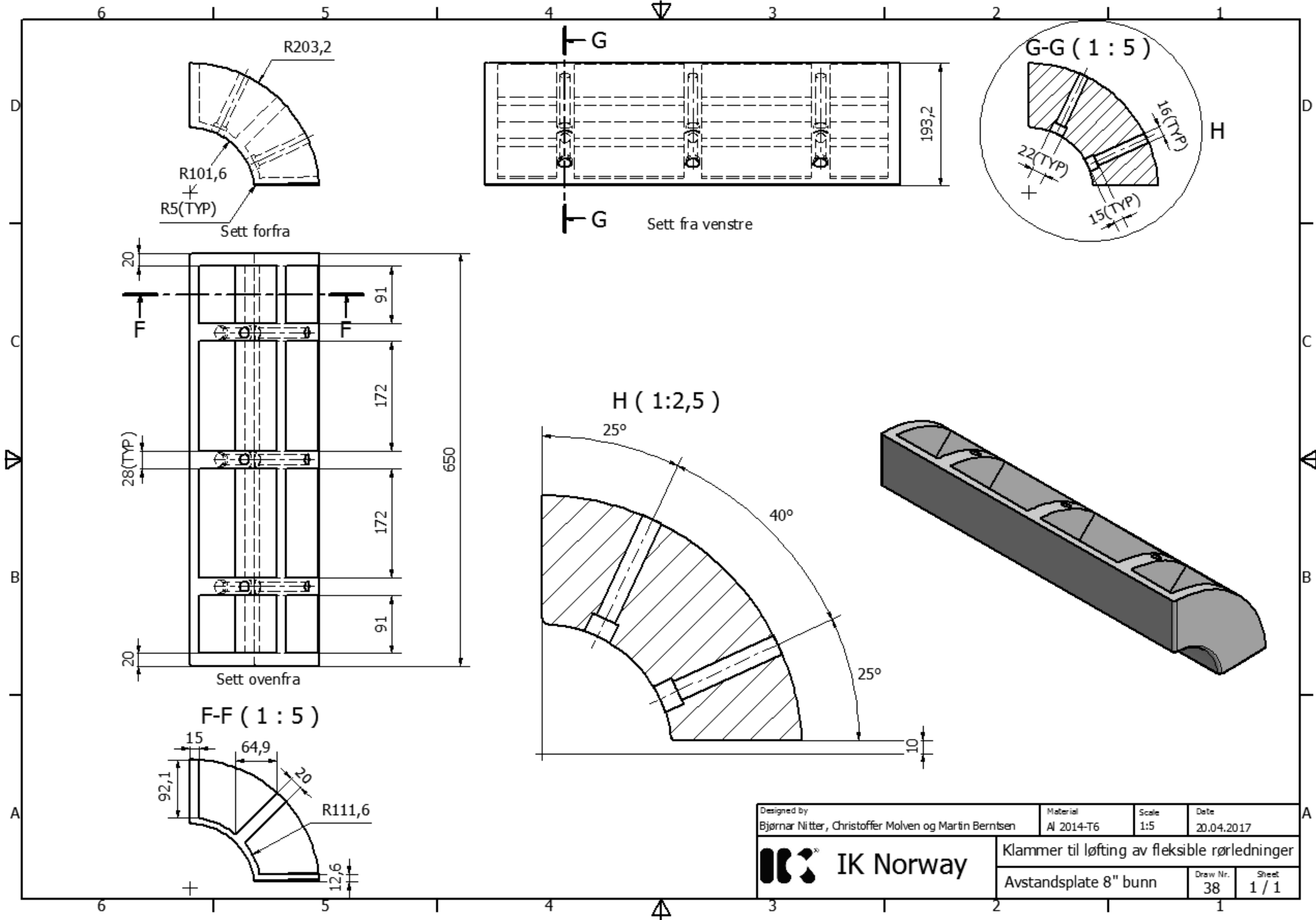
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:2	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Bjelkeavstiver midt 150mm	Draw Nr. 35	Sheet 1 / 1



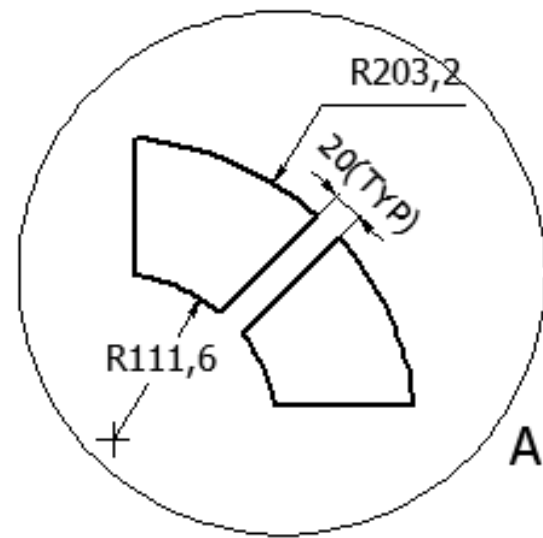
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:1	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Bjelkeavstiver bunn 160mm	Draw Nr. 36 Sheet 1 / 1



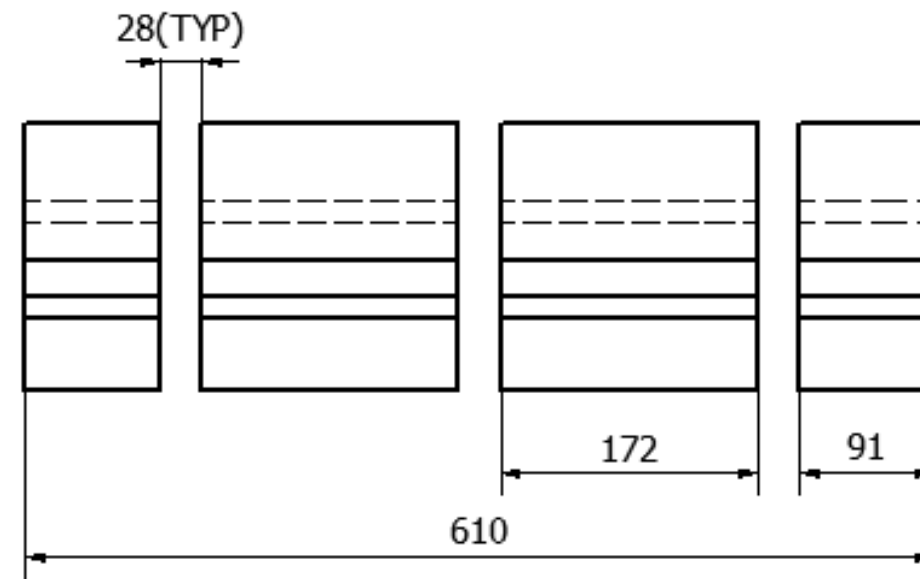
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:2	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Bjelkeavstiver midt 160mm	Draw Nr. 37	Sheet 1 / 1



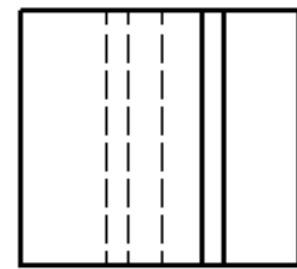
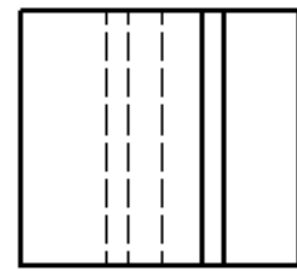
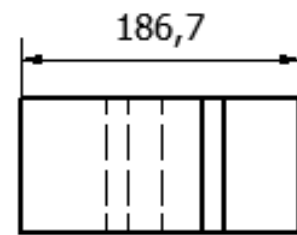
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Avstandsplate 8" bunn	Draw Nr. 38



Sett forfra



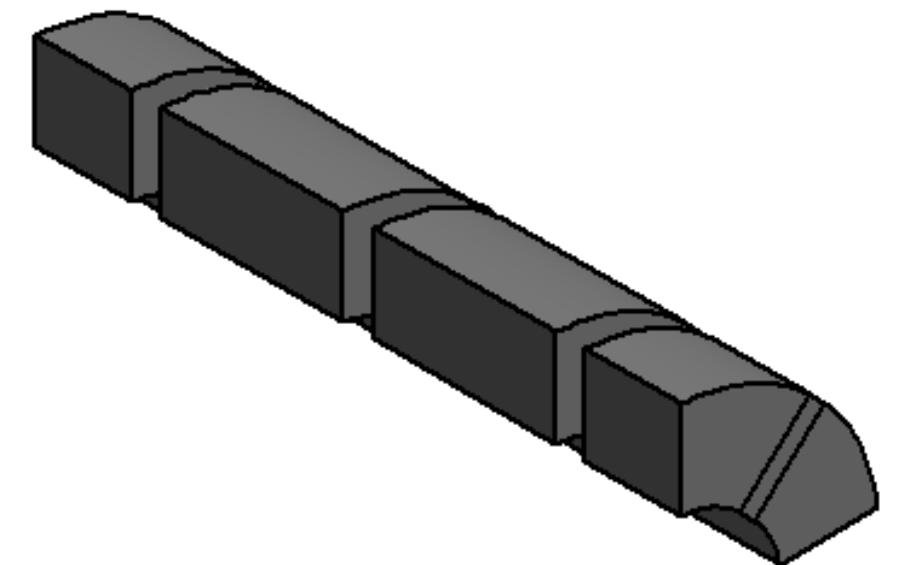
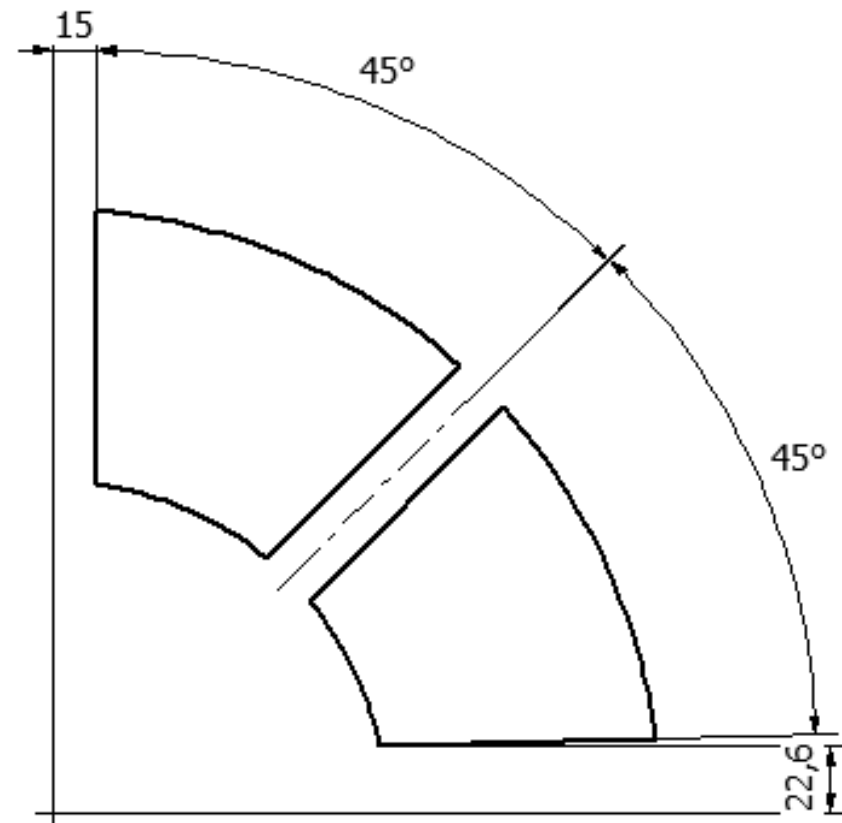
Sett fra venstre




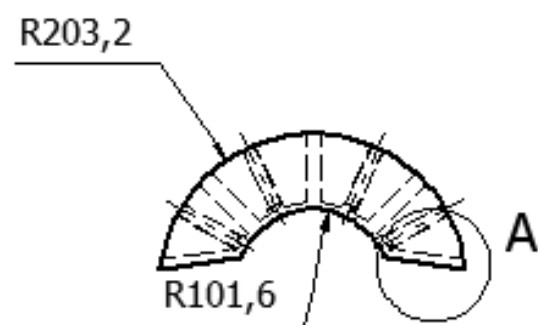
14,1

Sett ovenfra

A (1:2,5)

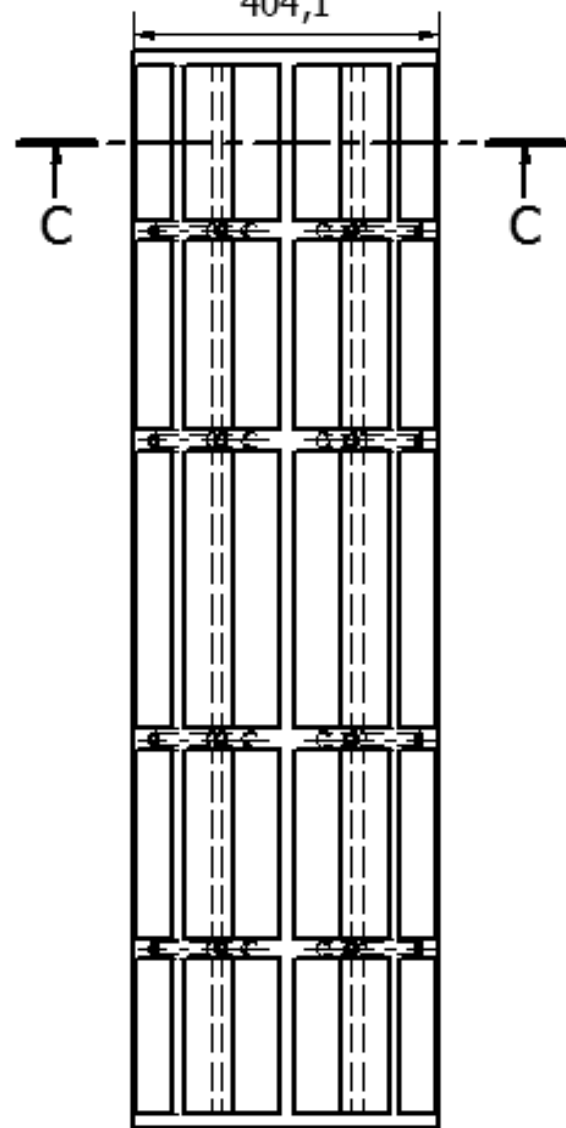


Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Oppdriftselement 8" bunn		Draw Nr. 39	Sheet 1 / 1



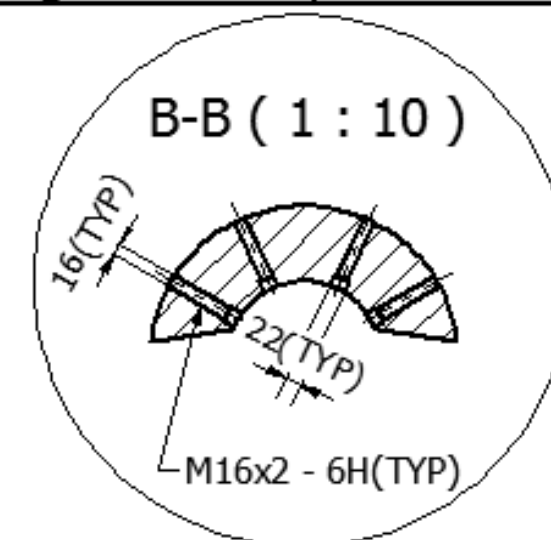
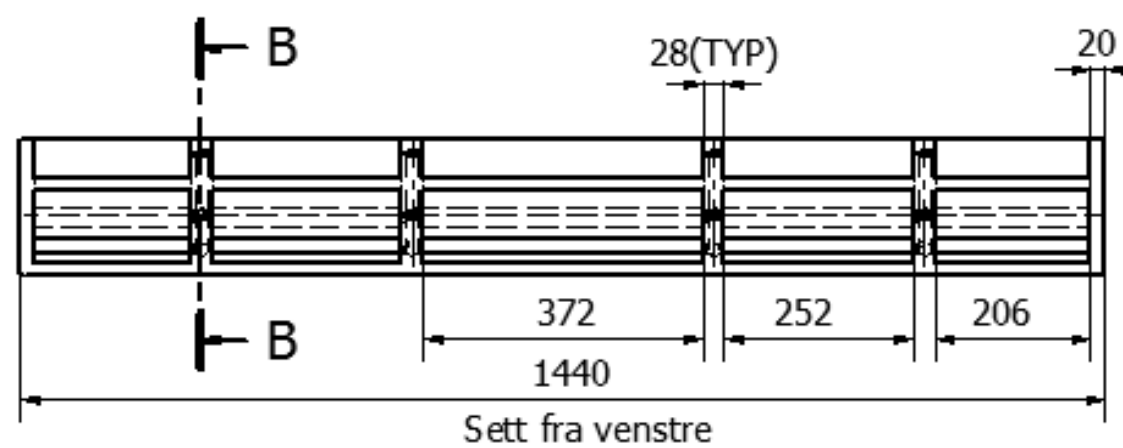
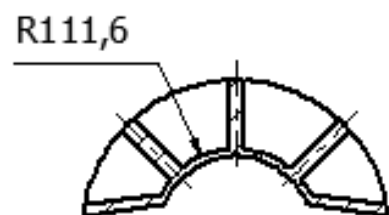
Sett ovenfra

404,1

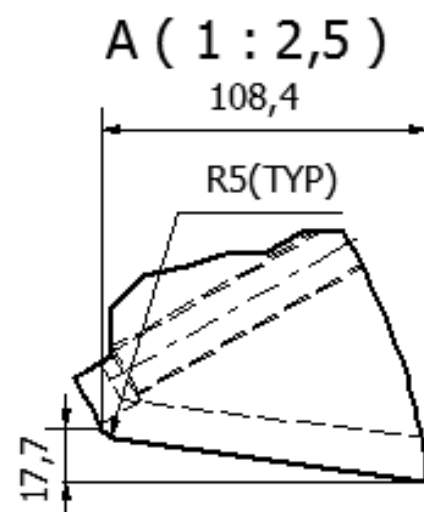


Sett ovenfra

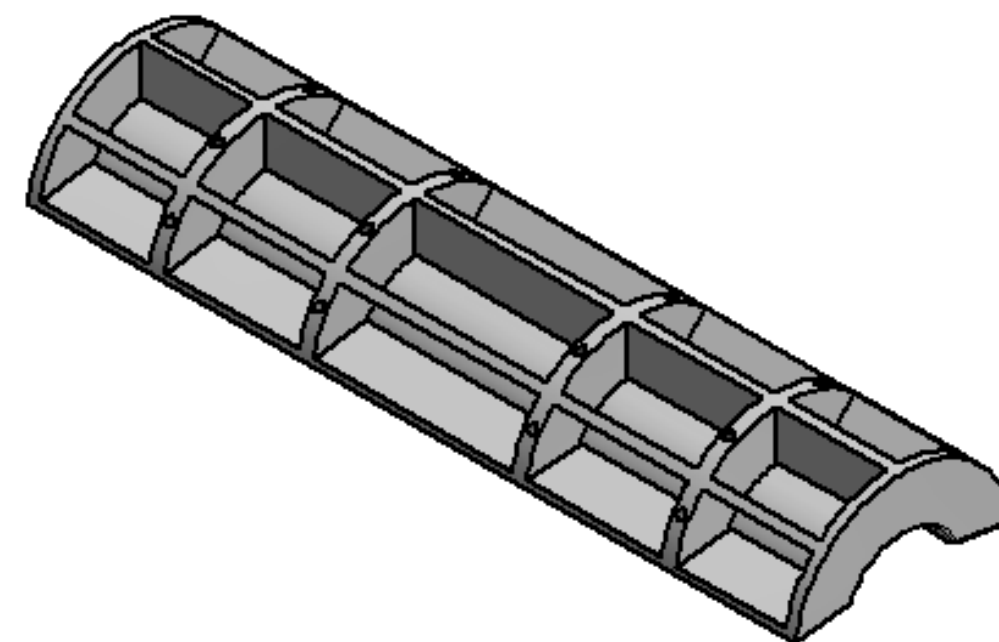
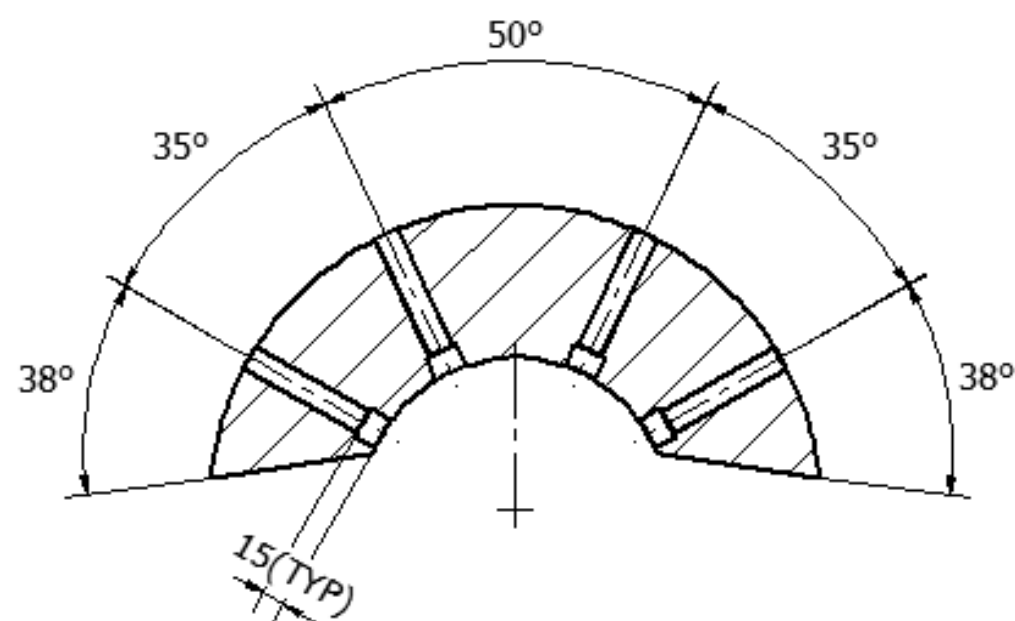
C-C (1 : 10)



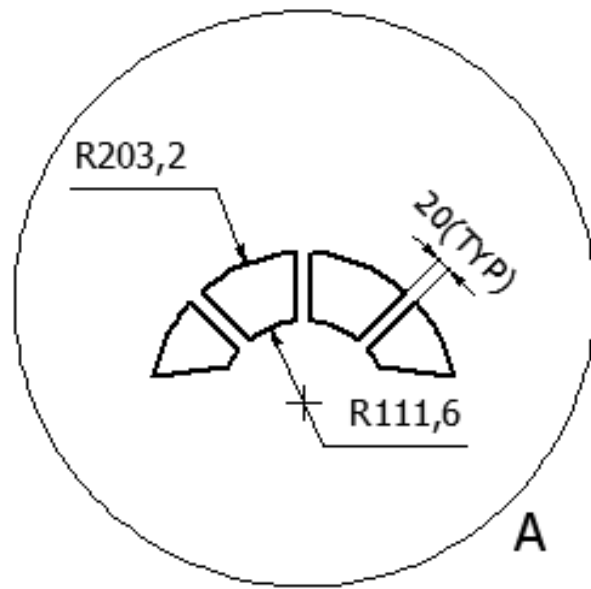
D



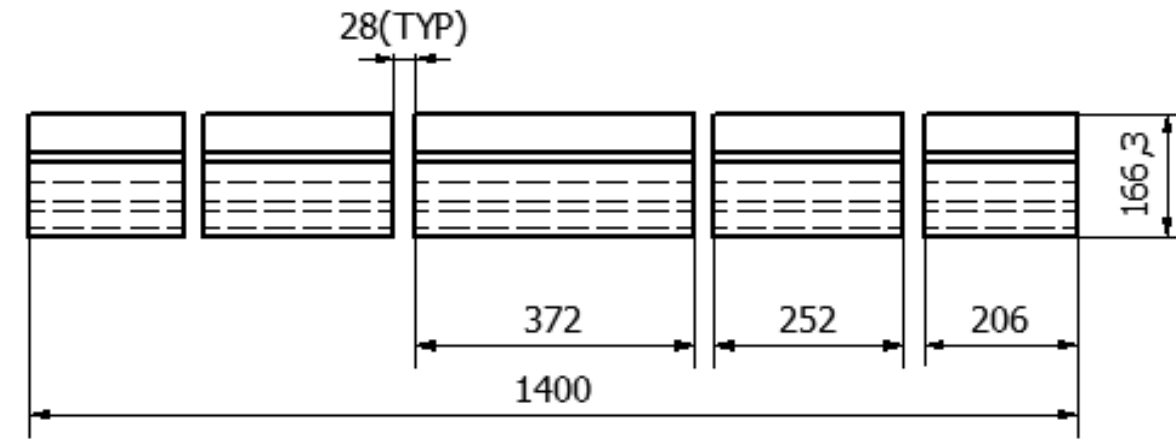
D (1 : 5)



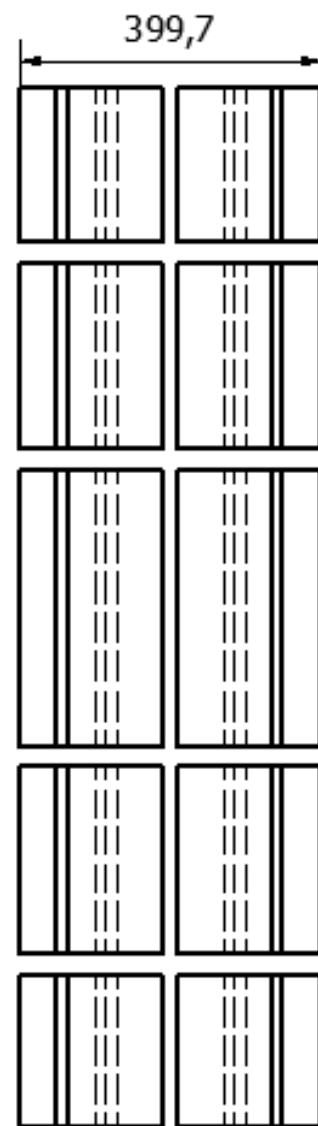
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:10	Date 20.04.2017
		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Avstandsplate 8" topp	Draw Nr. 40 Sheet 1 / 1



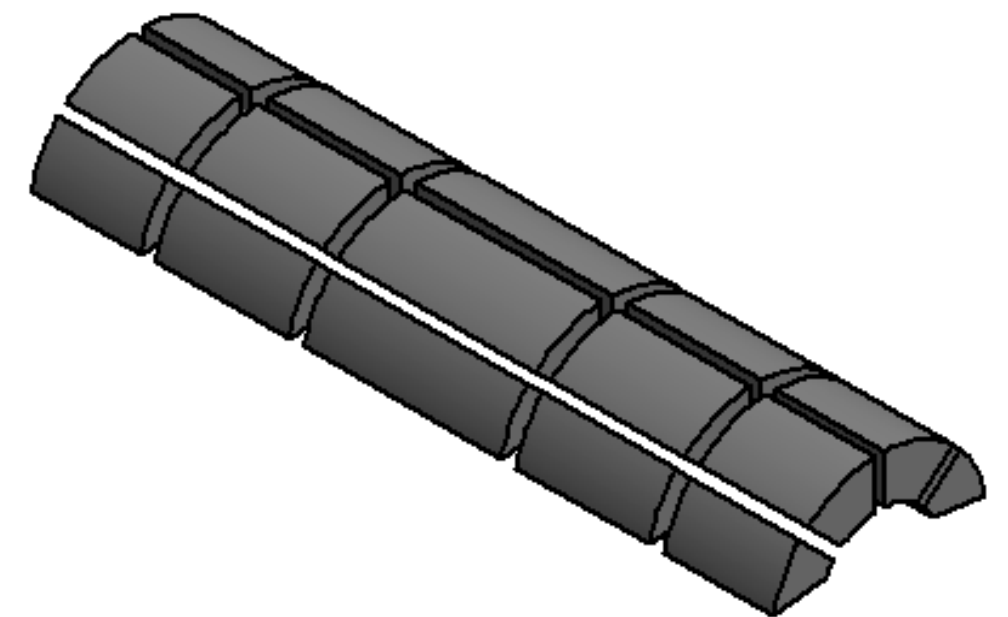
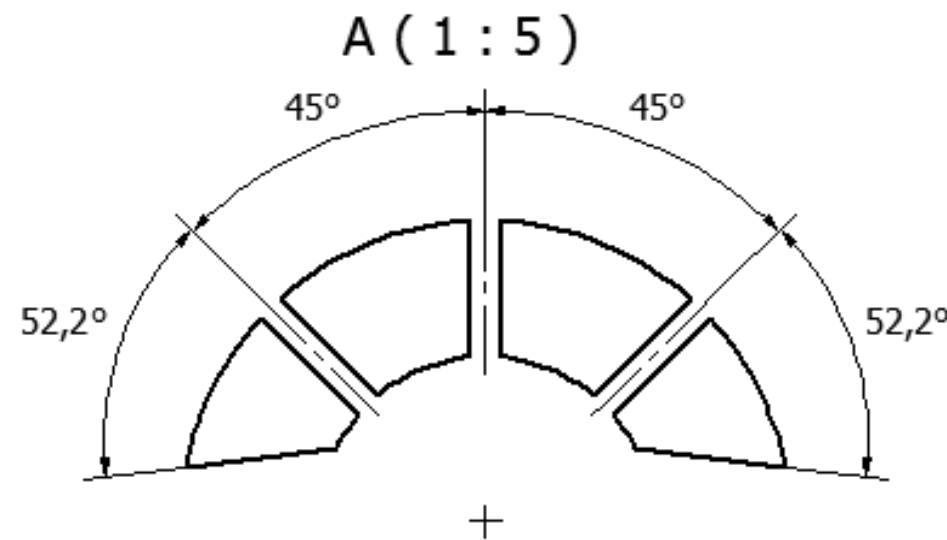
Sett forfra



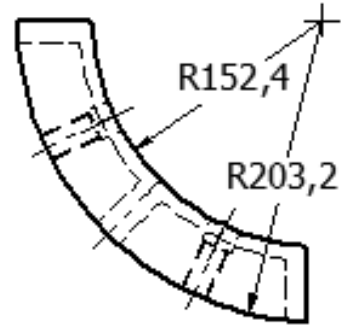
Sett fra venstre



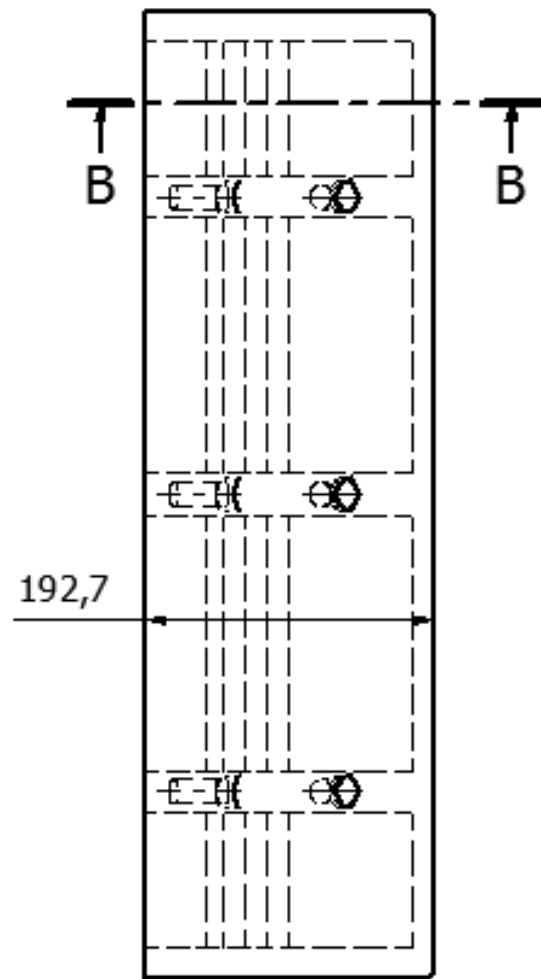
Sett ovenfra



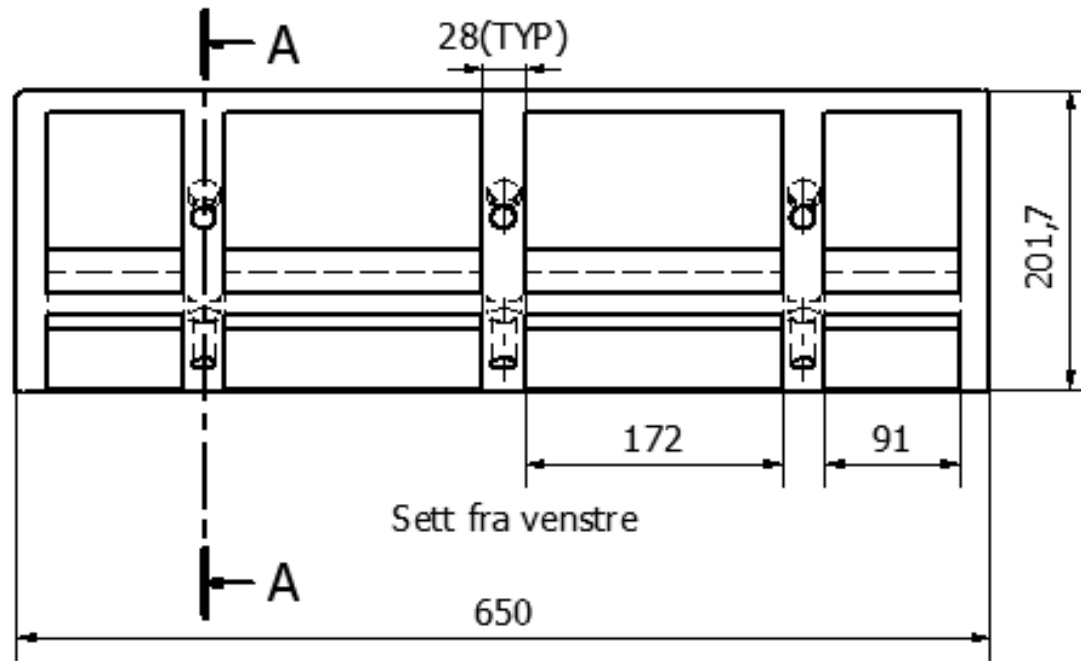
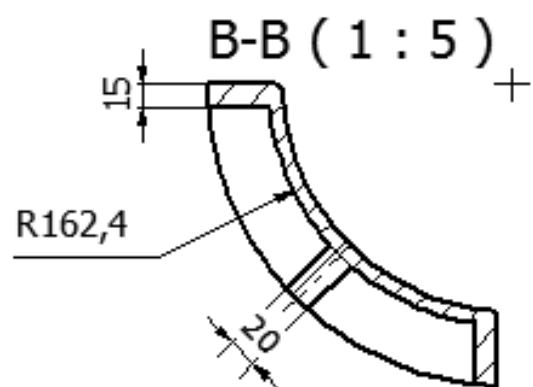
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Oppdriftselement 8" topp	Draw Nr. 41	Sheet 1 / 1



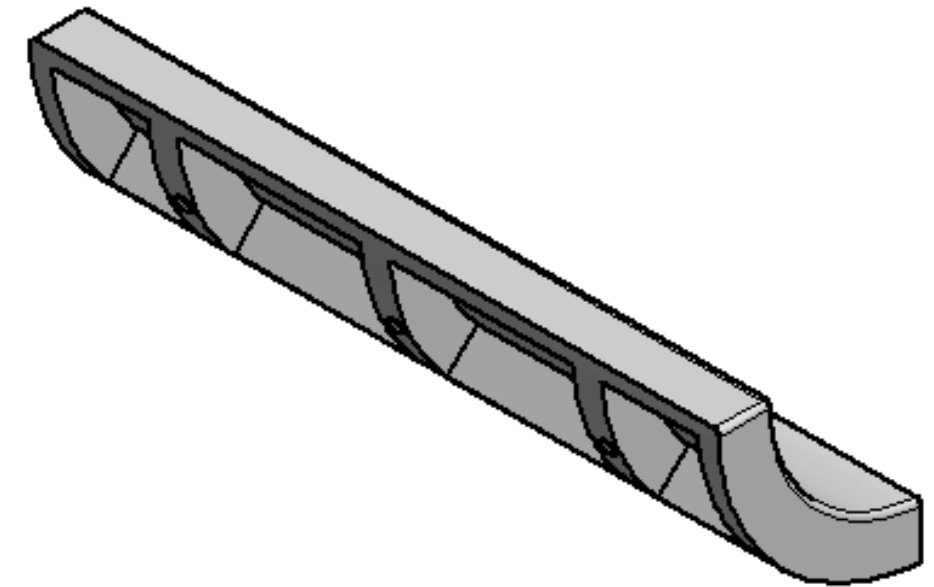
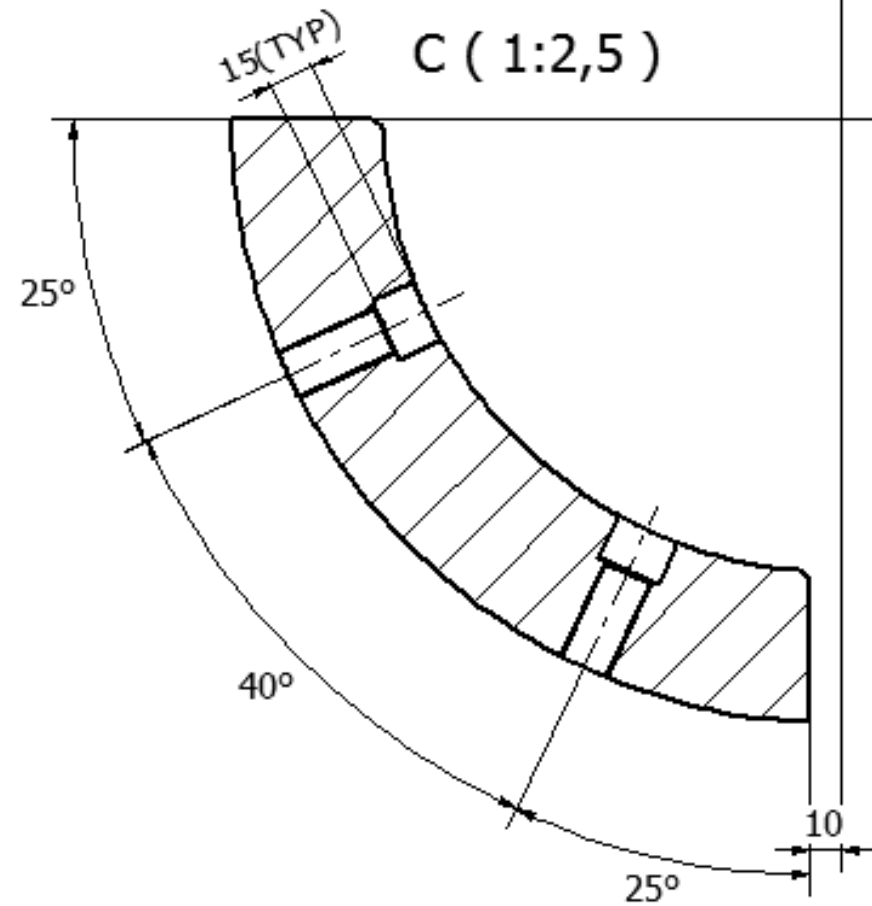
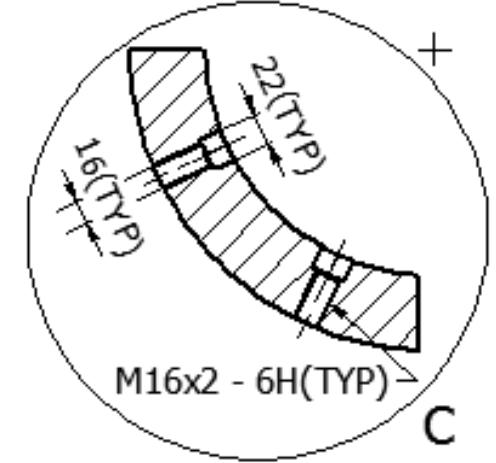
Sett forfra



Sett ovenfra

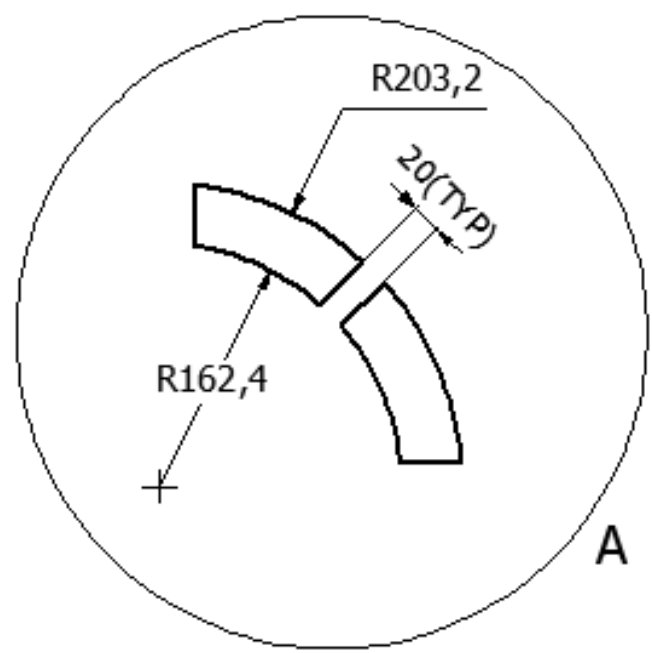


A-A (1:5)

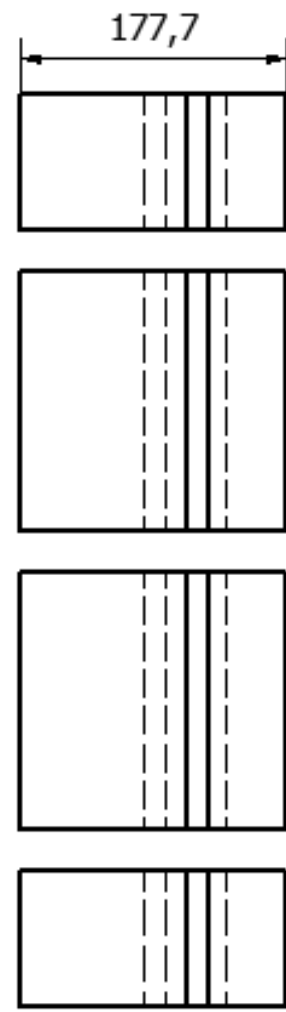


Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:5	Date 20.04.2017
		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
		Avstandsplate 12" bunn	Draw Nr. 42 Sheet 1 / 1

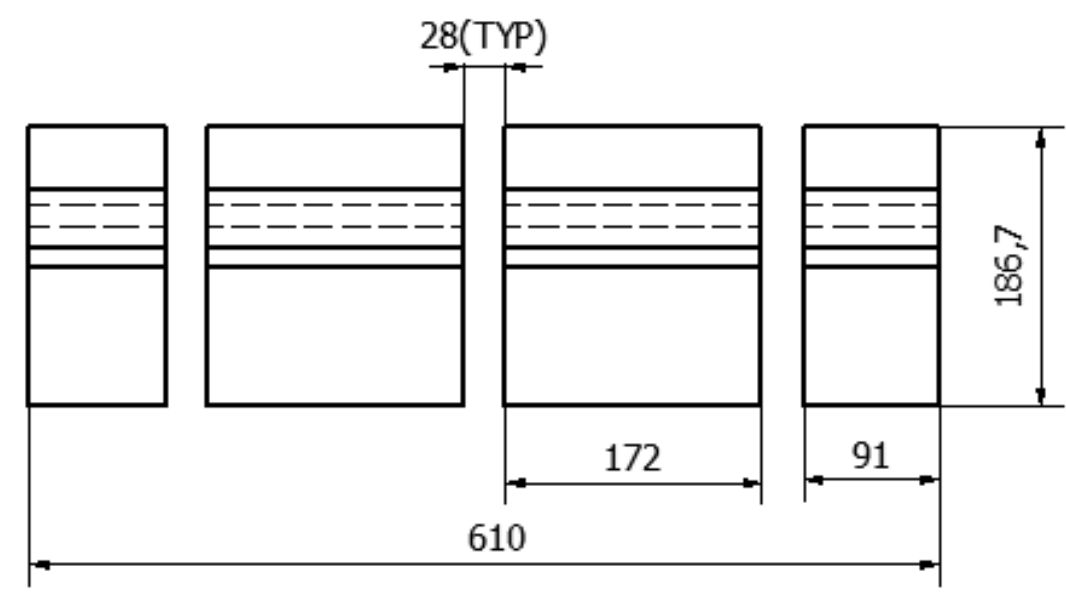
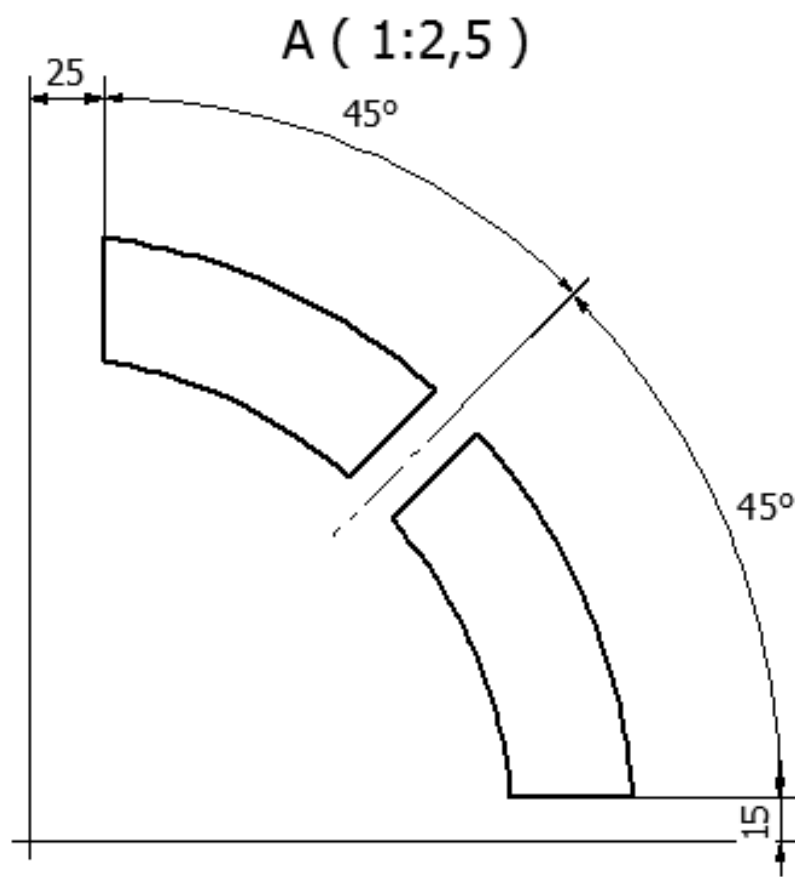
6 1 5 1 4 3 1 2 1 1



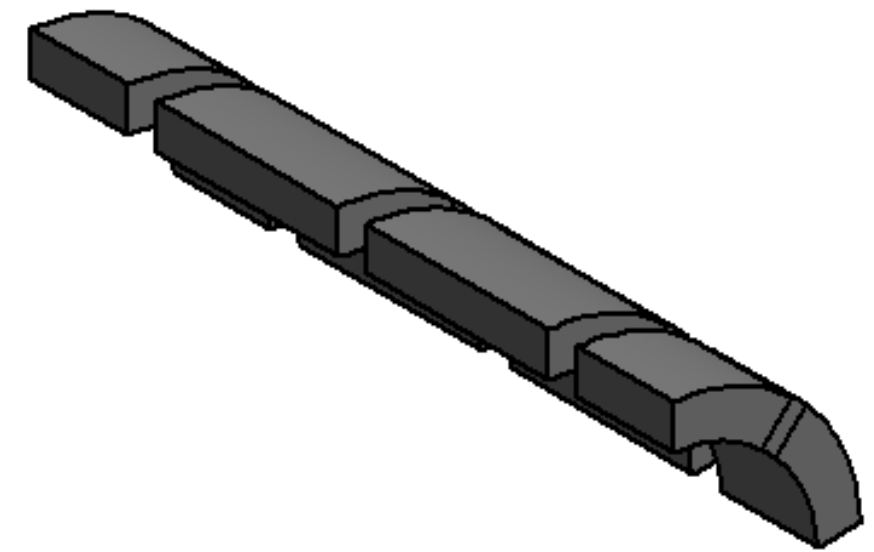
Sett forfra



Sett ovenfra

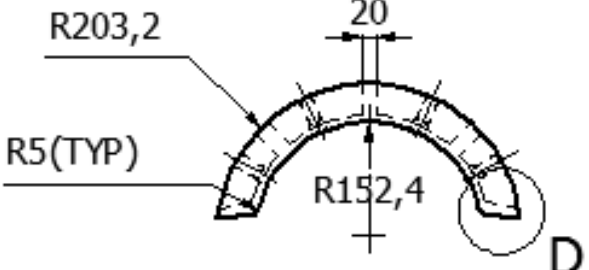
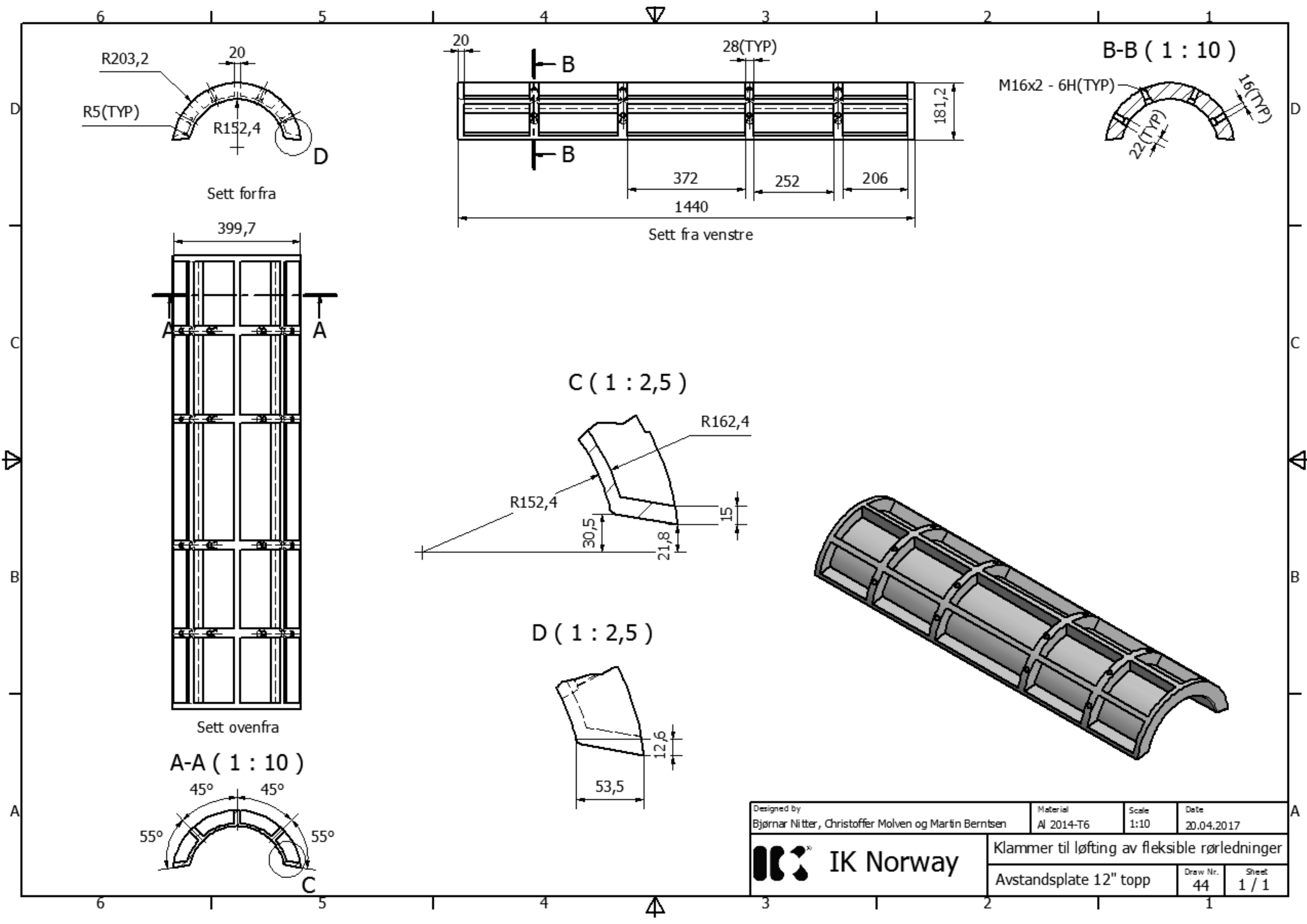


Sett fra venstre

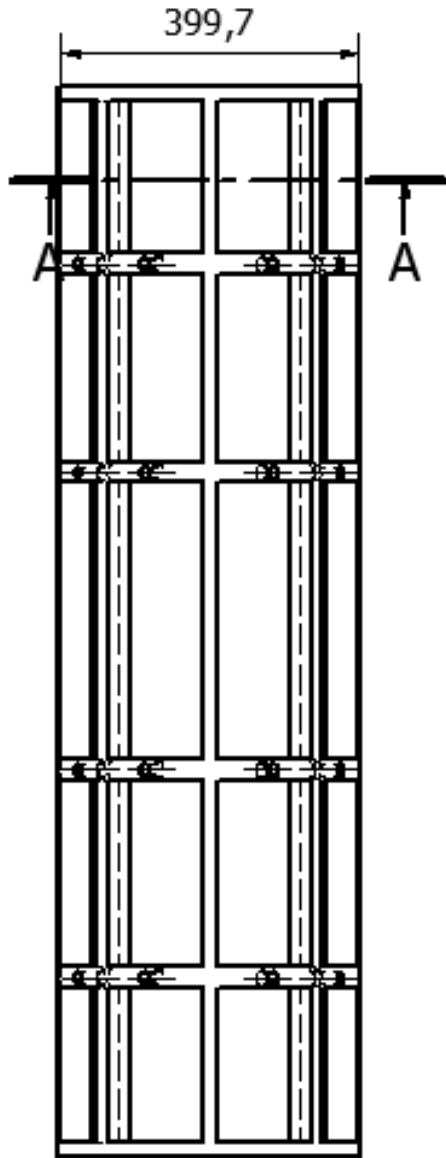


Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:5	Date 20.04.2017
 IK Norway	Klammer til løfting av fleksible rørledninger		
	Oppdriftselement 12" bunn	Draw Nr. 43	Sheet 1 / 1

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

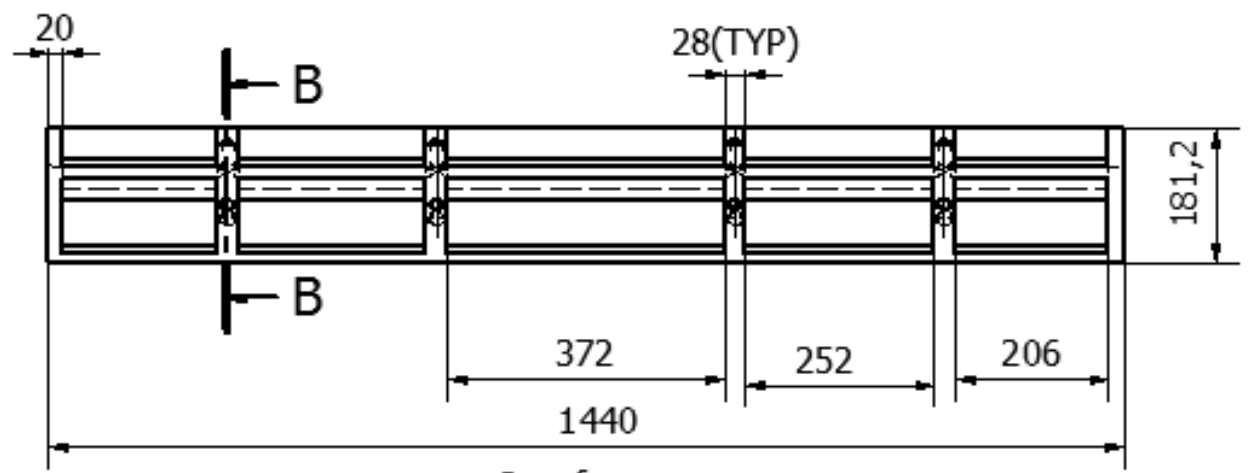
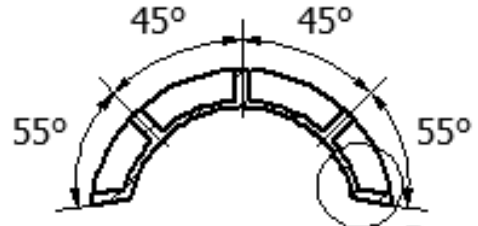


Sett forfra

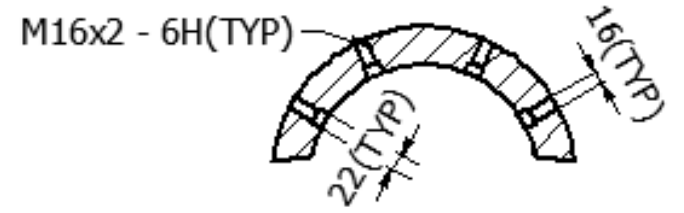


Sett ovenfra

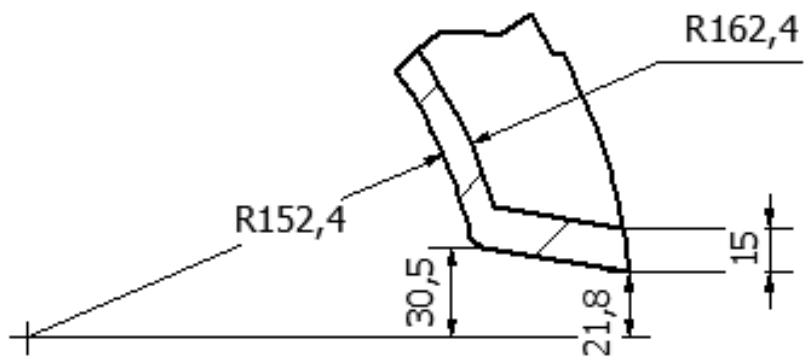
A-A (1 : 10)



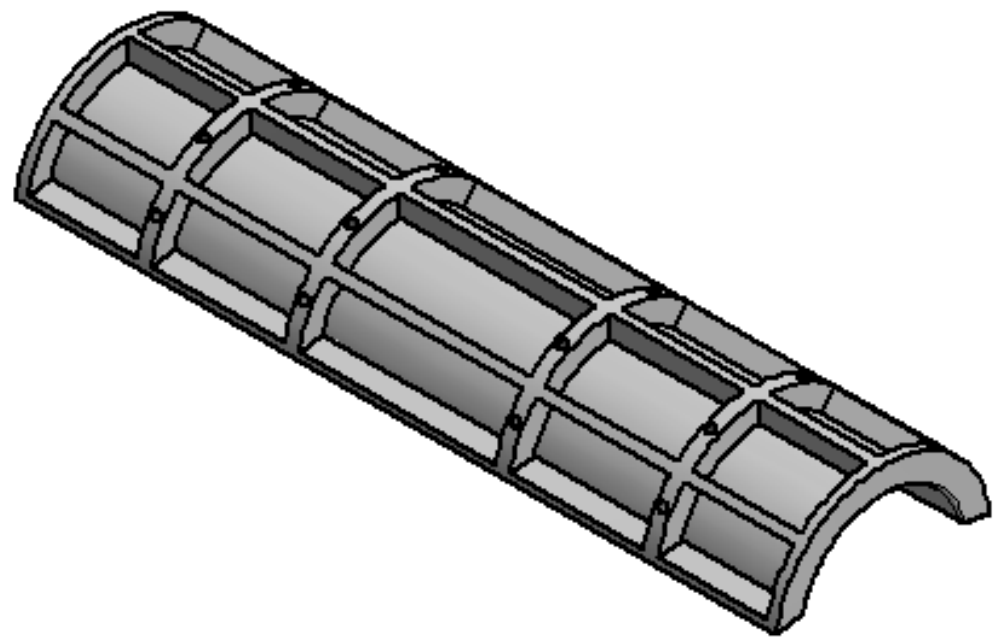
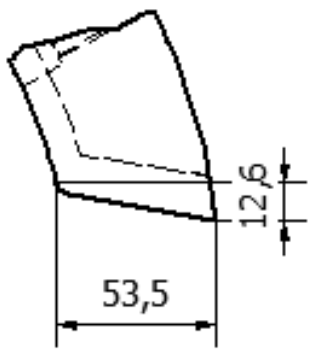
B-B (1 : 10)



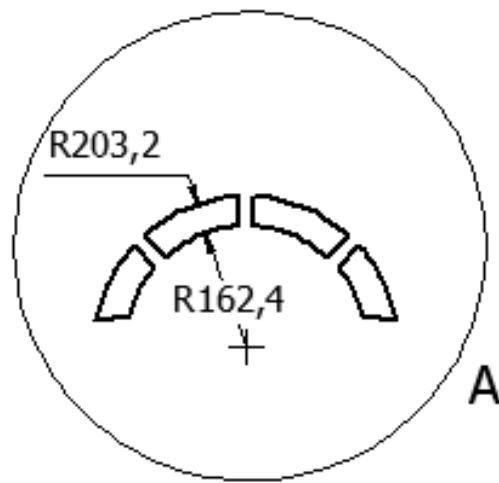
C (1 : 2,5)



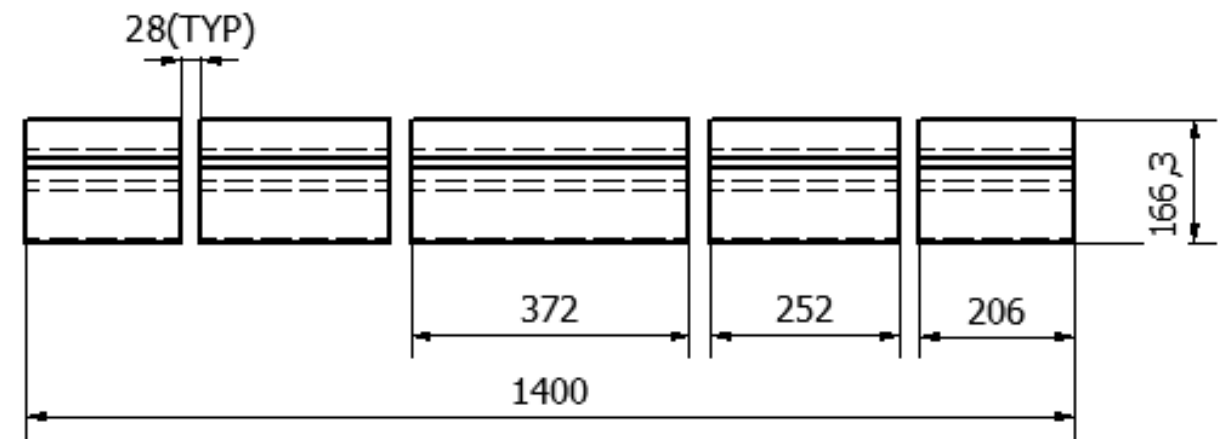
D (1 : 2,5)



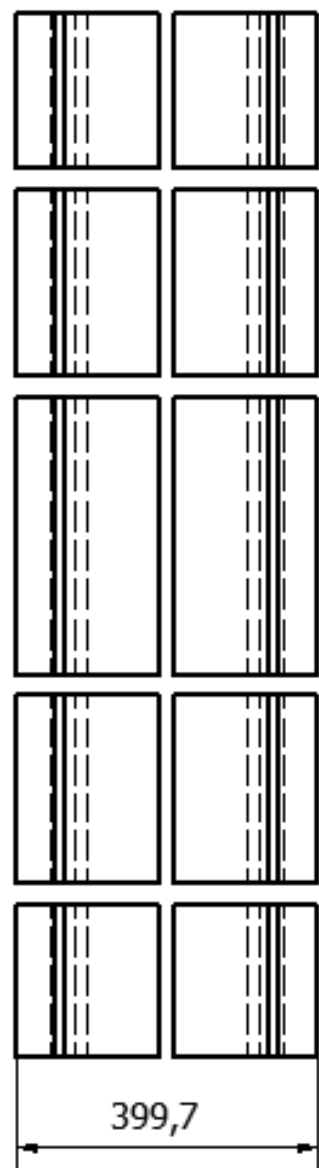
Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material Al 2014-T6	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Avstandsplate 12" topp		Draw Nr. 44	Sheet 1 / 1



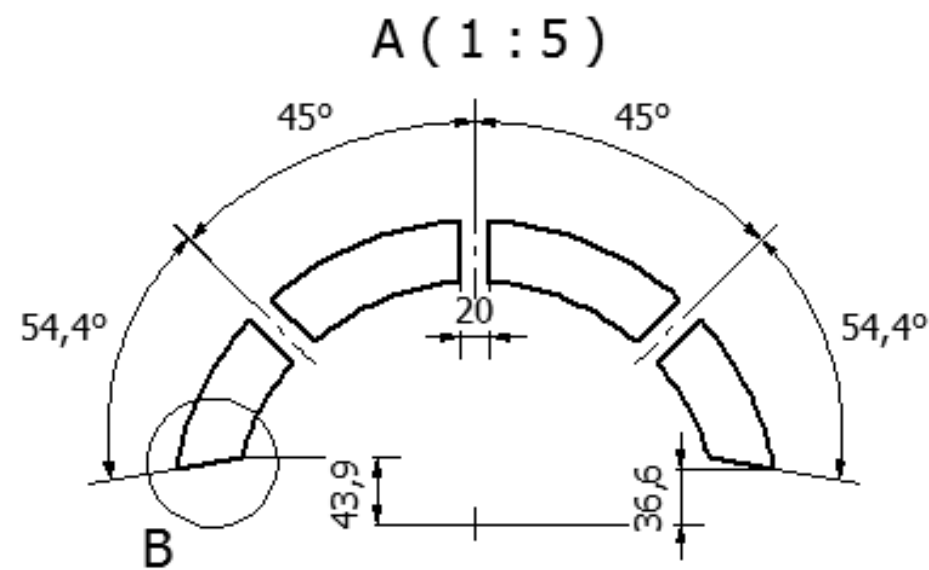
Sett forfra



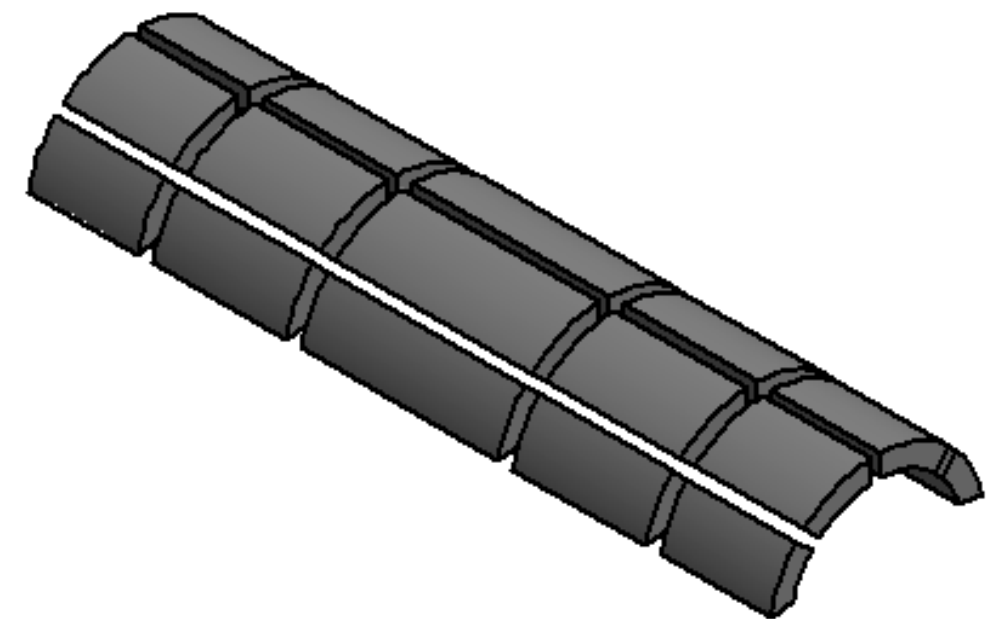
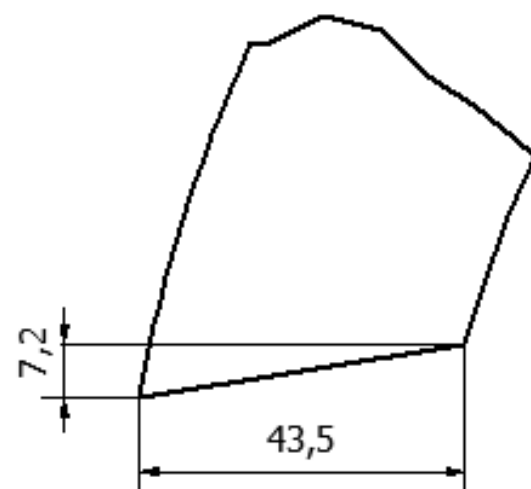
Sett fra venstre



Sett ovenfra



B (1:1)



Designed by Bjørnar Nitter, Christoffer Molven og Martin Berntsen	Material LD2000	Scale 1:10	Date 20.04.2017
 IK Norway		Klammer til løfting av fleksible rørledninger	
Oppdriftselement 12" topp		Draw Nr. 45	Sheet 1 / 1

Vedlegg C: Deler som skal bestilles

Deler/komponenter	Varenavn	Dimensjon	Antall	Beskrivelse
Bolt til oppdrift foran	M16x2-6g	Lengde: 90mm	8	Bolt til oppdriftselement foran
Bolt til oppdrift side	M16x2-6g	Lengde: 80mm	8	Bolt til oppdriftselement side
Bolt til oppdrift topp	M16x2-6g	Lengde: 150mm	8	Bolt til oppdriftselement topp
Bolt, bjelke	M10x1,5-6g	Lengde: 575mm	16	Bolt til «bjelke til kleplate»
Mutter, bjelke	M10x1,5-6H	Bredde: 6,7mm	16	Mutter for bjelke til kleplate
Skive, bjelke	Skive	Bredde: 2mm Indre diameter: 10mm Ytre diameter: 30mm	32	Skive for bolter til: -Bolt, bjelke -Mutter, bjelke
Skive 16Ø-38Ø	Skive	Bredde: 3mm Indre diameter: 16mm Ytre diameter: 38mm	24	Skiver for bolter til: -Oppdrift foran -Oppdrift side -Oppdrift topp
«Torque bucket»	«Torque bucket»	-	4	-
Bolt til «Torque Bucket»	M16x2-6g	Lengde: 32mm	8	Fastholder «Torque tool'et»
Green-Pin shackle	17Te WLL	-	2	17Te WLL «shackler»
Lager til strammebolt	EGF..-E40B	Bredde: 40mm Indre diameter: 46mm Ytre diameter: 70mm	4	Glidelager med flange
Lager til bjelke	EGB..-E40B	Bredde: 25mm Indre diameter: 80mm Ytre diameter: 85mm	24	Glidelager
Bolt til 12'' avstandsplate	M16x2-6g	Lengde: 55mm	40	Bolt til 12'' avstandsplate
Bolt til 8'' avstandsplate	M16x2-6g	Lengde: 96,5mm	40	Bolt til 8'' avstandsplate

Vedlegg D: Masse og volum

Tabell med verdier for masse og volum for klammerdelene.

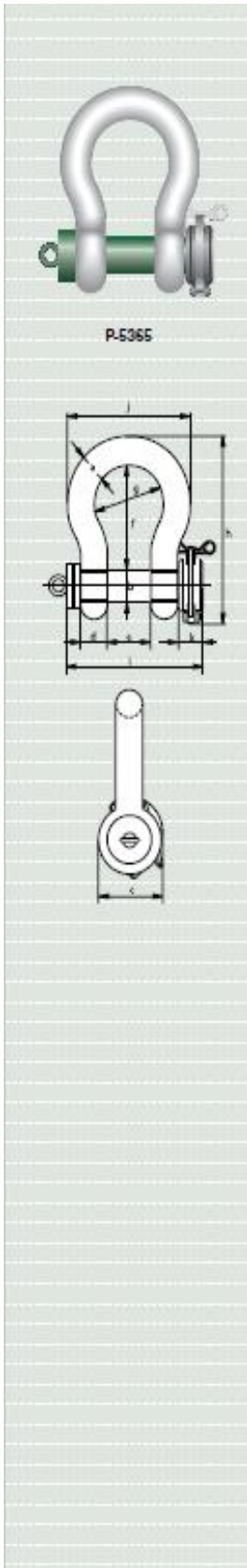
Klammerdel	Material	Masse [kg]	Volum [m ³]	Antall	Total Volum [m ³]	Tetthet [kg/m ³]	Total masse [kg]
Aksling	Stål s355		0,00725	2	0,01450	7850	113,9
Bjelke klemplate til	Aluminium 2014-T6		0,00407	16	0,06516	2800	182,4
Lager til bjelke	EGB..-E40B	0,1	0,00001	16	0,00020		1,6
Ramme front	Aluminium 2014-T6		0,00587	3	0,01760	2800	49,3
Bjelke «Shackle» til	Aluminium 2014-T6		0,00558	2	0,01116	2800	31,3
Green Pin «Shackle»	Stål legering, Grade 8	8,19	0,00076	2	0,00151		16,4
ROV løftestang	Aluminium 2014-T6		0,00168	1	0,00168	2800	4,7
Klemplate nede	Aluminium 2014-T6		0,00419	4	0,01676	2800	46,9
Klemplate topp	Aluminium 2014-T6		0,01995	1	0,01995	2800	55,8
Bjelkeavstiver bunn	Aluminium 2014-T6		0,00021	12	0,00252	2800	7,1
Bjelkeavstiver topp	Aluminium 2014-T6		0,00069	12	0,00830	2800	23,2
Ramme Side	Aluminium 2014-T6		0,00546	4	0,02184	2800	61,2
Lager strammebolt til	EGF..-E40B	0,8	0,00010	4	0,00039		3,2

«Torque bucket»	Aluminium 2014-T6		0,00185	4	0,00740	2800	20,7
Bolt til «Torque» bucket	Stål s355		0,00001	24	0,00016	7850	1,3
Mutter med stang	Stål s355		0,00216	4	0,00863	7850	67,7
Strammebolt	Stål s355		0,00268	2	0,00536	7850	42,1
Klo stopper	Stål s355		0,00001	8	0,00008	7850	0,6
Sum aluminium deler				59	0,1724	2800	
Sum stål s355 deler				32	0,0287	7850	
Sum klammerdeler				113	0,2031		729,8
Oppdrift bjelke bunn	LD2000		0,00934	12	0,11212	425	47,6
Oppdrift side	LD2000		0,02981	4	0,11925	425	50,7
Oppdrift topp	LD2000		0,17492	2	0,34984	425	148,7
Oppdrift bjelke topp	LD2000		0,00875	12	0,10502	425	44,6
Oppdrift akter	LD2000		0,09483	1	0,09483	425	40,3
Oppdrift foran	LD2000		0,08198	1	0,08198	425	34,8
Sum oppdriftselementer				32	0,8630		366,8

Tabell med verdier for masse og volum for «Spacer'ne».

«Spacerdeler»	Material	Masse [kg]	Volum [m ³]	Antall	Total Volum [m ³]	Tetthet [kg/m ³]	Total masse [kg]
«Spacer» 12" nede	Aluminium 2014-T6		0,00394	4	0,01577	2800	44,2
«Spacer» 12" topp	Aluminium 2014-T6		0,01401	1	0,01401	2800	39,2
«Spacer» 12" bolt	Stål		0,00001	40	0,00056	7850	4,4
«Spacer» 12" Nede oppdrift side	LD2000		0,00169	4	0,00675	425	2,9
«Spacer» 12" Nede oppdrift senter	LD2000		0,00250	4	0,00999	425	4,2
«Spacer» 12" topp oppdrift #1	LD2000		0,00657	1	0,00657	425	2,8
«Spacer» 12" topp oppdrift #2	LD2000		0,00891	1	0,00891	425	3,8
«Spacer» 12" topp oppdrift #3	LD2000		0,00728	1	0,00728	425	3,1
Sum «Spacer» 12"				56	0,0698		104,6
«Spacer» 8" Nede	Aluminium 2014-T6		0,00602	4	0,02406	2800	67,4
«Spacer» 8" topp	Aluminium 2014-T6		0,02004	1	0,02004	2800	56,1
«Spacer» 8" bolt	Stål		0,00002	40	0,00090	7850	7,1
«Spacer» 8" Nede oppdrift liten	LD2000		0,00157	8	0,01256	425	5,3
«Spacer 8»" Nede oppdrift stor	LD2000		0,00297	8	0,02374	425	10,1
«Spacer» 8" topp oppdrift #1	LD2000		0,01184	1	0,01184	425	5,0
«Spacer» 8" topp oppdrift #2	LD2000		0,01604	1	0,01604	425	6,8
«Spacer» 8" topp oppdrift #3	LD2000		0,01311	1	0,01311	425	5,6
Sum «Spacer» 8"				64	0,1223		163,4

Vedlegg E: Van Beest-Green Pin-ROV shackle

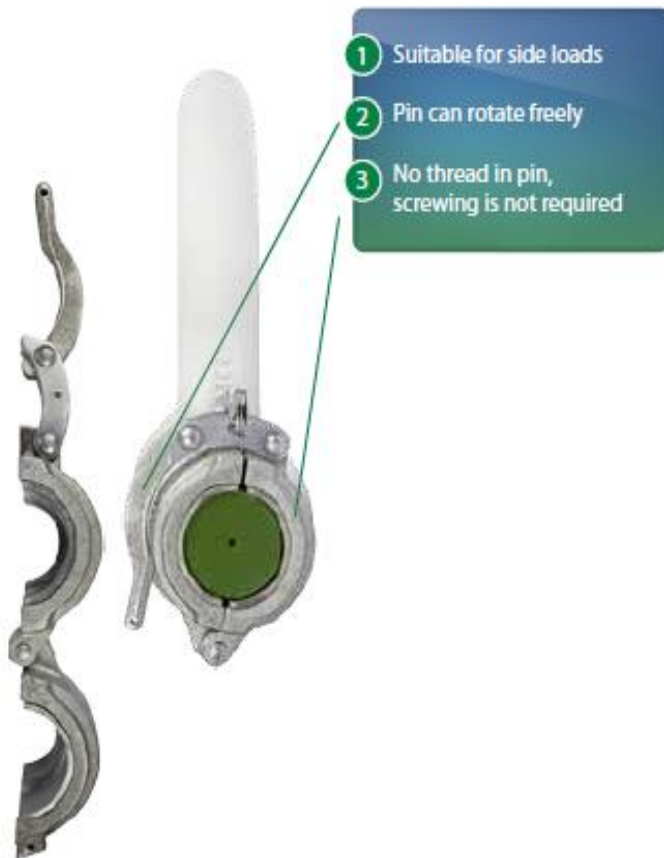


P-5365

Green Pin® ROV Release Polar Shackles with locking clamp

- **Material** : bow and pin alloy steel, Grade 8, quenched and tempered
- **Safety Factor** : MBL equals 6 x WLL
- **Finish** : body white painted, pin green painted
- **Temperature Range** : -40°C up to +200°C
- **Certificates** : at no extra charges this product can be supplied with a works certificate, 3.1 material certificate, manufacturer test certificate and/or EC Declaration of Conformity.
- **Note** : it is up to the user to attach the locking clamp with wire ropes etc. and attaching loops or monkey's fists. Van Beest supplies the shackle body, the shackle pin and locking clamp with spring pin.

working load limit	diameter bow	diameter pin	diameter eye	width eye	width inside	length inside	width bow	length bow	length bolt	width locking clamp	weight each	
t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	kg
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
6.5	22	25	52	22	36	83	58	160	144	102	44	1.77
9.5	28	32	66	28	47	108	75	200	177	131	48	3.66
12	32	35	72	32	51	115	83	215	188	147	48	4.91
17	38	42	88	38	60	146	99	250	217	175	48	8.19
25	45	50	103	45	74	178	126	300	250	216	48	14.22
35	50	57	111	50	83	197	138	331	269	238	48	19.85
55	65	70	145	65	105	260	180	433	300	310	48	39.59
85	75	83	162	73	127	329	190	527	380	340	48	62



Vedlegg F: Materialer dataark

NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008

Tabell 3.1 – Nominelle verdier av flytespenning, f_y , og strekkfasthet, f_u , for varmvalset konstruksjonsstål

Standard og stålsort	Produktets nominelle tykkelse t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
NS-EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
NS-EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
NS-EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
NS-EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
NS-EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
NS-EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
NS-EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Provided by Standard Online AS for Høgskolebiblioteket i Haugesund 2009-12-22. Reproduction is not allowed.



Aluminum 2014-T6; 2014-T651

Subcategory: 2000 Series Aluminum Alloy; Aluminum Alloy; Metal; Nonferrous Metal

Close Analogs: none

Composition Notes: A Zr + Ti limit of 0.20 percent maximum may be used with this alloy designation for extruded and forged products only, but only when the supplier or producer and the purchaser have mutually so agreed. Agreement may be indicated, for example, by reference to a standard, by letter, by order note, or other means which allow the Zr + Ti limit.

Aluminum content reported is calculated as remainder.

Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: Aluminium 2014-T651; UNS A92014; ISO AlCu4SiMg; BS H15 (UK); CSA CS41N (Canada); AA2014-T651, DIN AlCuSiMn; NF A-U4SG (France)

Component	Wt. %	Component	Wt. %	Component	Wt. %
Al	90.4 - 95	Mg	0.2 - 0.8	Si	0.5 - 1.2
Cr	Max 0.1	Mn	0.4 - 1.2	Ti	Max 0.15
Cu	3.9 - 5	Other, each	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.7	Other, total	Max 0.15		

Material Notes: Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.8 g/cc	0.101 lb/in ³	AA; Typical
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	135	135	AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball
Hardness, Knoop	170	170	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell A	50,50	50,50	Converted from Rockwell B
Hardness, Rockwell B	82	82	-
Hardness, Vickers	155	155	Converted from Brinell Hardness Value
Ultimate Tensile Strength	483 MPa	70000 psi	AA; Typical

CRP MECCANICA S.r.l.

Sede Legale e Amministrativa/Headquarters and Administration Office
 Via Cesare Della Chiesa 21 - 41126 Modena
 Tel./Phone +39-059-330544/821135/826025
 Fax +39-059-822071/381148
 C.F./P.IVA/Registro Imprese Modena IT00782680367 (VAT number)
 Capitale sociale Euro 564.000 I. v.



Tensile Yield Strength	414 MPa	60000 psi	AA; Typical
Elongation at Break	13 %	13 %	AA; Typical; 1/2 in. (12.7 mm) Diameter
Modulus of Elasticity	72.4 GPa	10500 ksi	In Tension
Modulus of Elasticity	73.1 GPa	10600 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Compressive Strength	470 MPa	68200 psi	
Compressive Modulus	73.8 GPa	10700 ksi	
Notched Tensile Strength	414 MPa	60000 psi	2.5 cm width x 0.16 cm thick side-notched specimen, $K_t = 17$.
Ultimate Bearing Strength	889 MPa	129000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
Bearing Yield Strength	662 MPa	96000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
Poisson's Ratio	0.33	0.33	
Fatigue Strength	124 MPa	18000 psi	AA; 500,000,000 cycles completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Fracture Toughness	19 MPa-m ^{1/2}	17.3 ksi-in ^{1/2}	K_{Ic} ; TL orientation.
Machinability	70 %	70 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	28 GPa	4060 ksi	
Shear Strength	290 MPa	42000 psi	AA; Typical
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	4.32e-006 ohm-cm	4.32e-006 ohm-cm	AA; Typical at 68°F
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 68°F	23 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	12.8 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$	AA; Typical; Average over 68-212°F range.
CTE, linear 250°C	24.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	13.6 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$	Average over the range 20-300°C
Specific Heat Capacity	0.88 J/g $\cdot^\circ\text{C}$	0.21 BTU/lb $\cdot^\circ\text{F}$	Estimated from trends in similar Al alloys.
Thermal Conductivity	154 W/m-K	1070 BTU-in/hr-ft ² $\cdot^\circ\text{F}$	AA; Typical at 77°F

CRP MECCANICA S.r.l.

Sede Legale e Amministrativa/Headquarters and Administration Office
 Via Cesare Della Chiesa 21 - 41126 Modena
 Tel./Phone +39-059-330544/821135/826025
 Fax +39-059-822071/381148
 C.F./P.IVA/Registro Imprese Modena IT00782680367 (VAT number)



Melting Point	507 - 638 °C	945 - 1180 °F	AA; Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater. Eutectic melting is not eliminated by homogenization.
Solidus	507 °C	945 °F	AA; Typical
Liquidus	638 °C	1180 °F	AA; Typical
Processing Properties	Metric	English	Comments
Annealing Temperature	413 °C	775 °F	
Solution Temperature	502 °C	935 °F	
Aging Temperature	160 °C	320 °F	Sheet, plate, wire, rod, bar, shapes, tube; 18 hr at temperature
Aging Temperature	171 °C	340 °F	Forgings; 10 hr at temperature
References are available for this material.			
Source: MatWeb, The Online Materials Database			

CRP MECCANICA S.r.l.

Sede Legale e Amministrativa/Headquarters and Administration Office
 Via Cesare Della Chiesa 21 - 41126 Modena
 Tel./Phone +39-059-330544/821135/826025
 Fax +39-059-822071/381148
 C.F./P.IVA/Registro Imprese Modena IT00782680367 (VAT number)
 Capitale sociale Euro 564.000 I. v.

Vedlegg G: ROV Torque tool

Torque Tool Class 1-4



Oceaneering's Class 1-4 Torque Tools are designed to operate rotary valves from 25 - 2,000 lbf-ft, latch and handle MQC plates, SCM Override Tools, etc. The tool can be mounted onto a Flying Lead Orientation Tool (FLOT) or be deployed by ROV manipulator. The Torque Tool is supplied with a Test Jig for surface calibration prior to subsea operation. The readout unit provides a torque display in either lbf-ft or N·m. Directional indication is also given (\pm).

Technical Data / Specifications

Latch Cylinder

Pressure	3,000 psi max input
Flow	1 gpm
Connection Type	1/4 in Tube

Hydraulic Motor

Pressure	3,045 psi max input
Flow	3 gpm max input
Connection Type	3/8 in / 1/2 in JIC

Specifications

Weight	86 lb in air, 66 lb in SW
Diameter	11-3/4 in
Length	23-1/2 in
Torque multiplier	Norbar 5:1 ratio
Depth rating	10,000 ft
Turns counter	1/10 of rev. accuracy



Oceaneering International, Inc. | Deepwater Technical Solutions (DTS) | 11915 FM 529 | Houston, TX 77041
phone: 832.467.7600 | email: tpool@oceaneering.com | www.oceaneering.com
OCEANEERING® is a registered trademark of Oceaneering International, Inc.

09/12



oceanearing.com

Millennium[®] Plus

220 hp heavy work class ROV

The Millennium[®] Plus ROV is a side entry cage deployed, dual manipulator 220 hp heavy work class ROV. The cage or Tether Management System (TMS) supplies an additional 110 hp and is capable of powering skids, has thruster control and auto heading.



FEATURES

Fly-by-wire station keeping system

Depth rating: 10,000 fsw (13,000 fsw optional)

HD and 3D HD cameras

Connecting What's Needed with What's Next[™]

Specifications

Vehicle Weights/Dimensions/Depth		Vehicle Optional Power/Data Interfaces	
Weight in air	8,800 lb / 4000 kg	Data links	Multiple RS232 and RS485 Ethernet Optical fiber
Dimensions LxWxH	10.8 x 5.5 x 6.3 ft / 3.3 x 1.7 x 1.9 m	Power	24 V DC and 110 V AC
Depth rating	10,000 ft / 3000 m standard 13,000 ft / 4000 m optional		
Vehicle Power/Performance		Tether Management System (TMS)	
Hydraulic power units	2 x 110 hp[E]	Type	Side entry cage or top-hat
Propulsion	4 x Vectored horizontal 4 X Vertical	Propulsion	2 x Horizontal (cage only)
Thrust		Hydraulic power unit	1 x 110 hp[E]
Fwd/rev:	2,000 lb / 900 kg		2,000 ft / 600 m (cage)
Lateral:	2,000 lb / 900 kg	Electro-optical tether	4,000 ft / 1200 m (cage) optional 1,300 ft / 400 m (top-hat)
Vertical:	2,080 lb / 950 kg	Cameras	2 x CCD
		Lighting	2 x 250 W (Quartz Halogen, or high intensity LED)
Vehicle Manipulators/Tooling		Launch and Recovery Systems (LARS) (choice of)	
Manipulators (2)	5 or 7 function; rate, SC or hybrid control	Overboarding	
Hydraulic Tool Control	Multiple directional control valves with proportional pressure and flow control Maximum 40 gpm	A-frame w/ or w/o docking head	
		Heavy-weather overboarding system	
		Cursor	
		Winch	
		Heavy lift winch with conventional or OHRA level wind	
Vehicle Cameras/Lighting			
Cameras	Standard Definition (SD) High Definition (HD) 3D HD (optional)		
Lighting	up to 8 x 250 W (Quartz Halogen or high intensity LED)		
Vehicle Control/Navigation			
Automatic control	Fly-by-wire station keeping system Auto heading/depth/altitude/pitch Cruise control		
Heading and altitude sensors	Survey-grade gyro Backup flux gate compass		
Depth sensor	High-resolution digiquartz Backup analog depth sensor		
Navigation sensor	Doppler velocity log		
Obstacle avoidance sonar	Kongsberg 1071 or 1171 Tritech Sea King		

© 2016 Oceaneering International, Inc. All rights reserved.

Vedlegg J: Spesifikasjon for fleksible rør

	8" Flowline	12" Flowline	16" Flowline	20" Flowline
Maximum squeeze capacity [MPa]	10	10	10	10
Weight of the pipe in air [kg/m]	128	229	-	238
Minimum bending radius [m]	2,1	3,3	-	4,5

Kommentar:

Da gruppen tok kontakt med NOV ble det etterspurt om spesifikasjoner for fleksible rørledninger med dimensjon 8", 12" og 20". Dette ble endret underveis i prosjektet til 8", 12" og 16", og det ble sendt ut en mail til NOV om spesifikasjoner for 16" rør. Men de hadde ikke tid til å gi ut informasjon om dette. Det ble antatt at 16" fleksible rør har samme klemkapasitet som de andre dimensjonene.

K: Kjervfaktor

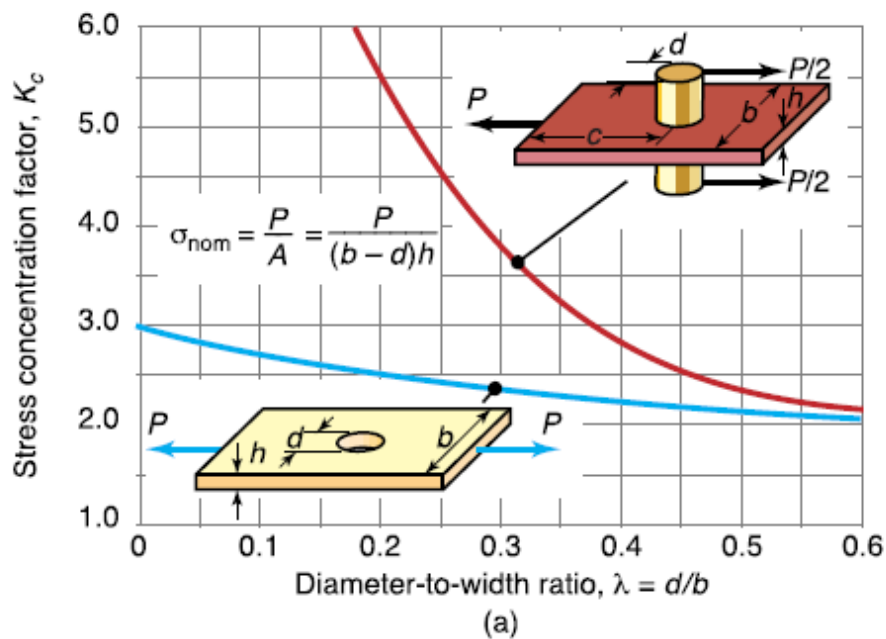
ING2029 Maskinkonstruksjon I – Teknisk Vedlegg

Stålkvaliteter med utmattingsgrenser:

Kvalitet	Standard	Desoksydasjon 1)	Strekkefasthet R_m MPa	Flytegrense ²⁾ $R_{p0.2}$ MPa					Utmattingsgrense ³⁾		Pris ca. kr/kg
				$1 \leq t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$63 < t \leq 80$	$80 < t \leq 100$	Strekke-trykk r_p MPa	Bay-ning $r_{p0.2}$ MPa	
St37-2	NS 12120	U	340-510	235	225	215	205	195	0 ± 160	0 ± 190	4,00
USt37-2	NS 12122								130 ± 130	150 ± 150	
RSt37-2	NS 12123	R	340-510	235	225	215	215	215	0 ± 160	0 ± 190	4,00
St37-3	NS 12124	RR							130 ± 130	150 ± 150	
St44-2	NS 12142	R	410-560	275	265	255	245	235	0 ± 180	0 ± 220	4,00
St44-3	NS 12143	RR							145 ± 145	175 ± 175	
St52-3	NS 12153	RR	490-680	355	345	335	325	315	0 ± 240	0 ± 280	4,80
									190 ± 190	225 ± 225	

- 1) U = Utettet
R = Halvtettet eller tett
RR = Tettet og finkornbehandlet
- 2) Flytegrensen er avhengig av godstykkelsen t
- 3) Basert på Hütte I, 28 oppl. s. 1005

Kjervfaktorer:



Vedlegg L: Material ark for oppdriftselement

Material solutions

The full range of DIAB material can be delivered with various grades of customization. All materials can be provided in blocks. DIAB can also provide various levels of customization ranging from making parts to print, standard buoys and also tailored applications based on customer requirements. We listen to your needs and requirements and provide solutions.

Testing capabilities

Comprehensive testing is the only way to ensure product reliability and long-term performance at depths down to 10000 meters. All materials are readily tested according to standard procedures to ensure material performance.

selection to structural design, manufacturing processes and auditing. DIAB Technical Services ensures that you get the most out of you material solutions and helps you to reach an optimal design.

DIAB Technical Services

Our powerhouse of composite and material know-how, DIAB Technical Services provides services that are highly valuable to every manufacturer. DIAB Technical Services provides guidance in material

Helping you to meet challenges

DIAB's mission is to make our customers' products stronger lighter and more competitive. In order to do so, DIAB has a dedicated R&D organization continuously developing new products and solutions for our customers to help them meet their challenges.

Subsea Buoyancy Solutions

Type	Density, Kg/m ³	Buoyancy, Kg/m ³	Recommended material												Operational Depth, MSW*	
																0
H 60	60	965														30
H 80	80	945														40
H 100	100	925														55
H 130	130	895														75
H 160	160	865														115
HCP 30	200	825														190
HCP 50	250	775														300
HCP 70	300	725														450
HCP 90	360	665														550
HCP 100	400	625														650
LD 1000	390	635														1000
SF 1100	445	580														1100
LD 2000	425	600														2000
LD 3000	450	575														3000
SF 3000	495	530														3000
LD 4000	475	550														4000
SF 4500	545	480														4500
LD 6000	570	455														6000
LD 8000	635	390														8000
LD 10000	695	330														10000



* Operational depths are shown for guidance only. Because optimal results depend on time, temperature, frequency, etc., each application must be evaluated individually. Contact DIAB for guidance in selecting material to your operational conditions.

For latest edition please visit www.diabgroup.com