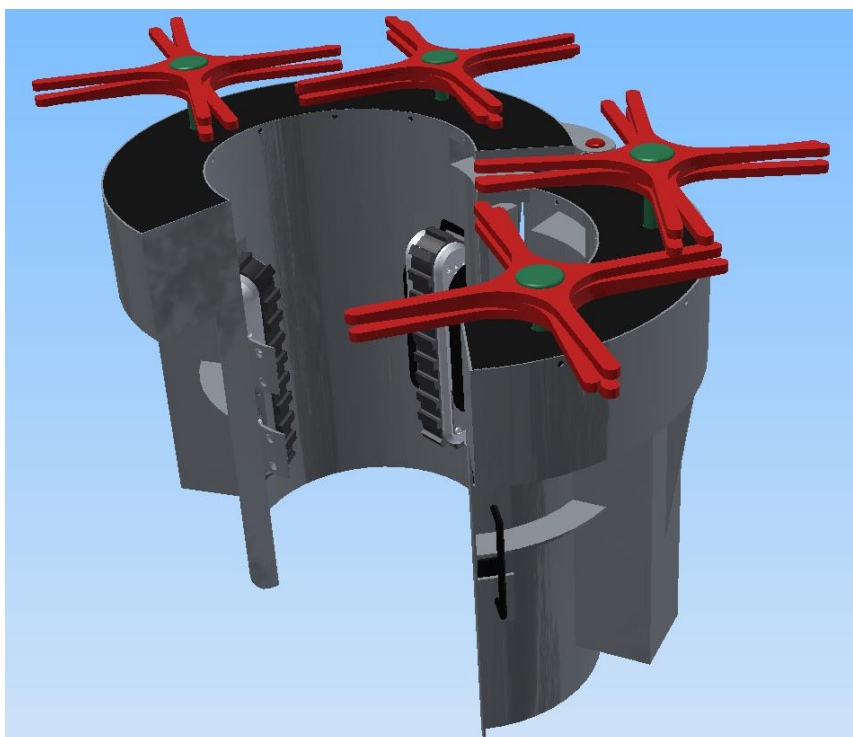




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Utvikling av selvgående farkost for fjerning av marin begroing på vertikale fleksible stigerør

---



Bacheloroppgave utført ved Høgskolen Stord/Haugesund  
Studie for ingeniørfag, Maskin, Marin konstruksjonsteknikk

Av:	Sigurd Størkson	Kand.nr.	11
	Ørjan Erslund Johansen	Kand.nr.	20
	Per Berger Bergersen	Kand.nr.	33

Haugesund

Våren 2015

# BACHELORPROSJEKT

**Studentenes navn:** Sigurd Størkson  
Ørjan E. Johansen  
Per B. Bergersen

---

## Linje & studieretning

Maskiningeniør, Marin konstruksjonsteknikk

## Oppgavens tittel:

Utvikling av selvgående farkost for fjerning av marin begroing på vertikale fleksible stigerør.

## Oppgavetekst:

Ved inspeksjon av undervanns rør og stigerør er det nødvendig med rengjøring av området som skal inspiseres.

Fjerning av marin begroing på vertikale rør må vanligvis utføres ved bruk av ROV (fjernstyrt undervannsfarkost). Bruk av ROV til slike oppgaver er både tidkrevende og svært kostbart.

Oppgaven går ut på å kartlegge hvilke alternative løsninger for rengjøring av marin begroing på vertikale fleksible stigerør som finnes, samt designe en selvgående farkost for fjerning av marin begroing. Oppgaven skal inneholde prinsippkisser, design, styrkeberegninger og andre relevante beregninger (f. eks. energibetraktninger) for farkosten. Også grove økonomibetraktninger bør inngå.

**Endelig oppgave gitt:** 6. mars 2015

**Innleveringsfrist:** Fredag 8.mai 2015 kl. 12.00

**Intern veileder:** Jens Christian Lindaas

**Ekstern veileder:** Anders Sandvik  
**Adresse ekstern veileder:** DeepOcean AS, Karmsundgt 74, 5529 Haugesund

**Godkjent av  
studieansvarlig:**  
**Dato:**

*Bret Fullbr*  
23/4 -15



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

**DEEPOCEAN**

## Forord

Ved avslutning av ingeniørutdannelsen ved Høgskolen Stord/Haugesund er det obligatorisk å gjennomføre et hovedprosjekt. Ved å gjennomføre et hovedprosjekt skal studentene vise at de kan bruke enkeltemner innen flere fagfelt til å utarbeide en komplett faglig prestasjon.

Problemstillingen ble gitt av DeepOcean AS og går ut på å designe et selvgående rengjøringsverktøy for vertikale fleksible stigerør. Oppgaven ble valgt fordi den går ut på å skape et komplett design som krever kreativitet og nytenkning. Oppgaven er utfordrende innen flere fagfelt der konstruksjon, design og undervannsteknologi står sentralt.

Fagene som har vært spesielt benyttet i vår oppgave er:

- Statikk og Fasthetslære
- Maskinkonstruksjon I og 2
- Materiallære og tilvirkning
- Undervannsteknologi og oljehydraulikk

Vi vil rette en stor takk til våre veiledere Øyvind Aksland og Anders Sandvik fra DeepOcean AS, og Jens Christian Lindaas fra Høgskolen Stord/Haugesund.

Vi vil også takke:

- John Inge Karlson, DeepOcean AS
- Bård Arve Valstad, PSO AS
- Åge Holsbrekken, Kystdesign AS

Haugesund: 05.05.2015

  
Ørjan E. Johansen

  
Sigurd Størkson

  
Per B. Bergersen



## Sammendrag

Denne rapporten er en hovedoppgave i studieretningen marin konstruksjonsteknikk, og tar for seg konstruksjon og design av et selvgående rengjøringsverktøy for vertikale fleksible stigerør. Oppgaven ble gitt av DeepOcean AS som er en lokal aktør innenfor undervannsoperasjoner, lokalisert i Haugesund.

Grunnet krav om hyppige inspeksjoner av fleksible stigerør ser DeepOcean et økende marked innen rengjøring av fleksible stigerør. Pr. i dag foregår rengjøring av stigerør stort sett med ROV påmontert enkel roterende børste eller høytrykksspyler. Dagens metode er tidkrevende og dermed en kostbar operasjon, der det finnes et stort potensiale for effektivisering og kostnadsbesparelse.

DeepOcean ønsker å designe et helautomatisk verktøy som effektiviserer rengjøring av vertikale stigerør.

Verktøyet skal være et automatisert system som selv klatrer oppover vertikale stigerør, samtidig som det rengjør denne for marin begroing. Verktøyet skal ha 360 graders dekningsgrad rundt stigerør, og plasseres på stigerør med ROV. Alle funksjoner i verktøyet skal ha energitilførsel fra ROV, og man er derfor ikke avhengig av ekstern krafttilførsel til verktøyet fra overflaten.

Rapporten gjennomgår en kartlegging av hvilke produkter og verktøy som finnes på markedet fra før, og hvilke bruksmuligheter disse har. Det vurderes om prinsippene som allerede er i bruk kan videreutvikles til å skape et verktøy som vil effektivisere dagens metoder for rengjøring av vertikale stigerør.

Gjennom en selekteringsprosess blir de mest aktuelle prinsippene for fremdrift og rengjøring vurdert med fordeler og ulemper opp mot bruksoråde og behov. Det velges basert på vurderingene ett prinsipp for fremdrift, og ett prinsipp for rengjøring som skal videreføres til en nyutvikling innen rengjøringsverktøy for vertikale rør.

Den tekniske løsningen er et verktøy som bruker roterende børster til fjerning av marin begroing, og friksjonsbelter som fremdriftssystem. Verktøyet er en hybridløsning der børstesystemet og åpne-/lukkefunksjon er hydraulisk drevet, og fremdriftssystemet er elektrisk. Både hydrauliske og elektriske komponenter styres direkte av ROV-pilot.

Denne rapporten inneholder et detaljert designforslag for hvordan et slikt verktøy kan utformes.

Designet er presentert ved bruk av 3D-modeller, samt 2D-tegninger fra Autodesk Inventor. Konstruksjonen er beregnet med manuelle og datasimulerte styrkeberegninger fra styrkeberegningsprogrammet ANSYS.



## Innholdsfortegnelse

Forord.....	<b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>
Sammendrag.....	iii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2 Om DeepOcean.....	2
1.3 Formål.....	3
1.4 Metodikk.....	4
2 Begrensninger.....	5
2.1 ROV begrensinger.....	5
2.2 Verktøyet's oppgave.....	5
2.3 Dybde.....	5
2.4 Rørtype.....	5
2.5 Dimensjoner.....	5
2.6 Grundighet av rengjøring.....	5
3 Research.....	6
3.1 Om marin begroing.....	6
3.1.1 Skjell.....	6
3.1.2 Rur.....	6
3.1.3 Tang og tare.....	6
3.1.4 Anemoner.....	6
3.2 Produkter på markedet/Eksisterende løsninger.....	7
3.2.1 Ikke automatiserte verktøy.....	7
3.2.2 Automatiserte verktøy.....	8
3.3 Klatremetoder.....	11
3.3.1 Vaiertrekk.....	11
3.3.2 Klemme og flytte-funksjon.....	11
3.3.3 Hjul.....	11
3.3.4 Belter.....	11
3.3.5 Vakuumfeste.....	11
3.4 Rengjøringsmetoder.....	12



3.4.1	Spyling .....	12
3.4.2	Ultralyd.....	12
3.4.3	Børsting .....	13
3.4.4	Skraping.....	13
3.4.5	Kjemikalier.....	13
3.5	Materialvalg.....	14
3.5.1	Stål .....	14
3.5.2	Aluminium .....	15
3.5.3	Titan .....	15
3.5.4	Valg av materiale .....	16
4	Alternative løsninger/konsepter.....	17
4.1	Selektering av rengjøringsmetoder .....	17
4.1.1	Kjemikalier.....	17
4.1.2	Ultralyd.....	17
4.1.3	Roterende stålbørster .....	18
4.1.5	Kavitasjon.....	18
4.2	Aktuelle rengjøringsmetoder .....	19
4.2.1	Høytrykksspyling uten abrasive partikler .....	19
4.2.2	Børsting .....	20
4.3	Selektering av klatremetoder .....	21
4.3.1	Hjul.....	21
4.3.2	Magnetiske belter.....	21
4.3.3	Vakuumfeste .....	21
4.3.4	Vaiertrekk.....	21
4.4	Aktuelle klatremetoder .....	22
4.4.1	Klemme- og flyttefunksjon.....	23
4.4.2	Friksjonsbelter .....	24
4.5	Endelig valgte metoder .....	25
5	Designgrunnlag .....	26
5.1	Beltecrawler .....	26
5.1.1	Forslag til oppheng for belteenhet .....	27
5.2	Gummibørster .....	28
5.3	Hydrauliske motorer .....	30





5.4	Åpne- /lukkesylinder .....	31
5.5	Presentasjon av rammedesign .....	32
5.5.1	Grunnlag for design .....	32
5.5.2	Design av rammeverk .....	32
5.5.3	Endelig design.....	36
5.6	Gjennomgående bolt og hengsler .....	38
5.6.1	ROV holdepunkt .....	38
5.6.2	Løftepunkter.....	38
5.7	Låsemekanisme .....	39
5.8	Hydraulikksystemet .....	40
5.8.1	Hydraulisk krets – åpne/lukke sylindere.....	40
5.8.2	Hydraulisk krets – børster .....	41
5.9	Slangeplasseringer og elektriske ledninger.....	42
5.10	Oppdriftselementer.....	43
6	Økonomiske betraktninger .....	45
6.1	Døgnrate.....	45
6.2	Innkjøps- og sammenstillingskostnad.....	45
6.3	Inntjeningspotensiale .....	45
7	Manuelle beregninger og anvendelse av styrkeberegningsprogram .....	46
7.1	Rammedel 1.....	47
7.2	Rammedel 2.....	50
7.3	Gjennomgående bolt .....	53
7.4	Lås .....	57
7.5	Konklusjon av sammenligningern mellom handberegninger og ANSYS.....	61
8	Avsluttende diskusjon og forslag til videre arbeid.....	62
8.1	Avsluttende diskusjon.....	62
8.2	Forslag til videreutvikling .....	63
8.2.1	Kombinere rengjøringsmetoder .....	63
8.2.2	Multi purpose funksjon.....	63
8.2.3	Modulbasert oppbygning.....	63
8.2.4	Kamera .....	63
9	Konklusjon .....	64
	Ordliste.....	65



Referanser .....	66
Vedlegg.....	I
Vedlegg A: Handberegninger og direkte tilknyttet informasjon .....	I
Valg av sikkerhetsfaktor .....	I
Symbolliste.....	II
Hydrodynamisk masse .....	III
Dragkrefter .....	VI
Krefter og moment på belter, stempel, stag og lås .....	VIII
Hydraulisk motor til børster .....	XVII
Låseplate.....	XXI
Løfteører.....	XXIII
Skruer .....	XXVII
Formelark.....	XXVIII
Vedlegg B:  Stykkliste.....	XXXI
Vedlegg C:  2D tegninger .....	XXXII
Figur 1:  Sammenstillingstegning .....	XXXII
Figur 2:  Rammedel 1 .....	XXXIII
Figur 3:  Rammedel 2 .....	XXXIV
Figur 4:  Rammedel 1 lokk.....	XXXV
Figur 5:  Rammedel 2 lokk.....	XXXVI
Figur 6:  Gjennomgående stag .....	XXXVII
Figur 7:  Låsearm .....	XXXVIII
Vedlegg D:  E-poster .....	XXXIX
Mail angående pris for Lateral børster:.....	XXXIX
Mail angående pris for MiniTracks .....	XXXIX
Mail angående pris på oppdriftselementer.....	XL
Mail angående priser på materiale for bygging av verktøy .....	XLI
Mail angående priser for hydrauliske sylindere .....	XLII
Vedlegg E:  Stigerørkonfigurasjon.....	XLIII
Vedlegg F:  Datasheet ROV .....	XLIV
Vedlegg G:  Minitrac .....	XLVI
Vedlegg H:  Lateral FlexiClean .....	XLVII
Vedlegg I:  Åpne-/lukkesylinder .....	LI





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

Vedlegg J: Marine Cleaning Tool .....	LIII
Vedlegg K: Lateral FlexiTRIC .....	LIV
Vedlegg L: Mooring Line Cleaning Tool .....	LV
Vedlegg M: Splashzone Riser Inspection Tool .....	LVI
Vedlegg N: Versatrax MicroClimber System .....	LVII
Vedlegg O: ANSYS-rapport rammedel 1 .....	LVIII
Vedlegg P: ANSYS-rapport rammedel 2 .....	LXXIV
Vedlegg Q: ANSYS-Rapport gjennomgående bolt .....	XCII
Vedlegg R: ANSYS-rapport låsemekanisme .....	CVIII



## Figurliste

Figur 1 - Marine Cleaning Tool .....	7
Figur 2 - Lateral FlexiClean.....	7
Figur 3 - Lateral FlexiTRIC .....	8
Figur 4 - Oceaneering Mooring Line Cleaning Tool .....	9
Figur 5 - Oceaneering Splashzone Riser Inspection Tool .....	9
Figur 6 - Versatrax Microclimber System.....	10
Figur 7 - Lateral FlexiClean.....	20
Figur 8 - Klemme og flyttefunksjon.....	23
Figur 9 - Friksjonsbelter.....	24
Figur 10 - Inuktun Minitracks beltecrawler .....	26
Figur 11 – Forslag til oppheng for belteenhet.....	27
Figur 12 - FlexiClean børstehode .....	28
Figur 13 - Plassering av børster .....	29
Figur 14 - Illustrasjon av hydrauliskmotor med børste .....	30
Figur 15 - 3D-modell av hydraulisk sylinder .....	31
Figur 16 - Sekskantramme.....	33
Figur 17 - Sirkulær ramme.....	34
Figur 18 - Bilde av endelig rammekonstruksjon .....	35
Figur 19 - Sammensatt konstruksjon .....	36
Figur 20 - Verktøy på stigerør .....	37
Figur 21 - Låsemekanisme .....	39
Figur 22 - Låsemekanisme i lukket stilling.....	39
Figur 23 - Hydraulisk krets åpne- /lukkefunksjon.....	40
Figur 24 - Hydraulisk krets roterende gummibørster .....	41
Figur 25 – Kraftbilde rammedel 1 .....	47
Figur 26 – Jevnføringsspenning ANSYS rammedel 1 .....	48
Figur 27 – Deformasjon ANSYS rammedel 2 .....	49
Figur 28 – Kraftbilde rammedel 2.....	50
Figur 29 – Jevnføringsspenning ANSYS rammedel 2 .....	51
Figur 30 – Deformasjon ANSYS rammedel2 .....	52
Figur 31- Kraftbilde gjennomgående bolt .....	53
Figur 32 – Jevnføringsspenning ANSYS gjennomgående bolt .....	54
Figur 33 – Deformasjon ANSYS gjennomgående bolt.....	56
Figur 34 - Kraftbilde låsearm .....	57
Figur 35 – Jevnføringsspenning ANSYS låsearm .....	58
Figur 36 – Deformasjon ANSYS låsearm.....	60



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Olje- og gassindustrien er i dag hovedtyngden i norsk industri, dette startet for fullt i Norge med funnet av Ekofisk feltet i 1969. Grunnet stor global utvikling innen olje- og gassindustri står det i dag svært mange plattformer og undervannsproduksjonssystem spredt rundt på både norsk og internasjonal sokkel.

Slike installasjoner innebærer store mengder rør og stigerør fra havbunn til produksjonsinstallasjon ved overflaten eller til land.

I olje- og gassindustrien har rengjøring, vedlikehold og sertifisering av utstyr og komponenter under vann blitt et stort fokus. I mange tilfeller kreves det regelmessig rengjøring og sertifisering av undervannskomponenter. Dette har dermed ført til at rengjøring under vann er blitt et eget kompetanseområde. Resertifisering av rør/stigerør blir utført etter gjeldende regelverk som DNV-RP-E101.

Fleksible rør blir brukt mellom petroleumsbrønn og en flytende produksjonsenhet, dette kan være en borerigg, flytende produksjonsplattform eller et produksjonsskip. Om det brukes en flytende produksjonsenhet istedenfor en fast produksjonsenhet, kan det oppstå problemer med bevegelsene som dannes i sjøen. Et fleksibelt stigerør skal derfor ta opp den relative bevegelsen mellom fartøyet og oljebrønnen. Se vedlagt illustrasjon av stigerørkonfigurasjon, se *Vedlegg E: Stigerørkonfigurasjon*

Rørene blir bygd opp lagvis av stålband som sørger for mekanisk styrke, og rør av termoplast som skal sørge for tetthet mot omgivelsene.

Disse rørene er lett bøyelige, og kan dermed kveiles på tromler med forholdsvis små diametere. Dette fører også til at å legge fleksible rør er en enklere operasjon enn å legge stive rør.

DeepOcean er spesialister innen undervannsoperasjoner, og har stor kompetanse innen bruk og utvikling av utstyr som brukes til varierende typer oppdrag som utføres under vann. En stor andel av oppdragene som blir utført, er ved bruk av fjernstyrte undervannsfarkoster.

Rengjøring av stigerør er et viktig forarbeid for at resertifisering av rør/stigerør skal kunne utføres. Dette er et meget tidkrevende arbeid som krever langvarig bruk av ROV'er, og har stort potensiale for effektivisering. DeepOcean ønsker å utvikle et selvgående verktøy som effektiviserer rengjøring av fleksible stigerør.



## 1.2 Om DeepOcean

DeepOcean AS ble etablert i 1999 av Solstad Shipping og Østensjø Rederier, sammen med tidligere ansatte fra Stolt Offshore. Firmaet ble etablert for å dekke etterspørselen etter høykvalitetsutstyr og service, kombinert med personell som har erfaring fra undervannsoperasjoner verden over.

Dette firmaet slo seg sammen med CTC Marine Projects og Trico Supply i 2011 for å danne DeepOcean Group.

Kontorene er lokalisert i Norge, Nederland, Mexico, Brasil, Singapore og England.

DeepOcean tilbyr fem sentrale tjenester som er:

- Sjøbunns kartlegging
- Sjøbunns intallasjoner
- «Seabed Intervention»
- IMR (inspeksjon, vedlikehold og reoperasjon)
- «Decommissioning»

Det er ca. 1400 ansatte som jobber verden rundt, med blant annet prosjekt administrasjon og operasjon av en flåte av skip, ROV og undervanns grøftegravere. DeepOcean's ansatte har høy kompetanse innen undervannsoperasjoner, og er engasjerte i sitt arbeid. Dette har vært med på å gjøre at bedriften har oppnådd god suksess.

Sikkerheten i bedriften er høyt prioritert, derav kommer uttrykket «One Team, One Goal, Incident Free!»

Kjerneverdiene til DeepOcean er:

- Sikkerhet
- Kameratskap
- Kundefokus
- Innovasjon
- Integritet

DeepOcean er opptatt av alltid å være oppdatert innen den nyeste kunnskapen og teknologien på markedet. Dette har bidratt til at DeepOcean i dag er et internasjonalt selskap.



## 1.3 Formål

Ved inspeksjon av installasjoner, komponenter og rør under vann er marin begroing et tidkrevende og kostbart problem. Ved inspeksjoner av undervannskomponenter er det viktig at overflaten som skal inspiseres er ren, og fri for marin begroing.

Fjerning av marin begroing må i de fleste tilfeller gjøres ved hjelp av ROV. Dette foregår typisk ved bruk av roterende børster, høytrykksspyling eller en kombinasjon av disse. Dekningsarealet for rengjøringsverktøy som brukes på ROV er generelt sett lite, og geometrien på objektet kan gi ytterligere utfordringer. Ved bruk av ROV til rengjøring av store flater og lange strekk av rør, blir dette arbeidet tidkrevende og lite effektiv utnyttelse av ressurser.

Grunnet krav om hyppige inspeksjoner av fleksible stigerør, er jevnlig rengjøring av disse en viktig jobb som krever langvarig bruk av ROV. Ved rengjøring fra plaskesonen og ned til ca. 60 meters dyp møter man begroing som kan være svært krevende å fjerne. Arbeid i plaskesonen anses som risikabelt, da bølger og strømmer i vannet kan slenge ROV mot strukturen den arbeider med, som kan føre til at både ROV og struktur kan ta skade av dette.

Formålet er å utvikle et selvgående rengjøringsverktøy som kan rengjøre fleksible stigerør på en effektiv og økonomisk måte, samt holde ROV på en trygg avstand fra stigerør i risikable soner.

Et verktøy som kan effektivisere jobben som i dag blir gjort av ROV vil spare DeepOcean for tid og ressursbruk, og dermed bidra til å gi selskapet mulighet for mer effektiv ressursbruk og større inntekter.

## 1.4 Metodikk

Hverken DeepOcean eller bachelorgruppen hadde oversikt over om det fantes gode tilsvarende produkter på markedet, og ønsket en enkel oversikt over dette. Arbeidet begynte med å lage en liten oversikt over hvilke komplette eksisterende løsninger som finnes, samt hvilke enkeltkomponenter som finnes tilgjengelig på markedet.

Etter en del research ble det dannet et bilde over hvilke enheter som finnes på markedet. Det ble deretter tatt kontakt med aktuelle aktører for å få mer detaljert informasjon om både eksisterende løsninger og enkeltkomponenter.

I startfasen hadde gruppen et bedriftsbesøk hos Kystdesign AS hvor Åge Holsbrekken hadde omvisning på bedriftsområdet, og svarte på eventuelle spørsmål. Dette var for å lære om hvordan en ROV fungerer, og å få en innføring i elektriske og hydrauliske utløp som er tilgjengelig på en ROV.

Etter avgrensninger av oppgaven sammen med DeepOcean ble det laget prinsippskisser som illustrerer de forskjellige metodene som var relevante for oppgaven. Det ble dermed valgt ut enkeltkomponenter som var ønskelig å bruke i oppgaven med tanke på hvor og hvordan verktøyet skal brukes. Mange varianter av enkeltkomponenter for hver funksjon ble funnet, men alle har fordeler og ulemper i forhold til bruksområde og bruksmåte. De endelige komponentene ble valgt ut fra sammenligning av fordeler og ulemper i forhold til ønsket funksjon for verktøyet.

Designet av selve rammen ble utarbeidet ut fra geometrien på komponentene som ble valgt, noe som gjorde at gruppen kunne se tidlig hvilke løsninger som ville fungere, og hvilke løsninger som ikke ville fungere.

Følgende programvare ble benyttet i prosjektoppgaven:

- Hele hovedoppgaven ble skrevet i Microsoft Word.
- Dropbox ble brukt som en felles lagringsportal. Der ble det dannet en felles mappe, hvor hvert enkelt gruppemedlem har tilgang på alle dokumentene og kan derfor samarbeide uavhengig av lokasjon.
- Project Manager ble brukt til å danne et tidsestimat for hvordan de forskjellige fasene i hovedprosjektet skulle håndteres i forhold til tidsperioden som var satt.
- Paint ble brukt til å illustrere forskjellige enkle prinsippskisser.
- AutoCad ble brukt til å tegne opp blant annet hydraulikkskjema som trengtes for hydraulikksystemet til både børstene og sylindrene.
- Autodesk Inventor er et modelleringsprogram hvor man kan lage avanserte geometrier for å lage en 3D modell av den ønskede komponenten, dette er et program som ble benyttet mye av gruppen.
- ANSYS Workbench er et beregningsprogram som kan ta 3D modeller fra f.eks. Autodesk Inventor for å kalkulere krefter, spenninger og deformasjoner i komponentene.

## 2 Begrensninger

### 2.1 ROV begrensinger

Det var ønskelig ifra DeepOcean AS at all krafttilførsel skal komme ifra ROV. Dette fører til at man derav vil få begrensninger i energitilførselen i forhold til hvor mye ROV output er. Det ble valgt en standard Supporter ROV ifra Kystdesign AS som DeepOcean bruker på de fleste av deres fartøy som utgangspunkt til videre arbeid.

Vedlagt: *Vedlegg F: ROV datasheet*

### 2.2 Verktøyet's oppgave

Mange alternative løsninger ble vurdert. Idéer om rengjøring og inspeksjon i ett og samme verktøy ble nevnt, men i samråd med veiledere kom gruppen frem til at et verktøy med både inspeksjonsverktøy og rengjøringsverktøy vil bli for stort og komplekst. Det ble bestemt at oppgaven kun skal fokusere på fjerning av marin begroing, med en eventuell mulighet for å feste noen enkle kamera for å kunne overvåke prosessen.

### 2.3 Dybde

Gruppen og DeepOcean kom frem til at man ville fokusere på de første 60 meterene fra plaskesonen. Fra plaskesonen og nedover er den sonen der det forekommer mest begroing, og begroingen er av en type som er krevende å fjerne.

### 2.4 Rørtype

På bakgrunn av et voksende behov for rengjøring av fleksible stigerør, blir oppgaven begrenset til rengjøring av fleksible stigerør. Dette på grunn av det forekommer flere og flere flytende produksjonsenheter som blir koblet til produksjonsbrønnen ved hjelp av fleksible stigerør. Fleksible stigerør krever hyppigere inspeksjoner, og dermed mer regelmessige rengjøringer.

### 2.5 Dimensjoner

Etter diskusjon med DeepOcean ble det bestemt at oppgaven skal fokuseres inn mot en bestemt rørdiameter. Dette pga. at forskjellen i diameter mellom de minste og de største stigerørene er stor, og det er derfor vanskelig å lage et «universalt» verktøy.

Rørdimensjonen ble satt til 10" rør, der små variasjoner i diameter kan forekomme.

### 2.6 Grundighet av rengjøring

Hvilken type begroing som skal fjernes ble det og tatt hensyn til. Det er generelt tre typer inspeksjoner som er vanlig å gjennomføre, GVI («General Visual Inspection»), CVI («Close Visual Inspection») og DI («Detailed Inspection»).

Når man skal gjennomføre disse typer inspeksjoner er det forskjellige krav til hvor mye begroing som må fjernes. Det er ønskelig at verktøyet skal tilfredsstillere kravet til CVI, som krever at overflatene er rene nok til å kunne utføre en visuell kontroll av flaten som er rengjort.



## 3 Research

Helt i starten ble det gjort en del research på hvilke typer marin begroing som kan dannes på rør/stigerør. Samtidig ble det gjort mye research på hvilke typer rengjøring- og klatreprinsipp som finnes. Allerede ferdige løsninger ble også vurdert.

### 3.1 Om marin begroing

Marin begroing er en felles betegnelse på alt organisk som vokser under havoverflaten. Marin begroing består av bakterier, planter og dyr, og kan bygge seg opp til 50cm i tykkelse.

Tykke lag med marin begroing vil gi store vektpåkjenninger og økte «dragkrefter» på konstruksjonen som følge av et økt projisert areal. Utover fysiske påkjenninger på konstruksjonen vil marin begroing også skape store problemer ved inspeksjoner av stigerøret.

Marin begroing er som regel avhengig av lys, temperatur og næringstilgang, dette fører til at den marine begroingen vil avta med økende dybde og mindre tilgang på lys og næring. Begroingen vil være mest krevende fra havoverflaten og nedover de første 30 meterne.

Marin begroing kan deles inn i 2 hovedtyper:

- Hard begroing: Skjell og rur
- Myk begroing: Anemoner, tang og tare

#### 3.1.1 Skjell

Skjell er en typisk begroing som man sliter med offshore. Blåskjell er mest vanlig blant skjellartene, og dette kan danne store kolonier som er veldig tidkrevende å fjerne.

#### 3.1.2 Rur

Rur er en type krepsdyr som kan danne store kolonier på offshore installasjoner. Disse danner et kalkskall på installasjonen som kan være svært vanskelig å fjerne.

#### 3.1.3 Tang og tare

Tang og tare er havalger som og kan lage store kolonier på offshore installasjoner. Disse dannes som regel nær overflaten på ca 5-10 meters dyp. Tang og tare regnes som relativt lett begroing å fjerne.

#### 3.1.4 Anemoner

Anemoner finnes i mange størrelser og arter. Dette er bløtdyr som fester seg til installasjoner. Anemoner er svært mye enklere å fjerne enn hard begroing.

### 3.2 Produkter på markedet/Eksisterende løsninger

Etter research på eksisterende løsninger ble det funnet få lignende produkter på markedet. Mange av verktøyene på markedet er roterende børster eller spyleanordninger som festes til ROVs manipulator. Disse metodene er tidkrevende i bruk, og har derfor store kostnader.

Vedlagt følger noen av disse verktøyene:

#### 3.2.1 Ikke automatiserte verktøy

*Vedlegg J: Marine Cleaning Tool(Se figur 1){1}*

En dykkeroperert rengjøringsbørste som kan brukes på både sylinderveformede og flate overflater.



Figur 1 - Marine Cleaning Tool

*Vedlegg H: Lateral FlexiClean(Se figur 2){2}*

FlexiClean fra Lateral er en roterende børstetype av gummi materiale som leveres som verktøy for ROV. Børsten er ment å styres via manipulatorarm på ROV.



Figur 2 - Lateral FlexiClean

---

{1} <http://www.uesltd.net/pdf/MC211%20Data%20Sheet.pdf> (15.2.2015)

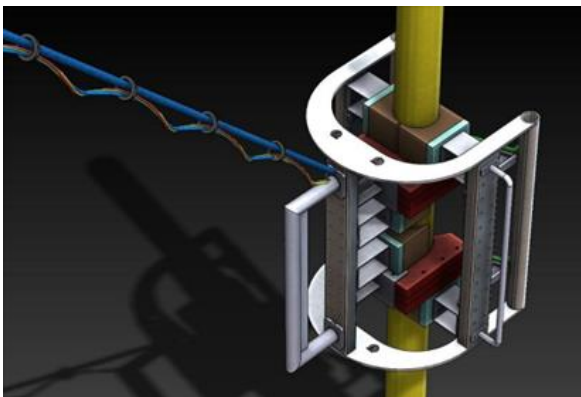
{2} <http://stoprust.com/products-and-services/flexiclean/> (18.2.2015)

### 3.2.2 Automatiserte verktøy

Noen varianter av automatiserte rengjøringsverktøy eksisterer på markedet per i dag, vedlagt informasjon om de mest relevante:

*Vedlegg K: Lateral FlexiTRIC (Se figur 3) {3}*

Et rengjøringsverktøy som bruker børster til rengjøring, fremdriften skjer ved at den blir dratt via en vaier ved hjelp av vinsj eller ROV.



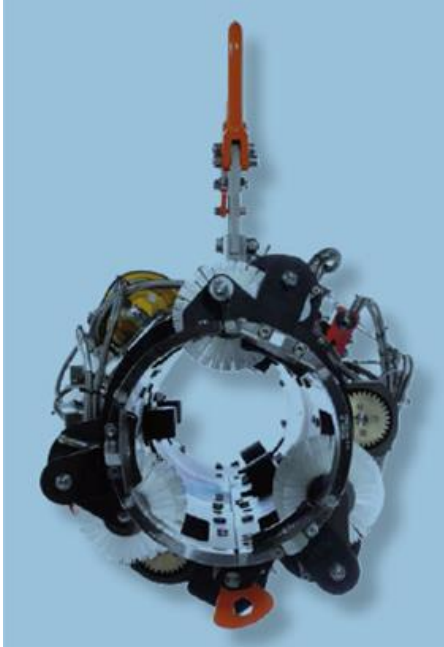
Figur 3 - Lateral FlexiTRIC

---

{3} Vedlagt mail fra Øyvind Aksland, Se Vedlegg K:Lateral FlexiTRIC (27.1.2015)

*Vedlegg L: Oceaneering Mooring Line Cleaning Tool (Se figur4){4}*

Et verktøy som rengjør rør/stigerør ved hjelp av roterende børster. Også her er fremdriften at den blir dratt av ROV via vaier.



Figur 4 - Oceaneering Mooring Line Cleaning Tool

*Vedlegg M: Oceaneering Splashzone Riser Inspection Tool (Se figur 5){5}*

Dette er et kombinert rengjørings og inspeksjonsverktøy, der børster rengjør området som skal inspiseres. Fremdriftsmetoden baserer seg på klemme- og flytteprinsippet.



Figur 5 - Oceaneering Splashzone Riser Inspection Tool

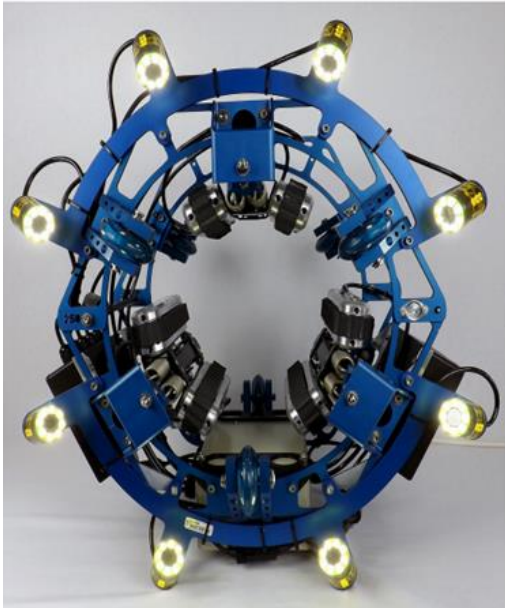
---

{4} <http://www.oceaneering.com/oceandocuments/brochures/subseaproducts/Oceaneering-DTS-Catalog-2013.pdf> ROV Tooling-Cleaning Tools-s18 (19.2.2015)

{5} <http://www.oceaneering.com/oceandocuments/brochures/inspection/INS%20-%20Splashzone%20Riser%20Inspection%20Tool.pdf> (19.2.2015)

*Vedlegg N: Versatrax Microclimber System (Se figur 6){6}*

Dette er en selvklatrende rigg som har en interface som kan brukes til både inspeksjonsverktøy og rengjøringsverktøy. Fremdriften skjer ved hjelp av fjærbelastede beltemoduler som er utstyrt med vanntette friksjonsbelter. I praksis «kjører» den vertikalt oppover rør/stigerør.



Figur 6 - Versatrax Microclimber System

---

{6} <http://www.inuktun.com/crawler-vehicles/versatrax-microclimber.html> (11.2.2015)

### 3.3 Klatremetoder

Selve klatremetoden vil det være et stort fokus på i oppgaven. Det finnes mange forskjellige klatreprinsipp, og før det ble bestemt en metode var det ønskelig å kartlegge hvilke klatrefunksjoner som allerede finnes på markedet.

Området begrenser seg til strekk langs stigerør, og man møter dermed ikke geometriske hindringer som for eksempel flensforbindelser eller ventiler. Om en slik hindring skal oppstå kan ROV løse av verktøyet, for så å plassere det på andre siden av flens/ventil.

Løsningen som velges bør være effektiv, slik at man får ned kostnadene av operasjonen mest mulig.

#### 3.3.1 Vaiertrekk

Vaiertrekk kan være en relativt enkel metode for å kunne flytte verktøyet oppover langs stigerør. En/flere vaiere går fra verktøyet til en overflate vinsj/ROV som sørger for å dra verktøyet langs røret/stigerør. Denne metoden gjør at verktøyet blir mindre i volum, noe som fører til lavere produksjonskostnader.

#### 3.3.2 Klemme og flytte-funksjon

Denne prinsipper baserer seg på to klemmer som tar tak rundt røret. Den ene klemmen kan dermed flytte seg opp/ned, mens den andre holder seg fast. Den første klemmen vil dermed klemme seg selv fast på en gitt distanse fra hvor den sto fast før flyttefunksjonen. Når den har klemt seg fast kan den andre klemmen løsne og følge etter for så å feste seg nærmere den første klemmefunksjonen som fører til en flyttende bevegelse.

#### 3.3.3 Hjul

Hjul er en relativt enkel og ukomplisert metode for å lede verktøyet langs rør/stigerør. Hjul vil være enkle å sette i drift, og ha lave kostnader.

#### 3.3.4 Belter

Belter er en relativt enkel og pålitelig løsning. Beltene holder seg fast til rør/stigerør ved hjelp av enten magnetisk- eller friksjonskraft.

##### 3.3.4.1 Friksjonsbelter

Denne er belter som holdes fast kun ved hjelp av friksjonskraft. Man kan unngå store skader på rør/stigerør pga. at klemkraften blir fordelt på relativt store arealer fra beltene. Beltene kan komme seg over ujevnheter i overflatearealet.

##### 3.3.4.2 Magnetiske belter

Denne er belter som holdes fast ved hjelp av magnetisk kraft. Den magnetiske kraften er ekstremt stor, og disse beltene kan dermed brukes uavhengig av gravitasjonskraften. Magnetiske belter kan kun brukes på ferritiske materialer.

#### 3.3.5 Vakuumfeste

Noen sugekopper plasseres inntil rør/stigerør for så at en pumpe sørger for undertrykk, dette vil føre til at verktøyet vil festes til rør/stigerør ved hjelp av vakuum.

### 3.4 Rengjøringsmetoder

Hvilken rengjøringsmetode som skal brukes er en viktig faktor som angår både effektivitet og skånsomhet ovenfor området som skal rengjøres.

#### 3.4.1 Spyling

##### 3.4.1.1 Høytrykksspyling uten abrasive partikler

Høytrykksspyling baserer seg på å sende en vannstrøm ut av en dyse med et gitt trykk. Med høytrykksspyling kan man enkelt dekke 360 grader rundt røret, og er derfor en effektiv måte å fjerne marin begroing på. Dette er i tillegg en miljøvennlig rengjøringsmetode siden man kan bruke sjøvann. Høytrykksspyling krever høye trykk som igjen kan føre til at man trenger store pumper for å drifte systemet.

##### 3.4.1.2 Høytrykksspyling med abrasive partikler

Dette er i prinsippet akkurat det samme som høytrykksspyling uten abrasive partikler, men partikler blir blandet inn i vannstrømmen. Bruk av høytrykksspyling med abrasive partikler er lite skånsom mot ømfintelige overflater.

##### 3.4.1.3 Kavitasjon

Kavitasjonsrengjøring er en relativt ny metode å fjerne marin begroing på.

Sitat fra mailsamtale med Bård Arve Valstad, PSO:

*«Systemet bygger på kavitasjonsprinsipp, og det spesielle er lanser der det skjer et trykkfall som gjør at man får vakuum bobler i væsken. Når hastigheten bremses opp i vannet utenfor lanser, kollapser disse boblene og frigjør store mengder energi. Man benytter da denne overgangen til å vaske og må ha overflaten i en avstand fra lanser der dette skjer. Dette har også vist seg å kunne ha desinfiserende effekt.»{7}*

#### 3.4.2 Ultralyd

Ultralyd er en metode man kan bruke til blant annet å fjerne marin begroing. Dette systemet sender ut lydbølger som fører til at alger og andre organismer kan slippe tak av overflaten de er festet til.

---

{7} Bård Arve Valstad, PSO, Produktleder Inspeksjon Subsea, [www.pso.no](http://www.pso.no) (18.2.2015)





### 3.4.3 Børsting

#### 3.4.3.1 Roterende nylonbørste

Dette er et miljøvennlig og effektivt verktøy for å fjerne all type begroing på. Nylonbørster er mye brukt som verktøy som kobles direkte til ROV. Børstene er svært robuste, noe som gjør at de kan være ugunstige ved bruk på ømfintlige materialer og overflatebehandlede flater.

#### 3.4.3.2 Roterende stålbørste

Stålbørste er en hardere type børster enn nylonbørste. Man får ikke like raskt skader på børsten slik at den må skiftes, men en stor ulempe med stålbørster er at det kan skade overflatebehandling og innkapsling. Dette fører til at man vil unngå å bruke stålbørste til vanlig rengjøring.

#### 3.4.3.3 Roterende gummibørste

Lateral har en patentert gummibørste med navn FlexiClean. Dette er et effektivt verktøy som kan fjerne all type begroing uten å ødelegge coating eller andre komponenter.<sup>{8}</sup>

### 3.4.4 Skraping

#### 3.4.4.1 Kniver

Kniver er en effektiv metode for å kutte løs marin begroing på. Knivene blir her dradd opp langs røret hvor de kutter vekk den marine begroingen. Denne har en ulempe med at de lett kan gi store skader på stigerøret om de kommer i kontakt med materialet som skal rengjøres.

#### 3.4.4.2 «Cheese-wire»

«Cheese-wire» fungerer omtrent på samme måte som kniver. Men her kan man bruke tau eller eventuelt stropper som man drar opp langs røret, og man unngår dermed risikoen for å skade røret. Tauet er veldig stramt, noe som fører til at man kan skrape vekk begroingen relativt lett. Ulempen med «Cheese-wire» er at den raskt blir slitt.

### 3.4.5 Kjemikalier

Kjemikalier kan være en enkel metode for å fjerne marin begroing. Dette baserer seg på at man kan sprøyte ulike kjemikalier på begroingen, dette vil dermed drepe organismene og sørge for at de slipper taket til underlaget. En stor ulempe med dette er at man vil unngå mest mulig utslipp av kjemikalier i sjøen. Samt tiden det tar før all begroingen dør ut.

---

<sup>{8}</sup>“FlexiClean” Lateral <http://www.lateral.no/flexiclean.html> (26.2.2015)

### 3.5 Materialvalg

Ingeniører må forholde seg til materialvalg som designfaktor når man skal arbeide med konstruksjon av bærende strukturer og mekaniske systemer. Når man skal vurdere hvilken type material man skal velge må man ta hensyn til styrkeegenskaper, stivhet, tetthet, utmattingsfasthet, utseende, hvilken type miljø materialet skal tåle, samt prisen på materialet.{9}

#### 3.5.1 Stål

##### 3.5.1.1 Karbonstål

Karbonstål er et veldig mye brukt materiale innen offshore og onshore konstruksjon. Det er et billig material, som er lett å bearbeide. Karbonstål har en relativt høy flytegrense og stivhet, dette fører til at man kan lage veldig sterke og stive konstruksjoner. Problemer med vanlige karbonstål er at de korroderer i luft og vann.

##### 3.5.1.2 Korrosjonsbestandig stål

Korrosjonsbestandig stål er en materialtype som er mye brukt i offshorevirksomhet. Materialet er veldig stivt og har høy flytegrense, og har et høyt innhold av Cr (typisk over 12%) som danner en tett fastsittende passiv film på overflaten, som gir en god beskyttelse mot korrosjon.

Dette er et meget prisgunstig alternativ til Duplex/superduplex.

Disse regnes å være immune mot  $CO_2$  korrosjon opptil ca.  $150^\circ C$ , men med tilstedeværelse av klorider og  $H_2S$  oppstår en begrensning i bruken av disse materialene.

##### 3.5.1.3 Austenittiske stål og nikkellegeringer

Austenittiske stål og nikkellegeringer vil være en billigere løsning enn Duplex, dersom driftstemperaturen er under 60 grader celsius og ikke alt for høye trykk. Begrensningene i temperatur skyldes stor risiko for spenningskorrosjon i utvendige miljø.

---

{9} Ref til Jens Christian Lindaas førstemanusis HSH(6.1.2015)

#### **3.5.1.4 Duplex (Feritt-austenittisk stål)**

Duplex er et materiale som har en god styrke, det er lett å sammenføre, og har en god korrosjonsmotstand. UNS S31803 er den mest brukte Duplex kvaliteten, som har dobbelt så høy strekkfasthet som austenittisk stål. Denne har et høyt innhold av Cr (22%) og Ni (5%) og har en mikrostruktur bestående både av austenittisk og ferrittiske krystaller. Dette er et materiale som er mye brukt i offshoresammenheng.

#### **3.5.1.5 Superduplex**

Superduplex er et materiale som er relativt likt Duplex, men det har en høyere styrke, mer formbarhet og har bedre motstandsdyktighet mot spalte- og punktkorrosjon enn det Duplex har. UNS S32760 er dermed godt egnet for en rekke bruksområder fra kjemisk prosessering til olje- og gassindustrien. Mikrostrukturen er lik som på Duplex.

#### **3.5.2 Aluminium**

Aluminium er et materiale med lav egenvekt, samtidig som det er relativt billig. Det finnes ulike typer aluminiumslegeringer som er med å bestemme flytegrensen for materialet. Aluminium blir ofte valgt fremfor vanlig stål pga. dets lave vekt, og man kan velge aluminiumslegeringer som er svært sjøvannsbestandige (AlMg)

#### **3.5.3 Titan**

Titan er et materiale som har høy styrke og lav egenvekt. Det tåler samtidig høye temperaturer og er korrosjonsbestandig. Noen store ulemper med titan er at det er vanskelig å sveise og bearbeide, og er samtidig et dyrt materiale. Titan har overtatt enkelte deler av markedet der aluminiumslegeringer tidligere var enerådende, siden disse områdene krever store krav til styrke.

### 3.5.4 Valg av materiale

#### 3.5.4.1 Rammeverk

I samråd med DeepOcean besluttet gruppen at aluminium er materialet som ble valgt for rammen. Dette er et materiale som DeepOcean bruker mye i sammenheng med undervanns operasjonssystemer, siden det er relativt billig og har lav vekt. Dersom det er nødvendig for mer stivhet og høyere flytegrense, kan og stål brukes på enkelte kritiske komponenter. EN AW-5052 er et materiale som er mye brukt til undervannsmiljø, og derfor var det ønskelig at man benyttet dette materialet til konstruksjon av rammen.

##### Plater[1]

Legering	Material	Flytegrense	Min bruddgrense	Maks bruddgrense
EN-AW 5052	Aluminium	130 $N/mm^2$	210 $N/mm^2$	260 $N/mm^2$

#### 3.5.4.2 Stag og lås

Grunnet valg av sikkerhetsfaktor (Se Vedlegg A: *Handberegninger og direkte tilknyttet informasjon*) ble spenningene for høye til at det kunne brukes aluminium til stag og bolt. Her ble det valgt å bruke EN 1.4547 254SMO / F44. Akkurat dette materialet ble valgt grunnet passende flytegrense og tilgjengelig fra en valgt lokal leverandør.

##### Staget.

Betegnelse	Material	Flytegrense	Bruddgrensene
EN 1.4547	254SMO / F44	300 $N/mm^2$	650 – 850 $N/mm^2$

##### Låsen

Betegnelse	Material	Flytegrense	Bruddgrensene
EN 1.4547	254SMO / F44	300 $N/mm^2$	650 – 850 $N/mm^2$

Material data er hentet fra ASTRUP AS

## 4 Alternative løsninger/konsepter

### 4.1 Selekttering av rengjøringsmetoder

Rengjøringsmetoder som ble forkastet og grunnlag for forkastelsen:

#### 4.1.1 Kjemikalier

Bruk av kjemikalier er sterkt uønsket da dette forurenses det marine miljøet. Kjemikalier som syrer og baser kan ha svært negative konsekvenser for vannkvalitet og marint liv, og kan forurense vann over et langt tidsperspektiv.

Med tanke på effekt vil ikke kjemikalier være ideelt for fjerning av marin begroing, da det ikke har en umiddelbar effekt ved påføring. Bruk av kjemikalier vil gjerne drepe begroingen over tid, men ikke fjerne store mengder begroing der og da, slik oppgavens problemstilling krever.

#### 4.1.2 Ultralyd

Rengjøring med ultralyd er en kjent og godt utprøvd metode som har vist seg effektiv for rengjøring av flater som er vanskelige å komme til. Rengjøringen foregår ved hjelp av at ultralyd sendes gjennom en væske, ofte et spesielt vaskemiddel, der ultralyden skaper vakuumbobler ved hjelp av kavitasjon. Vakuumboblene imploderer under kraftig energiutvikling, og fjerner smuss og partikler ved at imploderingen skaper mikroskopiske, men energirike bevegelser i væsken rundt objektet som rengjøres.

Å anvende ultralyd til å rengjøre kraftig marin begroing er likevel ikke realistisk. Ultralydmetoden er følsom for avstander, da lydfrekvensen som skaper kavitasjonen kun er effektiv under en viss avstand fra lydkilden. Ultralydrenngjøring er mest aktuelt for å rengjøre flater og porer som er vanskelig tilgjengelige på relativt små gjenstander. Metoden bruker også lang tid på rengjøringsprosessen. {10}

---

{10} Ultralyd prinsipp [http://www.toskedaluvservice.no/verdt\\_%C3%A5\\_vite\\_om\\_ultralyd.pdf](http://www.toskedaluvservice.no/verdt_%C3%A5_vite_om_ultralyd.pdf) (12.3.2015)

#### **4.1.3 Roterende stålbørster**

Stålbørster er en hardfør og effektiv metode for fjerning av begroing, rust, overflatebehandling og lignende. For rengjøring av fleksible stigerør, som har en ømfintlig overflate, er stålbørster helt utelukket da stålbørster med sikkerhet vil skade overflaten på stigerør.

#### **4.1.4 Roterende nylonbørster**

Roterende nylonbørster er regnet som en både effektiv og miljøvennlig metode for fjerning av alle typer marin begroing. Børstene er sterke og robuste, og har derfor lang levetid og høy bruksverdi. Ulempen med nylonbørstene er at nylonmaterialet er hardt og stivt, og er derfor ikke spesielt skånsomt mot overflatebehandling og myke komponenter.

#### **4.1.5 Kavitasjon**

Kavitasjonsrengjøring baserer seg på man utnytter energiutløsningen som oppstår når en vakuumboble imploderer. Metoden er forholdsvis ny, og har vist seg svært effektiv. Problemet med denne metoden er at den er forholdsvis ny, og det er vanskelig å vurdere hvorvidt den vil være effektiv i bruk på en slik farkost. Metoden er gjerne mer følsom for avstand til rengjøringsflaten enn det som er ønskelig. Metoden vil også være problematisk å integrere i en selvgående farkost, og kreve store pumper for å driftes.

## 4.2 Aktuelle rengjøringsmetoder

Etter å ha vurdert et utvalg av mulige rengjøringsmetoder nøye, er flere av tidligere nevnte metoder som vist over forkastet. Flere av de forkastede metodene har helt åpenbare grunner for at de ikke er aktuelle for videre vurdering.

Etter selektering av hvilke metoder som forkastes, gjenstår det to høyaktuelle metoder for videreføring. Det vil bli vurdert om det skal brukes en av disse, eller en kombinasjon av begge. De aktuelle metodene er høytrykksspyling uten abrasive partikler og bruk av roterende gummi børster fra Lateral.

### 4.2.1 Høytrykksspyling uten abrasive partikler

Bruk av høytrykksspyling er en effektiv og miljøvennlig metode for fjerning av marin begroing. Ved bruk av denne metoden blir det utelukkende brukt vann som rengjøringsmiddel, og er derfor en billig metode i bruk.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"><li>- Effektiv rengjøring (avhg. av trykk og strømningsmengde)</li><li>- Miljøvennlig</li><li>- Billig ressurs (sjøvann)</li><li>- Ukomplisert og kjent utstyr</li><li>- Lang holdbarhet på utstyr</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Uønsket med dekkbasert pumpe</li><li>- Tvilsomt at ROV-pumpe leverer nok trykk og strømningsmengde for effektiv rengjøring</li><li>- Følsomt for avstand til flate som skal rengjøres</li><li>- Varierende effektivitet for forskjellige typer begroing</li></ul>

Det er presisert av DeepOcean at det ikke er ønskelig å bruke dekkbasert høytrykkpumper for å drifte et eventuelt høytrykkssystem på verktøyet som skal konstrueres. Dekkbasert høytrykk medfører store ekstrakostnader for både bruk av utstyr og dekkspersonell for å drifte et slikt system.

Siden dekkbasert høytrykk ikke er aktuelt må et eventuelt høytrykkssystem driftes direkte av ROV. Det medfører at ROV må påmonteres en hydraulisk drevet høytrykkspumpe som forsyner rengjøringsverktøyet med høytrykksvann via slanger. En stor ulempe med en slik løsning er at ROV'en trolig ikke kan levere høyt nok trykk til å fjerne den hardeste begroingen, som er skjell og rur. Høytrykksspyling med kraftforsyning fra ROV alene er derfor ikke regnet som en gunstig løsning.



## 4.2.2 Børsting

Bruk av roterende børster for å fjerne marin begroing er en velprøvd og effektiv metode. Denne metoden er pr. i dag mye brukt som rengjøringsverktøy koblet direkte til ROV, og styrt med multifunksjonsarmen til ROV.

Børstene som blir sett på er en variant av gummibørster som heter *FlexiClean*, levert av Lateral AS.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effektiv på alle typer begroing</li> <li>- Skånsom på ømfintlige flater</li> <li>- Skader ikke coating</li> <li>- Lavere effektforbruk enn høytrykksspyling</li> <li>- Basert på erfaring, 80% raskere rengjøring enn høytrykksspyling</li> <li>- Lengre brukstid enn andre børstetyper</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kostbar i innkjøp</li> <li>- Begrenset brukstid</li> <li>- Relativt høy egenvekt</li> </ul>

Basert på sammenligning av fordeler og ulemper for børsting og høytrykksspyling skiller børsting seg sterkt ut som den beste metoden for videre bruk til et selvgående rengjøringsverktøy.

Ved valg av Lateral sine gummibørster som rengjøringsmetode kan man med sikkerhet kunne håndtere alle typer begroing, i motsetning til usikkerheten ved ROV-basert høytrykksspyling. DeepOcean har erfart at disse børstene er effektive, og arbeider hurtigere enn ved høytrykksspyling. Effektivitet og hurtighet er en viktig faktor for å kunne oppnå økonomisk besparelse, og effektivisering av dagens metoder.

FlexiClean gummibørster fra Lateral ble valgt som rengjøringsmetode for det selvgående rengjøringsverktøyet. (Se figur 7) {11}



Figur 7 - Lateral FlexiClean

{11} <http://www.lateral.no/uploads/2/9/4/8/29489997/9456706.png> (22.4.2015)

### 4.3 Selektering av klatremetoder

Klatremetoder som ble forkastet og hvorfor:

#### 4.3.1 Hjul

Hjul er en forholdsvis enkel metode for å drifte et verktøy i en gitt retning, men vil i dette tilfellet by på flere ulemper enn fordeler. Hjulene vil ha forholdsvis liten kontaktflate, og dermed gi stort flatetrykk for å oppnå tilfredsstillende friksjonskraft. Det vil i et slikt tilfelle være ønskelig med luftfylte hjul for å sikre maksimal kontaktflate, men siden luft er en kompressibel gass vil det ikke være aktuelt å bruke luftfylte hjul på et undervannsverktøy. Ved økende dybde vil hjulenes ideelle luftvolum komprimeres, og effekten vil avta/forsvinne.

#### 4.3.2 Magnetiske belter

Bruk av magnetiske belter er en svært effektiv og velutprøvd metode for fremdrift på undervannsverktøy. Magnetiske belter trenger ingen annen støtte enn tilstrekkelig magnetisk kraft til flaten den skal bevege seg på. Til bruk på en crawler som i all hovedsak skal operere på fleksible stigerør er det likevel ikke aktuelt å bruke magnetbelter, da fleksible stigerør ikke er magnetiske.

#### 4.3.3 Vakuumfeste

Vakuumfeste følger samme prinsipp som en sugekopp. Pumper skaper undertrykk i et hulrom som er plassert inntil flaten den skal festes på, og skaper dermed et festepunkt. Ulempen med denne metoden er at den krever god tetning mellom sugekopp og anleggsflate, noe som er usannsynlig å oppnå i et område hvor det skal fjernes marin begroing. Det er heller ikke trolig at vakuumfeste har spesielt stor motstand for vertikale krefter, vakuumfeste ble dermed forkastet.

#### 4.3.4 Vaiertrekk

Vaiertrekk er en effektiv og enkel metode for flytting av verktøy som skal gå langs rør/stigerør. Problemet er at det blir vanskelig å holde kontroll på hvor mye krefter som virker på hver enkelt del og stigerør, da det gjerne brukes en vinsj for å dra verktøyet. Skal man bruke ROV til å dra et verktøy har man begrenset drakapasitet, samtidig som man bruker hele kapasiteten til ROV'en. Vaiertrekk er ikke egnet som fremdriftsmetode i henhold til problemstillingen.



## 4.4 Aktuelle klatremetoder

Etter å ha vurdert et utvalg av mulige klatremetoder nøye, er flere av tidligere nevnte metoder som vist over forkastet. Flere av de forkastede metodene har helt åpenbare grunner for at de ikke er aktuelle for videre vurdering.

Etter selektering av hvilke metoder som forkastes, gjenstår det to høyaktuelle metoder for videreføring.

- Klemme- og flyttefunksjon
- Friksjonsbelter

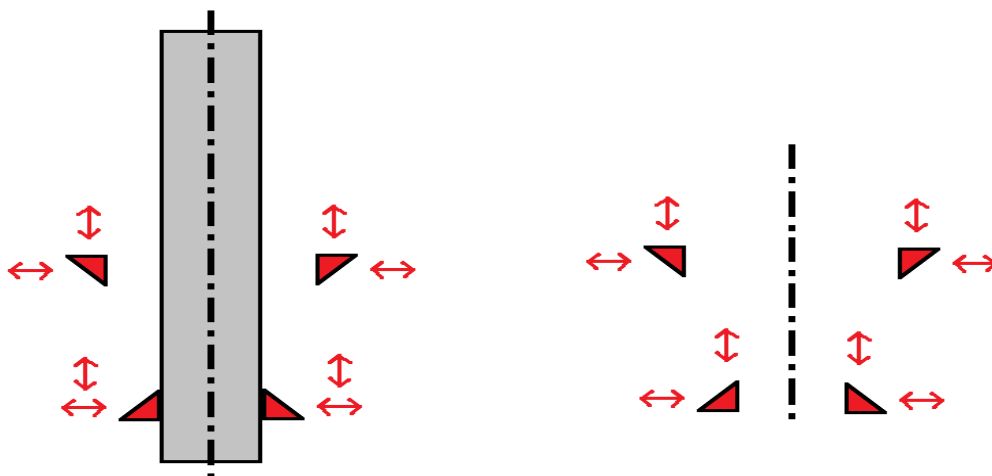
#### 4.4.1 Klemme- og flyttefunksjon

Klemme og flyttefunksjon er et utprøvd og vellykket prinsipp for klatring på vertikale sirkulære rør. To armer med en klypefunksjon kan beveges uavhengig av hverandre, der den ene klemmer seg fast rundt røret, mens den andre armen flytter seg oppover. Videre løsner den første armen grepet og flytter videre oppover mens den andre armen holder fast, slik kan man oppnå en kontinuerlig klatrefunksjon.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utprøvd metode</li> <li>- Trenger ikke rengjøring av festepunkt på stigerør</li> <li>- Godt fasthold ved begge klyper fastklemt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrenset tillatt klemkraft</li> <li>- Begrenset friksjon/fasthold</li> <li>- Lav hastighet</li> <li>- Bør være fri for belastning når fremdriftsfunksjonen er i bevegelse</li> <li>- Mange hydrauliske komponenter</li> <li>- Høy vekt</li> <li>- Plasskrevende</li> </ul>

Klemme- og flyttefunksjonen er en metode som i mange tilfeller er den beste metoden for bruk av klatring og utføring av operasjoner på vertikale rør. Metoden er populær ved bruk av diverse inspeksjonsutstyr som krever at farkosten står i ro når operasjonen utføres. Ved begge klyper fastklemt er farkosten svært stabil.

I forhold til design av en rengjøringsmaskin for vertikale stigerør har denne metoden noen vesentlige ulemper. For at klemme- og flyttefunksjonen skal være stabil kreves det at begge klyper er fastklemt rundt røret samtidig. Når maskinen er i bevegelse vil det alltid være en klypearm som er løs, og maskinen har da bare ett festepunkt til røret. Så lenge maskinen er i bevegelse er den lite mottagelig for ytre kraftpåkjenninger. Det vil i praksis si at maskinen må stå helt i ro for å kunne takle eventuelle kraftpåkjenninger fra marin begroing, dragkrefter etc.



Figur 8 - Klemme og flyttefunksjon

#### 4.4.2 Friksjonsbelter

(Se figur 9){12}

Friksjonsbelter er en utprøvd og godt fungerende metode for fremdrift av ulike varianter av «Crawlere» som skal klatre både på innsiden og utsiden av rør. Ved bruk av friksjonsbelter vil klemkraften bli fordelt over et større område i forhold til hjul, og flatetrykket reduseres. Siden fleksible stigerør har en beskyttende plastkappe, er det ønskelig med lavt flatetrykk. Til dette designet er det sett nærmere på elektriske friksjonsbelter som er trykkkompensert for bruk ned til 3000 meter dybde.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stort kontaktflate, dermed lavt flatetrykk</li> <li>- Stabilt og godt feste under kontinuerlig bevegelse</li> <li>- Kan ta opp krefter under kontinuerlig bevegelse</li> <li>- Variabel hastighet</li> <li>- Mulighet for høy hastighet</li> <li>- Ikke følsom for smuss og begroing, ved fleksibelt oppheng</li> <li>- Ferdig produserte moduler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pris</li> <li>- Underlagstype kan påvirke friksjokraft mellom belte og stigerør.</li> </ul>

Friksjonsbeltene er av typen Minitracks, levert av PSO, som er norsk distributør for produsent Inuktun. Disse beltene har mange viktige fordeler som stemmer godt overens med designgrunnlaget for den selvgående rengjøringsmaskinen for vertikale fleksible stigerør. Belteenhetene mister ikke gripeeve under bevegelse, og gir derfor mulighet for at rengjøringsprosessen og klatreprosessen kan foregå samtidig. Bruk av denne typen belteenheter kan derfor gi rengjøring under kontinuerlig bevegelse, og har potensiale for stor effektivitet.



Figur 9 - Friksjonsbelter

{12} <http://www.inuktun.com/crawler-tracks/minitracs/Minitracs.pdf> (22.4.2015)



## 4.5 Endelig valgte metoder

Et viktig grunnlag for designet av rengjøringsverktøy for vertikale fleksible stigerør er effektivitet og tidsbesparelse. For å oppnå dette er det ønskelig at farkosten skal kunne være i konstant bevegelse og samtidig arbeide med fjerning av marin begroing. Grunnet ønske om mulighet for konstant fremdrift samtidig som arbeid utføres, blir klemme- og flyttefunksjon forkastet.

Etter diskusjon med eksterne veiledere Øyvind Aksland og Anders Sandvik ifra DeepOcean ble det bestemt at den valgte løsningen ble beltecrawler som klatresystem, med gummibørster som rengjøringsystem. Dette systemet blir en slags hybridløsning, med tanke på at verktøyet trenger både hydraulisk kraftoverføring fra ROV, samt elektrisk overføring til beltecrawlerene. Inuktun sine beltecrawlerer og Lateral sine gummibørster ble videre valgt for å anvende i prosjektet.

Med fremdriftssystem og rengjøringsystem fastsatt var det mulig å begynne design av selve rammeverket som skal sammenkoble alle delene til en fungerende konstruksjon.

## 5 Designgrunnlag

For at et design av rammeverk og komplett løsning skal kunne utarbeides, trengs det en oversikt over alle hovedkomponenter og hovedkriterier som har direkte innvirkning på utforming av rammeverket. Rammeverket bygges i stor grad ut fra komponentene som skal inngå i designet sin geometri, og det er da viktig at alle geometrier som inngår er kjent på forhånd.

### 5.1 Beltecrawler

Beltecrawlerene som ble valgt for videre utvikling av rengjøringsverktøyet er Minitracks med Inuktun (*Vedlegg G: Minitrac*) som leverandør. Disse beltecrawlerene er elektriske, og har en løftekapasitet/trekraft på ca. 450N pr. enhet. Den elektriske energien som trengs for å drive disse beltene skal leveres fra ROV.

Belteenhetene kan leveres med komplett oppheng designet etter kundens behov. Som designgrunnlag tas det stilling til at belteenhetene leveres med komplett oppheng fra leverandør. (Se figur 10){13}



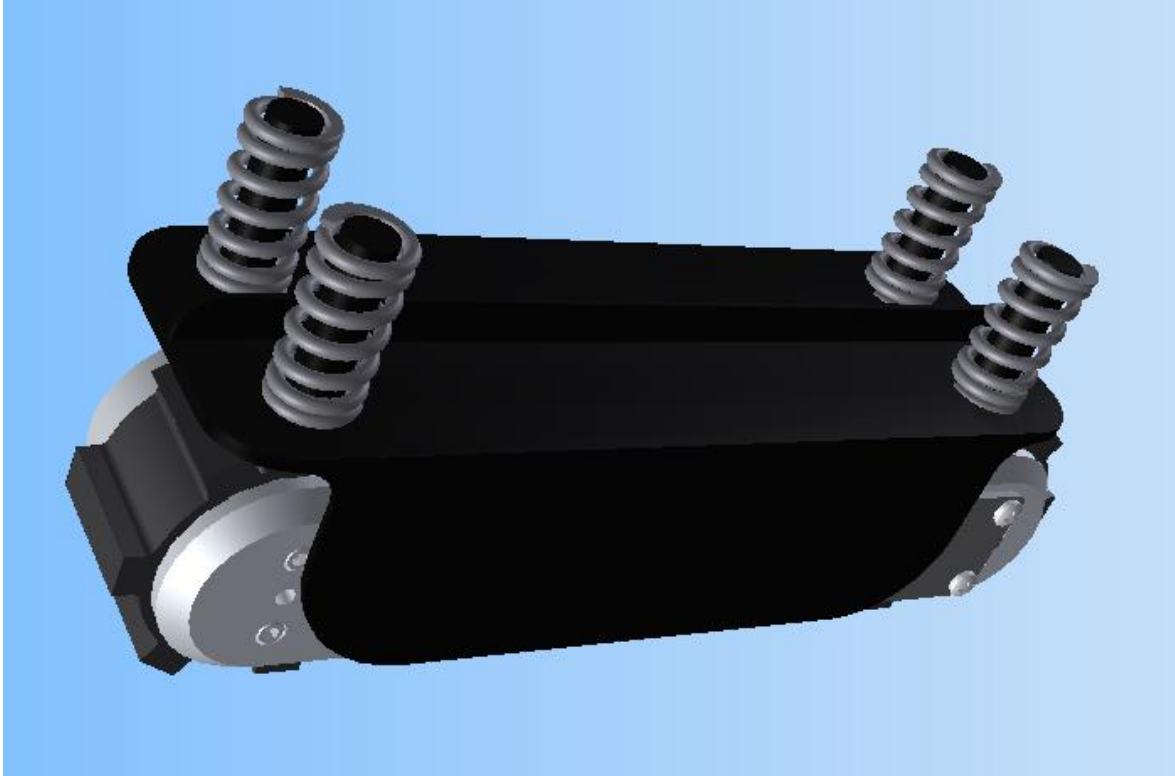
Figur 10 - Inuktun Minitracks beltecrawler

---

{13} <http://www.inuktun.com/crawler-tracks/minitracs/Minitracs.pdf> (22.4.2015)

### 5.1.1 Forslag til oppheng for belteenhet

Det er lagt opp til at opphenget skal være fleksibelt, slik at belteenhetene skal kunne bevege seg over små ujevnheter på overflaten.



Figur 11 – Forslag til oppheng for belteenhet

Opphenget som illustrert over viser et forslag til utforming av oppheng til belteenhetene. Dette opphenget er lagt opp til å være fjærbelastet, med stag for retningsføring. Den endelige utformingen ved en eventuell bestilling kan avvike fra forslaget, da det er lagt opp til at belteenhetene bestilles komplett med oppheng fra leverandør.



## 5.2 Gummibørster

Gummibørstene av type FlexiClean fra Lateral ble valgt som rengjøringsmetode. DeepOcean har erfaringer i bruk av disse børstene fra tidligere rengjøringsoperasjoner, og kunne bekrefte at disse var svært effektive. (Se figur 12){14} Det ble videre diskutert hvor mange børster som skulle brukes i rensesystemet for å få nødvendig dekningsgrad.

Det ble vurdert å bruke 2-3 børster påmontert en skid som skulle rotere 360 grader rundt rørraksen. Slik ville man oppnå 360 grader dekningsgrad, og spare bruk av børstesett. Å realisere et system med en roterende skid ville likevel kreve mange ekstradeler og unødig komplisering av konstruksjonen.

Det er ønskelig å lage et enkelt og funksjonelt design, med minst mulig komplekse løsninger. Etter diskusjon med veiledere ble det besluttet at det heller er ønskelig med 4 fastmonterte børster fremfor 3 børster montert på en roterende skid.

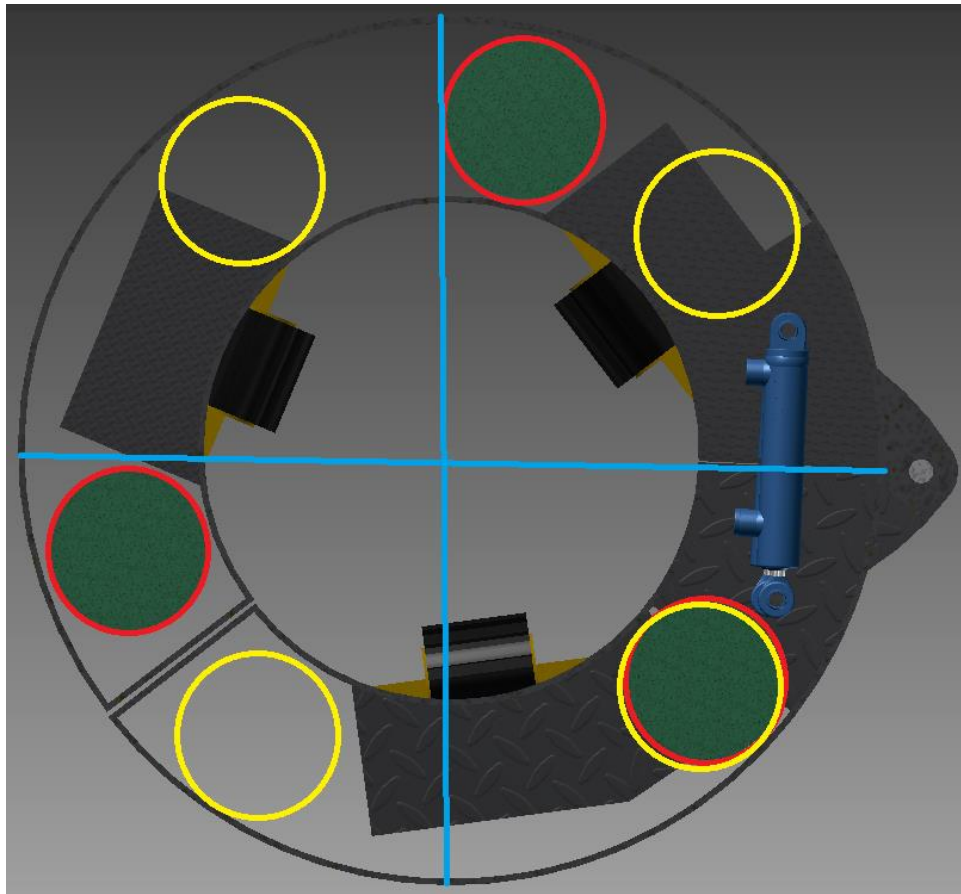
Løsningen ble å bruke 4 børster, der to og to går kontraroterende i forhold til hverandre. Børstene er plassert med ca. 90 graders mellomrom, en i hver kvadrant av den sirkulære rammen. På den måten får man full dekningsgrad rundt røret, samt at vridningskreftene som oppstår ved bruk av 3 børster oppheves. Ved bruk av 4 børster vil børstene overlappes hverandre, og må derfor ha en viss høydeforskjell for å forhindre at børstetuppene slår i hverandre. For mer informasjon om FlexiClean børstene, se *Vedlegg H: Lateral FlexiClean*



Figur 12 - FlexiClean børstehode

---

{14} [http://polatruk.stoprust.com/media/83404/flexiclean\\_blades\\_small.jpg](http://polatruk.stoprust.com/media/83404/flexiclean_blades_small.jpg) (22.4.2015)

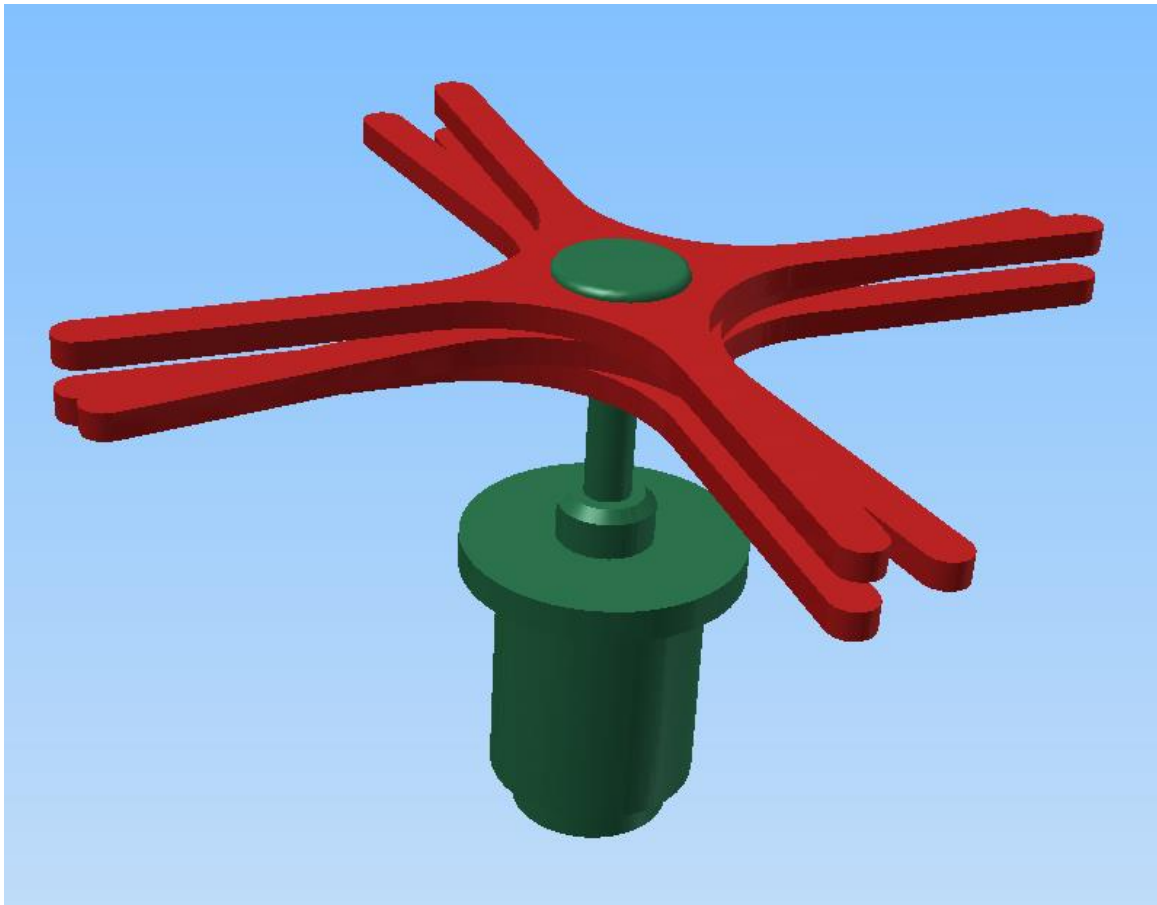


Figur 13 - Plassering av børster

Røde ringer illustrerer eksempel på plassering av de hydrauliske motorene dersom det blir brukt 3 børster, mens gule ringer illustrerer plasseringer dersom det blir brukt 4 børster. Løsningen med 4 børster ble valgt. Som de fire gule sirklene illustrerer er ikke de hydrauliske motorene plassert med nøyaktig 90 graders mellomrom. Grunnen til det er at ved 90 graders mellomrom vil motorene komme i konflikt med belteenhetene. Dekningsgraden til børstene er likevel 360 grader, og at motorene ikke er plassert med 90 graders mellomrom gir ingen negative konsekvenser for dekningsgraden.

### 5.3 Hydrauliske motorer

De hydrauliske motorene kommer i en pakke som blir levert av Lateral. Data på yttermålene, fortreningsvolum og maks arbeidstrykk ble utlevert, slik at det var mulighet for å plassere motorene inn i rammen, samt utføre nødvendige beregninger rundt drift av motorene. Siden de hydrauliske motorene er en del av Lateral sin børstepakke, var det ikke nødvendig å kalkulere behov for, og lete etter egnede motorer. For mer informasjon om Hydrauliske motorer, se *Vedlegg H: Lateral FlexiClean*



Figur 14 - Illustrasjon av hydraulikkmotor med børste

#### 5.4 Åpne- /lukkesylinder

For at en ROV skal kunne montere rengjøringsverktøyet på plass på stigerør, må den ha en åpne-/lukkefunksjon. Det ble vurdert mekaniske varianter som styres av manipulatorarm på ROV, og hydrauliske løsninger.

Hydrauliske sylindere ble valgt som en åpne-/lukkemekanisme for rammen. En stor fordel med sylindere er at man kan håndtere store krefter på relativt liten plass.

Det ble bestemt at det skulle brukes 2 sylindere som skulle sørge for å åpne og lukke rammen, samt sørge for å holde rammen lukket under operasjon. Om sylindrene skulle bli plassert utenfor eller inne i rammen ble videre diskutert. Dersom man skulle plassere disse på utsiden av rammen, vil man videre måtte lage et beskyttende deksel for sylindrene. Dersom det er mulighet for å plassere sylindrene inne i selve rammen, vil denne automatisk føre til beskyttelse for sylindrene. Det ble derfor valgt at sylindrene skal plasseres inne i rammen for å utnytte rammeverket som beskyttelse.

For mer informasjon om hydrauliske sylindere, se *Vedlegg I: Åpne-/lukkesylinder*



Figur 15 - 3D-modell av hydraulisk sylinder

## 5.5 Presentasjon av rammedesign

### 5.5.1 Grunnlag for design

Designet av rammeverket er i stor grad utformet etter allerede kjente geometrier som skulle være en del av det endelige designet. Dette er komponenter som minitracks, hydrauliske motorer, åpne-/lukkesylindere osv. Alle slike komponenter er ferdig leverte enheter der form og festepunkter allerede er fastsatt, og det er ikke mulig å endre plassering og utforming av disse. Det er derfor viktig å ha god oversikt over de ferdige delenes geometri, slik at man kan designe en ramme som er spesialtilpasset de kjente geometriene. Man oppnår slik en optimalt utformet konstruksjon i forhold til delene som skal inngå. Konstruksjonen ble modellert i AutoDesk Inventor.

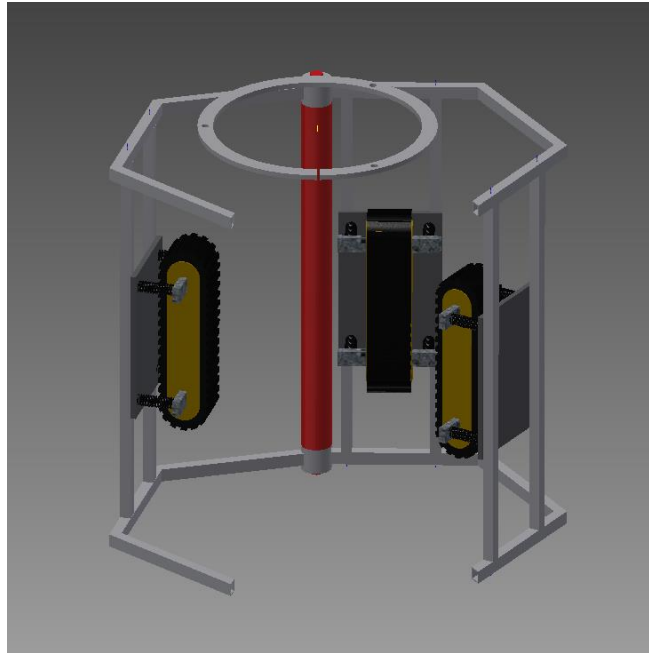
Å bruke ferdigproduserte deler som grunnlag for å utarbeide et design som gir den funksjonen designeren ønsker, er i dag en vanlig arbeidsmetode. Pr. i dag finnes det et enormt teknisk marked, som dekker det meste man kan tenke seg av tekniske funksjoner. En stor fordel med dette er at hver enkelt modul man bestiller er optimalisert for sitt bruk gjennom prøving, feiling og redesign av produsenten. Ingeniøren bruker dette markedet til å sette enkeltkomponenter sammen til en konstruksjon som dekker et gitt funksjonsbehov.

### 5.5.2 Design av rammeverk

Før design av rammen ble alle kjente geometrier av de aktuelle komponentene 3D-modellert i Inventor. Alle disse geometriene ble plassert rundt et rør som skulle simulere den fleksible stigerør. På denne måten kan man danne et overblikk over hvordan det er ideelt å plassere alle de forskjellige delene for å skape et funksjonelt design. Ved denne fremgangsmåten kan det dannes et visuelt grunnlag som gir gode indikasjoner for hvordan et rammeverk kan utformes videre. Plasseringen av delene er ikke en endelig bestemmelse, men et visuelt hjelpemiddel.

### 5.5.2.1 Hexagonal ramme

I første utkast ble det vurdert å lage en hexagonal/sekskantet form på rammen. Tanken bak dette var å lage en ramme som har et lite projisert areal i vertikal retning, lav vekt, og åpen konstruksjon. Det ble modellert et utkast i Inventor som vist under.



Figur 16 - Sekskantramme

Denne utformingen av rammen ble forkastet, da utformingen byr på betydelige problemer, som for eksempel:

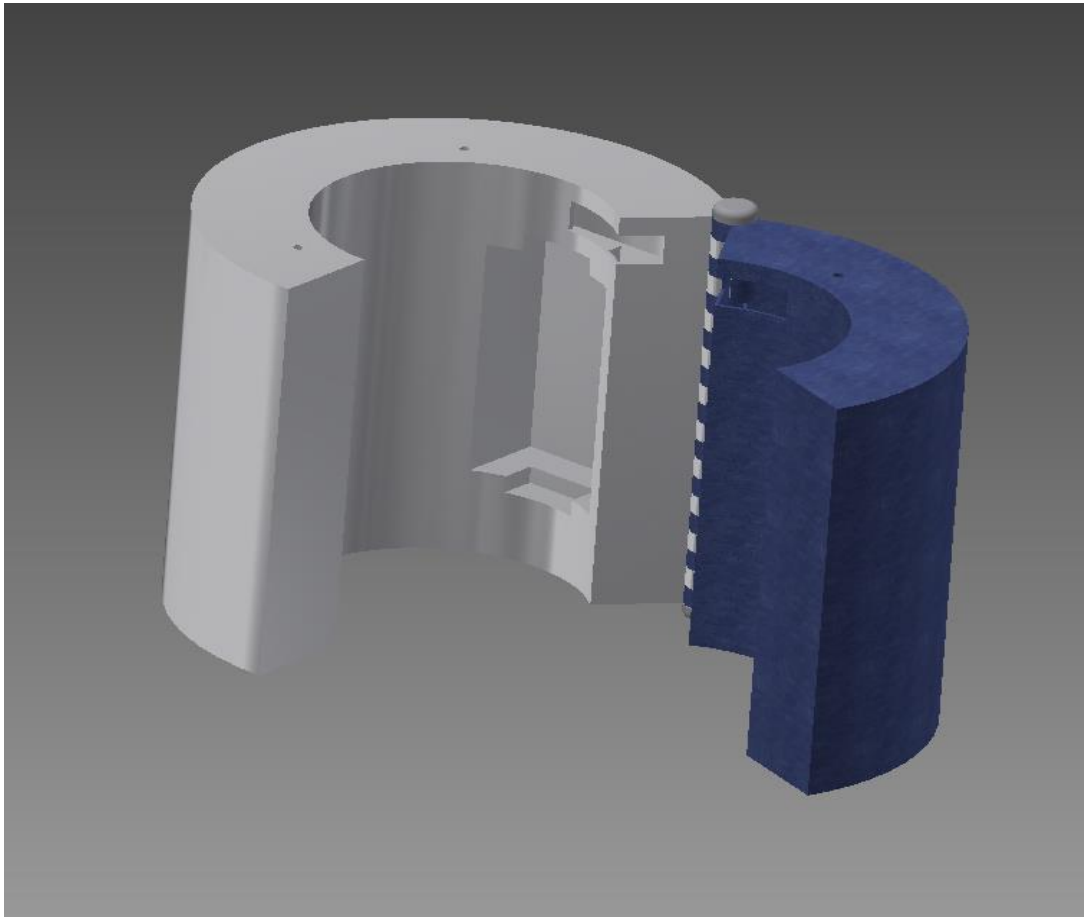
- Den åpne konstruksjonen gir svært dårlig beskyttelse for de indre komponentene
- Det må bygges ut festepunkter for hver enkelt indre komponent, noe som vil føre til en ustabil konstruksjon.
- Vanskelig å oppnå en sterk konstruksjon uten å overdimensjonere rammen.
- Vanskelig å sette inn avstivere.
- Små anleggsflater for utforming av indre strukturer.
- Vanskelig å feste oppdriftselementer

På grunnlag av overnevnte utfordringer ble det besluttet at den sekskantede rammen skulle forkastes. Ved design av en ny løsning ble de kjente utfordringene som oppstod med den sekskantede rammen tatt til følge. Den nye løsningen ble direkte utformet for å unngå overnevnte problemer, slik at det nye designet ble sterkt forbedret i forhold til første utkast.

### 5.5.2.2 Valgt ramme

Ved utforming av den valgte løsningen valgte gruppen å utforme rammen mer direkte etter hvordan de indre komponentene var ønsket plassert. Fremfor å bruke en gitt rammeform som er satt sammen med tverrgående stag, var det ønskelig å bruke en mer sammenhengende konstruksjonsform. Denne rammetypen vil også gi en stivere og mer stabil konstruksjon.

Det ble besluttet at rammeformen skulle følge det sirkulære tverrsnittet som rengjøringsverktøyet skal arbeide på. Rammen skal lages ut av mest mulig hele platedeler, slik at den dekker 360 grader rundt røret. Slik får man mer naturlige festepunkter for indre komponenter, da man bygger de innenfra og utover i rammestrukturen der de ønskes plassert. Ved en heldekkende rammestruktur elimineres problemet med lite anleggsflater, og man unngår å måtte konstruere anhengsdeler til hver enkelt komponent.

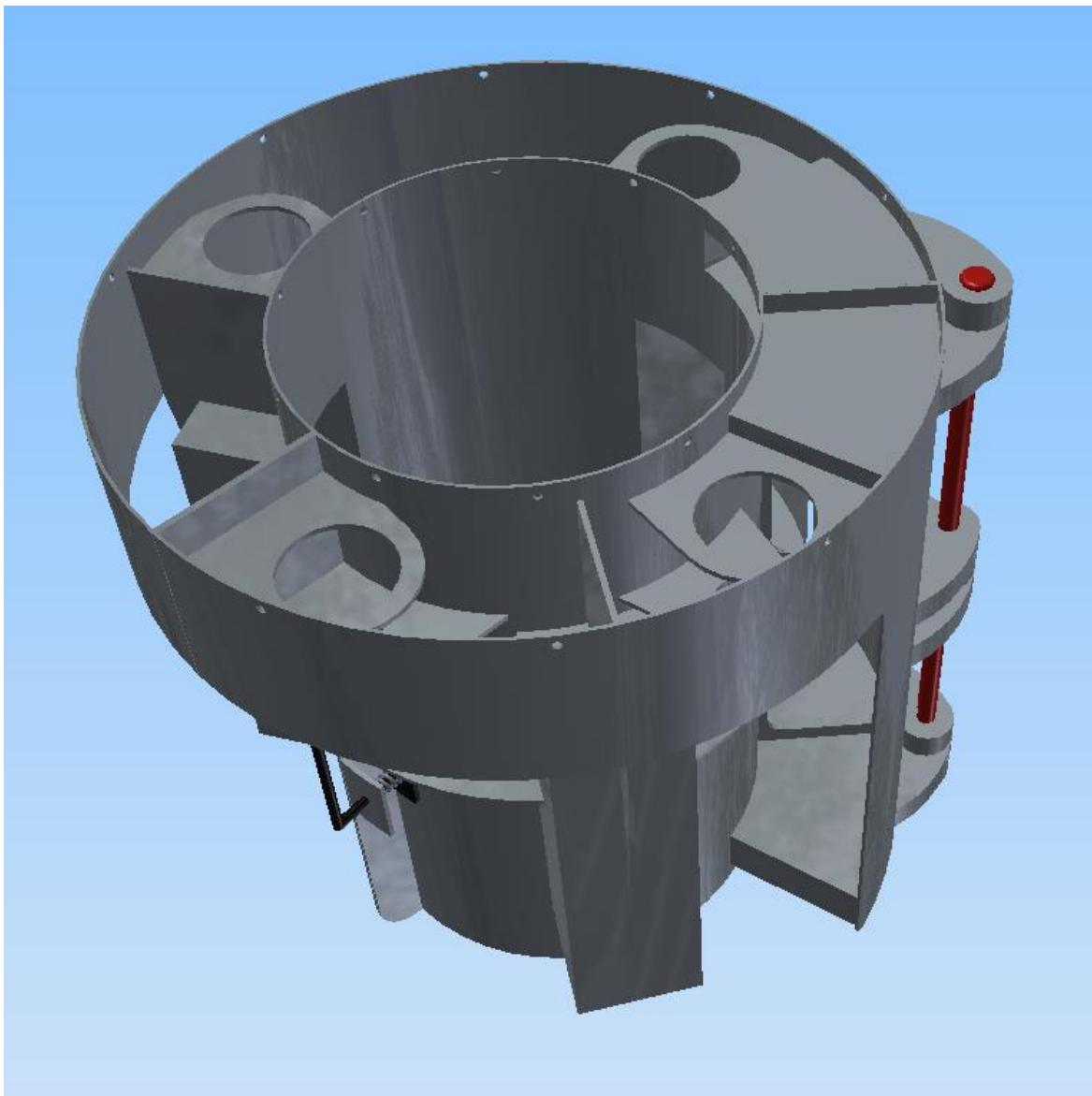


Figur 17 - Sirkulær ramme

Som bildet over viser er rammen konstruert i utgangspunktet som et massivt sirkulært emne som festes rundt hele flaten som skal rengjøres. Dette gir mulighet til å lage festepunkter der det passer best å plassere de, uten å måtte konstruere en egen festemodul for dette. Det største «sporet» i rammen er det kommende festepunktet for en av belteenhetene.



Når festepunktene for alle indre enheter er konstruert, kan man fjerne overflødig metall og begynne vektredusering og avstiving av rammen. Ved bruk av avstivere kan man oppnå høy styrke i relativt tynne konstruksjoner.



Figur 18 - Bilde av endelig rammekonstruksjon

Bildet over viser den endelige rammekonstruksjonen. Som man kan se på bildet er rammekonstruksjonen vesentlig forandret, sammenlignet med den massive rammen som er vist i figur 17. Sett ovenfra ser man de sirkulære festepunktene som de hydrauliske motorene skal plasseres i.

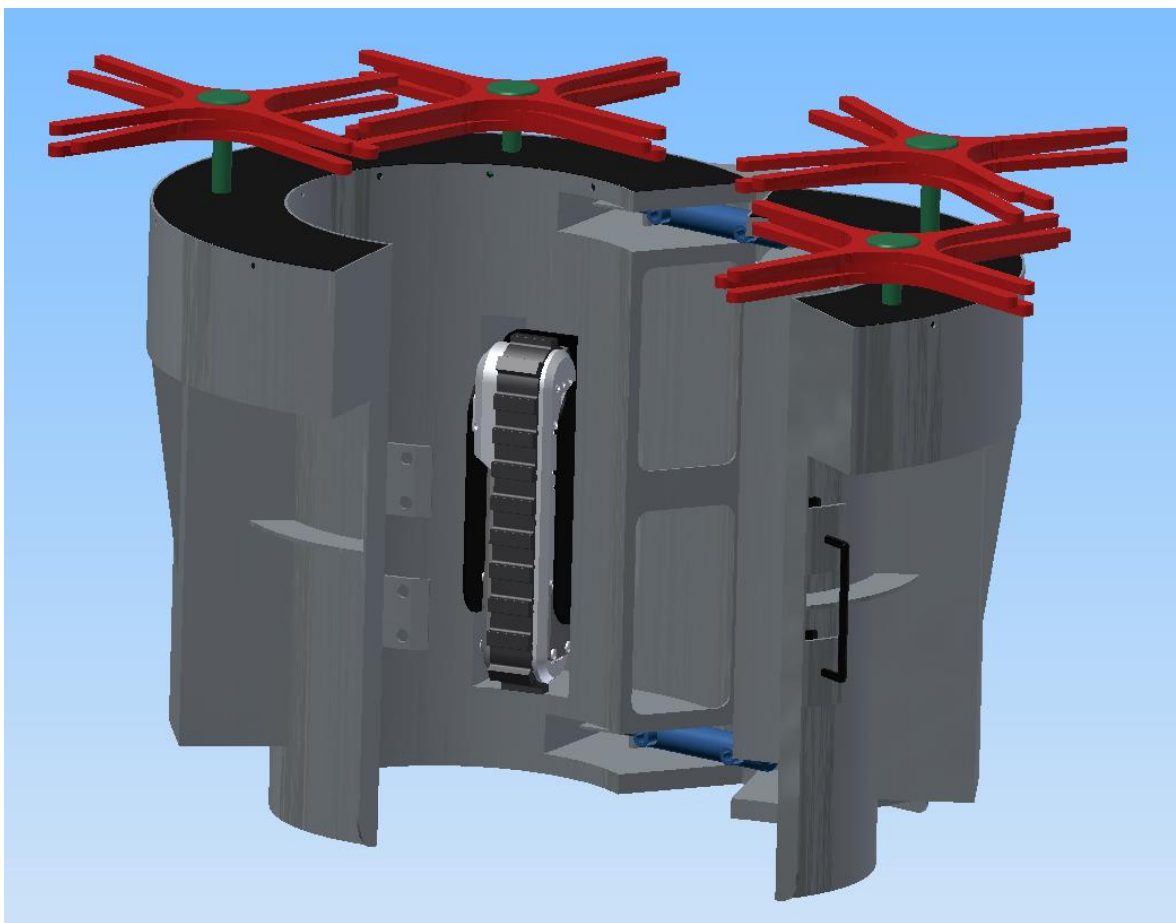
Som man ser av bildet er det lagt vekt på å fjerne mest mulig overflødig material fra rammen, dette blir gjort for å redusere vekten av konstruksjonen til et minimum. Vektreduksjon er viktig for at farkosten skal kunne ha nøytral vekt i vann, samtidig som størrelse og bruk av oppdriftselement holdes på et minimum.



Ved fjerning av material vil også styrkeegenskapene til konstruksjonen svekkes, og dette må derfor kompenseres for. Ved materialfjerning blir det kompensert for styrketap ved bruk av tverrgående avstivere. Slik kan man oppnå tilfredsstillende styrke og stivhet, samtidig som materialvolum holdes på et minimum.

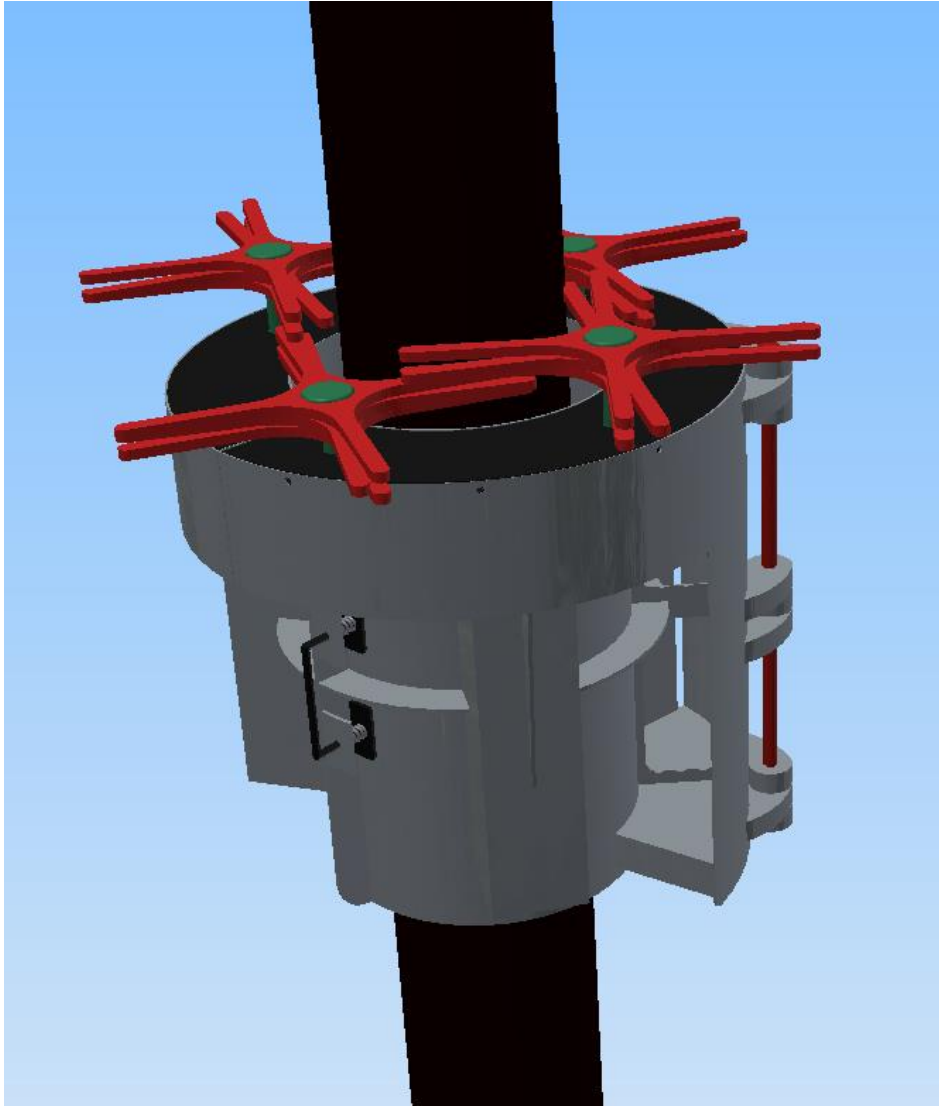
### 5.5.3 Endelig design

Det endelige designet består av en sammensetting av den endelige rammekonstruksjonen, og alle de eksterne delene som er presentert som designgrunnlag.



Figur 19 - Sammensatt konstruksjon

Bildet over viser den ferdige rammekonstruksjonen påmontert alle de eksterne delene. De sorte feltene øverst på rammekonstruksjonen er avtagbare lokk som sikrer enkel tilkomst for montering og demontering av indre komponenter i rammen. Verktøyet står her i åpen posisjon, klart for å settes på et stigerør. Verktøyet holdes åpent av de hydrauliske sylindere som står for åpne- og lukkefunksjon av verktøyet.



Figur 20 - Verktøy på stigerør

Bildet over viser det sammensatte verktøyet plassert på et rør/stigerør i den situasjon det er konstruert for. Som bildet viser skal verktøyet kunne klatre vertikalt oppover et stigerør samtidig som børstene rengjør stigerør for begroing.

Verktøyet er beregnet for å plasseres direkte på stigerøret. For at dette skal være mulig kan ikke stigerøret ha store mengder begroing i punktet der verktøyet først skal plasseres over, men det skal være mulig å plassere verktøyet direkte over lett begroing. Ved store mengder marin begroing i monteringspunktet kan verktøyet enten monteres på større dyp der det er mindre marin begroing, eller at en ROV med børste rengjør påsettingspunktet. Ved montering på større dyp forutsetter det at verktøyet ikke møter på større hindringer som flenser og lignende på vei opp til rengjøringssonen.

## 5.6 Gjennomgående bolt og hengsler

For å kunne åpne og lukke rammen trengs det en hengslemekanisme som muliggjør at de to hoveddelene av rammen enkelt kan plasseres over et rør. Hengslemekanismen vil bestå av hengsleledd fordelt fra bunn til topp av begge rammedelene, og en gjennomgående bolt.

Hengsleleddene er plassert på utsiden av rammedelene, og sylindrene som står for åpning og lukking av rammen ligger på innsiden.

### 5.6.1 ROV holdepunkt

Hvordan ROV skulle holde verktøyet for å få plassert det rundt rør/stigerør ble diskutert. Det var ønskelig at ROV kunne ta tak rundt en form for handtak, for så å plassere verktøyet og gi slipp for så å trekke seg vekk fra stigerør.

Den gjennomgående boltene i hengslefunksjonen regnes å ha tilstrekkelig styrke, og stikker langt nok ut til at ROV kan bruke denne som holdepunkt.

Om det er ønskelig med et dedikert holdepunkt for ROV, kan det festes en «fishtail» i en av de to rammedelene. Hvilken rammedel som blir påmontert holdepunkt blir vurdert behov/ønske.

### 5.6.2 Løftepunkter

For å kunne løfte verktøyet ifra skipet og ned i sjøen, samt fra sjøen og opp på skipet var det ønskelig å ha enkelte løftepunkt. Disse løftepunktene må tåle kreftene som kommer av egenvekten til hele verktøyet i luft. Det blir av hensyn til vekt vurdert om komponenter i selve konstruksjonen kan brukes som løftepunkt, slik at man holder bruk av komponenter og materialbruk på et minimum.

Etter vurdering av styrkeegenskaper i hengsler og gjennomgående bolt, er det besluttet at denne boltene kan fungere som et løftepunkt. Om det likevel er ønskelig å ha separate løftepunkter, er det også mulig å tilføre konstruksjonen dette.

Det er beregnet at det kan plasseres 4 løfteører på konstruksjonen, der hvert enkelt øre er dimensjonert til å tåle vekten av hele konstruksjonen alene i luft. Se vedlagte beregninger for løftepunkter under *Vedlegg A: Handberegninger og direkte tilknyttet informasjon*

## 5.7 Låsemekanisme

I tillegg til at de hydrauliske sylindere som står for åpne-/lukkefunksjonen vil holde konstruksjonen lukket under drift, er det designet en separat mekanisk låsemekanisme i tilfelle systemsvikt.

Låsemekanismen er en fjærbelastet «smekklås» som geleides automatisk inn i låsesporet når rammen settes i lukket stilling. Fjærbelastningen sørger for at låsen holder seg i låst stilling. Ved åpning av konstruksjonen må mekanismen manuelt trekkes ut av låsesporene av manipulatorarmen til ROV.

Ved eventuelt tap av hydraulisk trykk i systemet, vil låsemekanismen fungere som en sikkerhet for at verktøyet ikke faller av stigerøret.



Figur 21 - Låsemekanisme

Figur 22 viser låsemekanismen i låst stilling. De to sorte knottene som er stukket gjennom to hull i den grå platedelen illustrerer selve låsefunksjonen. De 4 knottene geleides inn i låsesporet, som består av 4 hull, og slippes ned i hullene. Fjærbelastningen holder låsefunksjonen i lukket stilling, og må manuelt trekkes ut av ROV for å åpne verktøyet igjen. For å unngå toleranseproblemer vil hullene i låseplaten enten ha en diameter som er noe større enn knottene, eller ha en oval utforming.



Figur 22 - Låsemekanisme i lukket stilling

## 5.8 Hydraulikksystemet

Hele hydraulikksystemet skal bli drevet av Supporter ROV sitt hydrauliske system, det vil si at all tilførsel av hydraulikkolje kommer direkte fra ROV og inn på de komponentene som trenger det. Komponentene er hydrauliske er de to åpne-/lukkesylindrene og de 4 børstene. Det er ønskelig at det hydrauliske systemet er bygd opp så enkelt som mulig, slik at faren for svikt i systemet minimeres.

Det hydrauliske systemet er delt opp i to separate kretser, det for å minimere antall ekstrakomponenter på selve verktøyet.

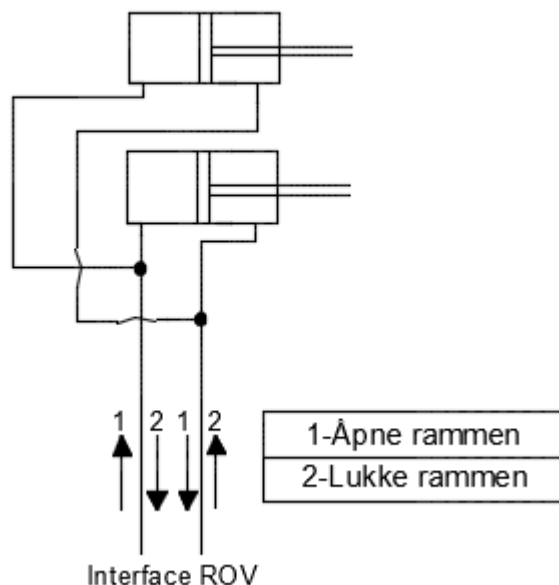
### 5.8.1 Hydraulisk krets – åpne/lukke sylindere

Det hydrauliske anlegget vil bestå av følgende komponenter:

- 2 stk dobbeltvirkende hydrauliske sylindre
- Hydraulikkslanger

Området som er merket «Interface ROV» er en del av ROV'ens integrerte hydrauliske system, og er ikke ekstrakomponenter som følger med verktøyet. Pumper og styringsventiler for funksjonene til verktøyet vil være en del av det hydrauliske systemet i ROV.

Hydraulisk krets åpne/lukkefunksjon



Figur 23 - Hydraulisk krets åpne- /lukkefunksjon

### 5.8.2 Hydraulisk krets – børster

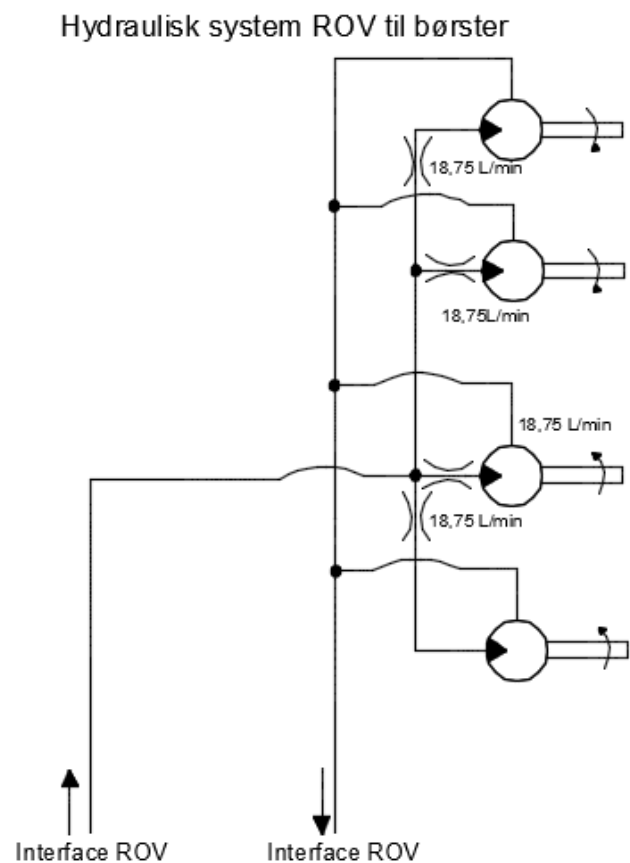
Det hydrauliske anlegget vil bestå av følgende komponenter:

- 4 stk hydrauliske motorer
- 4 strupinger for regulering av volumstrøm
- Hydraulikkslanger

Kretsen fungerer ved at ROV åpner sitt hydrauliske uttak, oljen strømmer til motorene, og fordeles likt til motorene via strupinger foran motorene.

Start av dette systemet kommer som andre steg, etter at åpne-/lukke sylindrene er satt i lukket stilling.

Som retningspilene viser, går to og to motorer kontraroterende i forhold til hverandre. Dette forhindrer torsjonsmomenter fra verktøyet til det fleksible stigerøret som ville oppstått hvis alle børstene hadde rotert i samme retning.



Figur 24 - Hydraulisk krets roterende gummiørster

## 5.9 Slangeplasseringer og elektriske ledninger

Slangeplassering og plassering av elektriske ledninger ble videre vurdert. Det ble vurdert at to mulige plasseringer var aktuelle, enten at alle gikk inn på samme sted i en av rammedelene, for så å la de som trengtes på den andre rammedelen gå inn gjennom et hull imellom disse. Det andre alternativet var å plassere slangene og kablene inn i to forskjellige hull, et i hver av de to rammedelene. Dette sørger for at man slipper risikoen for at kablene kan komme i klem imellom rammedelene når de skal lukkes.

Det er tiltenkt slanger og elektriske ledninger skal føres gjennom en felles «umbillical» som også er forsterket ved hjelp av en vaier. Lengden av «umbillical» vurderes etter bruksområde.

Det er tiltenkt at «umbillical» skal kobles til ROV på skipsdekket før sjøsetting.



## 5.10 Oppdriftselementer

Det ble ytret ønske av DeepOcean om at verktøyet skulle ha nøytral vekt i vann. Det er derfor beregnet hvor mye oppdriftselementer som trengs for at nøytralvekt skal være mulig. Det er tatt høyde for egenvekt av oppdriftselementene.

$\rho_{\text{sjøvann}} = 1,025 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{\text{Al}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
$\rho_{\text{Oppdriftselement}} = 0,1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$	

Fra følgende vedlegg og Inventormodeller fremkom gitte data:

1. Lateral kit:

Vekt i vann 1stk Lateral kit se: *Vedlegg H: Lateral FlexiClean*

$$\underline{W_{\text{Lateral}} = m \cdot g = 12 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 120 \text{ N}}$$

Vekt i vann 4stk Lateral kit:

$$\underline{W_1 = 4 \text{ stk} \cdot W_{\text{Lateral}} = 4 \text{ stk} \cdot 120 \text{ N} = 480 \text{ N}}$$

2. Minitracks se: *Vedlegg G: Minitrac*

Masse i luft 1stk Minitracks:

$$m_2 = 6 \text{ kg}$$

Volum spesifikasjoner 1stk Minitrack:

$$V_2 = L \cdot B \cdot H = (0,09 \cdot 0,1 \cdot 0,38) \text{ m}^3 = 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Vekt i vann 3stk Minitracks:

$$W_2 = 3 \text{ stk} (m_2 \cdot g - \rho_{\text{sjøvann}} \cdot V_2 \cdot g)$$

$$\underline{W_2 = 3 \text{ stk} \cdot (6 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 - 1,025 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2) \approx 75 \text{ N}}$$

3. Rammen

Volum av ramme (hentet fra Inventor):

$$V_3 = 10851462,48 \text{ mm}^3 \approx 0,011 \text{ m}^3$$

Vekt av ramme i vann:

$$W_3 = V_3 \cdot g \cdot (\rho_{\text{Al}} - \rho_{\text{sjøvann}})$$

$$\underline{W_3 = 0,011 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot (2,7 - 1,025) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \approx 185 \text{ N}}$$



Det sammensatte verktøyets vekt i vann, uten oppdriftselementer.

$$\underline{W = W_1 + W_2 + W_3 = (480 + 75 + 185)N = 740N}$$

På grunnlag av det sammensatte verktøyets vekt i vann, kan det nå beregnes hvor stort volum av oppdriftselement som trengs for at verktøyet skal være nøytralvektig i vann.

$$W_{tot} = 0 \rightarrow W + \rho_{Oppdriftselement} \cdot V_{Oppdriftselemen} \cdot g - \rho_{sjøvann} \cdot V_{flyteelement} \cdot g = 0$$

$$V_{Oppdriftselement} = \frac{W}{g \cdot (\rho_{sjøvann} - \rho_{Oppdriftselement})}$$

$$V_{Oppdriftselement} = \frac{740N}{10 \text{ m/s}^2 \cdot (1,025 - 0,1) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3}$$

$$\underline{V_{Oppdriftselement} = 0,08\text{m}^3 = 80\text{liter}}$$

Oppdriftselementene som er brukt i denne sammenhengen er av type H100. DeepOcean har gitt spesifikasjoner for denne type oppdriftselement, og dette blir derfor brukt som utgangspunkt for oppdriftsberegninger.

Tetthet og egenvekt på oppdriftselementene varierer etter hvilken dybde de er laget for å operere ved. Ved økende dybde øker også trykket som virker på oppdriftselementene, og dermed må materialtettheten i oppdriftselementene øke for å unngå kollaps. Volum og pris av flytelementer må beregnes etter hvilken dybde verktøyet skal brukes i.

Det er beregnet at volumet av konstruksjonens «hulrom» etter materialforminskning er tilstrekkelig stort til at positiv oppdrift i vann kan skapes. Ved å utnytte hulrom i konstruksjonen til å plassere oppdriftselementer, vil man da oppnå nøytral vekt i vann uten å måtte øke ytre mål av konstruksjonen av betydelig grad.

Ved endelig konstruksjon og tilpassing av oppdriftselementer har DeepOcean erfaring i bruk av Mundalgruppen AS som leverandør. Fordelen ved bruk av en spesialisert leverandør er at de har spesialkompetanse innen tilpassing av oppdriftselementer, slik at man oppnår optimal stabilitet under vann.

## 6 Økonomiske betraktninger

For stykkliste, se *Vedlegg B: Stykkliste*

### 6.1 Døgnrate

En typisk pris for en kostnad for en offshore operasjon hos DeepOcean er mellom NOK 700 000 - 730 000,- pr. døgn. Dette fører til at inntjeningspotensialet for hver enkelt operasjon er stor om man kan effektivisere arbeidet som skal gjøres.

### 6.2 Innkjøps- og sammenstillingskostnad

Komponent	Antall	Pris pr. enhet [NOK]	Leverandør	Total pris [NOK]
FlexiClean	4	90 000,-	Lateral AS	360 000,-
MiniTracks	3	150 000,-	Inuktun – PSO AS	450 000,-
Sylinder	2	15450,-	Malm Orstad AS	30900,-
Stag	1	3705,-*	Astrup AS	3705,-
Plate 3mm	4m <sup>2</sup>	1950,-**	Astrup AS	1950,-
Oppdriftselementer	115 liter	2054,-***	Mundal AS	2054,-

\*Standardlengde på 6m

\*\*Trenger 3,5m<sup>2</sup>, selges i standard størrelser på 2m<sup>2</sup>

\*\*\*Trenger 80liter, standard størrelse på H100-50 Plate 115liter

Prisene er gitt uten frakt og merverdiavgift.

Arbeidstegningene er ansett å ikke være helt komplette i denne fasen, noe som fører til at antall timer det trengs for å sveise sammen rammen og montere alle komponentene er vanskelig å anslå. Det er derfor ikke angitt hva selve sammenstillingskostnaden vil være for verktøyet på dette punkt av designfasen.

### 6.3 Inntjeningspotensiale

For å holde høyest mulig effekt anbefaler Lateral at børstehodene blir byttet etter hver 12 operasjonstimer. I en tilbakemelding ifra ROV Supervisor fra DeepOcean har det kompt frem at børstene kan jobbe i over 20 timer på hard begroing og har fortsatt relativt lav slitasje på seg {15}. Effektiviteten til børstene vil avta etter 12 timer, men de er fortsatt effektive og brukbare utover dette.

Dersom enheten som har blitt designet vil kunne fjerne marin begroing raskere enn det en enkel ROV vil klare ved hjelp av en enkel høytrykkspyler eller en børste som er de valgene som er tilgjengelig på markedet i dag, vil det være mulighet for økt inntjeningspotensiale for disse operasjonene.

Verktøyet er kostbart å lage, og børstene er kostbare å skifte ut etter bruk. For hver enkelt time som spares på en offshore operasjon er det mulighet for å spare ca. NOK 30 000,- minus driftskostnader for verktøyet.

{15} Produkt feedback «Flexiclean» <http://stoprust.com/products-and-services/flexiclean/> (9.4.2015)

## **7 Manuelle beregninger og anvendelse av styrkeberegningsprogram**

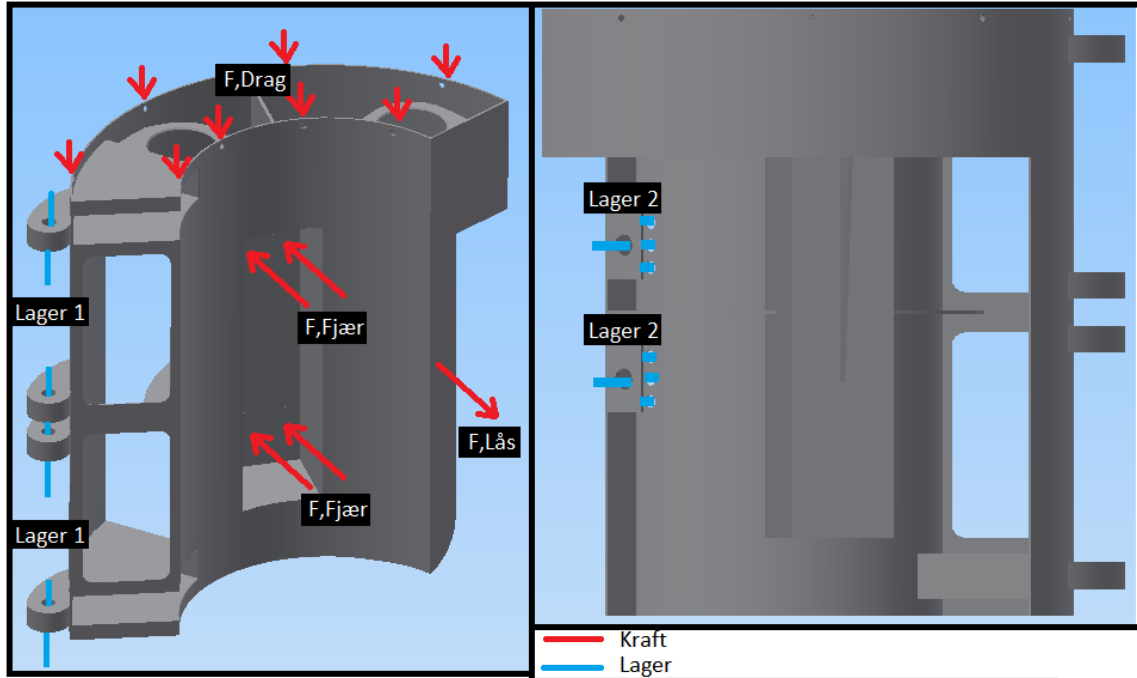
Alle hovedkomponentene er styrkeberegnet ved hjelp av styrkeberegningsprogrammet ANSYS. Grunnet begrensninger i studentversjonen av programmet er hver enkelt komponent beregnet hver for seg, da programvaren ikke kan håndtere hele verktøyet på en gang.

Resultatene fra ANSYS-analysene blir sammenlignet med tillatte spenninger for materialtype med valgt sikkerhetsfaktor.

Kreftene som blir brukt i ANSYS analysene fremkommer under Krefter og moment på *belter, stempel, stag og lås* i *Vedlegg A: Handberegninger og direkte tilknyttet informasjon*

## 7.1 Rammedel 1

Det tas utgangspunkt i følgende kraftbilde for hvordan kreftene vil virke på rammen, som er illustrert under.



Figur 25 – Kraftbilde rammedel 1

Følgende parametre er gitt:

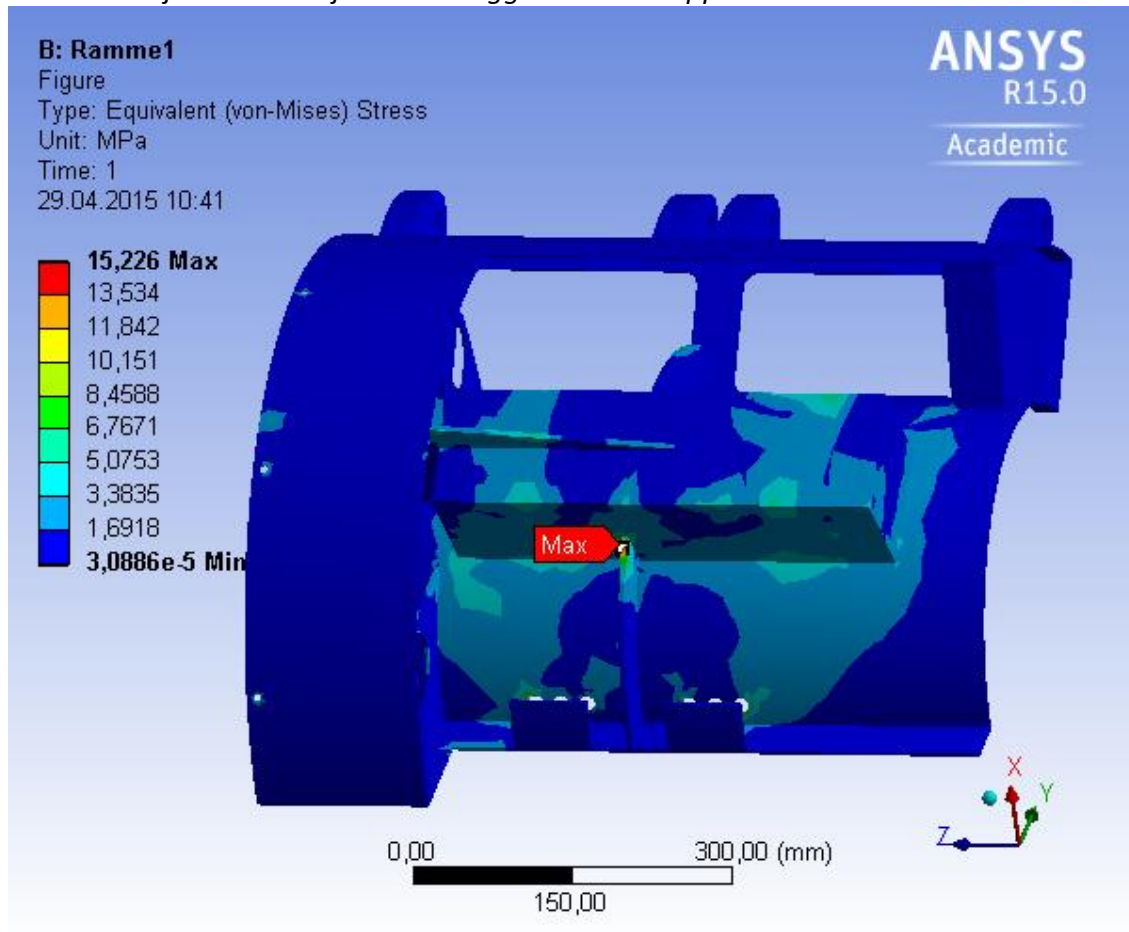
$F_{Fjær} = 620N \cdot 4stk$	$F_{Drag} = 1000N$
$F_{Lås} = 3200N$	

Lager 1 er punktet hvor den gjennomgående bolten holder sammen de to rammedelene. Lager 2 er punktet hvor låsen holder sammen de to rammedelene.

Med utgangspunkt i det presenterte kraftbildet beregnes rammedelen i styrkeberegningsprogrammet ANSYS. På neste side presenteres utdrag fra ANSYS-rapporten og sammenlignes med manuelle beregninger.

(Figur 25. Del nr. 1. Pos nr. 1)

For mer detaljert informasjon se *Vedlegg O: ANSYS-rapport rammedel1*



Figur 26 – Jevnføringsspenning ANSYS rammedel 1

$R_e = 130\text{N/mm}^2$	$\gamma_{sf} = 5$
--------------------------	-------------------

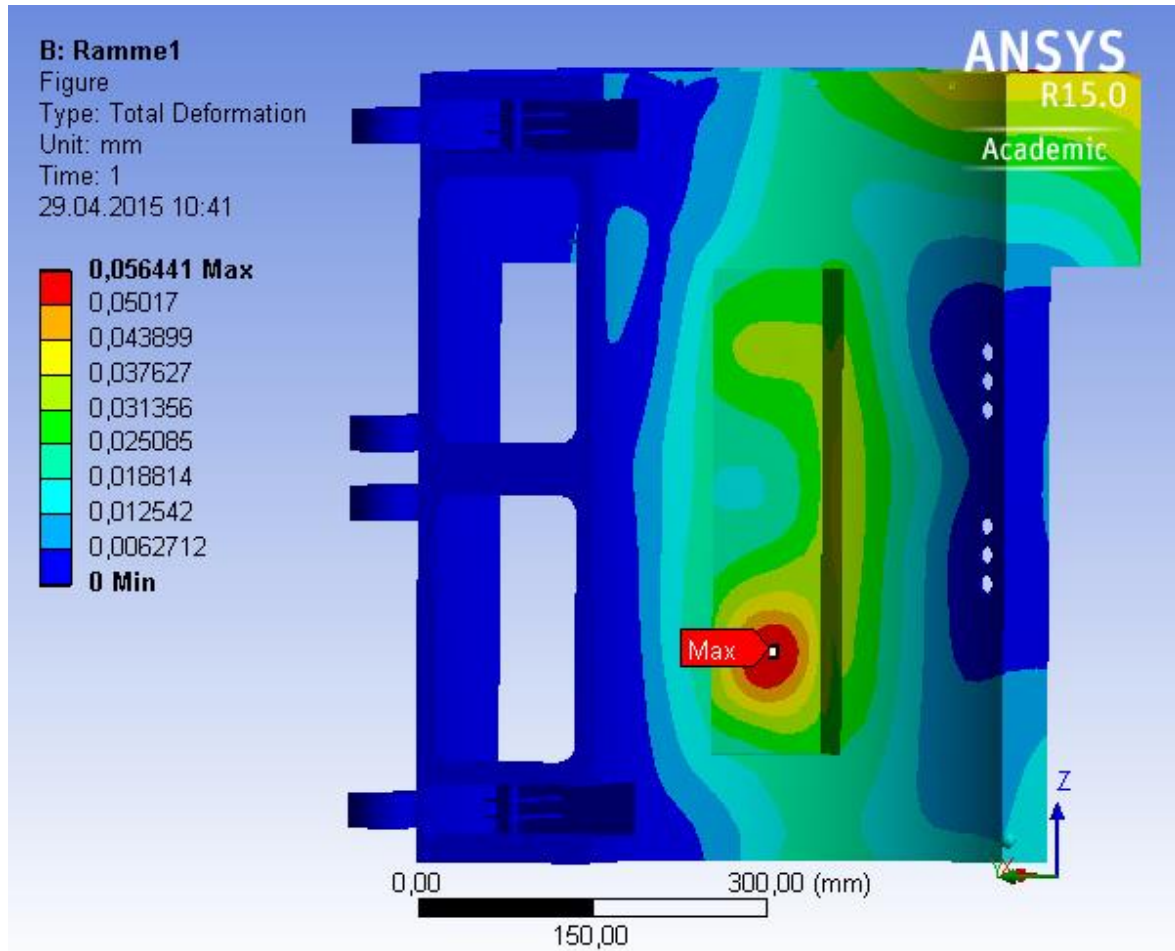
Siden geometrien på rammene er relativt kompleks er det kun gjort ANSYS-beregninger av selve rammedelen, kreftene som påføres er gjort manuelle beregninger på og kan sees i *vedlegg A*.

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{\gamma_{sf}} = \frac{130\text{N/mm}^2}{5} = 26\text{ N/mm}^2$$

Resultatet fra ANSYS viser at de maksimale spenninger som oppstår er innenfor tillatt spenning (ANSYS  $\sigma_{Max} \approx 15,3\text{MPa}$ ){16}.

{16} 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>

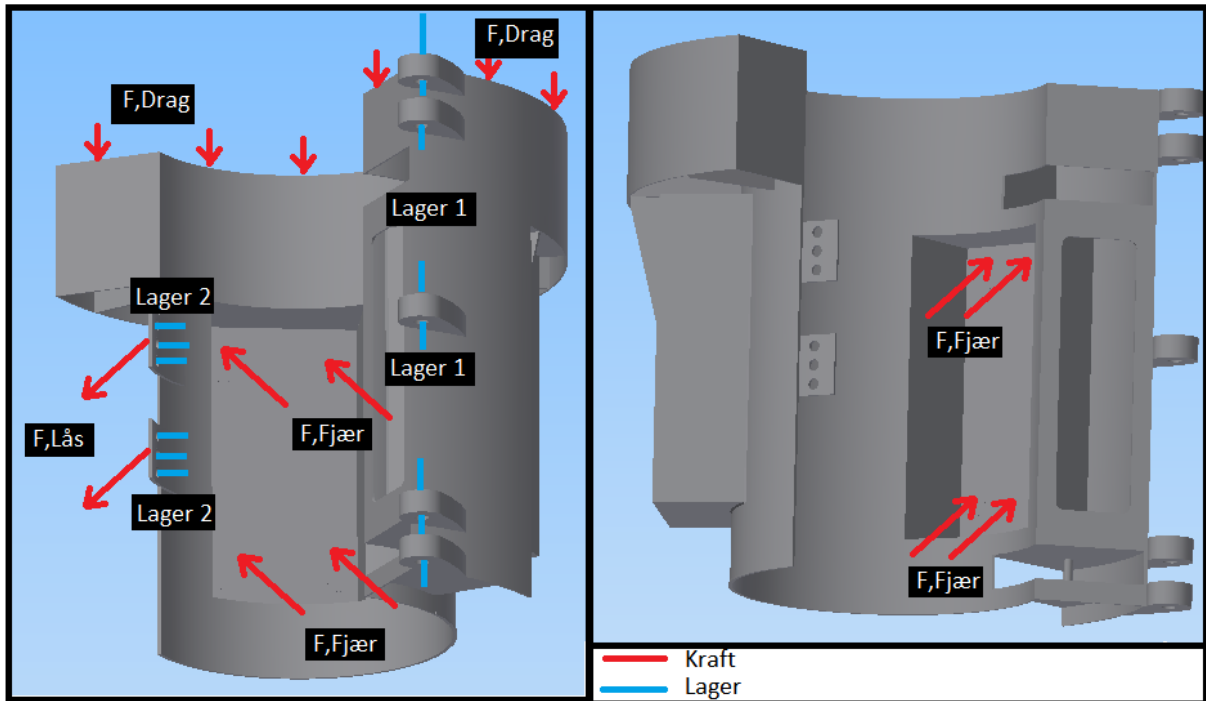
Beregninger gjort i ANSYS viser at materialet er sterkt nok til å motstå betydelige deformasjoner, illustrert som «Max» i bildet under.



Figur 27 – Deformasjon ANSYS rammedel 2

## 7.2 Rammedel 2

Under vises kraftbildet som tas utgangspunkt i beregninger for rammedel 2 i ANSYS analysen.



Figur 28 – Kraftbilde rammedel 2

Følgende parametre er gitt:

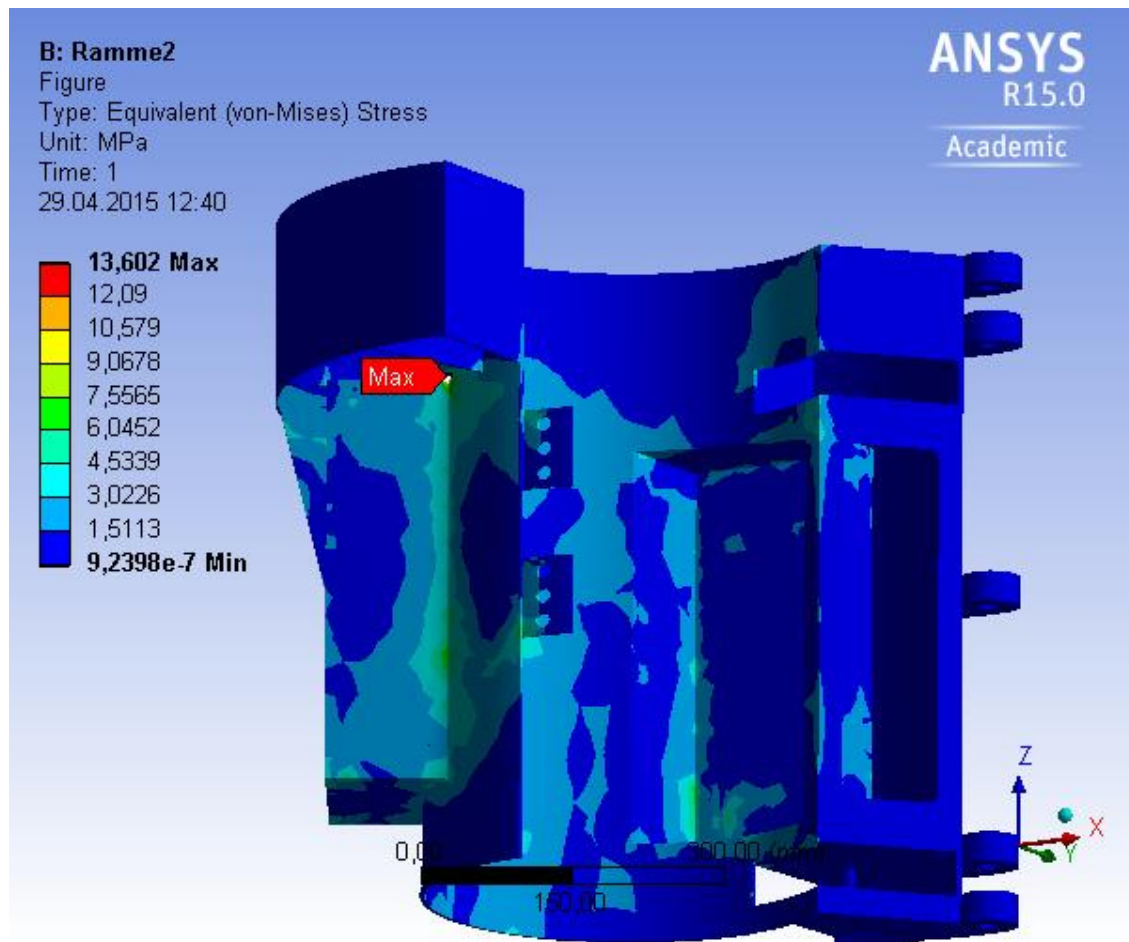
$F_{Fjær} = 620N \cdot 8stk$	$F_{Drag} = 1000N$
$F_{Lås} = 3200N$	

Lager 1 er punktet hvor den gjennomgående bolten holder sammen de to rammedelene.  
Lager 2 er punktet hvor låsen holder sammen de to rammedelene.

Med utgangspunkt i det presenterte kraftbildet beregnes rammedelen i styrkeberegningsprogrammet ANSYS. På neste side presenteres utdrag fra ANSYS-rapporten og sammenlignes med manuelle beregninger.

(Figur 28. Del nr. 2. Pos nr. 2)

For mer detaljert informasjon se Vedlegg P: ANSYS-rapport rammedel2



Figur 29 – Jevnføringspenning ANSYS rammedel 2

$R_e = 130\text{N/mm}^2$	$\gamma_{sf} = 5$
--------------------------	-------------------

Grunnet kompleks geometri er det også her bare gjort ANSYS-beregninger.

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{\gamma_{sf}} = \frac{130\text{N/mm}^2}{5} = 26\text{N/mm}^2$$

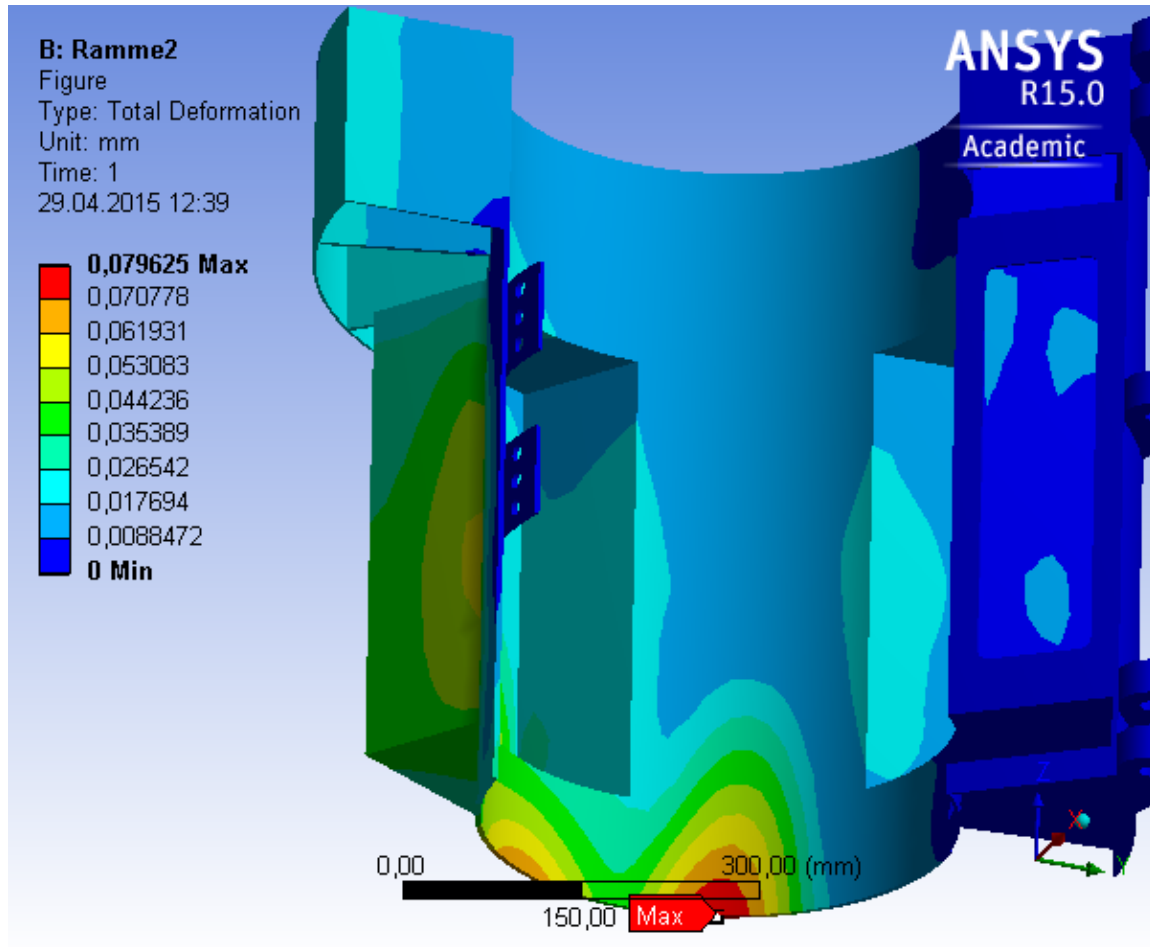
Analysen viser at spenningene er innenfor tillatt spenning (ANSYS  $\sigma_{Max} = 13,6\text{MPa}$ ){17}.

---

{17}  $1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2$



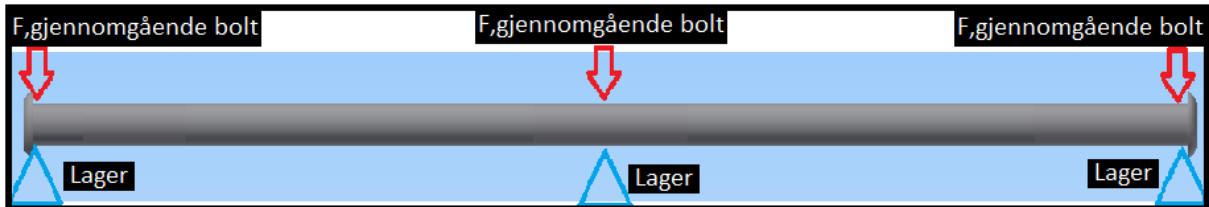
Beregninger gjort i ANSYS viser at materialet er sterkt nok til å motstå betydelige deformasjoner, illustrert som «Max» i bildet under.



Figur 30 – Deformasjon ANSYS rammedel2

### 7.3 Gjennomgående bolt

Under vises kraftbildet som tas utgangspunkt i for beregninger av den gjennomgående bolten.



Figur 31- Kraftbilde gjennomgående bolt

Følgende parametre er gitt:

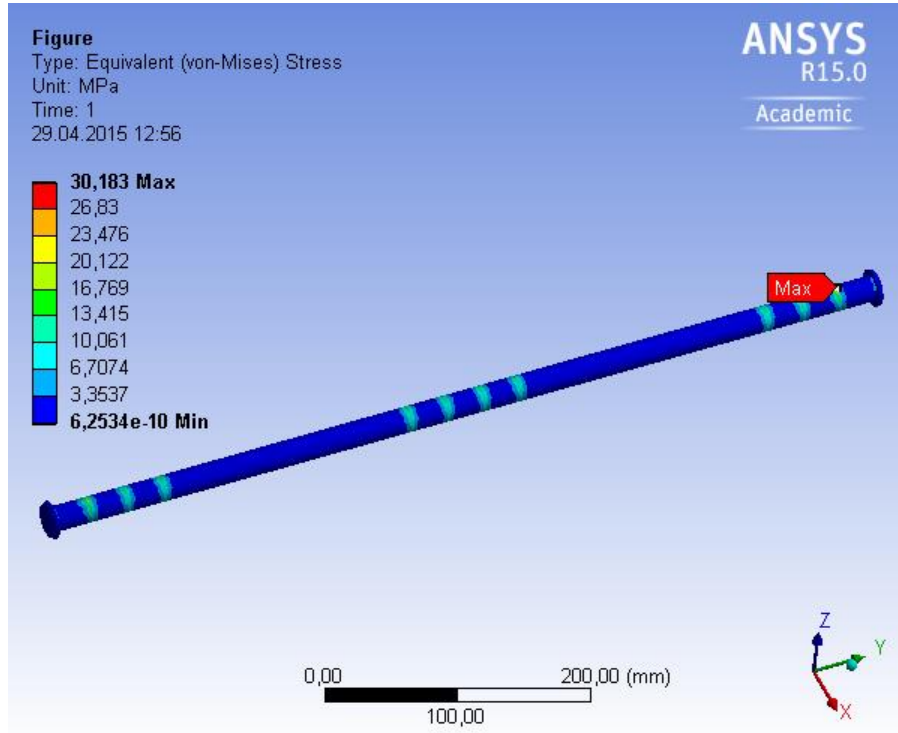
$F_{\text{gjennomgående bolt}} = \frac{1}{3} \cdot F_{\text{Res, bolt}}$	$F_{\text{Res, bolt}} = 17615N$
--	---------------------------------

Se vedlegg A *Krefter og momenter* for hvordan  $F_{\text{Res, bolt}}$  blir funnet. Lageret er definert i hengslepunktene til delrammene.

Med utgangspunkt i det presenterte kraftbildet beregnes boltene i styrkeberegningsprogrammet ANSYS. På neste side presenteres utdrag fra ANSYS-rapporten og sammenlignes med manuelle beregninger.

(Figur 34. Del nr. 3. Pos nr. 5)

For mer detaljert informasjon se *Vedlegg Q: ANSYS-rapport gjennomgående bolt*



Figur 32 – Jevnføringsspenning ANSYS gjennomgående bolt

Maks spenning fra ANSYS ( $\sigma_{Max} = 30,1MPa$ ).

Det tas utgangspunkt i at kraften blir likt fordel på de 3 hengslepunktene.

$d_{gjennomgående\ bolt} = 20mm$	$R_e = 300\ N/mm^2$
$\gamma_{sf} = 5$	

Tverrsnittsarealet av den gjennomgående bolten.

$$\underline{A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{20^2}{4} \text{ mm}^2 \approx 314 \text{ mm}^2}$$

Skjærspenningen i bolten:

$$\underline{\tau = \frac{F_{\text{gjennomgående bolt}}}{A} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{\text{Res,bolt}}}{A} = \frac{1}{3} \cdot \frac{17615 \text{ N}}{314 \text{ mm}^2} \approx 19 \text{ N/mm}^2}$$

Finner så jevnføringsspenningen som oppstår i bolten:

$$\underline{\sigma_{jF} = \sqrt{3} \cdot \tau = \sqrt{3} \cdot 19 \text{ N/mm}^2 \approx 33 \text{ N/mm}^2}$$

Den høyeste spenningen som fremkommer blir videre brukt for sammenligning med tillatt spenning for materialet.

$$\underline{\sigma_{Max} = \max(\sigma_{ANSYS}, \sigma_{Håndberegning}) = \max(30,2 \text{ N/mm}^2, 33 \text{ N/mm}^2) = 33 \text{ N/mm}^2}$$

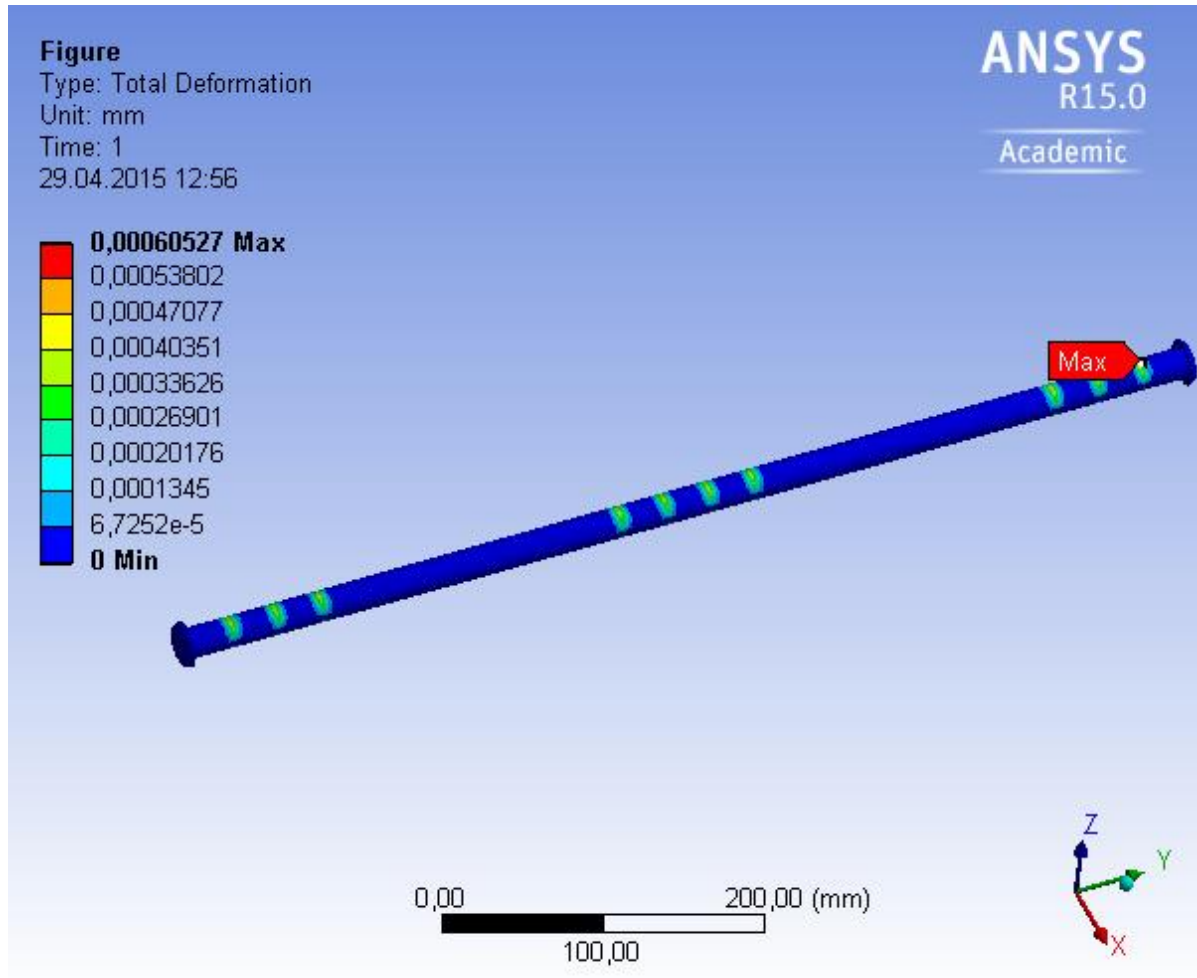
Sammenligner med tillatt spenning for materialet:

$$\underline{\sigma_{till} = \frac{Re}{\gamma} = \frac{300 \text{ N/mm}^2}{5} \approx 60 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{till} \geq \sigma_{Max}$$

$$\underline{60 \text{ N/mm}^2 > 33 \text{ N/mm}^2}$$

Beregninger gjort i ANSYS viser at materialet er sterkt nok til å motstå betydelige deformasjoner, illustrert som «Max» i bildet under.



Figur 33 – Deformasjon ANSYS gjennomgående bolt

## 7.4 Lås

Det tas utgangspunkt i følgende kraftbilde på låsen som vist under:



Figur 34 - Kraftbilde låsearm

Kraften virker så nært lageret at en antar at ingen momenter oppstår.

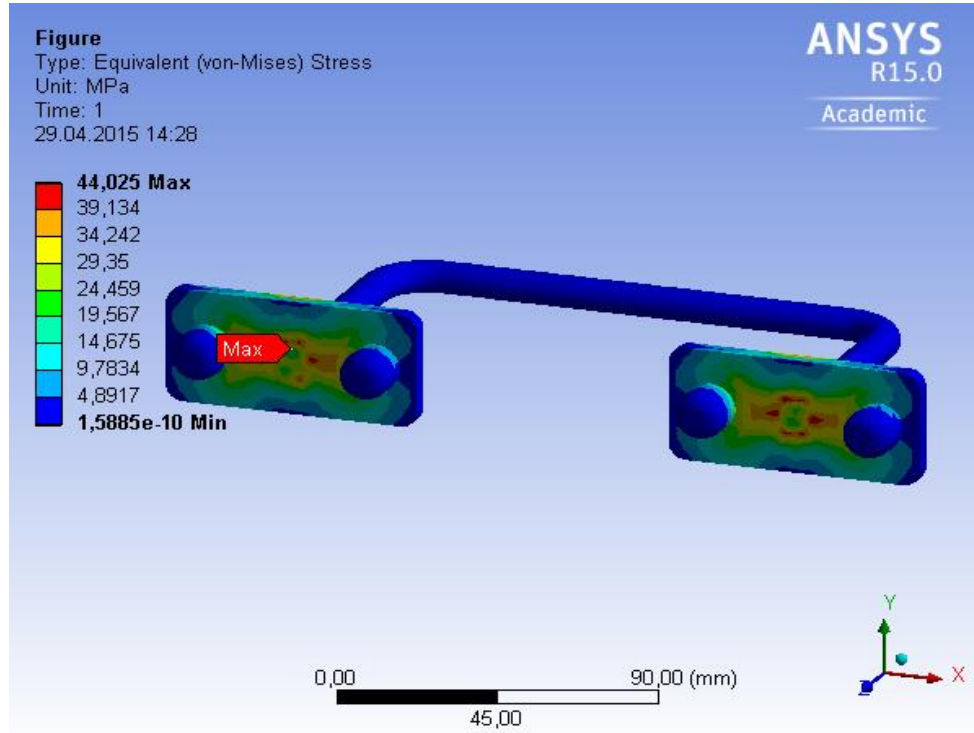
Følgende parameter er gitt:

$$F_{Lås} = 3170N$$

Se under Vedlegg A: *krefter og momenter på belter, stempel, bolt og lås* for detaljer om hvordan kraften ble funnet.

(Figur 31. Del nr. 10. Pos nr. 6)

For mer detaljert informasjon se *Vedlegg R: ANSYS-rapport låsemekanisme*



Figur 35 – Jevnføringsspenning ANSYS låsearm

Maks spenning fra ANSYS ( $\sigma_{Max} = 44MPa$ ).

Manuelle beregninger for sammenligning med ANSYS-resultater.

$d_{lås} = 15mm$	$R_e = 300N/mm^2$
$\gamma_{Sf} = 5$	

Finner arealet til låsearmen:

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{15^2}{4} mm^2 \approx 180mm^2$$

Finner skjærspenningen som oppstår i låsearmen:

$$\tau = \frac{F_{lås}}{A} = \frac{3170N}{180mm^2} \approx 18N/mm^2$$

Finner jevnføringsspenningen som oppstår i låsearmen:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{3} \cdot \tau = \sqrt{3} \cdot 18N/mm^2 \approx 31N/mm^2$$

Den høyeste spenningen som fremkommer blir videre brukt for sammenligning med tillatt spenning for materialet.

$$\sigma_{Max} = \max(\sigma_{ANSYS}, \sigma_{Håndberegning}) = \max(44N/mm^2, 31N/mm^2) = 44N/mm^2$$

Tillatt spenning blir:

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{\gamma} = \frac{300N/mm^2}{5} = 60 N/mm^2$$

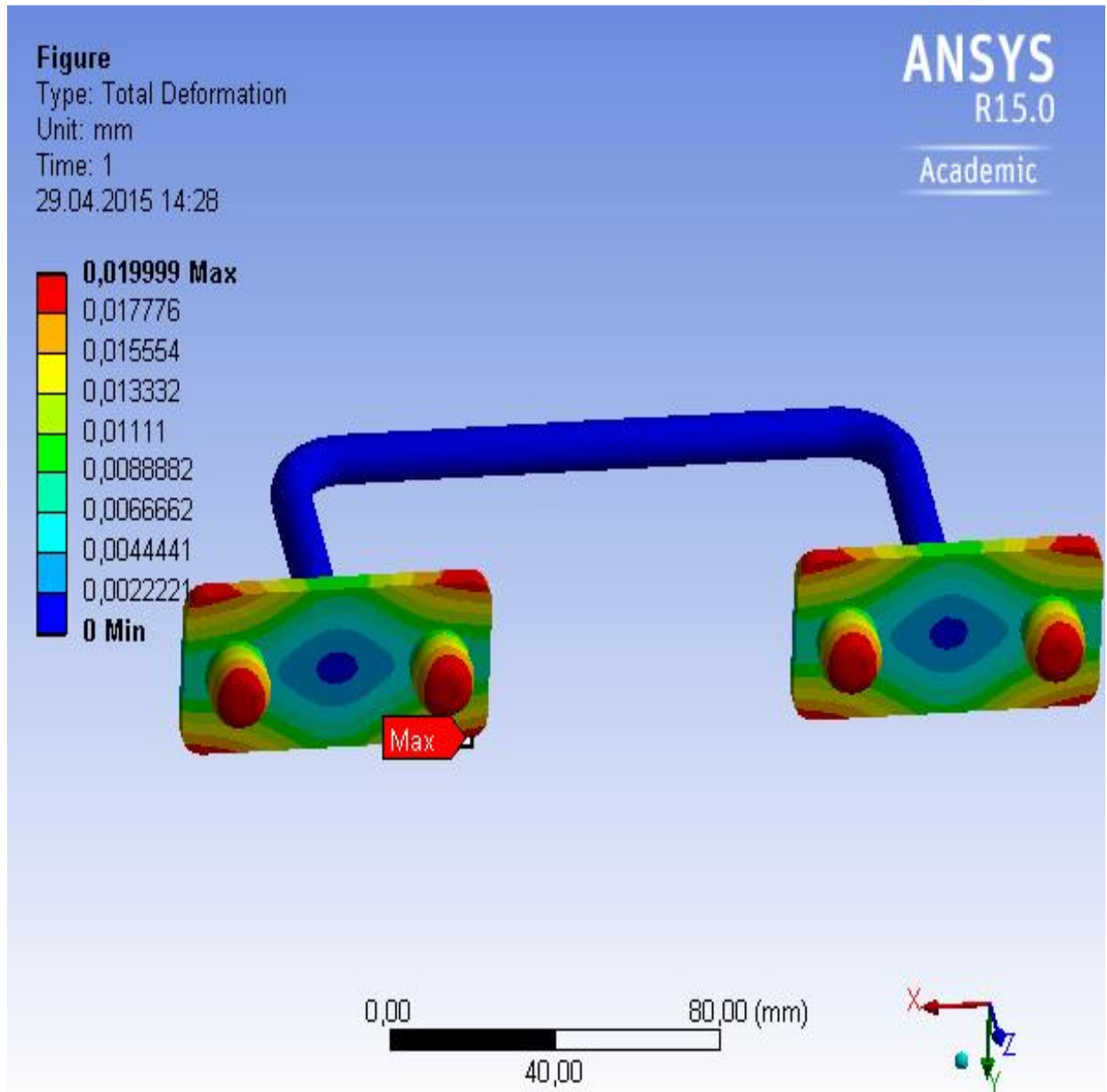
$$\sigma_{till} \geq \sigma_{Max}$$

$$60N/mm^2 \geq 44N/mm^2$$

Beregningene viser at spenningene er innenfor tillatt spenning til materialet.



Beregninger gjort i ANSYS viser at materialet er sterkt nok til å motstå betydelige deformasjoner, illustrert som «Max» i bildet under.



Figur 36 – Deformasjon ANSYS låsearm

## 7.5 Konklusjon av sammenligningern mellom handberegninger og ANSYS

For rammedel 1 og 2 er det ikke utført manuelle håndberegninger, da geometrien på disse er for kompleks.

For rammedel 1 og 2 måtte elementstørrelsen stilles i relativt stor størrelse, da studentversjonen av ANSYS har begrensinger i forhold til hvor avanserte geometriene kan være, og hvor store elementene som beregnes kan være. Grunnet begrensningene i studentversjonen måtte også rammedel 1 og 2 beregnes med tidligere utkast, da geometrien ble for krevende for studentversjonen. Endringene i endelige utkast i forhold til de beregnede utkastene er likevel så små at det ikke vil gi betydelige avvik.

Analysene for låsearm og gjennomgående bolt viser visse avvik i forhold til manuelle utregninger.

Forenklingene i de manuelle beregningene som er utført for låsearm og gjennomgående bolt vil være hovedårsaken til avviket, grunnet at spenningsbildet kan være mer komplekst enn antatt.

Ønsket materiale for analysen finnes ikke i ANSYS-biblioteket over materialer som kan brukes, det kan medføre at materialegenskapene kan være noe forskjellige i forhold til spenninger og deformasjon.

## 8 Avsluttende diskusjon og forslag til videre arbeid

### 8.1 Avsluttende diskusjon

I et marked med et stadig økende behov for rengjøring av vertikale fleksible stigerør, ønsker DeepOcean AS å designe et automatisert system for effektivisering av slike operasjoner. Det ble vektlagt at verktøyet skulle energiforsynes av ROV, slik at man slipper å ha en egen «umbilical» og dekkbasert energiforsyning til verktøyet fra overflaten.

Verktøyet som er designet er konstruert for utelukkende å få energitilførsel fra en Supporter ROV som leveres av Kystdesign AS. Supporter ROV levert av Kystdesign er en av DeepOcean's standard type ROV, og er en mye brukt ROV både nasjonalt og internasjonalt.

Optimalt sett kan hver enkelt børstemotor kjøres med en hydraulisk strøm på 60L/min. Hydraulisk kapasitet fra Supporter ROV er på 75L/min fordelt på 4 hydrauliske motorer, som gir en rotasjonshastighet på 172RPM per motor.

Grunnet begrenset hydraulisk kapasitet fra ROV til verktøyets hydrauliske motorer er det noe usikkerhet om rotasjonshastigheten er høy nok til å fjerne begroingen effektivt. Om rotasjonshastigheten er høy nok må undersøkes ved hjelp av forsøk, da det er store variasjoner i typer og tykkelse av begroing, og hvilke krefter som trengs for å fjerne dette.

Belteenhetene som blir levert av PSO AS har en makshastighet på 10m/min. Realistisk sett trenger nok børstene lengre tid for å fjerne den marine begroingen enn hastigheten beltene har kapasitet til å gi. Det er vanskelig kunne forutsi eller regne seg frem til en hastighet selve verktøyet vil bevege seg i, da det ikke finnes noe tall på hvor raskt børstene fjerner den marine begroingen. Grunnet stadig variasjon i begroingstype og mengde er det vanskelig å finne tall på dette.

Verktøyets effektivitet vil ha direkte sammenheng med hvor effektivt begroingen blir fjernet, i forhold til hastigheten verktøyet kan beveges i. Den store fordelten med dette verktøyet er at det dekker 360 grader på sylindereformet overflate. Skal man dekke 360 grader ved hjelp av ROV og en enkel børste, vil dette være tidkrevende og en upraktisk måte å arbeide på.

Innjeningspotensialet ved bruk av verktøyet vil ha direkte sammenheng med eventuell effektivisering i forhold til dagens metode for rengjøring av stigerør. Døgnraten for en offshoreoperasjon av DeepOcean ligger på NOK 700 000 - 730 000,-, dette gir en timepris på ca NOK 30 000,-. Timeprisen viser at effektivisering av dagens metoder har potensiale for større inntjening, da effektivisering frigir kapasitet for flere oppdrag.

Om det er realistisk å sette verktøyet i produksjon vil være avhengig av om potensialet for inntjening er stort nok. Verktøyets effektivitet må vurderes opp mot behovet for slike operasjoner i dagens, og et fremtidig marked. Verktøyet består av kostbare komponenter og vil derfor være kostbart å produsere. Skal verktøyet produseres må behovet i markedet være så stort at produksjon og bruk av verktøyet vil lønne seg.

## **8.2 Forslag til videreutvikling**

### **8.2.1 Kombinere rengjøringsmetoder**

Å kombinere flere varianter av rengjøringsmetoder kan bidra til å effektivisere verktøyet ytterligere, alt etter hvilke krav som stilles til renhetsgrad. En aktuell kombinasjon kan eksempelvis være å kombinere børstefunksjonen og høytrykksspyling.

### **8.2.2 Multi purpose funksjon**

Å gi mulighet for en «multi purpose funksjon» vil si at man skal kunne integrere andre typer verktøy til selve crawlerenheten, gjerne via et fastsatt «universalt interface». Multi purpose-funksjoner kan eksempelvis være å koble til inspeksjonsutstyr i stedet for rengjøringsutstyr, evt. en kombinasjon av både rengjøring og inspeksjon.

### **8.2.3 Modulbasert oppbygning**

Ved å dele opp hovedgeometrien i flere moduler vil man få mulighet til å bytte ut enkelte moduler, og dermed mulighet til å tilpasse verktøyet for langt flere rørdimensjoner. Ved modulbasert oppbygning er hensikten å kunne bruke de mest kostbare komponentene på flere rørdimensjoner, kun ved å kunne justere størrelsen på rammeverket.

### **8.2.4 Kamera**

Om det erfares behov for det, kan det være aktuelt å utstyre rengjøringsverktøyet med kameraer som kan overvåke operasjonen med nærbilder utover det ROV kan gi.

## 9 Konklusjon

Oppgaven som ble gitt av DeepOcean AS er gitt på grunnlag av ønske om effektivisering av rengjøring av vertikale fleksible stigerør. Oppgaven går ut på kartlegging av dagens metoder, produkter på markedet, samt design av en selvgående farkost for fjerning av marin begroing på vertikale fleksible stigerør.

Som startgrunnlag for oppgaven var det naturlig å begynne med å undersøke og kartlegge hvilke metoder som blir brukt pr. i dag, og hvilke alternative verktøy som finnes på markedet for slike operasjoner. De mest relevante arbeidsmetoder og utstyrsvarianter ble kartlagt og vurdert.

Dagens metoder baserer seg i all hovedsak på bruk av ROV, utstyrt med en enkel hydraulisk børste. Vurdert ut fra dagens metoder var det tydelig at det finnes et potensiale for effektivisering av slike operasjoner, da bruk av ROV med børste er en forholdsvis enkel og tidkrevende metode. Kartlegging av alternative løsninger for tilsvarende operasjoner ga et tydelig grunnlag for å utarbeide et selvgående fartøy som kan effektivisere slike operasjoner.

DeepOcean har presisert at det var ønskelig å unngå dekkbasert energitilførsel til verktøyet, og at det var ønskelig at verktøyet skulle ha energitilførsel direkte fra ROV. Disse begrensningene for verktøyet spilte en sentral rolle fra første stund av designfasen, da en ROV har begrenset kapasitet for drift av eksterne verktøy. En ROV kan gi både hydraulisk kraft og elektrisk energi til eksterne verktøy.

Begrensningene var viktige å ta høyde for ved utvelgelse av metoder for fremdrift, rengjøring, og eventuelle metoder for å åpne og lukke verktøyet. Det ble lagt vekt på at man skulle kunne utnytte maksimalt av driftskapasiteten en ROV kan by på, samt at man ikke kan bruke komponenter som overgår kapasiteten ROV kan levere.

Det ble valgt å bruke en hybridløsning med elektrisk fremdrift og et hydraulisk børstesystem. På denne måten kan man utnytte den elektriske energien en ROV kan levere, og prioritere all hydraulisk kraft til børstesystemet. Børstetypen ble valgt på grunnlag av DeepOcean's positive erfaringer ved bruk av den spesifikke børstetypen.

Det endelige designet er et verktøy som er utstyrt med elektrisk fremdrift, 4 hydrauliske børster som sammen dekker 360 grader av en sylindreformet overflate, og hydraulisk åpne- og lukkesystem som er sikret med en manuell låsemekanisme. Verktøyet er nøytralvektig i vann, og kan brukes på store havdyp. Oppdriftselementene må velges etter hvilket havdyp verktøyet skal brukes på.

Gjennom designfasen er det gjort både manuelle og datasimulerte beregninger for å dokumentere at designet tåler påkjenningene det vil utsettes for.

Gruppen anser at målene som ble satt for oppgaven er oppnådd, og at designet er holdt innenfor begrensningene som ble satt i samråd med DeepOcean.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

**DEEPOCEAN**

## Ordliste

GVI	General Visual Inspection
CVI	Close Visual Inspection
DI	Detailed Inspection
ROV	Remotely Operated Vehicle
Cr	Krom
Ni	Nikkel
Al	Aluminium
Mg	Magnesium
Umbilical	Kabel til energioverføring og styring
DNV	Det Norske Veritas
Manipulator	Arbeidsarm på ROV
Interface	Tilkoblingspunkt
Dragkrefter	Krefter på et areal dannet av vann i bevegelse
Crawler	Selvklatrende/selvgående enhet
Fishtail	Håndtak tilpasset ROV
Supervisor	Lederstilling
Multi purpose funksjon	Flerfunksjon

## Referanser

- [1] Fleksible stigerør (6.2.2015) Ref til:  
[https://snl.no/fleksibelt\\_stiger%C3%B8r](https://snl.no/fleksibelt_stiger%C3%B8r)
- [2] Blåskjell (6.1.2015) Ref til:  
<https://snl.no/bl%C3%A5skjell>
- [3] Rur (6.1.2015) Ref til:  
<https://snl.no/rur>
- [4] Marin begroing (5.1.2015) Ref til:  
<http://home.online.no/~akvitrud/1995%20begroing.htm>
- [5] Marine Cleaning tool (15.2.2015) Bilde hentet fra: {1}  
<http://www.uesltd.net/pdf/MC211%20Data%20Sheet.pdf>
- [6] Lateral Flexiclean (18.2.2015) Bilde hentet fra: {2}  
<http://stoprust.com/products-and-services/flexiclean/>
- [7] Lateral FlexiTRIC (27.1.2015) bilde hentet fra: {3}  
*Vedlegg K: Lateral FlexiTRIC*
- [8] Oceaneering Mooring Line Cleaning Tool (19.2.2015) Bilde hentet fra: {4}  
<http://www.oceaneering.com/oceandocuments/brochures/subseaproducts/Oceaneering-DTS-Catalog-2013.pdf> ROV Tooling-Cleaning Tools-s18
- [9] Oceaneering Splashzone Riser Inspection Tool (19.2.2015) Bildet hentet fra: {5}  
<http://www.oceaneering.com/oceandocuments/brochures/inspection/INS%20-%20Splashzone%20Riser%20Inspection%20Tool.pdf>
- [10] Versatrax Microclimber System (11.2.2015) Bilde hentet fra: {6}  
<http://www.inuktun.com/crawler-vehicles/versatrax-microclimber.html>
- [11] Bård Arve Valstad, PSO, Produktleder Inspeksjon Subsea (18.2.2015): {7}  
[www.pso.no](http://www.pso.no)
- [12] "FlexiClean" Lateral (26.2.2015) Ref til: {8}  
<http://www.lateral.no/flexiclean.html>
- [13] Generelt om material og egenskaper (10.1.2015) Ref til:  
*Mekanisk konstruksjon og teknisk design s22.*

- [14] Generelt ulike materialer (6.1.2015) Ref til: {9}  
Jens Chr. Lindaas. (Undervannsteknologi kompendiet/Jens Chr. Lindaas HSH Del 6 kap. 3.10 Andre materialer og aktuelle bruks områder)
- [15] Korrosjonsbestandig stål (10.1.2015) Ref til:  
<http://materialteknologi.hig.no/Materiallare/arbeidsplan/korrosjonsbestandige%20stal/Materiallaere-korrosjonsbestandige%20stal-kompendium.pdf>
- [16] Duplex-stål (6.1.2015) Ref til:  
<http://www.sverdrupsteel.com/no/duplex-uns-s31803/>
- [17] Superduplex-stål (6.1.2015) Ref til:  
<http://www.sverdrupsteel.com/no/superduplex-760/>
- [18] Aluminium (6.1.2015) Ref til:  
[http://materialteknologi.hig.no/Skriftserien/ML Aluminium 2012 nr.5.pdf](http://materialteknologi.hig.no/Skriftserien/ML_Aluminium_2012_nr.5.pdf)
- [19] Titan (6.1.2015) Ref til:  
[http://materialteknologi.hig.no/Skriftserien/ML Titan 2012 nr.7.pdf](http://materialteknologi.hig.no/Skriftserien/ML_Titan_2012_nr.7.pdf)
- [20] Ultralyd info og virkemåte (12.3.2015) Ref til: {10}  
[http://www.toskedaluvservice.no/verdt\\_%C3%A5\\_vite\\_om\\_ultralyd.pdf](http://www.toskedaluvservice.no/verdt_%C3%A5_vite_om_ultralyd.pdf)
- [21] Lateral FlexiClean (22.4.2015) Bilde hentet fra: {11}  
<http://www.lateral.no/uploads/2/9/4/8/29489997/9456706.png>
- [22] Inuktun MiniTracks (22.4.2015) Bilde hentet fra: {12} {13}  
<http://www.inuktun.com/crawler-tracks/minitracs/Minitracs.pdf>
- [23] FlexiClean Børstehode (22.4.2015) Bilde hentet fra: {14}  
[http://polatruk.stoprust.com/media/83404/flexiclean\\_blades\\_small.jpg](http://polatruk.stoprust.com/media/83404/flexiclean_blades_small.jpg)
- [24] Produkt feedback «Flexiclean» (9.4.2015) Ref til: {15}  
<http://stoprust.com/products-and-services/flexiclean/>



## Vedlegg

### Vedlegg A: Handberegninger og direkte tilknyttet informasjon

#### Valg av sikkerhetsfaktor

Etter møte med DeepOcean ble det bestemt at NORSOK standarden skulle brukes ved valg av sikkerhetsfaktor (se bildet under hentet fra Mekanisk konstruksjon og teknisk design "Øyvind Husø" side 105 18.3.2015)

Tabell 4.1 Kilde: *Machine Design* side 30 (referanse 1)

Informasjon	Kvalitet på informasjonen	Sikkerhetsfaktor
Materialdata fra tester	Materialtester er foretatt på materialet som skal brukes	$\gamma_1 = 1,3$
	Testdata fra tilsvarende materialer foreligger	$\gamma_1 = 2$
	Testdata foreligger, men de er mindre representative	$\gamma_1 = 3$
	Testdata er tvilsomme	$\gamma_1 = 5+$
Miljødata	Testene er utført i samme miljø som delen skal virke i	$\gamma_2 = 1,3$
	De viktigste miljøparametrene er like	$\gamma_2 = 2$
	Litt forskjellig miljø	$\gamma_2 = 3$
	Helt forskjellig miljø	$\gamma_2 = 5+$
Beregningsmodell	Modellen er testet med forsøk	$\gamma_3 = 1,3$
	Modellen er svært lik delen	$\gamma_3 = 2$
	Modellen representerer delen tilfredsstillende	$\gamma_3 = 3$
	Modellen er en grov tilnærming	$\gamma_3 = 5+$

Siden produktet som utvikles er et konsept, og ikke en ferdig løsning hvor det kan utføres tester av verktøyet osv. ble det valgt en sikkerhetsfaktor lik 5.



Symbolliste

$W =$ Vekt i vann [N]	$\rho =$ Tetthet/Densitet [ $kg/m^3$ ]
$V_f =$ Fortrengt volum i vann [ $m^3$ ]	$m =$ Masse [kg]
$g =$ Tyngdens akselerasjon [ $10m/s^2$ ]	$\sigma_{till} =$ Tillatt spenning [(MPa), (N/mm <sup>2</sup> )]
$\sigma_{Jfr} =$ Jevnføringsspenning [(MPa), (N/mm <sup>2</sup> )]	$R_e =$ Flytegrense [(MPa), (N/mm <sup>2</sup> )]
$\gamma_{sf} =$ Sikkerhetsfaktor	$A =$ Tverrsnittsareal [(m <sup>2</sup> ), (mm <sup>2</sup> )]
$D =$ Ytrediameter [(m), (mm)]	$d =$ Indre diameter [(m), (mm)]
$\tau =$ Skjærspenning [(MPa), (N/mm <sup>2</sup> )]	$\vec{v} =$ Hastighet/Snitthastighet [m/s]
$F =$ Kraft [N]	$m_a =$ Added mass [kg]
$k =$ Added mass faktor	$F_D =$ Drag kraft [N]
$c_D =$ Dragkoeffisient	$A_p =$ Projisert areal [(m <sup>2</sup> ), (mm <sup>2</sup> )]
$h_{maks} =$ Maks bølgehøyde [m]	$t_{gj} =$ Gjennomsnitts tid [s]
$F_f =$ Fjærkraft [N]	$R =$ Fjærstivhet [N/mm]
$x =$ Sammentrykning [mm]	$p =$ Trykk [(Bar), (N/m <sup>2</sup> ), (N/mm <sup>2</sup> )]
$M =$ Moment [(Nm), (Nmm)]	$F_R =$ Resultantkraft [N]
$\alpha =$ Vinkel [°]	$\theta =$ Vinkel [°]
$\dot{Q} =$ Volumstrøm [ $m^3/s$ ]	$Re =$ Reynoldstall
$\gamma =$ Kinematisk viskositet [ $m^2/s$ ]	$\Delta p_{tap} =$ Trykktap [(Bar), (N/m <sup>2</sup> )]
$\lambda =$ Friksjonsfaktor	$v_m =$ Middelhastighet [m/s]
$\omega_M =$ Vinkelhastighet [rad/s]	$V_M =$ Fortrengningsvolum [ $m^3/rad$ ]
$\eta_{Mv} =$ Volumetrisk virkningsgrad	$P^* =$ Effekt [(W), (kW)]
$a = a -$ mål [mm]	$L =$ Total lengde [(m), (mm)]
$l =$ Lengde [(m), (mm)]	$W =$ Motstandsmoment [ $mm^3$ ]

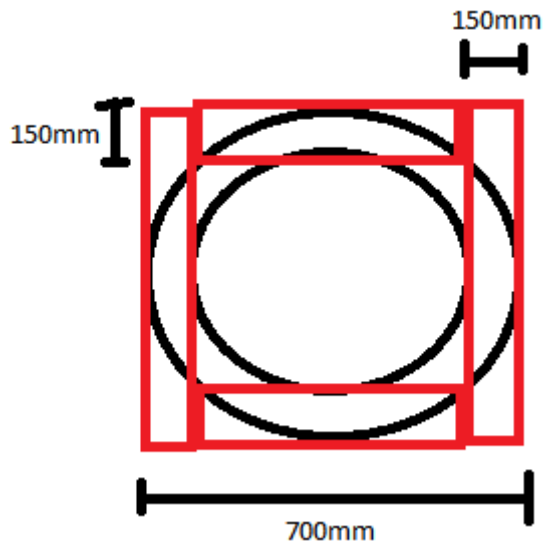
## Hydrodynamisk masse

For et verktøy som skal brukes i et undervannsmiljø er det viktig å kalkulere hvilke krefter som kan genereres av omgivelsene. Krefter som er spesielt viktige å tenke på i dette tilfellet er krefter som har innvirkning på «løftekapasiteten» til fremdriftssystemet, som har en begrenset løftekraft.

I dette tilfellet vil verktøyet være nøytralvektig i vann, slik at vekten av verktøyet ikke er en relevant faktor for hydrodynamiske beregninger så lenge verktøyet er nedsenket i vann.

Den eneste kraften som kan motvirke løftekapasiteten til verktøyet vil da være «dragkraften» som genereres grunnet bevegelser i vannet. «Dragkraft» blir særlig aktuelt i plaskesonen, der det er mye bølgebevegelser i vannet.

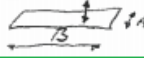
For å kalkulere «added mass» ble arealet av det sirkulære tverrsnittet som vil ha direkte innvirkning på den vertikale bevegelsen kalkulert. Det sirkulære tverrsnittet deles opp i 4 rektangler som sammenlagt estimerer det totale arealet av tverrsnittet. Tverrsnittet i horisontalplan er ikke relevante for løftekapasiteten.



«Added mass» blir kalkulert etter formlene som er markert med grønt på figuren under:

(Undervannsteknologi Jens Christian Lindaas førstemanus HSH Del 5 Vedlegg C side 6 18.3.2015)

Tabell 1 Formler og verdier for hydrodynamisk masse og demping, for noen enkle geometrier.

Geometri	Formel: <i>Hydrodynamisk masse</i>	Verdier <i>Demping</i>												
Kule radius = R	$m_a = \frac{1}{2} \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \sim V$	$c_s = 0.5c_d = 0.5$												
Sirkulær plate <sup>(1)</sup> radius = R	$m_a = 0.64 \rho \frac{4}{3} \pi R^3$	$c_d = 1.8 - 2$												
Sylinder <sup>(2)</sup> (L >> D) diameter = D lengde = L	$m_a = \rho \pi \frac{D^2}{4} L \sim V$	$c_s = 1$ $c_d = 1 - 1.2$												
Rektangel <sup>(1)</sup> Mål: A*B B > A 	$m_a = \rho \cdot k \pi \frac{A^2}{4} B$	<table border="1"> <tr> <td>B/A</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>2.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td>.58</td> <td>.70</td> <td>.76</td> <td>.80</td> <td>.90</td> </tr> </table>	B/A	1	1.5	2	2.5	5	k	.58	.70	.76	.80	.90
B/A	1	1.5	2	2.5	5									
k	.58	.70	.76	.80	.90									
Kubus Sidekanter A	$m_a = 0.7 \rho A^3$	$c_s = 0.7c_d = 1$												

(1): Bevegelse normalt på platen

(2): Bevegelse normalt på sylinderaksen



Utgangspunkt for «added mass»:

- 2 areal som er  $700 \cdot 150 \text{ mm}^2$
- 2 areal som er  $400 \cdot 150 \text{ mm}^2$

Tar utgangspunkt i  $700 \cdot 150$  Rektangelet:

$$\frac{B}{A} = \frac{700}{150} = \frac{14}{3}$$

Dette gir et forholdstall som ligger mellom 2,5 og 5. Bruker lineær interpolasjon for å bestemme omtrentlig k faktor:

$$\underline{k_{\frac{14}{3}} = \frac{k_5 - k_{2,5}}{5 - 2,5} \cdot \left(\frac{14}{3} - 2,5\right) + k_{2,5} = \frac{0,9 - 0,8}{2,5} \cdot \frac{13}{6} + 0,8 \approx 0,89}$$

Dette gir «added mass»:

$$m_a = \rho \cdot k \cdot \pi \cdot \frac{A^2}{4} \cdot B$$

$$\underline{m_{a1} = 2 \cdot \left(1025 \cdot 0,89 \cdot \pi \cdot \frac{0,15^2}{4} \cdot 0,7\right) \text{ kg} \approx 22,6 \text{ kg}}$$

Samme prosedyre for  $400 \cdot 150$  rektangelet.

Dette gir:

$$\underline{\frac{B}{A} = \frac{400}{150} = \frac{8}{3} \text{ og } k_{\frac{8}{3}} \approx 0,81}$$

Som gir «added mass»:

$$\underline{m_{a2} \approx 11,7 \text{ kg}}$$

Total «added mass» tilnærmet lik:

$$\underline{m_a = m_{a1} + m_{a2} \approx 34 \text{ kg}}$$

Grunnet den lave akselerasjonen som oppstår når belteenhetene begynner å bevege verktøyet, er ikke added mass relevant å beregne. Akselerasjonen til verktøyet ved start antas å være lik null.

$$a \approx 0 \text{ m/s}^2$$

Det gir:

$$\underline{F_{\text{added mass}} = m_a \cdot a = 34 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s}^2 = 0 \text{ N}}$$

## Dragkrefter

Det ble bestemt at total påkjenning av hydrodynamiske krefter ikke skal overstige 1000N. Totalt har belteenhetene tilgjengelig ca 1350N løftkraft, og for å sikre fremdrift selv ved maksimale påkjenninger blir tillatte dragkrefter satt til  $F_D = 1000N$

$D = 0,7m$	$d = 0,4m$
$c_d = 2,0$	$\rho_{sjøvann} = 1025 kg/m^3$

Finner arealet som trengs:

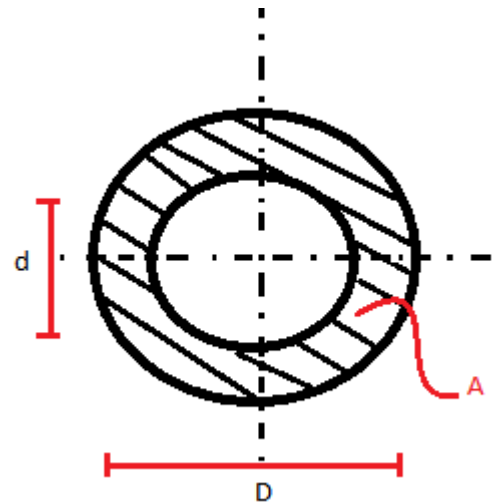
$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (0,7^2 - 0,4^2)m^2$$

$$\underline{A \approx 0,26m^2}$$

Bruker maksimalt tillatt dragkraft til å finne hastigheten vannmassen i en bølge vil bevege seg ved maksimale dragkrefter.

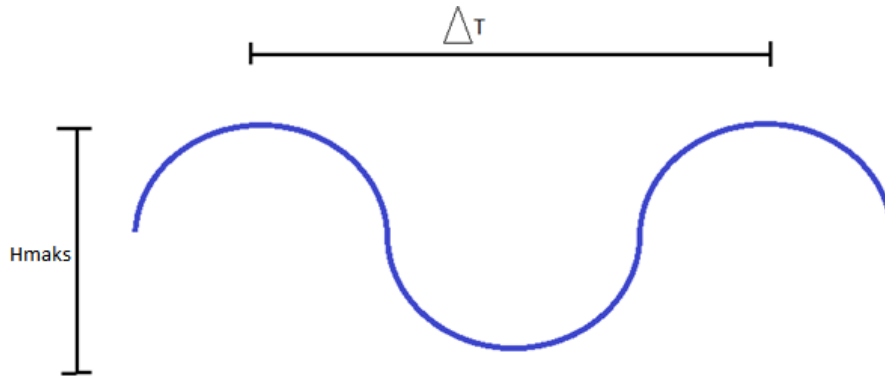
Bruker størst  $c_D$ -faktor som finnes i figuren på side IV, markert med rødt rektangel. Den høyeste faktoren velges siden hastigheten varierer etter hvor man er langs bølgekurven, som illustrert i figuren under.



$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_d \cdot A \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{F_D \cdot 2}{\rho \cdot c_d \cdot A}}$$

$$\underline{v = \sqrt{\frac{1000N \cdot 2}{1025kg/m^3 \cdot 2 \cdot 0,26m^2}} \approx 1,94m/s}$$



Ut fra utregnet hastighet finnes maksimalt tillatt bølgehøyde, hvor man antar at en bølgeperiode varer 7 sekunder. Fra bølgetopp til bunnpunkt varer bevegelsen da 3,5 sekunder.

$$\underline{h_{Maks} = v \cdot t_{gjennomsnitt} = 1,94m/s \cdot 3,5s = 6,79m}$$

Siden den signifikante bølgehøyden er halvparten av maks bølgehøyde blir da tillatt signifikant bølgehøyde:

$$\underline{h_{signifikant} = \frac{h_{maks}}{2} = \frac{6,79m}{2} \approx 3,4m}$$

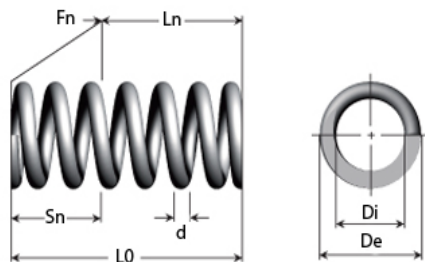
Beregningene viser at verktøyet ikke kan brukes ved signifikant bølgehøyde over 3,4m, da overskridelse av denne grensen vil skape «dragkrefter» som overgår løftekapasiteten til belteenhetene. Ved signifikant bølgehøyde på 3,4m vil verktøyet fortsatt ha kraftoverskudd nok til å sikre fremdrift.

Slike dragkrefter vil i all hovedsak bare oppstå i, og i nær tilknytning til plaskesonen. Dette betyr at verktøyet kan brukes i plaskesonen under betingelse at bølgehøyden ikke skal være høyere enn 3,4m signifikant.

## Krefter og moment på belter, stempel, stag og lås

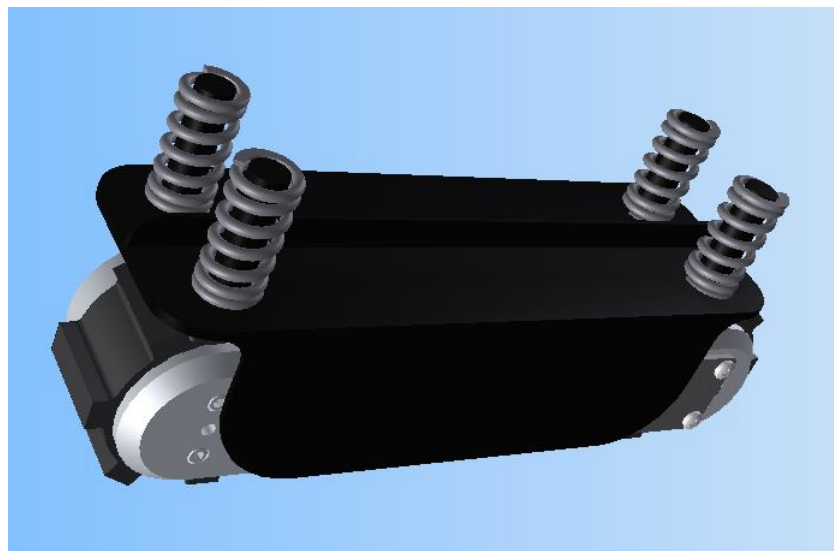
Låsemekanismen vil bli utsatt for en kraft, da den må holde igjen kreftene som alle fjærer i belteopphenget genererer. Denne kraften beregnes for å kunne dimensjonere låsen, og for å sette kriterier for ANSYS-beregninger.

Det ble tatt utgangspunkt i følgende fjærer, som er markert med rødt i bildet under.



d	De	Di	L0	Ln	Sn	Fn	R	Lager nummer	Priser/ Rabattsatser Bestill.	Lager status	3D-DAK filer
Tråd mm	Diameter utv. mm	Diameter innv. mm	Fri lengde mm	Maks belastet lengde mm	Maks vandring mm	Maks kraft N	Fjær konstant N/mm				
5,00	30,00	20,00	41,00	27,60	13,40	1307,03	97,21	23780			3D CAD
5,00	30,00	20,00	60,00	38,50	21,50	1307,03	61,68	23790			3D CAD
5,00	30,00	20,00	87,50	54,90	32,60	1307,03	39,87	23800			3D CAD
5,00	30,00	20,00	125,00	76,70	48,30	1307,03	27,15	23810			3D CAD
5,00	30,00	20,00	180,00	109,00	71,00	1307,03	18,30	23820			3D CAD

Fjærene er festet på baksiden av belteenhetene på følgende måte som vist under.





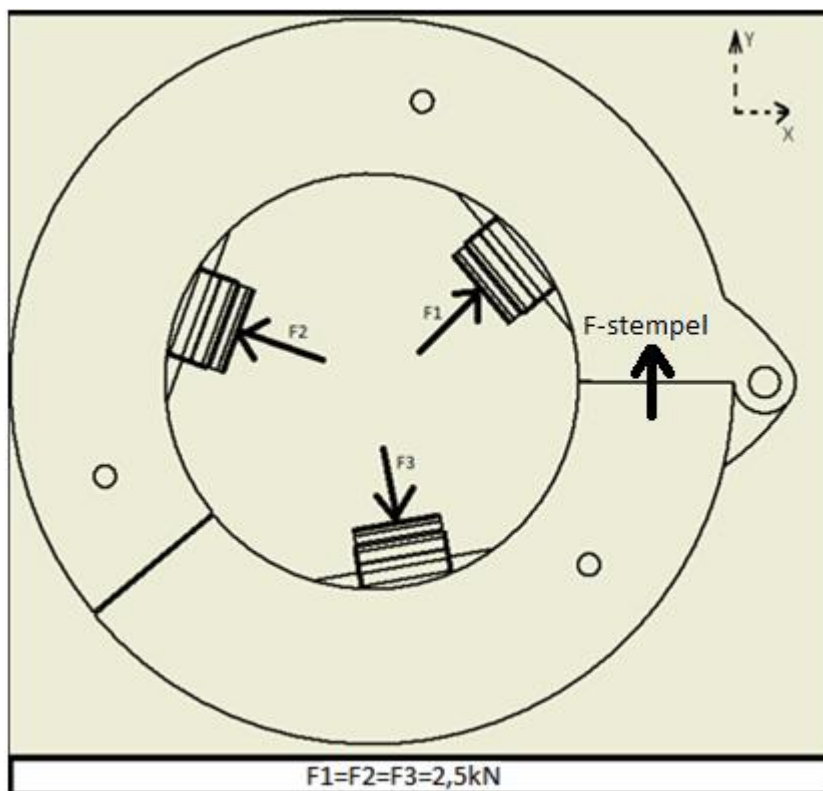
Når rammen lukkes vil fjærene trykkes sammen i en distanse  $x$  for at låsemekanismen skal gå i låst posisjon. Det antas jevnt fordelt trykk, slik at alle fjærene trykkes sammen like mye. Fjærene vil trykkes sammen med en distanse  $x=10\text{mm}$  når rammen plasseres rundt et 10" stigerør, og vil skape følgende kraftpåvirkning.

$R = 61,68\text{N/mm}$	$x = 10\text{mm}$
------------------------	-------------------

Det er 4 fjærer pr. belteenhet, en kjent fjærkonstant  $R$ , og en kjent sammentrykkning med lengde  $x$ , kan kraften som virker fra stigerør til rammekonstruksjon beregnes for hver enkelt belteenhet.

$$\underline{F_{fjær} = 4\text{stk} \cdot R \cdot x = 4\text{stk} \cdot 61,68\text{N/mm} \cdot 10\text{mm} \approx 2470\text{N} \approx 2,5\text{kN}}$$

Dette gir følgende kraftbilde





Den absolutt største kraftpåkjenningen på låsen som kan forekomme er viss de hydrauliske sylindere blir fullt trykksatt til åpen stilling, uten at låsen er koblet fra på forhånd. Låsen dimensjoneres etter de kreftene som kan forekomme dersom dette skjer.

Det tas utgangspunkt i hvor store krefter de hydrauliske sylindere kan generere med maksimalt trykk, som beregnet under:

$D = 25mm$	$p_{Max} = 210bar = 21N/mm^2$
------------	-------------------------------

Det maksimale stempelarealet til hver enkelt sylinder er:

$$\underline{A_{Sylindermax} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{25^2}{4} mm^2 \approx 490mm^2}$$

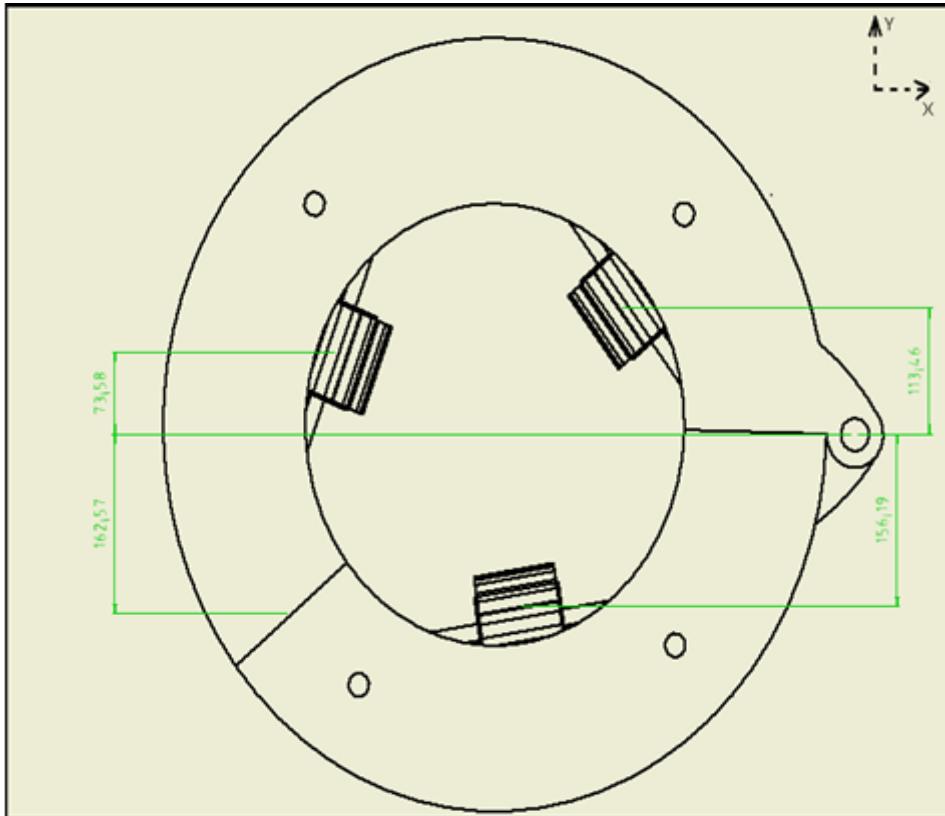
Maksimal kraft fra sylinder til ramme basert på det maksimale trykket sylindere kan ta opp:

$$\underline{F_{sylinder} = p_{Max} \cdot A_{sylinder} = 21N/mm^2 \cdot 490mm^2 \approx 10300N}$$

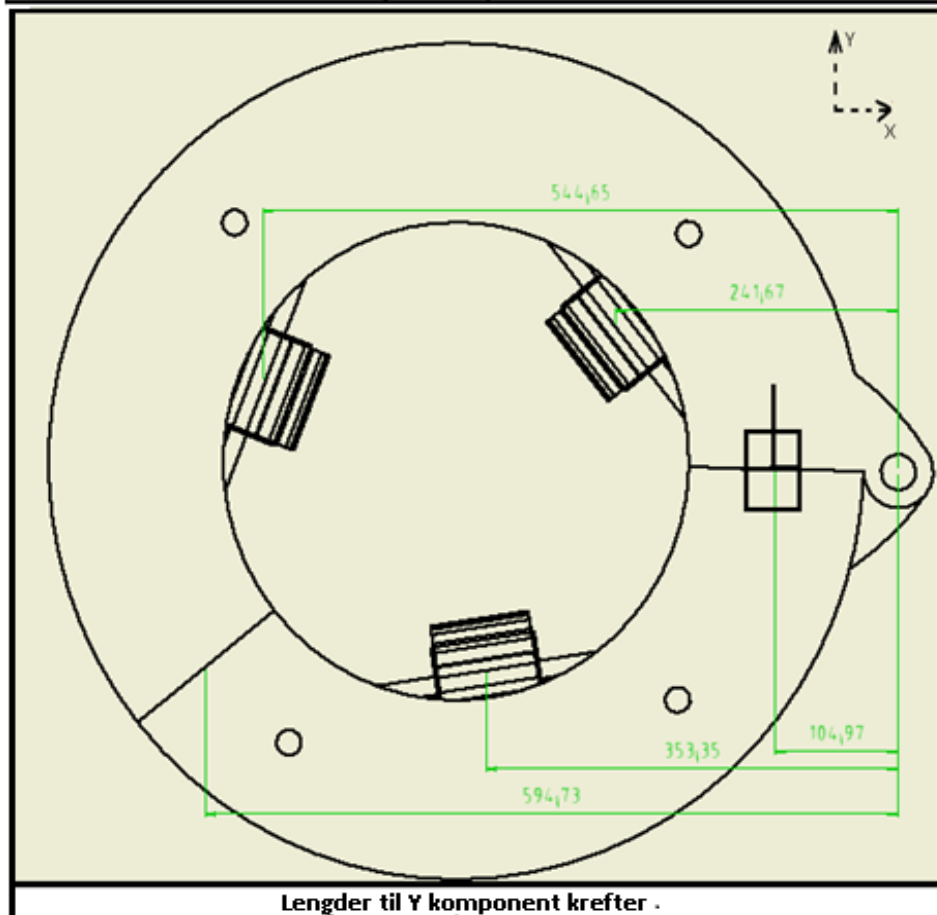
For totalt 2 sylindre i konstruksjonen gir dette:

$$\underline{F_{sylinder} = 20600N}$$

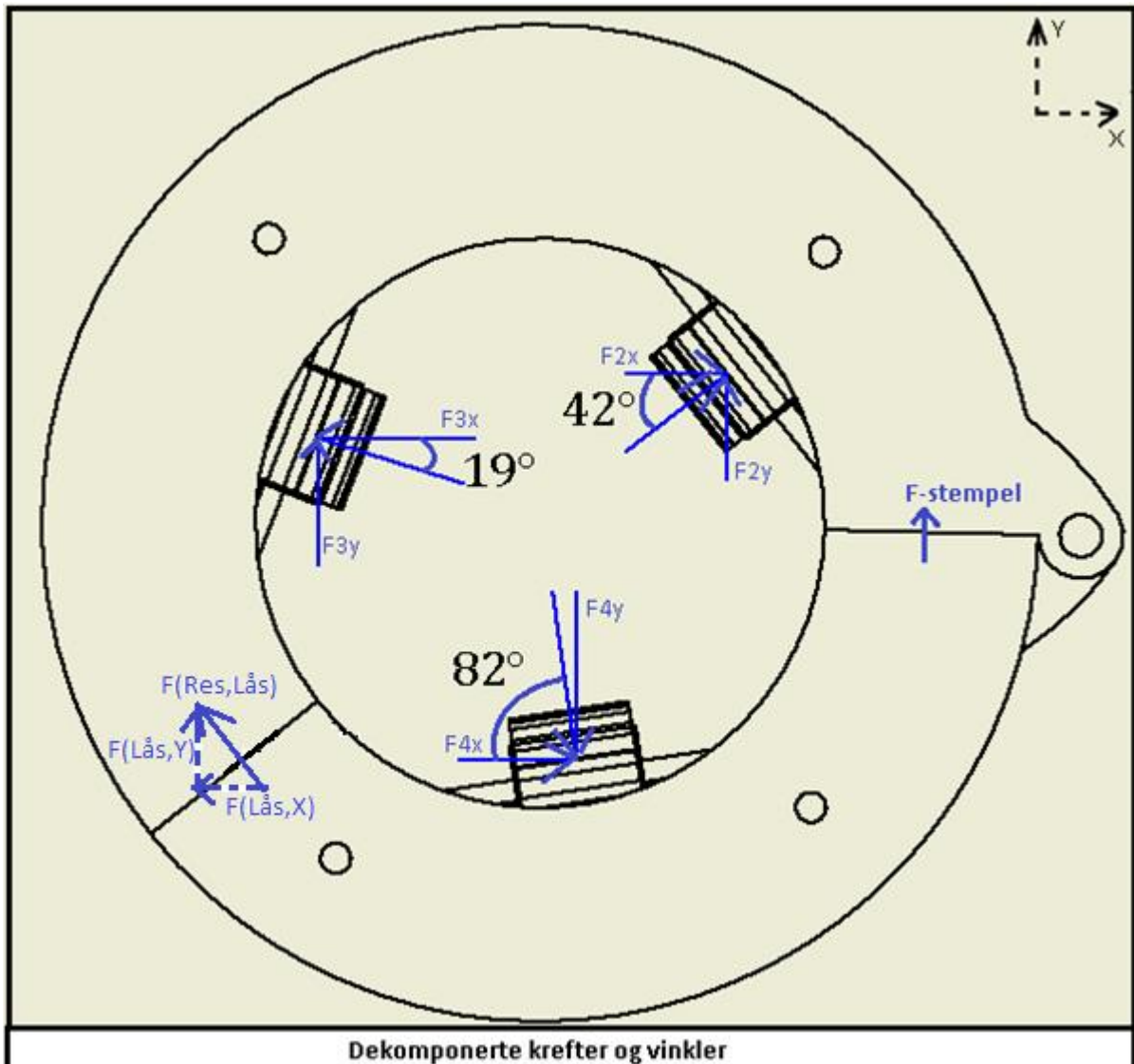
Videre dekomponeres alle krefter i retning X og Y som blir vist i figuren på forrige side. Nødvendige mål, og selve dekomponeringene er vist på figurene de to neste sidene, side XI og XII.



Lengder til X komponent krefter



Lengder til Y komponent krefter .



Kreftene i X- og Y- retning blir beregnet som følgende under:

Viser detaljert utregning for første beregning, resten av utregningene blir skrevet direkte inn i tabellene på neste side.

$$F_{2x} = F_{Fjær} \cdot \cos(42^\circ) = 2500N \cdot \cos(42^\circ) \approx 1860N$$

$$F_{2y} = F_{Fjær} \cdot \sin(42^\circ) = 2500N \cdot \sin(42^\circ) \approx 1670N$$



X- krefter og lengder

<i>X – Krefter</i>	<i>X – lengder</i>
$F_{2x} = 1860N$	$L_1 = 105mm \approx 0,11m$
$F_{3x} = 2360N$	$L_{2x} = 245mm \approx 0,25m$
$F_{4x} = 350N$	$L_{3x} = 545mm \approx 0,55m$
$\vec{F}_{låsx} = X$	$L_{4x} = 355mm \approx 0,36m$
	$L_{låsx} = 595mm \approx 0,60m$

Y- krefter og lengder

<i>Y – Krefter</i>	<i>Y – Lengder</i>
$\vec{F}_{stempel} = 20600N$	$L_{2y} = 115mm \approx 0,12m$
$\vec{F}_{2y} = 1670N$	$L_{3y} = 75mm \approx 0,08m$
$\vec{F}_{3y} = 820N$	$L_{4y} = 155mm \approx 0,16m$
$\vec{F}_{4y} = 2480N$	$L_{lås y} = 165mm \approx 0,17m$
$\vec{F}_{lås y} = Y$	

Finner de tilhørlige momentene fra kreftene og lengdene ovenfor:

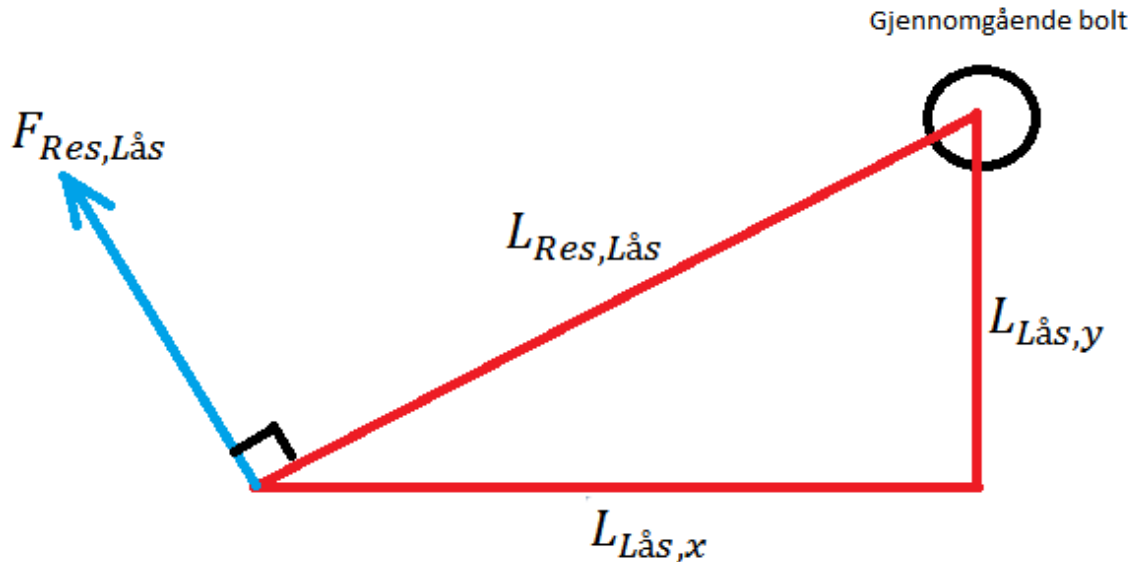
Viser detaljert for første beregning, mens resten blir skrevet direkte inn:

$$\underline{M_{2x} = \vec{F}_{2x} \cdot L_{2y} = 1860N \cdot 0,12m \approx 224Nm}$$

$$\underline{M_{2y} = \vec{F}_{2y} \cdot L_{2x} = 1670N \cdot 0,25m \approx 418Nm}$$

	$M_{stempel} = \vec{F}_{stempel} \cdot L_1 \approx 2270Nm$
$M_{2x} = 224Nm$	$M_{2y} = 418Nm$
$M_{3x} = \vec{F}_{3x} \cdot L_{3y} \approx 190Nm$	$M_{3y} = \vec{F}_{3y} \cdot L_{3x} = 451Nm$
$M_{4x} = \vec{F}_{4x} \cdot L_{4y} = 56Nm$	$M_{4y} = \vec{F}_{4y} \cdot L_{4x} \approx 893Nm$

Alle momenter settes sammen for å kunne bestemme kraften som virker på låsen.  
For å finne resultantkraften som virker på låsen, må armen mellom resultantkraft og gjennomgående bolt finnes.



Først finner man lengden av denne armen mellom resultantkraft og bolt:

$$L_{Res,Lås} = \sqrt{L_{Lås,x}^2 + L_{Lås,y}^2} = \sqrt{0,6^2 + 0,17^2}m \approx 0,62m$$

Summen av alle momenter om den gjennomgående bolten settes lik null

$$\sum M_Z = 0 \rightarrow$$

$$\vec{F}_{Res,Lås} \cdot L_{Res,Lås} + M_{stempel} + M_{2x} + M_{2y} - M_{3x} + M_{3y} - M_{4x} - M_{4y}$$

$$\vec{F}_{Res,Lås} = \frac{M_{3x} + M_{4x} + M_{4y} - M_{stempel} - M_{2x} - M_{2y} - M_{3x}}{L_{Res,Lås}}$$

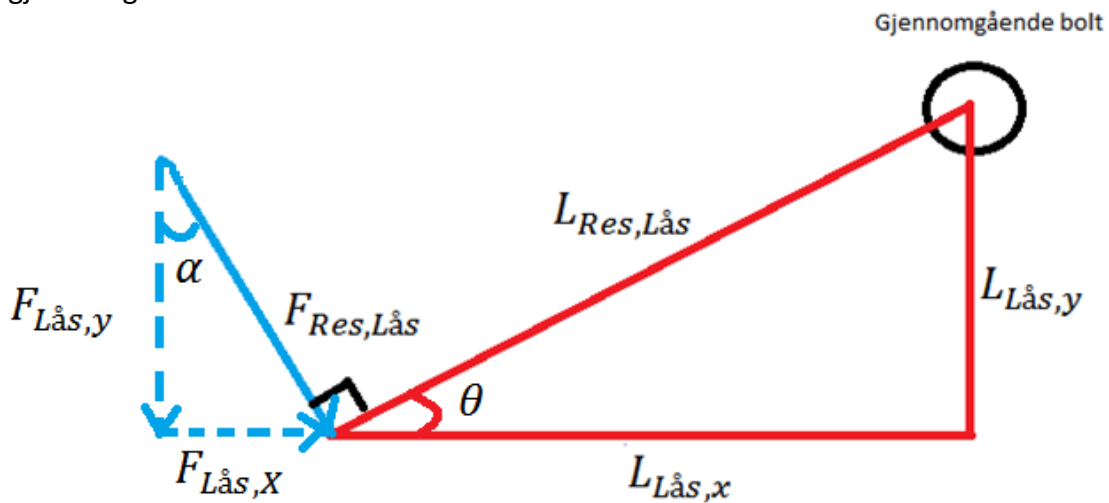
$$\vec{F}_{Res,Lås} = \frac{190Nm + 56Nm + 893Nm - 2270Nm - 224Nm - 418Nm - 190Nm}{0,62Nm}$$

Resultantkraften som virker på låsemekanismen blir:

$$\vec{F}_{Res,Lås} \approx -3170N$$

Svaret tilsier at kraften går omvendt i forhold til hvordan den er illustrert på figuren over.

Videre dekomponeres resultantkraften til X- og Y- komponenter for å kunne sette opp likevektsligninger for X- og Y- krefter. Slik kan man bestemme kreftene som virker på den gjennomgående bolt.



Ut ifra figuren over ser man at vinkelen  $\alpha = \theta$ , på grunn av at:

$\vec{F}_{Res,Lås}$  og  $L_{Res,Lås}$  Vektorene står vinkelrett på hverandre.

$\vec{F}_{Lås,y}$  og  $L_{Lås,x}$  Vektorene står vinkelrett på hverandre.

Vet følgende:

$L_{Lås,x} = 0,6m$	$L_{Lås,y} = 0,17m$
--------------------	---------------------

Finner vinkel  $\theta$ :

$$\theta = \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{L_{Lås,y}}{L_{Lås,x}} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0,17m}{0,6m} \right) \approx 16^\circ$$

Beregn låsekraftkomponentene:

$$\vec{F}_{L\ddot{a}s,X} = \vec{F}_{Res,L\ddot{a}s} \cdot \sin(\alpha) = 3170N \cdot \sin(16^\circ) \approx 875N$$

$$\vec{F}_{L\ddot{a}s,Y} = \vec{F}_{Res,L\ddot{a}s} \cdot \cos(\alpha) = 3170N \cdot \cos(16^\circ) \approx 3047N$$

Kraftbalansen i X- og Y-retning:

X- retning:

$$\sum \vec{F}_x = 0 \rightarrow \vec{F}_{Bolt,X} + \vec{F}_{L\ddot{a}s,X} + \vec{F}_{4x} + \vec{F}_{2x} - \vec{F}_{3x} = 0$$

$$\vec{F}_{Bolt,X} = \vec{F}_{3x} - \vec{F}_{L\ddot{a}s,X} - \vec{F}_{2x} - \vec{F}_{4x} = 2360N - 875N - 1860N - 360N = -735N$$

Beregningen viser at den går i omvendt retning av positiv X retning i koordinatsystemet til figuren på side XI og XII.

Y- retning

$$\sum \vec{F}_y = 0 \rightarrow \vec{F}_{Bolt,Y} + \vec{F}_{Stempel} + \vec{F}_{2y} + \vec{F}_{3y} - \vec{F}_{L\ddot{a}s,Y} - \vec{F}_{4y} = 0$$

$$\vec{F}_{Bolt,Y} = \vec{F}_{L\ddot{a}s,Y} + \vec{F}_{4y} - \vec{F}_{stempel} - \vec{F}_{2y} - \vec{F}_{3y}$$

$$\vec{F}_{Bolt,Y} = 3047N + 2480N - 20600N - 1670N - 820N \approx -17600N$$

Beregningen viser at den går i omvendt retning av positiv Y retning i koordinatsystemet laget på figuren på side XI og XII.

Finner resultantkraften på den gjennomgående bolten:

$$\vec{F}_{Res,Bolt} = \sqrt{735^2 + 17600^2}N \approx 17615N$$





### Hydraulisk motor til børster

Børstene blir drevet av hydrauliske motorer. Lateral oppgir kun teknisk data til potensielle kunder, og slangedimensjoner ble derfor ikke spesifisert med dokumenter. Ut fra tegninger med noen kjente mål, ble det oppmålt at diameter på slanger var ca 30mm. Data fra "FlexiClean" viser at maksimal volumstrøm som kan tilføres børstene er 60 L/min.

Tilgjengelig volumstrøm fra ROV ble oppgitt av Åge Holsbrekken, Kystdesign AS, utdrag fra mail under:

*«Ang. Hydraulisk interface: Her er det 4 ventiler á 75 l/min... dvs du kan koble til 4 ulike hydrauliske funksjoner men kun en kan kjøre full effekt om gangen».*{18}

Det blir påført en volumstrøm pr. børste på:

$$\dot{Q} = \frac{75 \text{ l/min}}{4} = 18,75 \text{ l/min}$$

Arbeidstrykket til verktøyets hydrauliske komponenter er begrenset til 220 Bar, som er det maksimale arbeidstrykket ROV kan levere.

Det er tatt utgangspunkt i hydrauliske slanger av typen:

- *Hydraulikk slange 5528,2 lag eternity/2SC* fra TESS, etter gitte spesifikasjoner over (diameter og arb.trykk). {19}

$D = 35,9 \text{ mm}$	$d = 25 \text{ mm}$
-----------------------	---------------------

Finner volumstrømmen i kubikkmeter pr. sekund:

$$\dot{Q} = 18,75 \text{ l/min} = \frac{18,75 \cdot 10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{s} \approx 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

{18} Åge Holsbrekken kystdesign AS

{19} <http://www.industrinett.no/wsp/tess/frontend.cgi?template=node&nodeid=24250>



Finner indre tverrsnittsareal av slangen:

$$\underline{A_{slange} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} m^2 \approx 4,91 \cdot 10^{-4} m^2}$$

Finner strømningshastigheten:

$$\underline{\vec{v} = \frac{\dot{Q}}{A_{slange}} = \left( \frac{3,13 \cdot 10^{-4}}{4,91 \cdot 10^{-4}} \right) m/s \approx 0,64 m/s}$$

Kartlegger hvilken strømningsstype man har i røret. Tar utgangspunkt i følgende hydraulisk væske{20}

Oceanic HW510 gir følgende parametere:

$SG_{15,6^\circ C} = 1,02$	$\gamma_{40^\circ C} = 1 \text{ cSt}$
----------------------------	---------------------------------------

Finner tettheten til Oceanic HW510 med formel for «Specific Gravity»

$$SG = \frac{\rho_{Hydraulikkvæske}}{\rho_{H_2O, 4^\circ C}}$$

$$\rho_{Hydraulikkvæske} = SG \cdot \rho_{H_2O, 4^\circ C}$$

$$\underline{\rho_{Hydraulikkvæske} = 1,02 \cdot 1000 kg/m^3 = 1020 kg/m^3}$$

Kinematisk viskositet omregnes fra cSt til SI enheter:

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} m^2/s$$

Kinematisk viskositet i SI enheter blir:

$$\underline{\gamma_{SI} = 10^{-6} m^2/s}$$

{20} [http://offshore.macdermid.com/documents/resources/BRIT-MacDermid\\_Oceanic\\_HW500\\_Series\\_issue\\_10\\_A4.pdf](http://offshore.macdermid.com/documents/resources/BRIT-MacDermid_Oceanic_HW500_Series_issue_10_A4.pdf)



Finner Reynoldstallet for å kartlegge hvilken strømningsstype som er tilstede:

$$Re = \frac{\vec{v} \cdot d}{\gamma} = \frac{0,64m/s \cdot 0,025m}{10^{-6}m^2/s} \approx 16000 \gg 2300 \rightarrow \text{Turbulent strømnings}$$

Friksjonsfaktoren blir da:

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0,25}} = \frac{0.316}{(16000)^{0,25}} \approx 0,028$$

Finner trykktapet over en rørlengde på 12 meter:

$$\Delta p_{tap} = \lambda \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \cdot \rho \cdot \frac{v_m^2}{2}$$
$$\Delta p_{tap} = \left(0,028 \cdot \frac{12m}{0,025m} \cdot 1020kg/m^3 \cdot \frac{0,64^2m^2/s^2}{2}\right) \approx 2910N/m^2 \approx 0,03bar$$

Ser dermed bort fra trykktapet i slangene.

Fortrengningsvolumet til motoren er oppgitt fra leverandør til å være  $0,95in^3$ :  
Omregner til kubikkmeter{21}

$$V_{M(m^3/rad)} = \frac{V_{M(in^3)}}{61024} = \frac{0,95}{61024} m^3/rad \approx 1,56 \cdot 10^{-5}m^3/rad$$

Volumetrisk virkningsgrad trengs for å finne vinkelhastigheten til motoren. Det blir antatt at den volumetriske virkningsgraden er lik 0,9, grunnet manglende data fra leverandør.

Dette gir da en vinkelhastighet lik:

$$\omega_M = \frac{\dot{Q}_M \cdot \eta_{MV}}{V_M} = \frac{3,13 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9}{1,56 \cdot 10^{-5}} rad/s \approx 18 rad/s$$

{21} <http://www.metric-conversions.org/volume/cubic-inches-to-cubic-meters.htm>



Vinkelhastighet gir at børstene vil rotere i RPM («Rotation per minute»):

$$\omega_{M_{RPM}} = \frac{\omega_M \cdot 60}{2\pi} = \frac{18 \cdot 60}{2\pi} \text{ RPM} \approx 172 \text{ RPM}$$

Effektforbruket pr. motor:

$$p_{ROV} = 220 \text{ bar} = 220 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Siden trykktapet i slangene er svært lavt, kan man ta utgangspunkt i at trykket er uendret fra ROV, slik at effekten blir:

$$P = p_{ROV} \cdot \dot{Q}_M = 220 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 6886 \text{ W} \approx 7 \text{ kW}$$

Det er noe usikkert om rotasjonshastigheten er høy nok til å slå av begroingen effektivt. Dette er noe som må undersøkes nærmere ved evt. eksperimentering med forskjellige rotasjonshastigheter på børsten.

## Låseplate

Låseplaten på Rammedel 2 skal sveises fast (se Vedlegg C: 2D tegninger, Figur 2)

Det tas utgangspunkt i at 1 av låseplatene skal kunne ta opp all kraft som oppstår.

Platen er 5 mm tykk

A-mål kan ikke være mindre enn 3 mm men heller ikke større enn 70% av den minste platens tykkelse.

$$\frac{3\text{mm}}{5\text{mm}} \cdot 100\% = 60\%$$

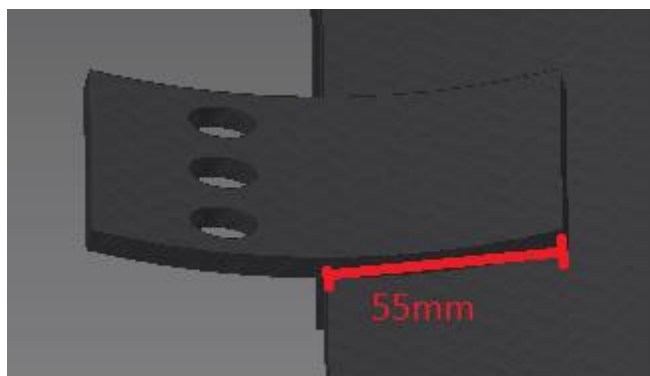
Det blir valgt et a-mål på 3 mm utifra disse betraktningene. (se tabell nederst på siden)

Platene blir sammenføyd med en kilsveis som går parallelt med kraften på begge sider av låseplaten som vist på figuren under

Dette gir jevnføringspenning (Se formel 26 formelark):

$$\sigma_{jfr} = \sqrt{3} \cdot \frac{F}{a \cdot L}$$

Det antas at endekrater oppstår.



$a = 3\text{mm}$	$l = 55\text{mm}$
$F = 2500\text{N}$	$L = 2 \cdot (l - 2 \cdot a)$

$$\sigma_{jfr} = \sqrt{3} \cdot \frac{F}{a \cdot 2 \cdot (l - 2a)} = \sqrt{3} \cdot \frac{2500\text{N}}{3 \cdot 2 \cdot (55 - 2 \cdot 3)\text{mm}^2} \approx 15\text{N/mm}^2$$

Videre sammenlignes dette mot tillatt spenning i materialet hvor man har brukt materialet EN-AW 5052

$R_e = 130 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{sf} = 5$
----------------------------	-------------------

$$\sigma_{tillatt} \geq 1,2 \cdot \sigma_{Jfr}$$

$$\frac{R_e}{\gamma_{sf}} \geq 1,2 \cdot 15 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{130 \text{ N/mm}^2}{5} \geq 18 \text{ N/mm}^2$$

Her får man at

$$\underline{26 \text{ N/mm}^2 > 18 \text{ N/mm}^2}$$

Sveisen er innenfor sikkerhetsmarginen.



## Løfteører

Beregninger for evt. løfteører

Verktøyet har en følgende vekt i luft:

$$F_{tot} = F_{Ramme} + F_{Lateral} + F_{Minitrack} + F_{flyteelement}$$

Først finner man vekten av rammen i luft:

$$V_{ramme} \approx 0,011m^3 \text{ (Se kapittel 5.10)} \quad \rho_{al} = 2,7 \cdot 10^3 kg/m^3$$

$$\underline{F_{Ramme} = \rho_{al} \cdot V_{Ramme} \cdot g = 2,7 \cdot 10^3 kg/m^3 \cdot 0,011m^3 \cdot 10m/s^2 \approx 300N}$$

Vekt av Lateral FlexiClean:

$$m_{Lateral} = 15kg$$

$$\underline{F_{Lateral} = 4stk \cdot m_{Lateral} \cdot g = 4stk \cdot 15kg \cdot 10m/s^2 = 600N}$$

Vekt av Minitracksene:

$$m_{Minitrack} = 6kg$$

$$\underline{F_{minitrack} = 3stk \cdot m_{Minitrack} \cdot g = 3stk \cdot 6kg \cdot 10m/s^2 = 180N}$$

Vekt av oppdriftselement når en vet følgende:

$$V_{flyteelement} = 0,08m^3 \text{ (Se kapittel 5.10)} \quad \rho_{flyteelement} = 0,1 \cdot 10^3 kg/m^3$$

$$F_{flyteelement} = \rho_{flyteelement} \cdot V_{flyteelement} \cdot g = 0,08m^3 \cdot 0,1 \cdot 10^3 kg/m^3 \cdot 10m/s^2$$

$$\underline{F_{flyteelement} = 80N}$$

Dette gir følgende vekt i luft:

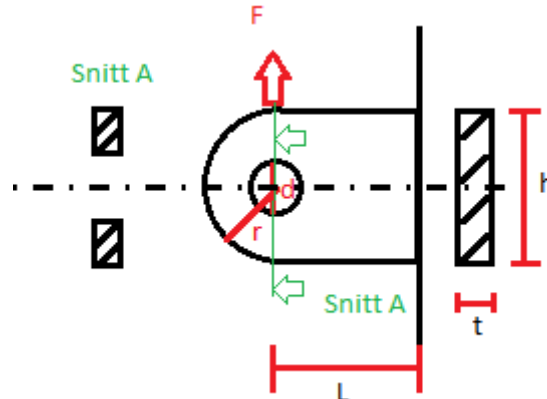
$$F_{tot} = F_{Ramme} + F_{Lateral} + F_{Minitrack} + F_{flyteelement}$$

$$\underline{F_{tot} = (300 + 600 + 180 + 80)N = 1160N}$$

Om det er ønskelig å montere løfteører er dette tatt hensyn til i designet. Dette kan være ønskelig med tanke på at det vil danne enklere og sikrere løft.

Det er kalkulert at 4stk løfteører kan plasseres normalt på den øvre ytterringen på rammen. Det tas utgangspunkt i at 1 løfteøre kan bære konstruksjonens vekt i luft.

Ser på spenning i det svakeste punktet vist på figuren under:



$F = F_{tot} = 1160N$	$t = 5mm$
$h = 100mm$	$d = 50mm$
$r = 50mm$	$L = 70mm$

Hvert løfteøre er en plate med tverrsnitts-mål:  $5 \times 100mm$

Diameteren til hullet er  $50mm$  for å sørge for godt med plass for evt. løftekroker/stropper.

Det vil oppstå skjærspenninger og moment som vil være størst hvor løfteøret er festet til rammen

$$\tau = \frac{F}{A} + \frac{M}{W}$$

Finner arealet i det svakeste punktet (snitt A):

$$A = 2 \cdot \left( r - \frac{d}{2} \right) \cdot t = 2 \cdot \left( 50 - \frac{50}{2} \right) \cdot 5mm^2 = 250mm^2$$

Finner momentet:

$$M = F \cdot L = 1160N \cdot 70mm = 81200Nmm$$

Så motstandsmomentet til et rektangulært tverrsnitt:

$$W = \frac{t \cdot h^2}{6} = \frac{5 \cdot 100^2}{6} mm^3 = \frac{25000}{3} mm^3$$





Finner så maks skjærspenningene i materialet:

$$\tau = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} = \frac{1160N}{250mm^2} + \frac{81200Nmm}{\left(\frac{25000}{3}\right)mm^3} \approx 14,4N/mm^2$$

Som gir at jevnføringsspenningen blir:

$$\sigma_{Jfr} = \sqrt{3} \cdot \tau = \sqrt{3} \cdot 14,4N/mm^2 \approx 25N/mm^2$$

Videre sammenlignes dette mot tillatt spenning i materialet hvor man har brukt materialet EN-AW 5052

$R_e = 130 N/mm^2$	$\gamma_{sf} = 5$
--------------------	-------------------

$$\sigma_{tillatt} \geq \sigma_{Jfr}$$

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{\gamma_{sf}} = \frac{130N/mm^2}{5} = 26 N/mm^2$$

$$\underline{26N/mm^2 > 25N/mm^2}$$

Spenningene i platen er akkurat innenfor sikkerhetsmarginene.

Løfteørene skal sveises til rammen med 2 kilsveiser loddrett nedover.

Siden platen er 5 mm tykk velgs a-mål på 3 mm (se begrunnelse på sveis av låseplate){22}

Her antas det også endekrater

$F = 1160N$	$a = 3mm$
$h = 100mm$	$L = (h - 2 \cdot a)$

Skjærspenning som oppstår langs av sveisen

$$\sigma_{Jfr} = \sqrt{3} \cdot \tau_{ll} = \sqrt{3} \cdot \frac{F}{2 \cdot a \cdot L}$$
$$\sigma_{Jfr} = \sqrt{3} \cdot \frac{1160N}{2 \cdot 3 \cdot (100 - 2 \cdot 3)mm^2} \approx 3,6N/mm^2$$

{22} A-mål kan minst være 3mm og maksimalt være 70% av den minste platens tykkelse, samt må minst være 7 ganger a mål i lengde



Videre har man at sveisen ikke skal være det svakeste ledd i konstruksjonen  
Spenningsene i sveisen sammenlignes opp mot spenningsene i materialet.

$$\sigma_{jfr(material)} \geq \sigma_{jfr(sveis)}$$

$$\underline{25N/mm^2 > 3,6N/mm^2}$$

Materialet vil dermed gi etter før sveisen.

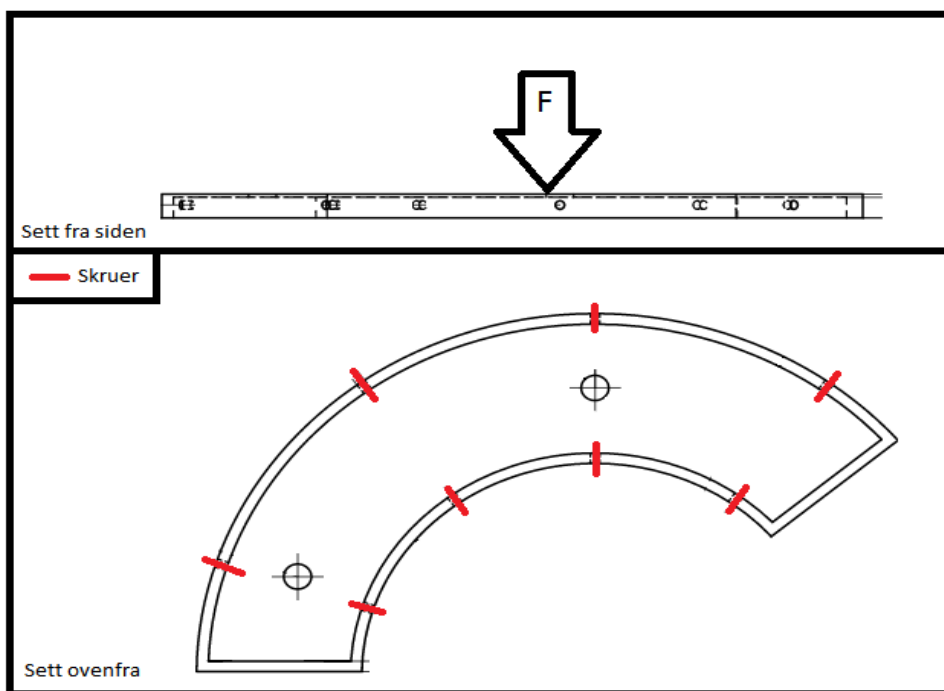
## Skruer

Lokkene på rammen er festet med M8 skruer.

Det ble bestemt at man skulle bruke lokk på toppen av konstruksjonen, da dette fører til en sikkerhet for komponenter mot smuss, samt er det lett å komme til dersom man skal skifte/fikse komponentene. Det er beregnet at skruene som holder platene fast til rammen skal tåle rammens egenvekt i luft.

Man tar utgangspunkt i ramme 1 siden det er færrest skruer der (8 stk.).

Figuren tar for seg hvordan kraften vil virke på lokket, og hvor skruene befinner seg.



$$F = 1160N$$

$$d = 8mm$$

Finner først arealet av 1 skrue:

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{8^2}{4} mm^2 \approx 50mm^2$$

Skjærspenningene fordelt på de 8 skruene blir da:

$$\tau = \frac{F}{8 \cdot A} = \frac{1160N}{8 \cdot 50mm^2} = 2,9 N/mm^2$$

Videre finner man jevnføringspenningen.

$$\sigma_{Jfr} = \sqrt{3} \cdot \tau = \sqrt{3} \cdot 2,9 \approx 5N/mm^2$$

Siden spenningene her blir så lave, er det fritt valg for hvilken fasthetsklasse som skal brukes på skruene.



## Formelark

- (1) Vekt i vann (Undervannsteknologi del 5 Vedlegg C s.3)

$$W = m \cdot g - \rho \cdot V \cdot g$$

- (2) Tillatt spenning (Mekanisk konstruksjon og teknisk design s.111)

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{\gamma_{sf}}$$

- (3) Tverrsnitts areal sirkel

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

- (4) Skjærspenning

$$\tau = \frac{F}{A}$$

- (5) Jevnføringsspenning mhp. bare skjærkrefter

$$\sigma_{jf} = \sqrt{3} \cdot \tau$$

- (6) Lineær interpolasjon

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$$

- (7) Added mass (Undervannsteknologi del 5 Vedlegg C s.6)

$$m_a = \rho \cdot k \cdot \pi \cdot \frac{A'^2}{4} \cdot B'$$

- (8) Kraft

$$F = m \cdot a$$

- (9) Tverrsnittsareal ring

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

- (10) Dragkraft (Undervannsteknologi del 5 Vedlegg C s.5)

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_D \cdot A_p \cdot \vec{v}^2$$

- (11) Maks bølgehøyde

$$h_{maks} = \vec{v} \cdot t_{gj}$$



- (12) Fjærstivhet

$$F_f = R \cdot x$$

- (13) Kraft med hensyn på trykk

$$F = p \cdot A$$

- (14) Første og andre akse kraftkomponenter

$$F_x = F_R \cdot \cos(\alpha), F_y = F_R \cdot \sin(\alpha)$$

- (15) Moment

$$M = F \cdot L$$

- (16) Resultant

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}$$

- (17) Momentlikning

$$\sum M_z = 0$$

- (18) Kraftlikning første og andre akse

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$$

- (19) Kontinuitetslikning med hensyn på hastighet (Innføring oljehydraulikk s.54)

$$\vec{v} = \frac{\dot{Q}}{A}$$

- (20) Specific gravity.

$$SG = \frac{\rho_{v\ddot{a}ske}}{\rho_{H_2O, 4^\circ C}}$$

- (21) Reynoldstall (Innføring oljehydraulikk s.60)

$$Re = \frac{\vec{v} \cdot d}{\gamma}$$

- (22) Friksjonskoeffisient turbulent strømning (Innføring oljehydraulikk s.63)

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

- (23) Trykktap i rett rør/slange (Innføring oljehydraulikk s.62)

$$\Delta p_{tap} = \lambda \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \cdot \rho \cdot \frac{v_m^2}{2}$$

- (24) Volumetrisk virkningsgrad med hensyn på (Innføring oljehydraulikk s.94)

$$\omega_M = \frac{\dot{Q}_M \cdot \eta_{MV}}{V_M}$$

- (25) Hydraulisk effekt (Innføring oljehydraulikk s.60)

$$P^* = p \cdot \dot{Q}_M$$

- (26) Jevnføringsspenning kilsveis belastet i lengderetning (Mekanisk konstruksjon og teknisk design s116)

$$\sigma_{Jfr} = \sqrt{3} \cdot \frac{F}{a \cdot L}$$

- (27) Sammenligning tillattspenning jevnføringsspenning i sveis:

$$\sigma_{till} \geq 1,2 \cdot \sigma_{Jf}$$

- (28) Vekt i luft

$$F = m \cdot g, F = \rho \cdot V \cdot g$$

- (29) Skjærspenning med moment

$$\tau = \frac{F}{A} + \frac{M}{W}$$

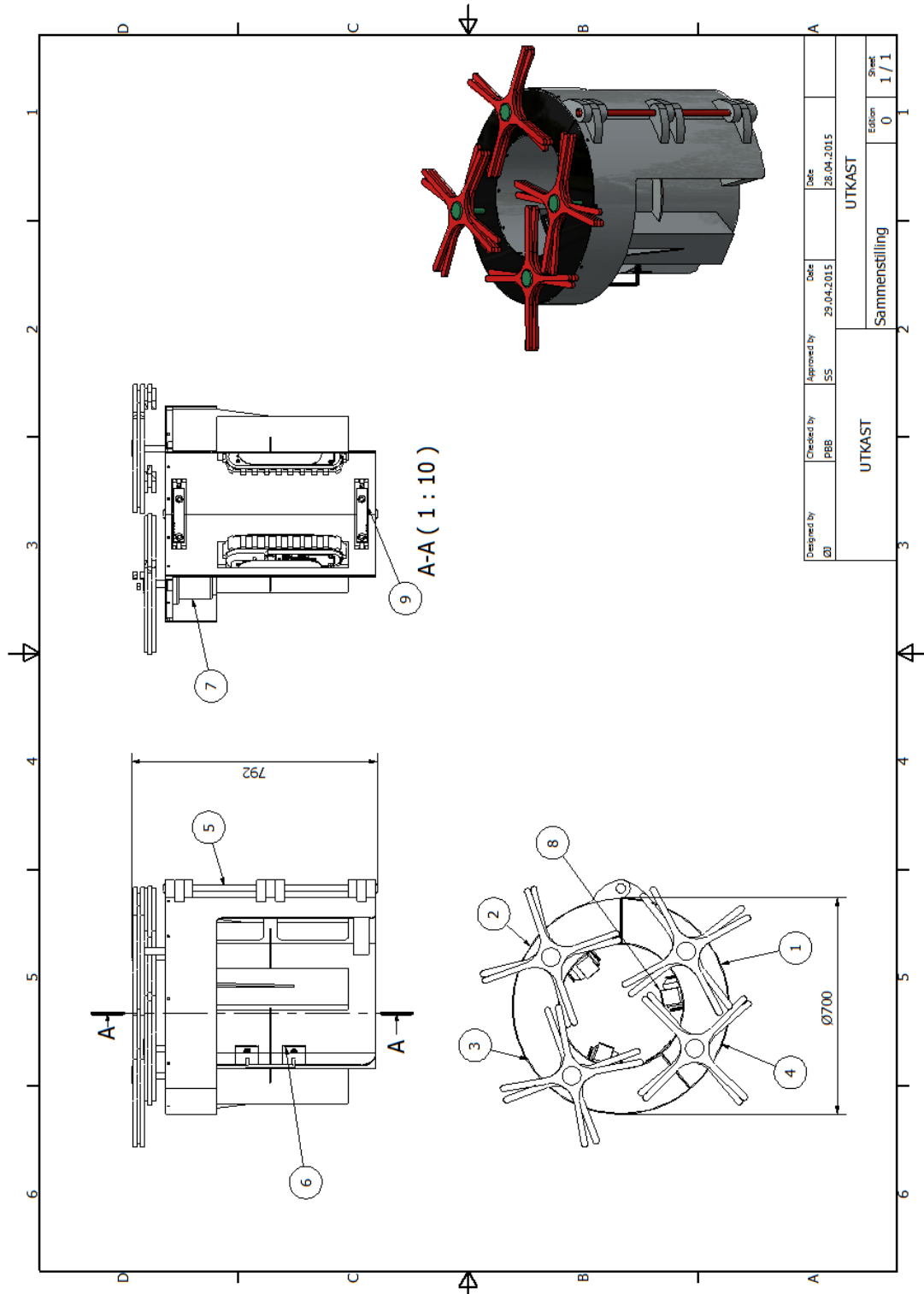


## Vedlegg B: Stykkliste

Delnummer	Antall	Komponent	Tegningsnummer	Pos. nr
1	1	Rammedel 1	Figur 1	1
2	1	Rammedel 2	Figur 2	2
3	1	Gjennomgående bolt	Figur 5	5
4	2	Åpne-/lukkesylinder	Ikke 2D tegning	9
5	3	Minitracks	Ikke 2D tegning	8
6	4	Hydrauliske motorer	Ikke 2D tegning	7
7	4	Lateral børstehode	Ikke 2D tegning	
8	1	Rammedel 1 lokk	Figur 3	4
9	1	Rammedel 2 lokk	Figur 4	3
10	1	Låsearm	Figur 6	6
11	2	Fjærer til låsearm	Ikke 2D tegning	
12	20	M8x25	Ikke 2D tegning	
13	20	M8 låsemutter	Ikke 2D tegning	

## Vedlegg C: 2D tegninger

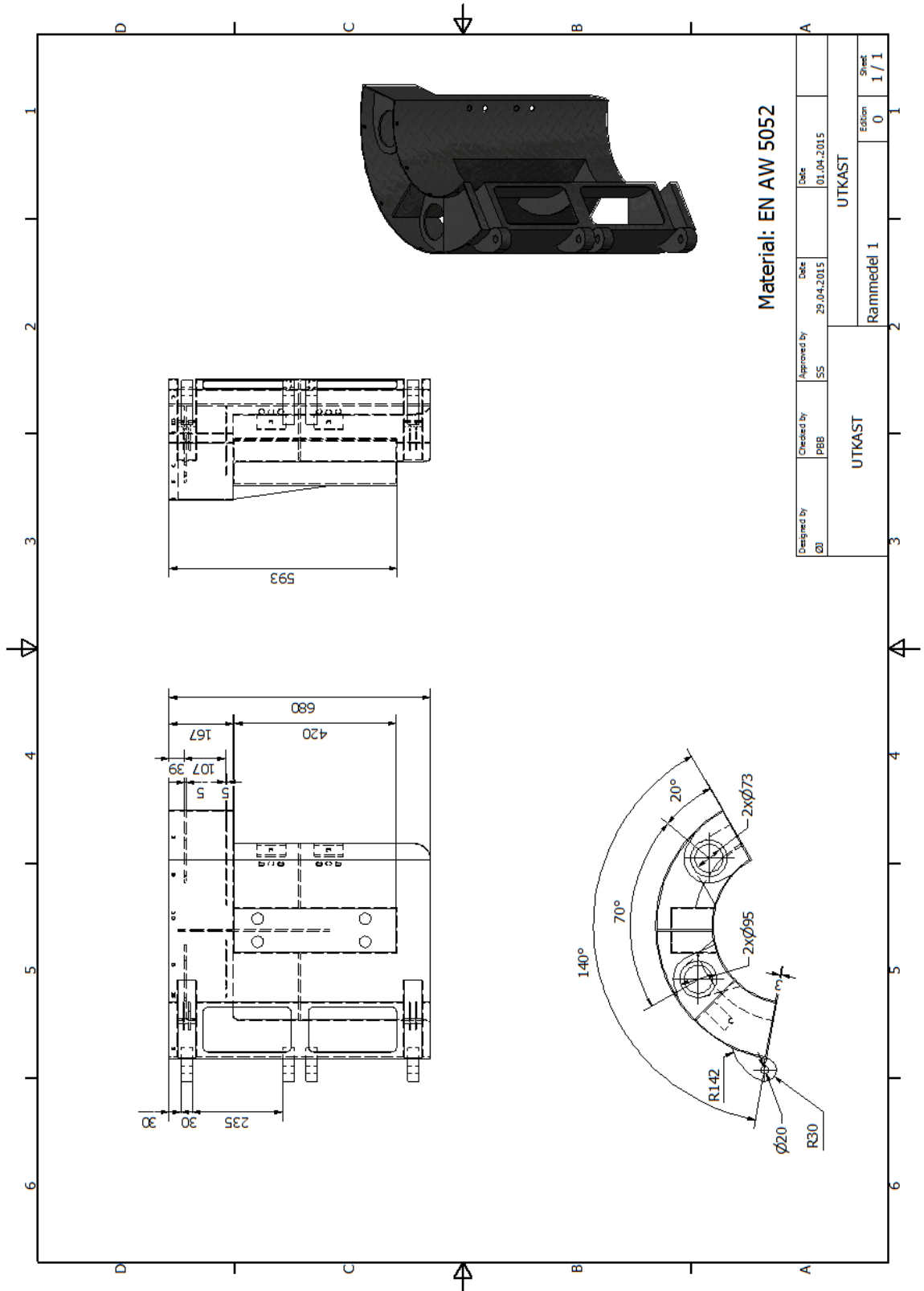
Figur 1: Sammenstillingstegning





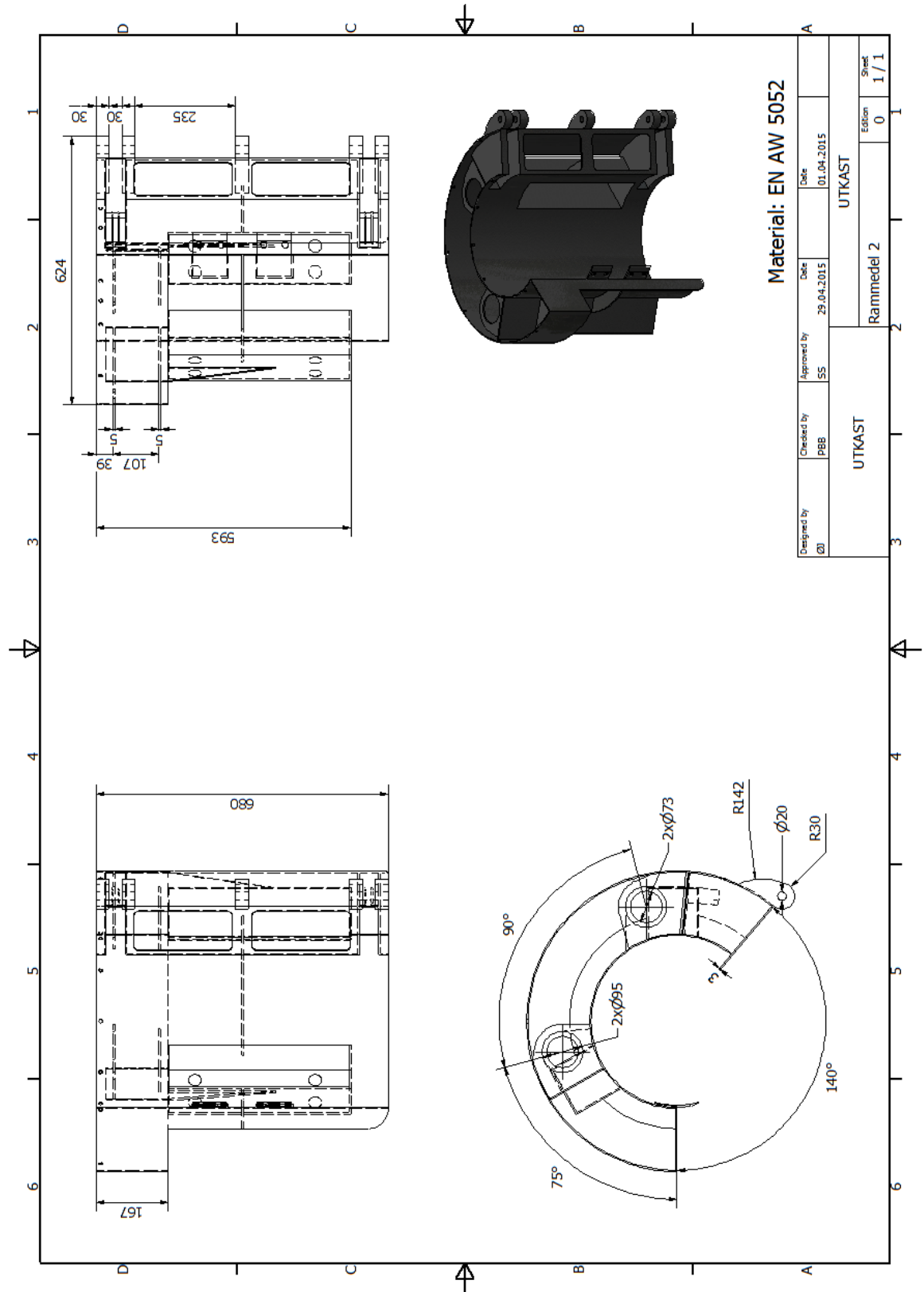


Figur 2: Rammedel 1



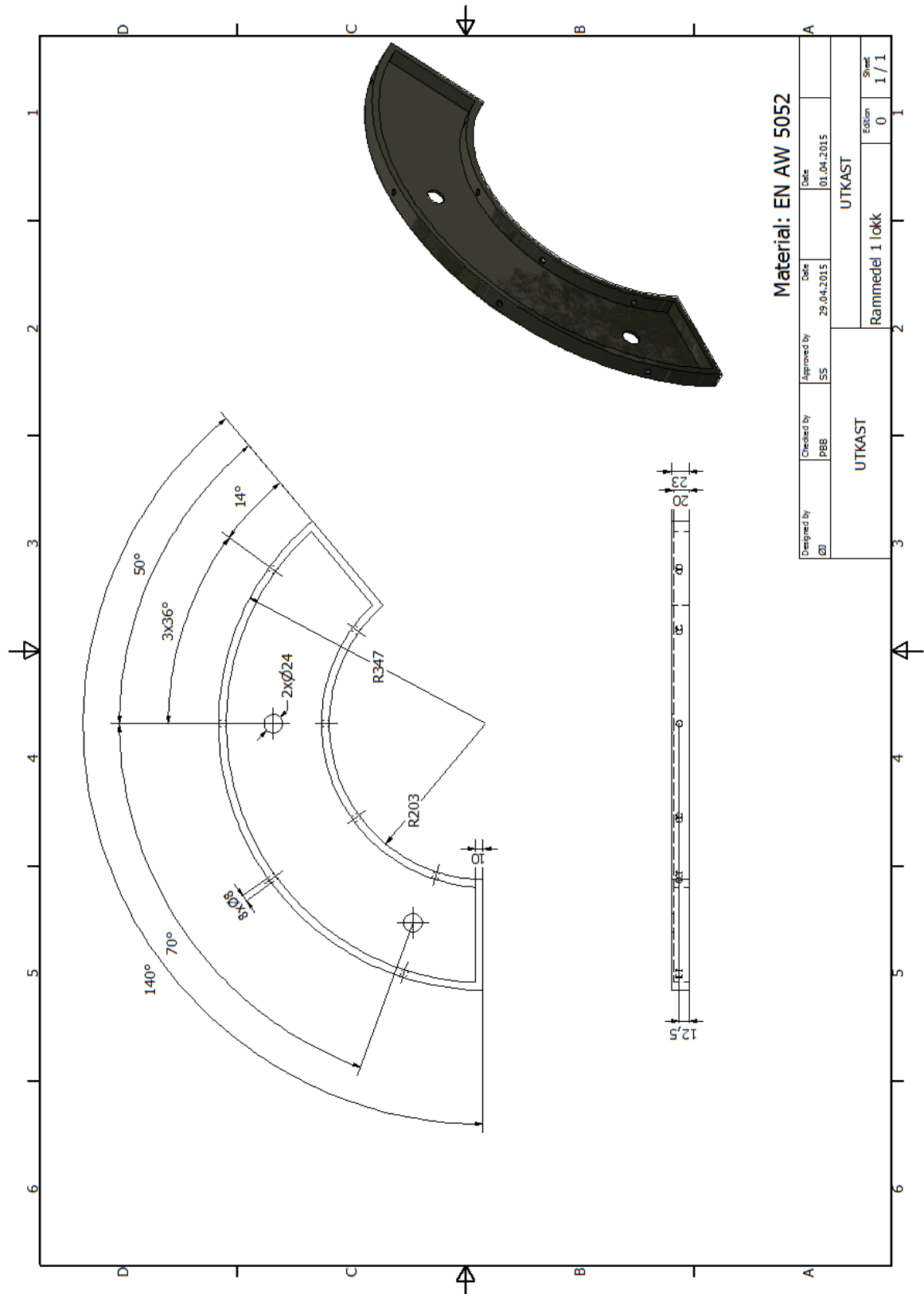


Figur 3: Rammedel 2



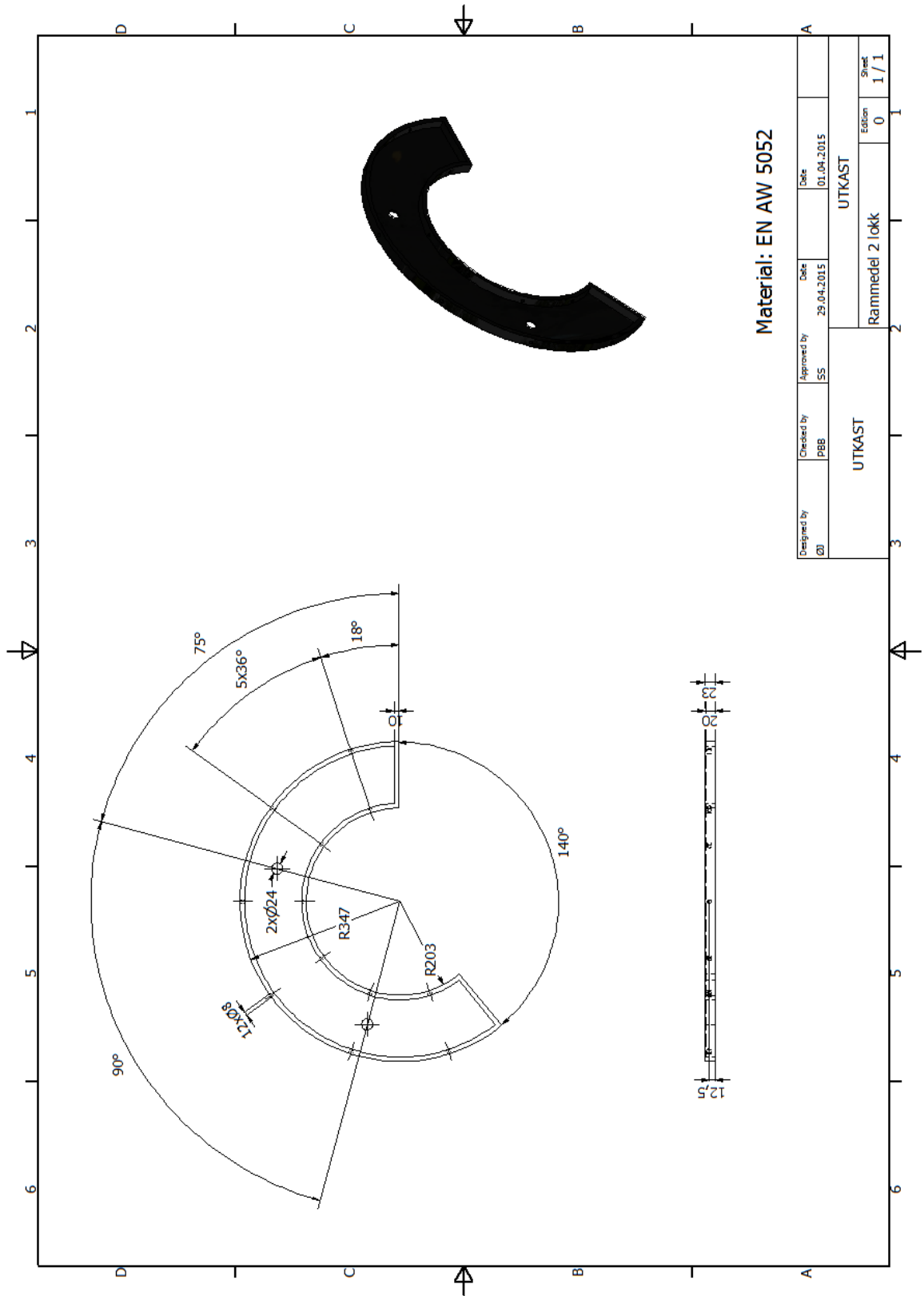


Figur 4: Rammedel 1 lokk

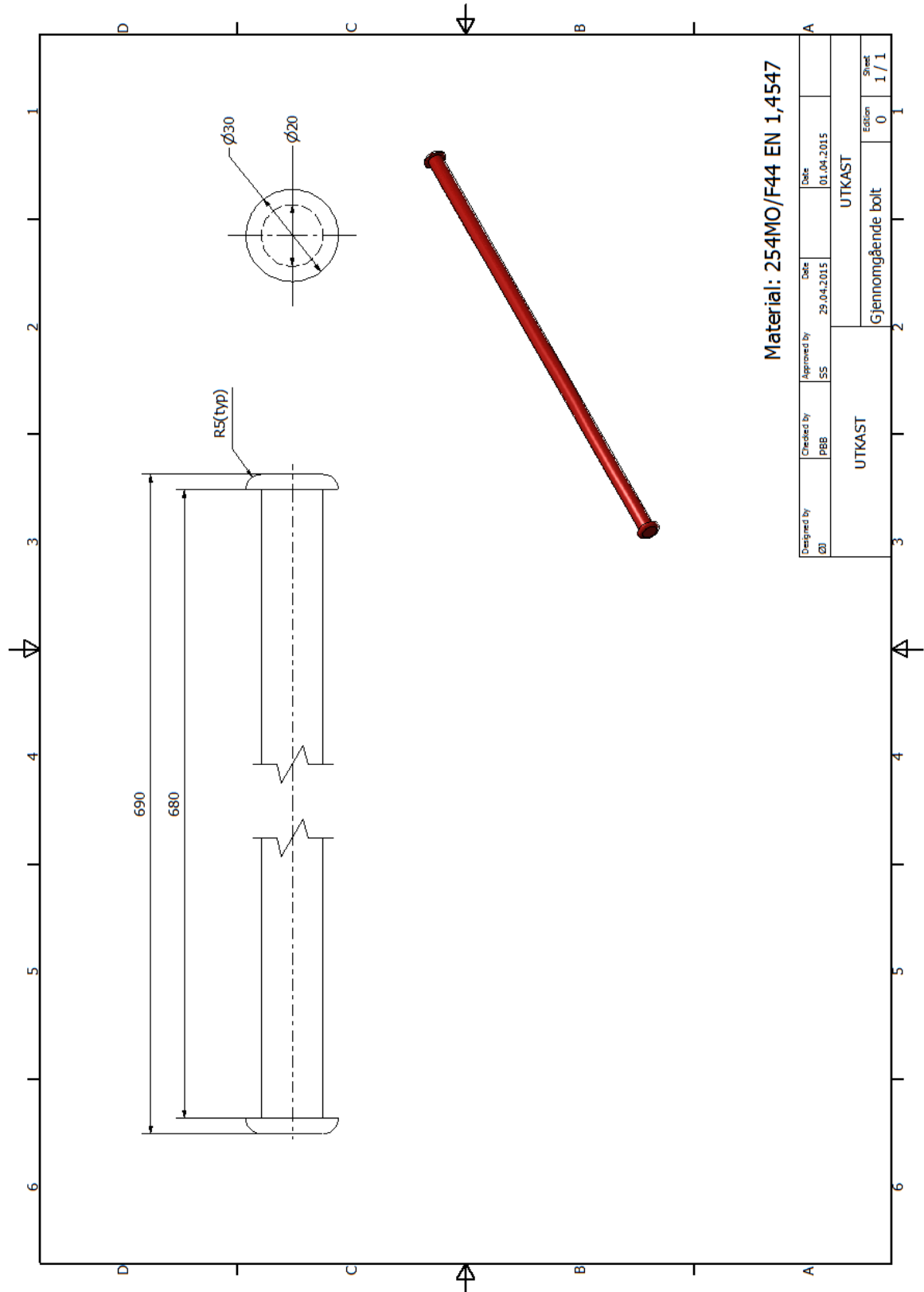




Figur 5: Rammedel 2 lokk



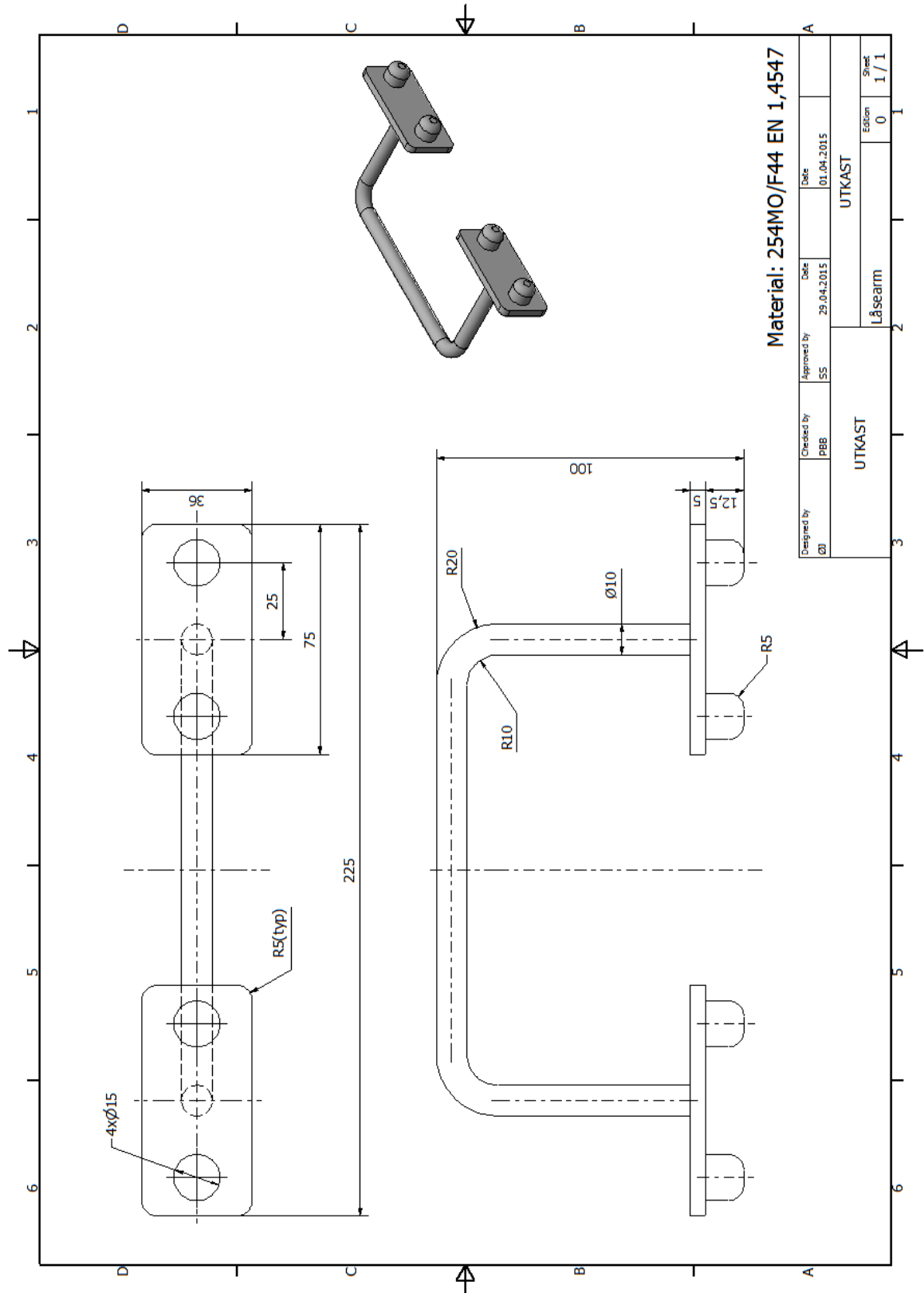
Figur 6: Gjennomgående stag



Material: 254MO/F44 EN 1,4547

Designed by ØD	Checked by PBB	Approved by SS	Date 29.04.2015	Date 01.04.2015	UTKAST	
UTKAST				Gjennomgående bolt		Edison 0
						Sheet 1 / 1

Figur 7: Låsearm





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

## Vedlegg D: E-poster

### Mail angående pris for Lateral børster:

Hei Øyvind

Komplett Kit koster 90000 kroner, da følger også et sett med børster med .  
Reserve børster koster 19000 kroner pr stk.  
Regner med de allerede har fått datablad på utstyret.

Best regards

**Håkon Ytreland**

Inspection Engineer (onshore)

## DEEPOCEAN

### Mail angående pris for MiniTracks

14. april 2015 10:35

Hei Sigurd,

Etter diskusjoner i går med fabrikken, så har vi kommet frem til en budsjettpris på 150.000 eks mva per belteenhet.

Disse er trykkompenserte aluminiums belter, 3000 meter dybderating, med microcontrollere for PC-styring.

Med Vennlig Hilsen / Best regards,

**Bård Arve Valstad**

Produktleder inspeksjon/subsea

Siv. Ing. / M. Sc.

PSO AS

Oddahagen 36

4031 Stavanger

Norway

Mail: [valstad@pso.no](mailto:valstad@pso.no)

Telephone: +47 51 73 11 00

Mobile: +47 99 43 06 08

[www.pso.no](http://www.pso.no)



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

DEEPOCEAN

**Mail angående pris på oppdriftselementer**

Mailsamtale videresendt av Anders Sandvik angående pris på oppdriftselementer

**From:** Vidar Aasgård [<mailto:vidar@mundal.no>]

**Sent:** 14. oktober 2014 09:19

**To:** Magnus Aarbakke

**Cc:** Øyvind Vikse; Anders Sandvik; Morten Nesheim

**Subject:** SV: Oppdrifts plater

Hei Magnus,

H100 er det materialet som jeg vil anbefale deg til å bruke her.

Det har en egenvekt på 100kg/m<sup>3</sup>

Det kan ligge på 60MSW i inntil 6 måneder og på 55MSW i inntil 5 år.

Vi har dette liggende på lager.

Pris pr m<sup>2</sup> Nok. 889,- eks mva

Prisen er exw Radøyvegen 387.

Ut fra oppsettet ditt vil du trenge ca 10 plater. Plateformatet er 2160mm x 1070mm x 50mm

Vi har ikke vannskjæring men pleier konfeksjonere dette i 5 aksa fresen vår. Dette kan vi utføre for dere om der er ledig kapasitet. Pr nå er den fullbooket en god stund frem over, men jeg kjenner ikke til når dere eventuelt ønsker dette utført.

Hører fra deg.

Best Regards

Vidar V. Aasgård

Sales/Project Manager

Tlf dir: +47 95 20 82 92

[www.mundal.no](http://www.mundal.no)





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

## Mail angående priser på materiale for bygging av verktøy

Hei Sigurd

2 pl Al pl 5052/5754-H32 3x1000x2000mm kr. 975,-/pl  
1 lgd Høyleg bolt 20mm 254SMO/6MO kr. 3.705,-/lgd

Sertifikat kr. 110,-/ordre

Prisene er oppgitt netto eks. mva.

Emballasje og frakt kommer i tillegg på hver forsendelse.

Lagervare i Oslo. Forbehold om mellom salg.

Levering forutsetter at ditt firma har kundekonto hos oss.

Ta gjerne kontakt om noe er uklart.



Med vennlig hilsen  
ASTRUP AS  
**Bente Lura**  
*Markedskonsulent*



---

Mobil: [+47 93 20 61 27](tel:+4793206127) - Sentralbord: [+47 22 79 15 00](tel:+4722791500) - E-post: [bente.lura@astrup.no](mailto:bente.lura@astrup.no) -  
[www.astrup.no](http://www.astrup.no)

Haavard Martinsensvei 34, N-0978 Oslo - Postboks 8 Haugenstua, N-0915 Oslo

---

FREMTIDENS INDUSTRIPARTNER



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

## Mail angående priser for hydrauliske sylindere

### Malm Orstad as

**Kunde**  
DeepOcean AS  
Karmsundgaten 74,  
Postboks 2144  
5504 HAUGESUND  
NORGE

### TILBUD

<b>Dato:</b>	<b>Kundenr.:</b>	<b>Q1517027</b>	<b>Side:</b>
23.04.2015	11589		1 ε
Deres ref.		Øyvind Askland	
Deres ordre nr.			
Vår ref.		Leif Orstad	
Leveringstid		6-8 uker	
Gyldig til dato		23.05.2015	
Prosjekt		39277	
Leveringsbet.		EXW Voll	
Betalingsbet.		Netto pr 30 dager	

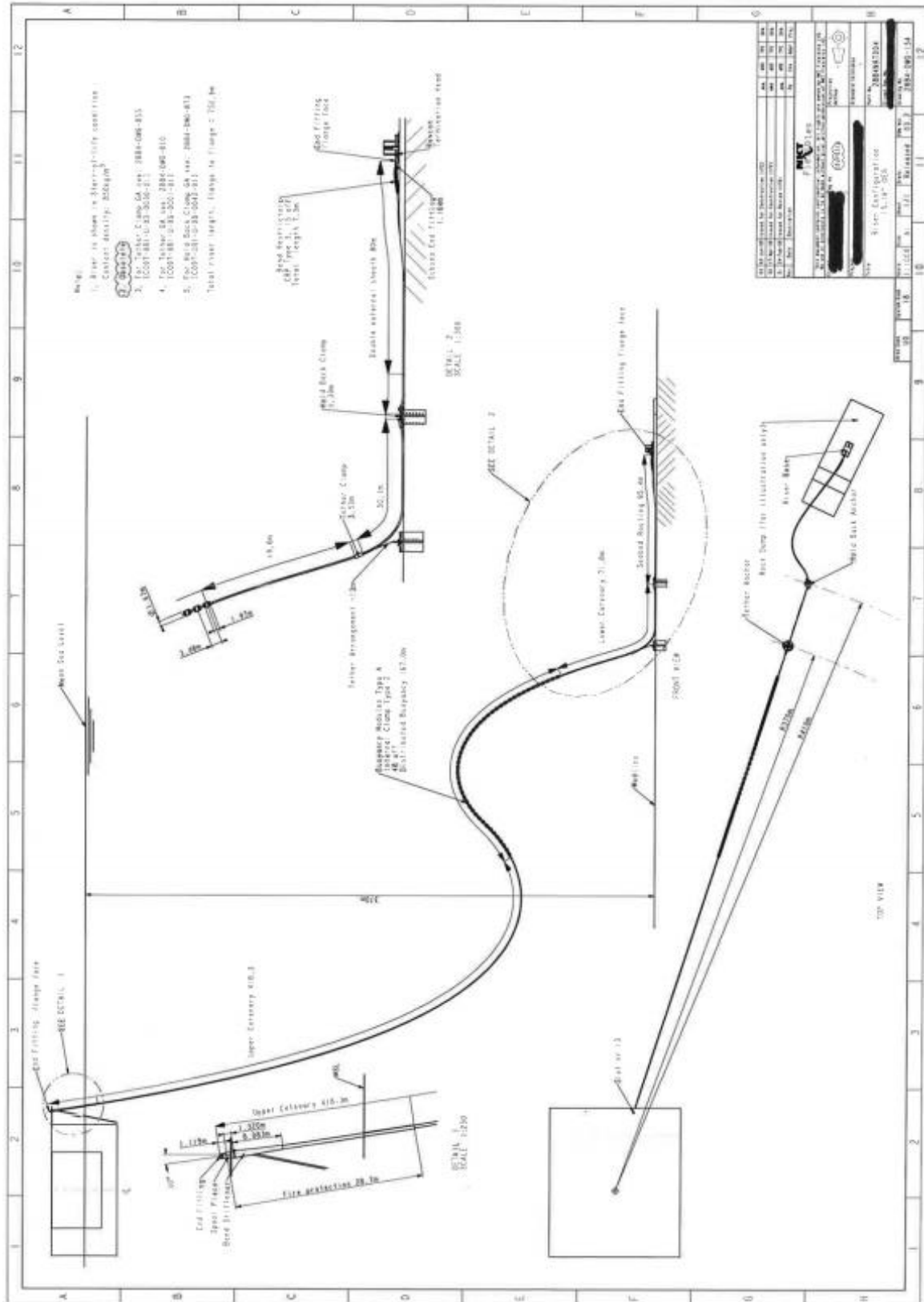
Artikkel	Betegnelse	Antall	Enhet	Pris	Sum
197355	MO21 25/12x100 DWG 12255 - 28519 - DWG - Etter MO subsea sylinder standard MO21 Arbeidstrykk 210 bar Design trykk 231 bar Testtrykk 347 bar Stempelstang i rustfritt materiale S-165M NORSOK malingsprosedyre  Dokumentasjon : GA tegning/Datablad Trykktest prosedyre/Raport Materialsertifikater Sveise logg NDT sertifikater/prosedyrer/rapporter Maling prosedyrer/Logg	2,00	stk	15 450,00	30 900,00
<b>Sum eks. MVA NOK</b>					<b>30 900,00</b>
<b>Sum MVA NOK</b>					<b>7 725,00</b>
<b>Sum Inkl. MVA NOK</b>					<b>38 625,00</b>

Prisene er basert på tilbud iht dagens materialpriser.  
En endring i prisene vil medføre en tilsvarende justering fra vår side. Vi tar forbehold om mellom salg.  
Tilbudet er basert på udeelt ordre.  
Øvrige betingelser i henhold til NLO9 og Incotems 2010  
Vi håper tilbudet er i samsvar med Deres forventninger, og står til tjeneste dersom Dere har spørsmål eller trenger ytterligere informasjon.

Med vennlig hilsen  
Malm Orstad AS



## Vedlegg E: Stigerørkonfigurasjon





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

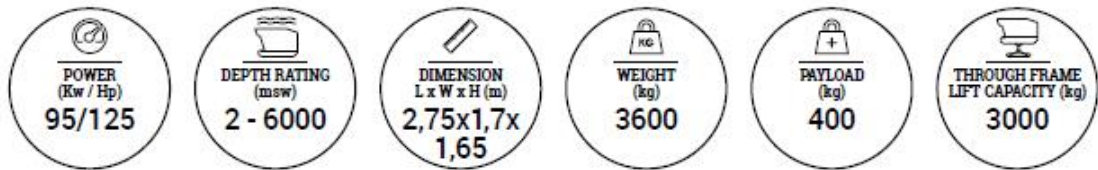
# DEEPOCEAN

## Vedlegg F: Datasheet ROV

 NORSOK class: III-A / Certified according to DNV standard for certification No.2.22, Lifting Appliances.

# SUPPORTER

Combines flexibility and capacities only matched by larger ROV's







## SUPPORTER

The SUPPORTER technology is refined from years of operational and "hands-on" experience by our designers. The top-side control system for KYSTDESIGN ROV's is designed with focus on providing an ergonomic, intuitive and efficient working environment. Single or dual operation stations can easily be configured to individual needs. Operator task priorities can be switched and shared between stations during operation. The SUPPORTER can accommodate up to 24 additional hydraulic tooling functions, up to 21 additional survey sensors and 8 camera connectors. All hydraulic functions are proportionally controlled, and all electrical power supplies are ground fault monitored. The ROV control system offers a variety of auto-functions like AutoPOS and AutoTRACK capabilities.

### GENERAL

Power	95 / 125 Kw / Hp
Depth rating ROV	3000 (up to 6000 optional) msw
Depth rating Buoyancy	2000 (3000, 4000, 6000 optional) msw
Dimensions (LxBxH)	2,75 m X 1,7 m X 1,65 m
Weight	3600 kg
Payload	400 kg
Through Frame Lift capacity	3000 kg
Thrusters	7x SA300

### MECHANICAL CAPACITY AND INTERFACES

Free space inside ROV for utility equipment:	Open area of approx. 350 L through the entire ROV, right in front of centre of gravity.
Interface for work modules:	Four docking receptacles underneath the ROV (Spacing 670x795mm). Interface for Sensors and/or modules by threaded inserts on all sides of the buoyancy element.
Manipulators:	Interface for Schilling T4, RigMaster and Atlas

### HYDRAULIC CAPACITY AND INTERFACES

Valve Pack No.1	10x Bi-directional Valves with proportional flow control, each with max flow 8 l/min. Pressure on VP controlled by VP No.3.
Valve Pack No.2	10x Bi-directional Valves with proportional flow control, each with max flow 8 l/min. Pressure on VP controlled by VP No.3.
Valve Pack No.3	4x Bi-directional Valves with proportional flow and pressure control, each with max flow 75 l/min.
Manifolds	Pressure and return manifolds mounted in front of the ROV. 1x Pilot operated high flow valve with max flow 200l/min.

### TELEMETRY/SENSOR CAPACITY AND INTERFACES

Telemetry Link	By default the control pod and telemetry system are prepared for survey operations. Up to 6 fibre optic cables are available for communication. Total capacity in a standard system is 8 composite video channels, 36 serial communication channels and expandable to include 4 HD video channels (all in a single optical fibre). Options are Ethernet, gigabit layer 1 (4 ports) with ethernet switch (4 ports), and Multibeam PECL.
Power Distribution	All power distributed to external users, such as lights, cameras and sensors can be switched on/off from the topside computer and are equipped with individual fuses. When a sensor is switched off, it's corresponding subsea connector is galvanic isolated. Total available power: 20A @ 115VAC. Available supplies: 115VAC, 24VDC, 48VDC, others on request.
Tool Interface	Max power consumption available is 20A @ 115VAC. Connector type: Seacon 5506-2008
Gyro Interface	Connector type: Seacon MinM-26#20, other on request
Sensor Interface	12 connectors are prewired for user/survey equipment. In addition 9 extra connectors can be installed. <b>Survey Sensors 1 to 8</b> Connector type: Seacon Min-K-10 - wired for 24/48VDC. Built in CP interface <b>Survey Sensors 9 to 12</b> Connector type: Seacon Min-K-8 - wired for 115VAC.

Gardner14 - Photos: Øyvind Steen

### CAMERA AND LIGHTS

Camera Interface	8 composite video camera inputs. Connector type: Seacon 5506-1508 or MinL-coax Camera interfaces 1 to 7 are prepared for use with focus & zoom cameras. Camera interface 8 is a combined manipulator communication and camera connector. HD interface is optional. F/Z lines are bipolar
Pan/Tilt	Hydraulic and/or electrical (Sidus protocol).
Light Interface	Capacity for ten dimmable lights, maximum total load of 2300W. Each output secured by 5A breakers, other breakers on request. Connector type: Seacon 5506-1503

### PERFORMANCE

Bollard Pull FWD/AFT	550
Bollard Pull LATERAL	500
Bollard Pull Vertical UP	500
Bollard Pull Vertical DOWN	600
Speed FWD	> 1,6 m/s
Speed LATERAL	> 0,8 m/s

### PILOT INTERFACE

- Two identical pilot chairs, where all necessary controls for operating the ROV, TMS and PDU are integrated in the armrests.
- 1 off Multiview Controller
- 2 off 46" Video monitors
- 6 off 22" Monitors
- Clearcom communication system, microphone and channel selectors integrated in pilot chair.

### PDU

Description	Two separate cabinets. One containing breakers, contactors, overload relays and signal transformers. The other serving as a termination and isolation point for all high voltage connections.
Input	3 phase 400-420-440VAC, 60 Hz (690VAC optional)
Output	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROV HPU 165 KVA, 3000-3150-3300VAC</li> <li>• ROV Instrument 10 KVA, 3000-3150-3300VAC</li> <li>• TMS HPU 23 KVA, 3000-3150-3300VAC</li> <li>• TMS Instrument 10 KVA, 3000-3150-3300VAC</li> </ul>

### CONTAINERS (OPTION)

ROV Control Container	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20' Container manufactured in accordance with DNV 2.7-1 Offshore Containers.</li> <li>• Dimensions: 6058 x 2438 x 3000mm (LxWxH)</li> <li>• Air conditioned</li> <li>• Option: Zone 2 certification</li> </ul>
ROV Workshop / PDU Container	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20' Container manufactured in accordance with DNV 2.7-1 Offshore Containers.</li> <li>• Dimensions: 6058 x 2438 x 3000mm (LxWxH)</li> <li>• Air conditioned</li> <li>• Contain workshop, PDU and transformers.</li> <li>• Option: Zone 2 certification</li> </ul>

### TMS (OPTION)

Various options available. Contact Kystdesign for further information.

#### KYSTDESIGN AS

Strandgaten 202 - 5525 Haugesund, Norway  
post@kystdesign.no - Phone: +47 52 70 62 50

www.kystdesign.no





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

## Vedlegg G: Minitrac



Able to operate in confined spaces and hazardous environments, submerged or on land, our modular Minitrac™ crawler units give you control and maneuverability in even the most inaccessible locations. Available in brass, stainless steel or aluminum construction, our precision machined Minitrac™ units can be adapted to upgrade your existing inspection vehicle or built into a complete system tailored to the specific needs of your industry.

For more information on advanced remote inspection systems contact Inuktun today.

## Minitrac™



## SPECIFICATIONS

### KEY FEATURES

<b>Dimensions</b>	3.5in <sup>2</sup> X 4in <sup>2</sup> X 15in <sup>2</sup> 9cm <sup>2</sup> x 10cm <sup>2</sup> X 38cm <sup>2</sup>
<b>Payload Capacity</b>	100lb / 46kg per track
<b>Pull Rating</b>	50lb / 22.5kg continuous 100lb / 45kg peak
<b>Variable Speed</b>	0-32ft / 0-10m per minute
<b>Embedded Control</b>	Optional with RS-485 interface

### OPERATING ENVIRONMENT

<b>Temperature</b>	0-50°C (32-122°F)
<b>Depth Rating</b>	100ft / 30m

### TRANSPORTER UNITS

<b>Power</b>	Voltage (Nom) / Amps (Peak) Minitracs 6000: 0-48VDC / 3A Minitracs 7000: 48VDC / 3.5A
<b>Weight (ea)</b>	Aluminium—13lb / 6kg Brass—27lb / 12kg Stainless steel—27lb / 12kg

### APPLICATIONS

- Mobility in confined spaces
- Underwater applications
- Nuclear and hazardous environments
- Transporter for a variety of tooling

### BENEFITS

- Compact and powerful
- High payload capability for maximum pulling power
- Tough and durable
- Compatible with custom chassis and tooling
- Long life
- Submersible

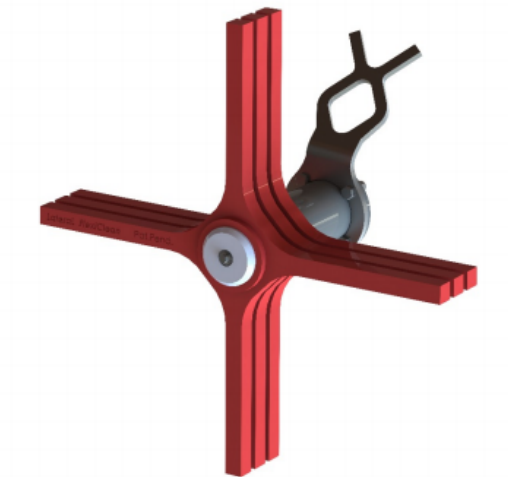
MODULAR MOBILE ROBOTIC  
CRAWLER VEHICLES

INDUSTRIAL WATERPROOF  
CAMERA SYSTEMS

## Vedlegg H: Lateral FlexiClean



### Lateral FlexiClean



- An effective cleaning tool for removing marine growth.
- The standard elastomeric fingers are not abrasive.
- Does not harm sensitive surfaces such as flexible risers, sheathed wire, painted hulls.
- Not pressure sensitive, stays effective in deep water.
- Long life time on cleaning head.
- Hydraulic motor interfaces directly to the ROV.
- Far more effective than a high-pressure water-jet. (Cleaning time reduced by up to 80%)
- Can be supplied with specialist heads (brass/steel chain) to accommodate more robust cleaning tasks.

For further information, please contact Lateral AS

<b>Interface Requirements</b>	Up to 60 L/min flow
<b>Depth Rating</b>	ROV hydraulic system rating
<b>Weight in Air(water)*</b>	15(12) kg (elastomer fingers)

Lateral AS  
Risavika Havnering 247  
4056 Tananger  
+47 51 94 28 60





FlexiClean

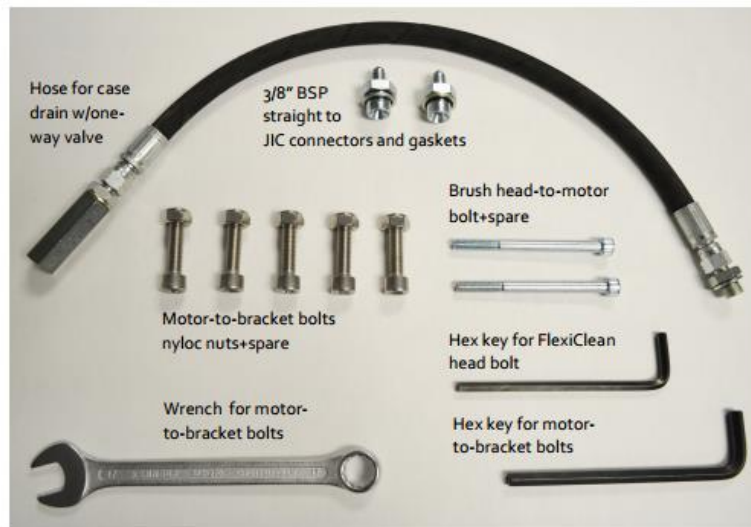
User Manual

## Overview

### FlexiClean kit contents



### Mounting hardware box contents

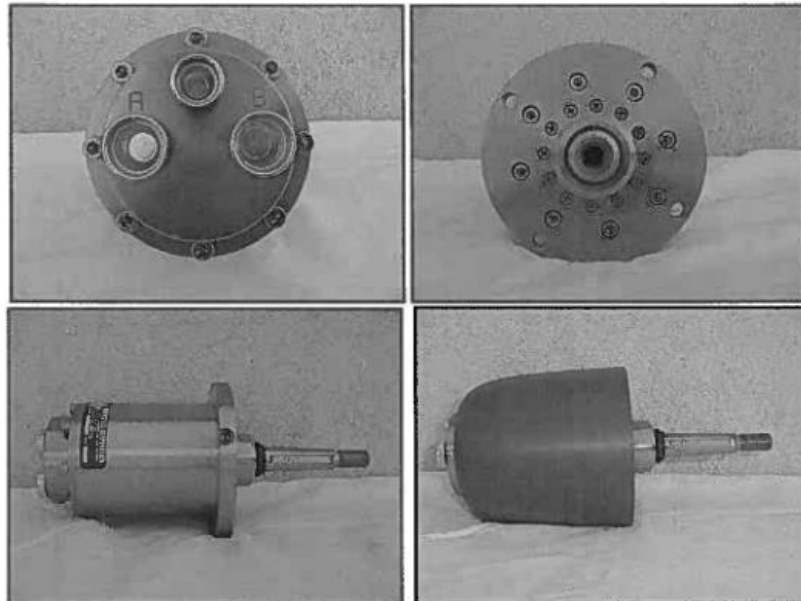


Risavika havnering 247  
4056 Tananger  
Norway  
+47 51 94 28 60





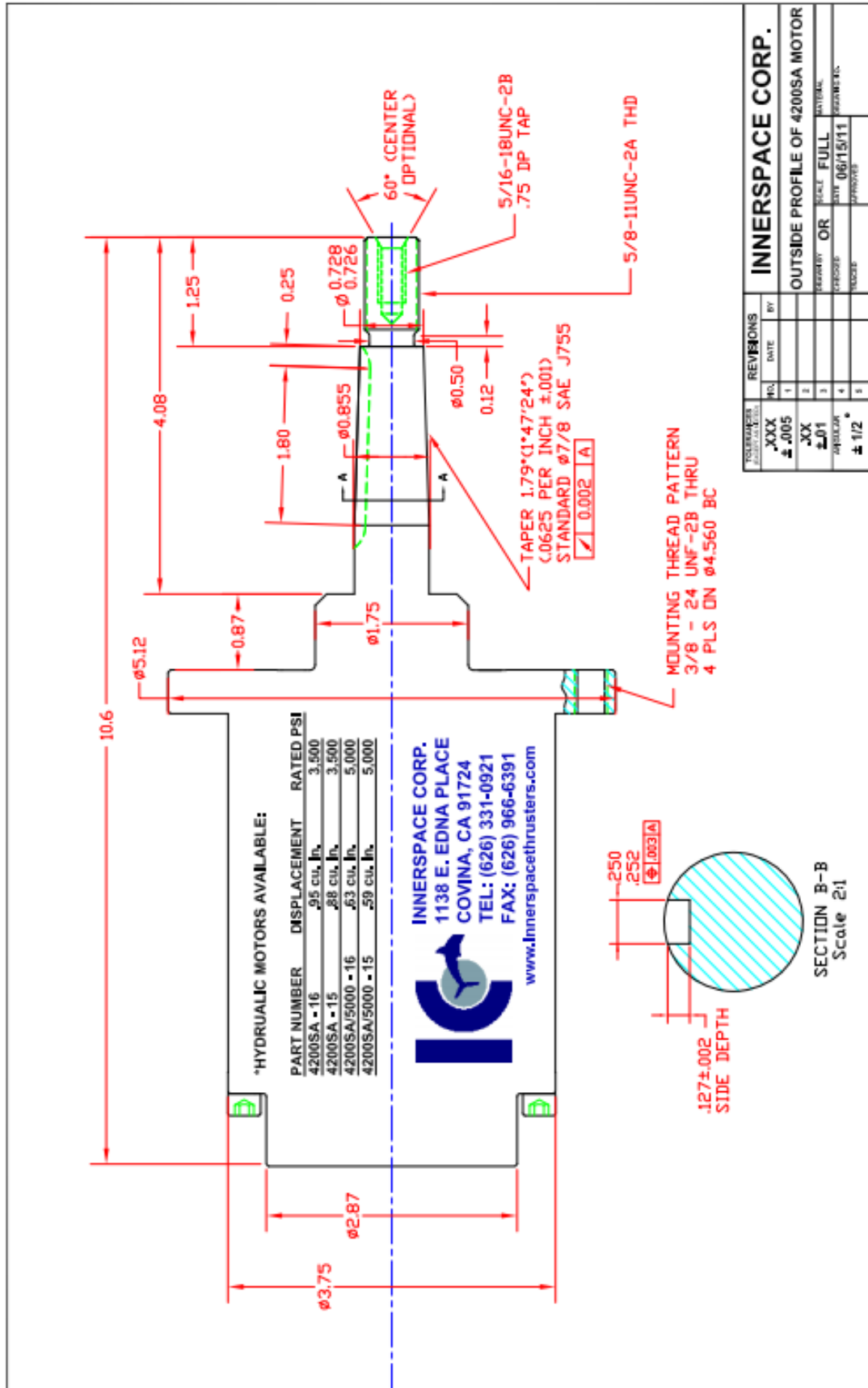
## MODEL 4200S SERIES HYDRAULIC MOTOR



*Click on one of the pictures above for a dimensioned drawing.*

- The 4200SA has a Displacement of .88 or .95 cu. in. and is Rated at 3,500 psi.
- The 4200SA/5000 has a Displacement of .59 or .63 cu. in. and is Rated at 5,000 + psi.
  - All Stainless Steel Casing and Shaft - Extra Heavy Duty Construction.
  - Designed To Drive a Propeller Without an External Shaft and Bearings.
    - Silicon Carbide Shaft Seals With Indefinite Life in Sand.
    - Designed Specially For the Marine Environment
- **USED WITH A STREAMLINED FAIRING TO REDUCE FLOW BLOCKAGE AND DRAG.**
  - Seals are Retrofittable.
  - New Removable Seal Housing.
  - **NEEDS NO SEPARATE COMPENSATING CHAMBER.**
- The 4200S Series Hydraulic Motors are Used With the Famous 1002 Thruster.

[HOME](#)   [PRODUCTS](#)   [PERFORMANCE DATA](#)   [THRUSTERS IN OPERATION](#)   [REFERENCE](#)   [CONTACT US](#)





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

## Vedlegg I: Åpne-/lukkesylinder



### M021 - With Spherical Bearings

- Subsea cylinders with working pressure up to 210 bar.

**Malm Orstad as**

[www.malmorstad.no](http://www.malmorstad.no)



Challenge Us



## M021 - With Spherical Bearings

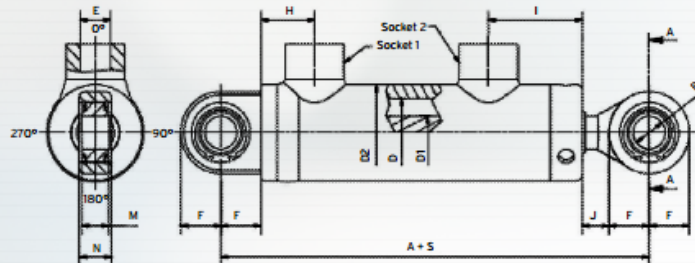
### DESCRIPTION

Malm Orstad has developed and manufactured hydraulic cylinders for the oil and gas industry for a variety of applications in nearly 40 years. Our standard cylinder program forms the basis for adaptation of our customized cylinders.

Final specifications and materials, as well as buckling calculations, sizing and choice of attachments are agreed upon for each project. Pressure and function tests are carried out for each cylinder before delivery, and documentation is prepared in accordance with the project specifications.

All our standard cylinders are designed for subsea use and 210 bar working pressure.  
Designed and calculated according to DNV 2.9

D	D1	D2	A	B	C	E	F	H	I	J	M	N
25	12	35	117	12	32.5	R 1/4"	15	20	35	10	10	12
	16	35	117	12	32.5	R 1/4"	15	20	35	10	10	12
32	16	42	129	15	36	R 1/4"	20	20	35	12	12	15
	20	42	129	15	36	R 1/4"	20	20	35	12	12	15
40	20	50	150	20	41	R 3/8"	25	20	42	15	16	20
	25	50	150	20	41	R 3/8"	25	20	42	15	16	20
50	25	60	173	25	46	R 3/8"	30	20	42	15	20	25
	30	60	173	25	46	R 3/8"	30	20	42	15	20	25
65	30	80	205	30	57	R 1/2"	35	22	55	20	22	30
	40	80	205	30	57	R 1/2"	35	22	55	20	22	30
80	40	95	231	35	64.5	R 1/2"	40	27	55	25	25	32
	50	95	231	35	64.5	R 1/2"	40	27	55	25	25	32
100	50	115	294	50	77.5	R 3/4"	53	30	79	30	35	40
	60	115	294	50	77.5	R 3/4"	53	30	79	30	35	40
125	60	140	326	60	90	R 3/4"	65	35	79	30	44	50
	70	140	326	60	90	R 3/4"	65	35	79	30	44	50
	80	140	326	60	90	R 3/4"	65	35	79	30	44	50
140	70	160	366	70	100	R 3/4"	73	36	84	30	49	60
	80	160	366	70	100	R 3/4"	73	36	84	30	49	60
	90	160	366	70	100	R 3/4"	73	36	84	30	49	60
160	80	180	389	80	115	R 1"	83	41	86	30	55	70
	90	180	389	80	115	R 1"	83	41	86	30	55	70
	100	180	389	80	115	R 1"	83	41	86	30	55	70
180	90	200	421	90	125	R 1"	93	43	86	30	60	80
	100	200	421	90	125	R 1"	93	43	86	30	60	80
	110	200	421	90	125	R 1"	93	43	86	30	60	80
200	100	230	451	100	140	R 1"	103	52	91	30	70	90
	110	230	451	100	140	R 1"	103	52	91	30	70	90
	125	230	451	100	140	R 1"	103	52	91	30	70	90
220	110	254	483	110	152	R 1"	113	57	96	30	70	100
	125	254	483	110	152	R 1"	113	57	96	30	70	100
	140	254	483	110	152	R 1"	113	57	96	30	70	100
250	125	298	523	120	174	R 1"	128	66	101	30	85	120
	140	298	523	120	174	R 1"	128	66	101	30	85	120
	160	298	523	120	174	R 1"	128	66	101	30	85	120



**Malm Orstad as**

www.malmorstad.no





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# DEEPOCEAN

## Vedlegg J: Marine Cleaning Tool



## Underwater Engineering Services

**MARINE CLEANING TOOL**

**MODEL: MC211**

### General Description

The Subsea Industries MC211 is a diver operated hydraulically powered twin brush cleaning tool. The unique design means it is equally efficient on both tubular and flat surfaces. A wide variety of brushes are available to cater for different types of marine growth.

### Technical Description

Flow:	40l/min
Pressure:	140 bar
Weight in air:	22kg
Weight in water:	Neutral
Depth Rating:	200m.
Min. tube Dia.	400mm
Dimensions:	800 x 450 x 300mm
Max Brush Dia.	300mm



Tools supplied as standard with 1.5 m whips and Industry Standard Q.D. Couplings



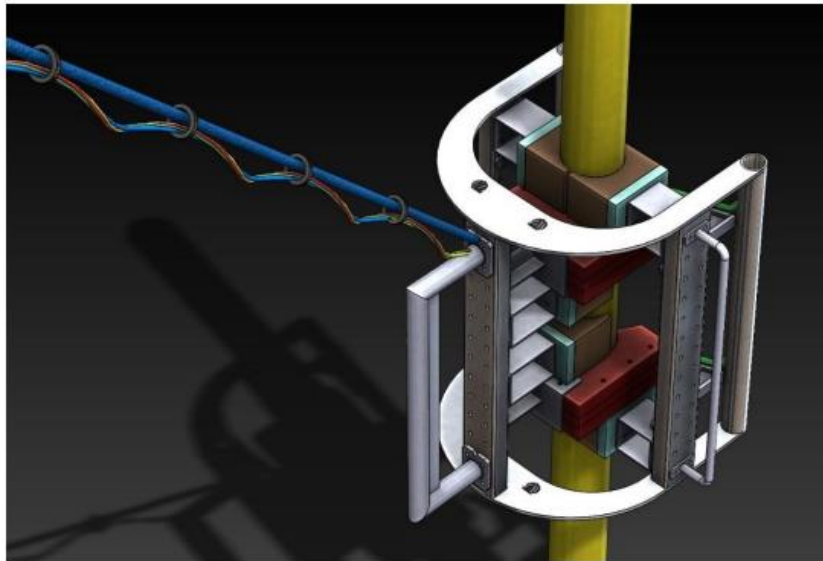
Underwater Engineering Services  
West Pitmillan  
Foveran  
Ellon  
Aberdeenshire AB41 6AL

Tel: +44 (0) 1358 789 808  
Fax: +44 (0) 1358 789 575  
Email: [info@uesltd.net](mailto:info@uesltd.net)  
Web: [www.uesltd.net](http://www.uesltd.net)

## Vedlegg K: Lateral FlexiTRIC



### Lateral FlexiTRIC Wire Rope Cleaning Tool



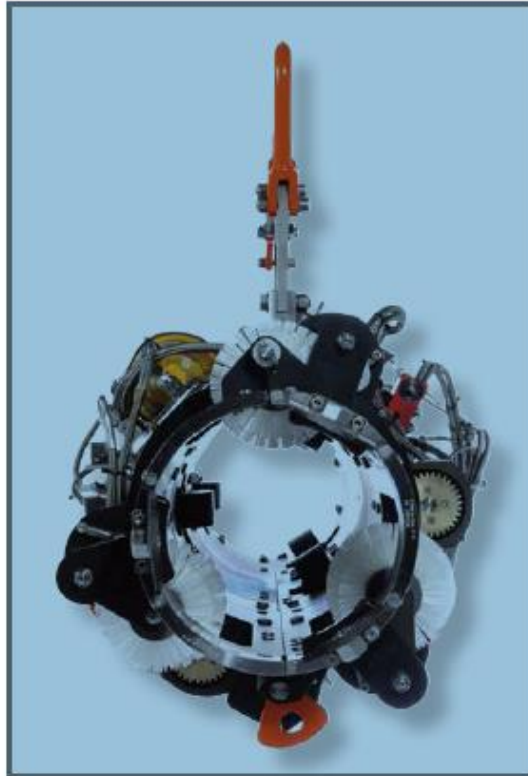
- *A versatile static brush based cleaning tool.*
- *'Purely mechanical device, no hydraulic or electrical interfacing*
- *Simple ROV integration means cleaning can commence immediately on arrival on site.*
- *Bidirectional operation.*

Interface Requirements	Tether to ROV only
Weight in air(water)	80kg(65kg)
Dimension H*B*D	850*700*850 mm
Depth Rating	N/A
Brush Material	3mm. Polypropylene as standard
Brush Quantity	6(9)

*For further information, please contact Lateral AS*

## Vedlegg L: Mooring Line Cleaning Tool

### Mooring Line Cleaning Tool



The Oceaneering Mooring Line Cleaning Tool removes marine growth without damaging the mooring line's outer protective coating. The tool can be configured with various combinations of brushes for optimal performance. The tool is hydraulically opened and closed for the docking operation and integrated fail-safe locks keep the tool body closed during operation. The 6-wheel integrated traction system can operate the tool at any angle, while the suspension system enables the tool to handle uneven surfaces while cleaning.

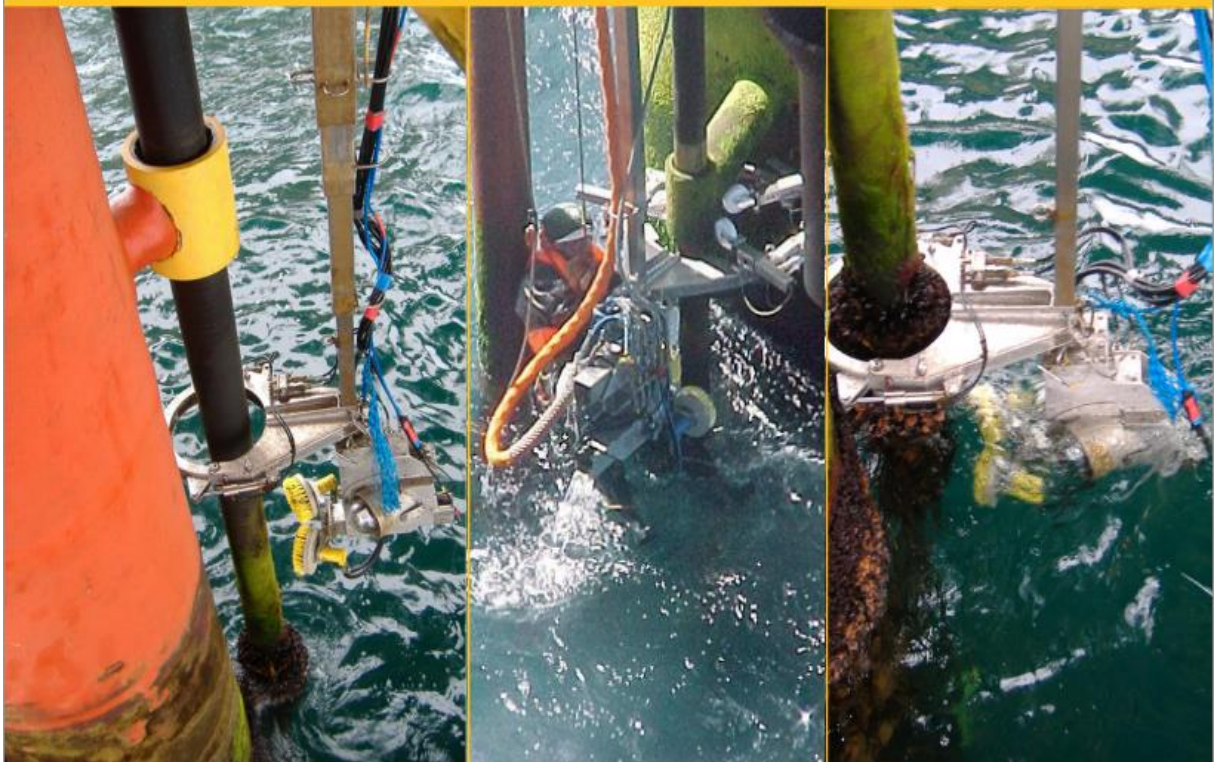
**Specifications:**

Depth Rate: .....	3,000 msw
Weight in Air/Water: .....	169 / 122 kg
Size (LxWxH): .....	1,300 x 560 x 900 mm
Operational Pressure: .....	207 bar
Max Input Flow: .....	20 L/min
Connections Motor: .....	Oceaneering 6L Stab & Receptacle
Connections Cylinders: .....	Oceaneering 6L Stab & Receptacle
Transport Case Size (LxWxH): .....	1,650 x 750x 670 mm



## Vedlegg M: Splashzone Riser Inspection Tool

### Splashzone Riser Inspection Tool



Oceaneering Asset Integrity offers an innovative Splashzone Riser Inspection Tool deployed using Rope Access Techniques. The tool consists of a telescopic arm, a tool head comprising of both cleaning and camera inspection facility, a power pack and a DVD recording / editing suite. All components are fully certified for offshore use in hazardous areas.

#### Telescopic Arm

The telescopic arm is fabricated from stainless steel box section and attaches to the riser by means of a "V" block and cargo straps. It extends to a length of 10 meters, giving a potential subsea inspection capability of up to 8 meters depending on the initial rigging position. A hydraulically operated winch mounted at the top of the tool controls the extension and retraction of the arm. This movement is monitored by the operator via a remote observation screen and digital gauge.

#### Tool Head

The tool head is fabricated from stainless steel and aluminum and is mounted to the bottom of the telescopic arm by means of a quick release pin assembly. The tool head comprises of two hydraulic motors to drive the cleaning brushes and the housing for the subsea lights and camera assembly.

Different grades of brushes are available to give the best compromise between marine growth removal and avoidance of damage to the riser's protective coating. The camera incorporates a full pan and tilt capability; this combined with its 'low light' capability means that a General Visual Inspection (GVI) of ancillary items on the jacket (anodes, clamps, etc.) can be carried out while the tool is deployed.

There are also facilities to fit ultrasonic thickness checking probes or Pulsed Eddy Current (PEC) probes to the tool head, these facilities being remotely controlled topside.

#### Lower Clamp Assembly

The tool head is held in position by means of the lower clamp assembly. This clamp is interchangeable to accommodate riser diameters of 4 inch to 36 inch. The clamp is hinged and opens by means of hydraulic rams. This allows the tool to negotiate obstructions on the riser such as clamps or nozzles and therefore prevents it being "hung-up" subsea.



[www.oceaneering.com](http://www.oceaneering.com)

08/12

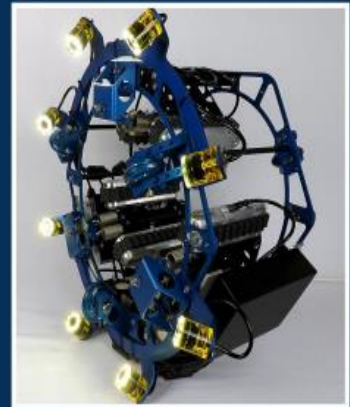
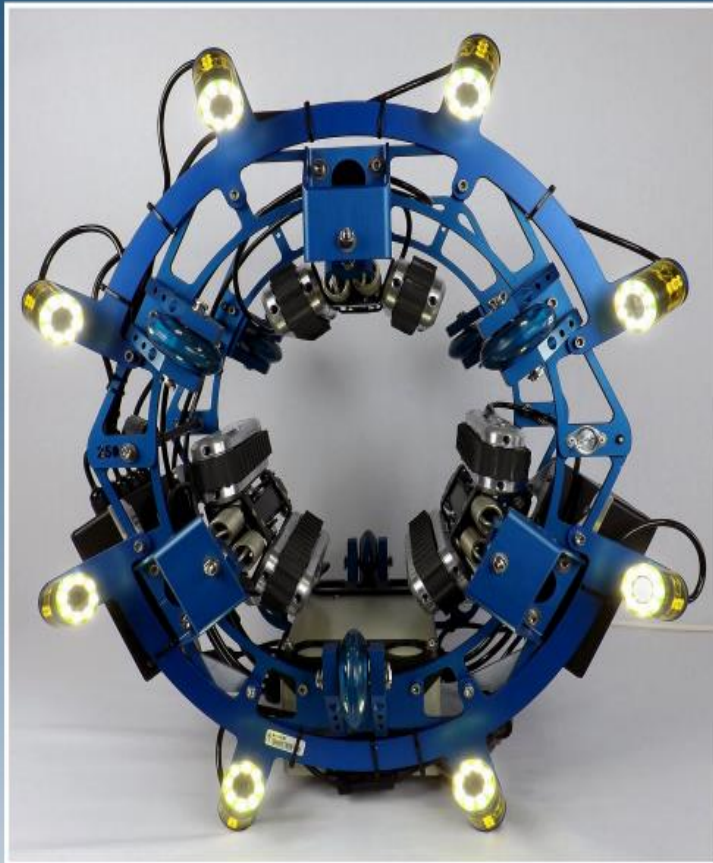




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Vedlegg N: Versatrax MicroClimber System

### Versatrax MicroClimber™ System



The Versatrax MicroClimber™ system is a unique remotely operated tool designed to climb on almost any inclined or vertical cylindrical structure. The vehicle is capable of crawling on pilings, pipe, rope or guy-wires while performing a variety of tasks. The standard system includes eight (8) Crystal Cam® cameras (transmitted on two quad channels) for visual inspection, but the vehicle can be easily adapted for NDT devices, cameras, or cleaning tools. Versions of the MicroClimber™ are available for a range of diameters, operating in air or underwater.

### SPECIFICATIONS

**Crawler system:** 6 x 4000 series Microtracs™

**Motors:** 53:1 gear ratio, Maxon brush type

**Max speed:** ~30 ft / 9m per minute

**Measured max pull torque:** > 90 lbs / 41kg

**Weight:** < 40lbs / 18kg

**Chassis:** Construction: 6061-T6 Aluminum

**Length:** 18.5in / 47cm

**Width:** 25.0in / 64cm

**Standard operational diameters (custom sizes available):**  
6.3in / 160mm to 9.8in / 250 mm, with manual adjustments

**Out-of-round compliance:** + / -15%

**Operational angle:** any

**Operating temperature:** -4 to +95F / -20 to +35C

**Ingress protection:** IP64

**Vehicle cameras:**

- 8 x Inuktun Crystal Cam® cameras
- Color 1/4in Ex-view CCD
- Embedded LED lighting
- Resolution: 400+ TV lines
- Minimum illumination: < 1.5 lux
- Mounting plates for 5 diameters

**Tether cable:**

Length: Up to 860ft / 262m

Diameter: 0.33in / 8mm

Colour: White

Weight: 51lbs per 860ft length /

23kg per 262m length

Break strength: > 800lbs / 363kg

**Control system:**

Input power: 120 / 240 VAC

Total system wattage: <500 W

Vehicle control: Variable speed potentiometer

Monitors: 2 x 8in / 20cm LCD, 2 channel

(2 x quad display)

Video overlay: cable distance, date/time etc.

Two channel digital video and audio recorder

Controller, recording and viewing all contained in

**Options:**

**Depth rating:** waterproof up to 9,843ft / 3,000m

with pressure compensated brushless motors

**Application specific integrations:** PTZ cameras,

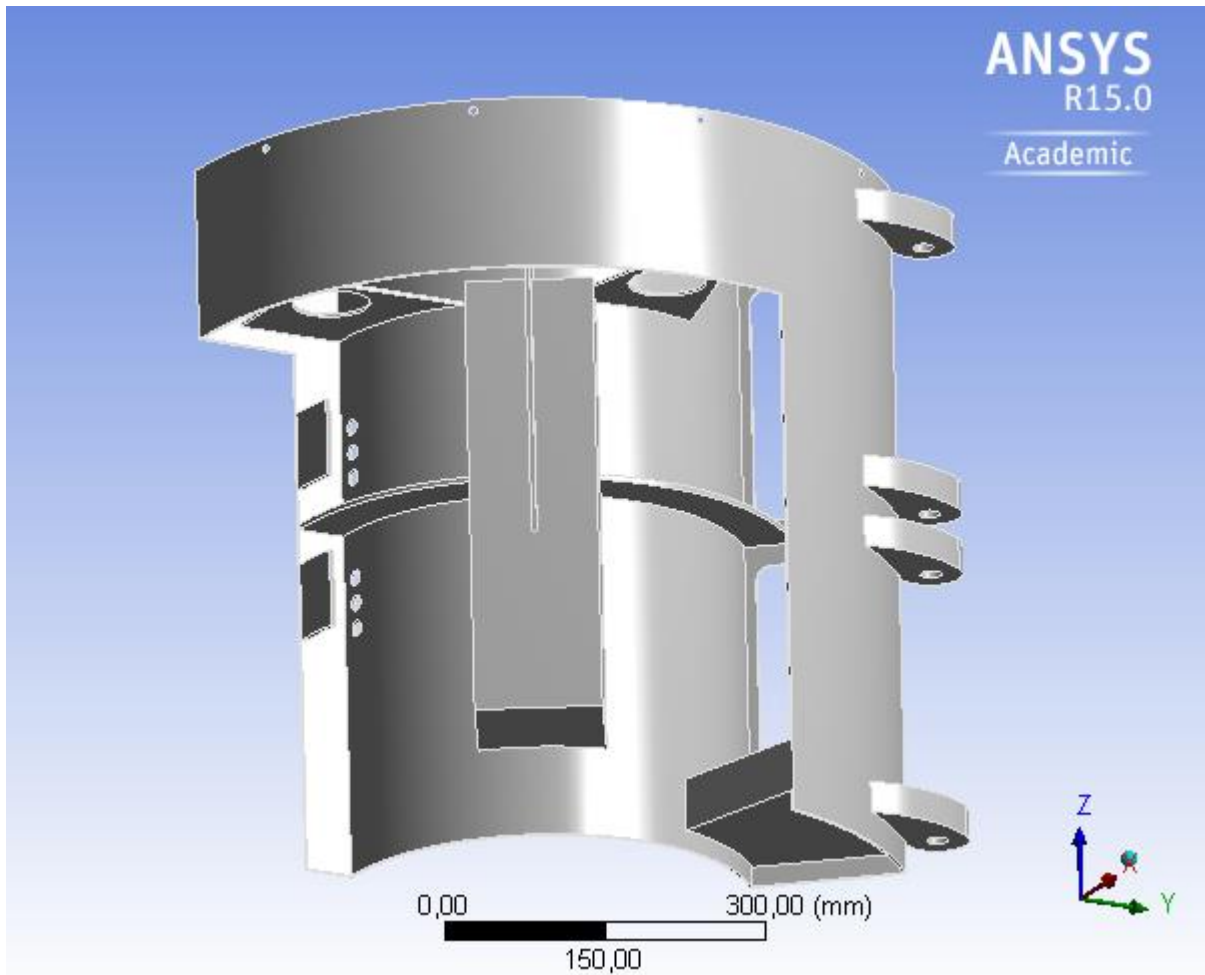
sonar, NDT sensors, tooling

## Vedlegg 0: ANSYS-rapport rammedel 1



### Project

First Saved	Tuesday, March 31, 2015
Last Saved	Monday, April 06, 2015
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No





*Contents*

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Ramme1.ipt](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
  - [Named Selections](#)
  - [Static Structural \(B5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Aluminum Alloy](#)

*Units*

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

*Model (B4)  
Geometry*

**TABLE 2  
Model (B4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	H:\Application Data\Bachelor dokument\Ny ramme + moms\Ramme1.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	353, mm
Length Y	671,1 mm
Length Z	680, mm
<b>Properties</b>	
Volume	3,7322e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	1,0338e-002 t
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	



Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	23727
Elements	11309
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\131573\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Ramme1.ipt</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
<b>Material</b>	
Assignment	Aluminum Alloy
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	353, mm
Length Y	671,1 mm
Length Z	680, mm
<b>Properties</b>	
Volume	3,7322e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	1,0338e-002 t
Centroid X	207,53 mm
Centroid Y	12,853 mm
Centroid Z	81,125 mm
Moment of Inertia Ip1	860,32 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	565,14 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	397,48 t·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	23727
Elements	11309
Mesh Metric	None

### Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]



**TABLE 5**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	Mesh
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	8,1095e-002 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	Yes
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	23727
Elements	11309
Mesh Metric	None

*Named Selections*





**TABLE 6**  
**Model (B4) > Named Selections > Named Selections**

Object Name	<i>Lager1</i>	<i>Lager2</i>	<i>Kraft</i>	<i>Dragkrefter</i>
State	Fully Defined			
<b>Scope</b>				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Face	10 Faces	6 Faces	8 Faces
<b>Definition</b>				
Send to Solver	Yes			
Visible	Yes			
Program Controlled Inflation	Exclude			
<b>Statistics</b>				
Type	Manual			
Total Selection	1 Face	10 Faces	6 Faces	8 Faces
Suppressed	0			
Used by Mesh Worksheet	No			

*Static Structural (B5)*

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No



Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	H:\Application Data\Bachelor dokument\Ny ramme + moms\Ansys\Ramme1\Ramme1_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

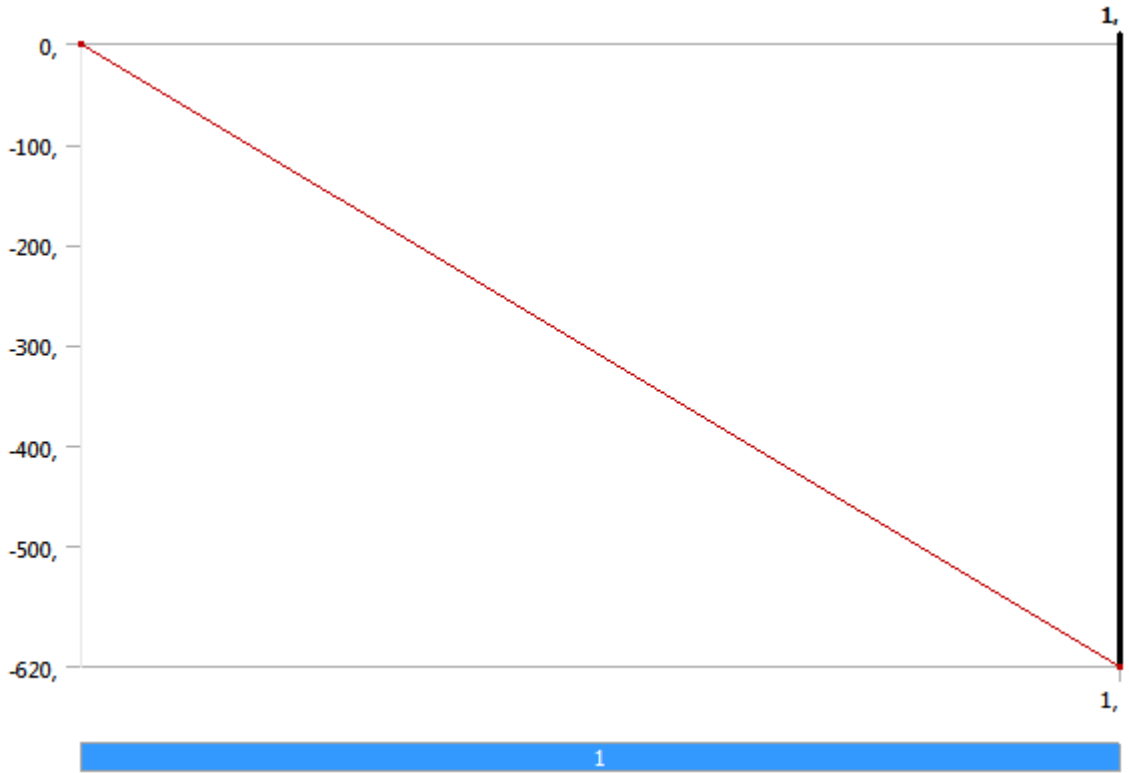
Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Cylindrical Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Force 6</i>
State	Fully Defined							
Scope								
Scoping Method	Named Selection		Geometry Selection			Named Selection		
Named Selection	Lager1	Lager2				Kraft	Dragkrefter	
Geometry			1 Face					
Definition								
Type	Fixed Support	Cylindrical Support	Force					
Suppressed	No							
Radial		Fixed						
Axial		Fixed						



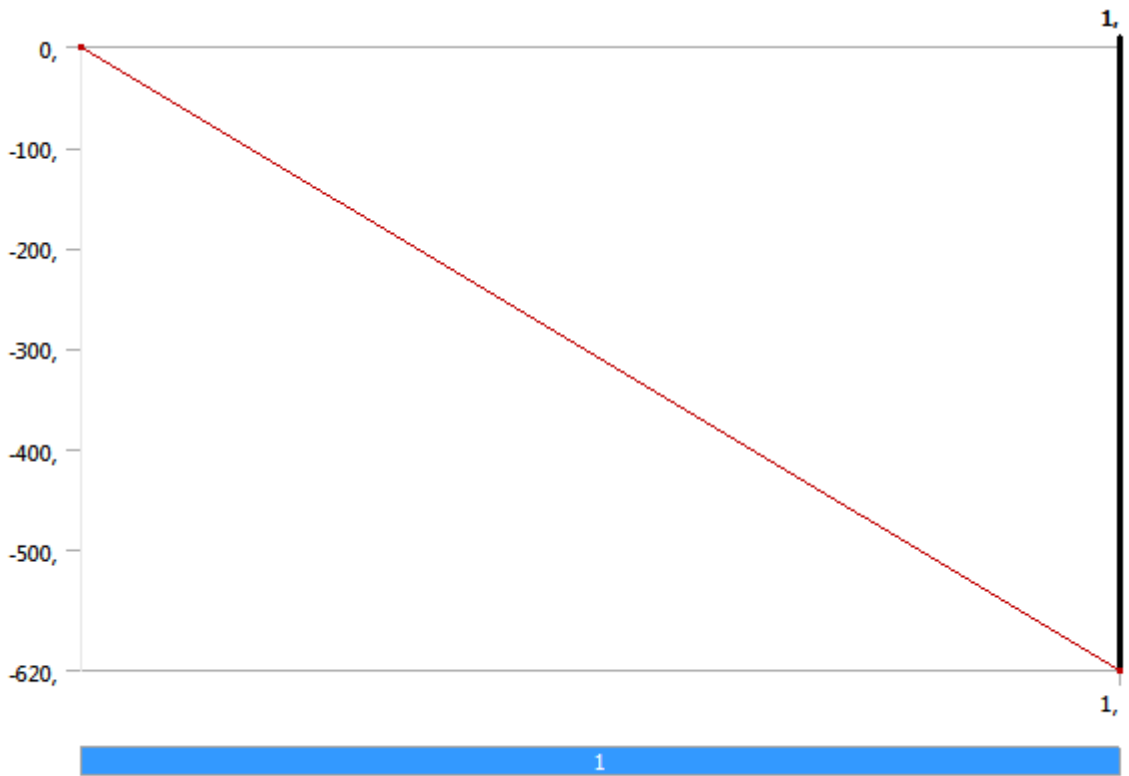


Tangential	Fixed		
Define By		Vector	Components
Magnitude		-620, N (ramped)	
Direction		Defined	
Coordinate System		Global Coordinate System	
X Component		-3200, N (ramped)	0, N (ramped)
Y Component		0, N (ramped)	
Z Component		0, N (ramped)	-1000, N (ramped)

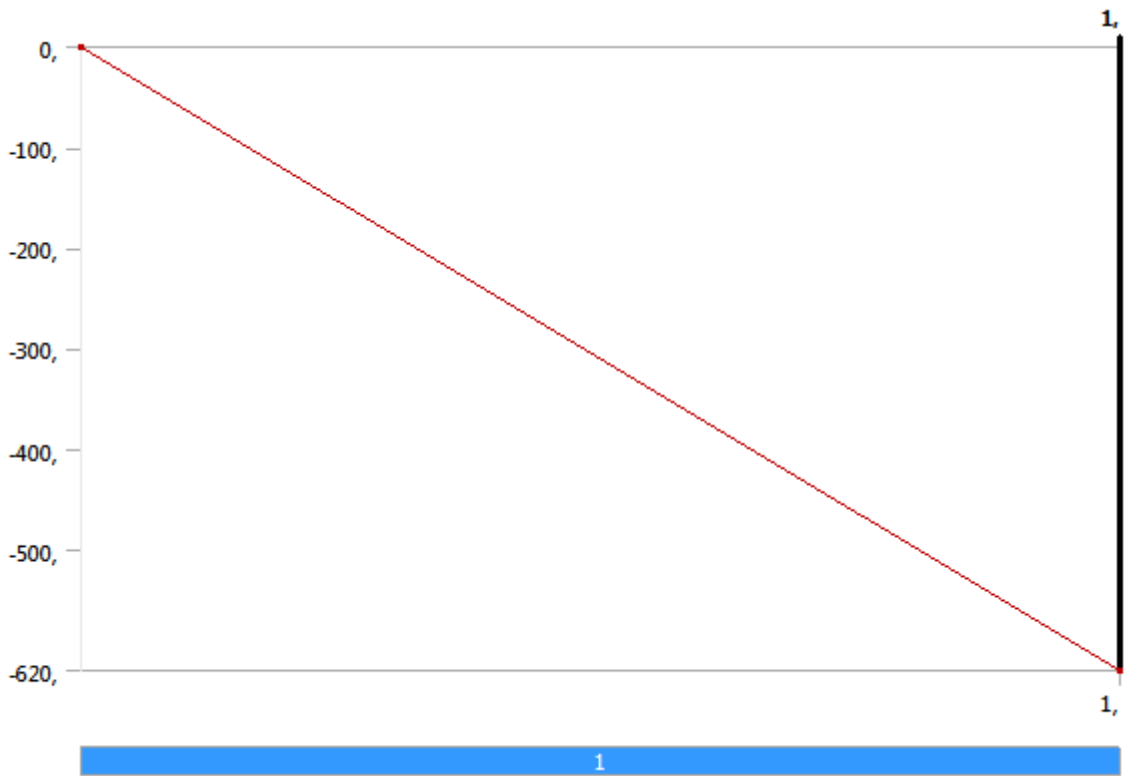
**FIGURE 1**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force



**FIGURE 2**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 2

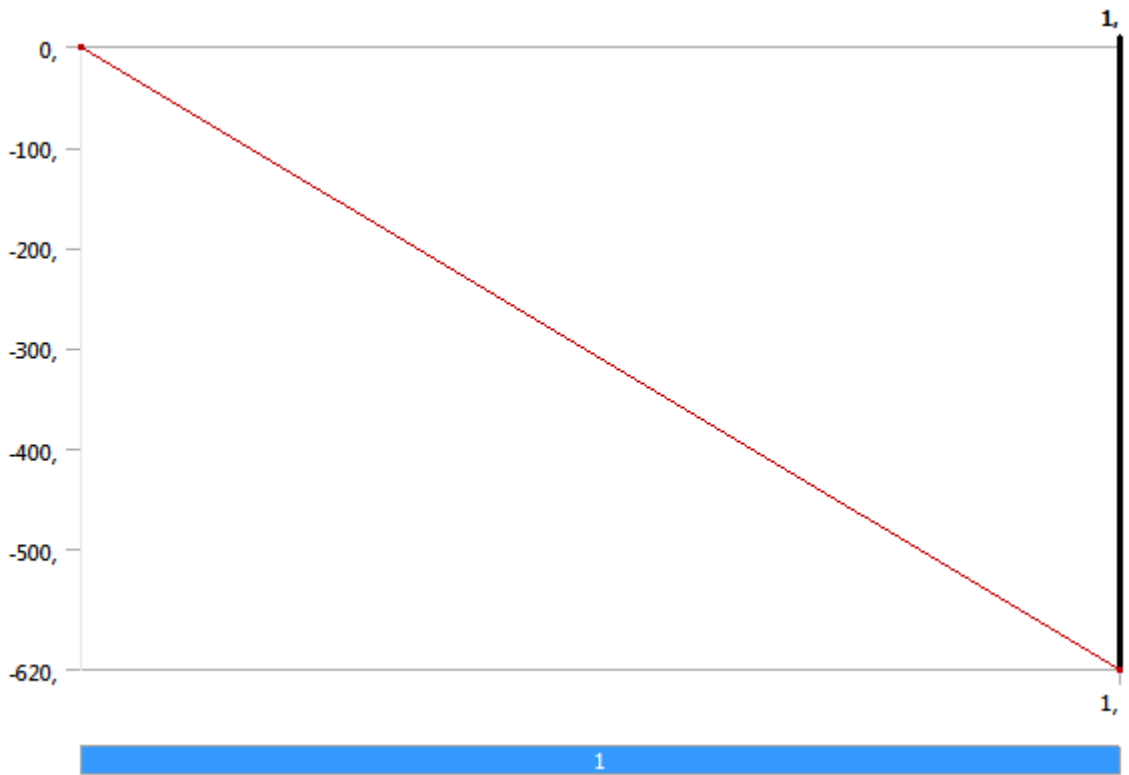


**FIGURE 3**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 3**

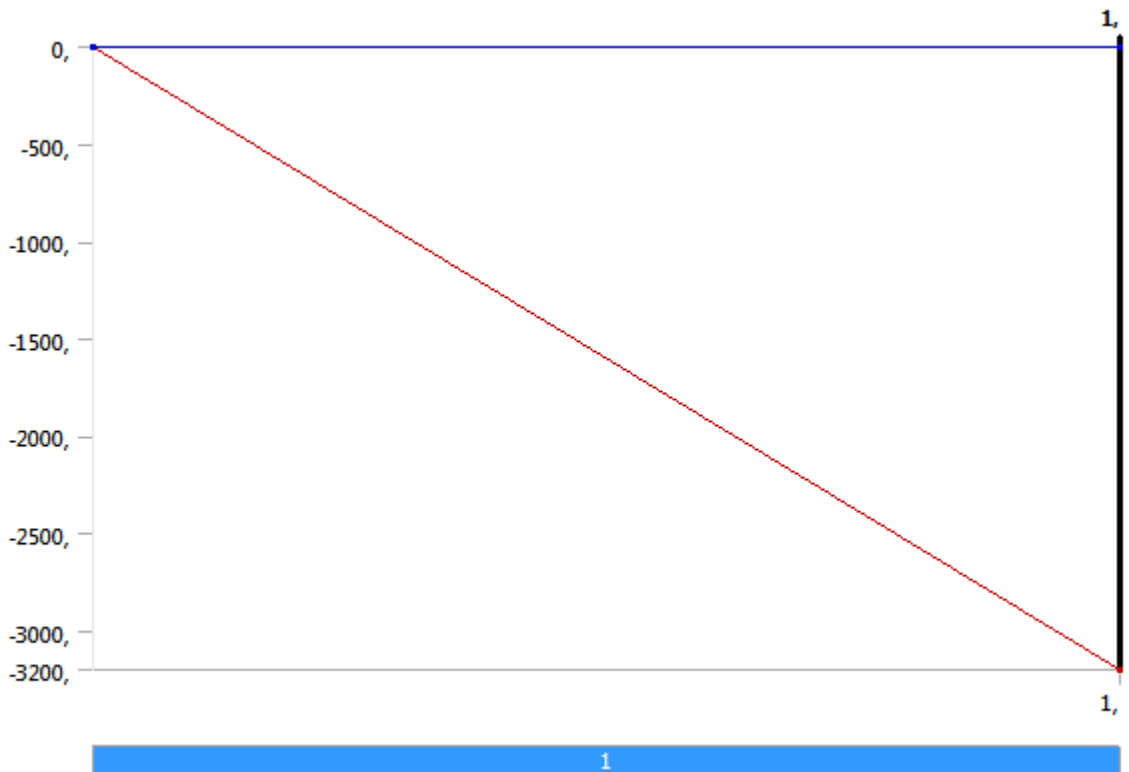




**FIGURE 4**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 4**

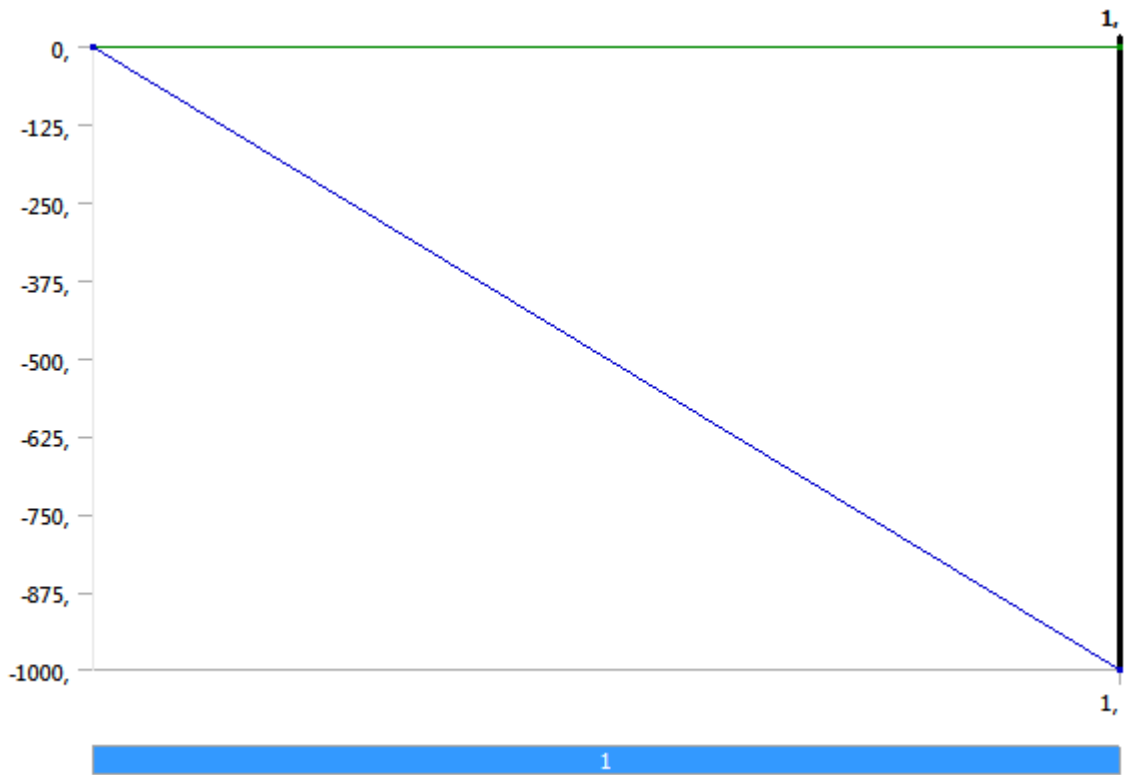


**FIGURE 5**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 5**





**FIGURE 6**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 6**



*Solution (B6)*

**TABLE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors

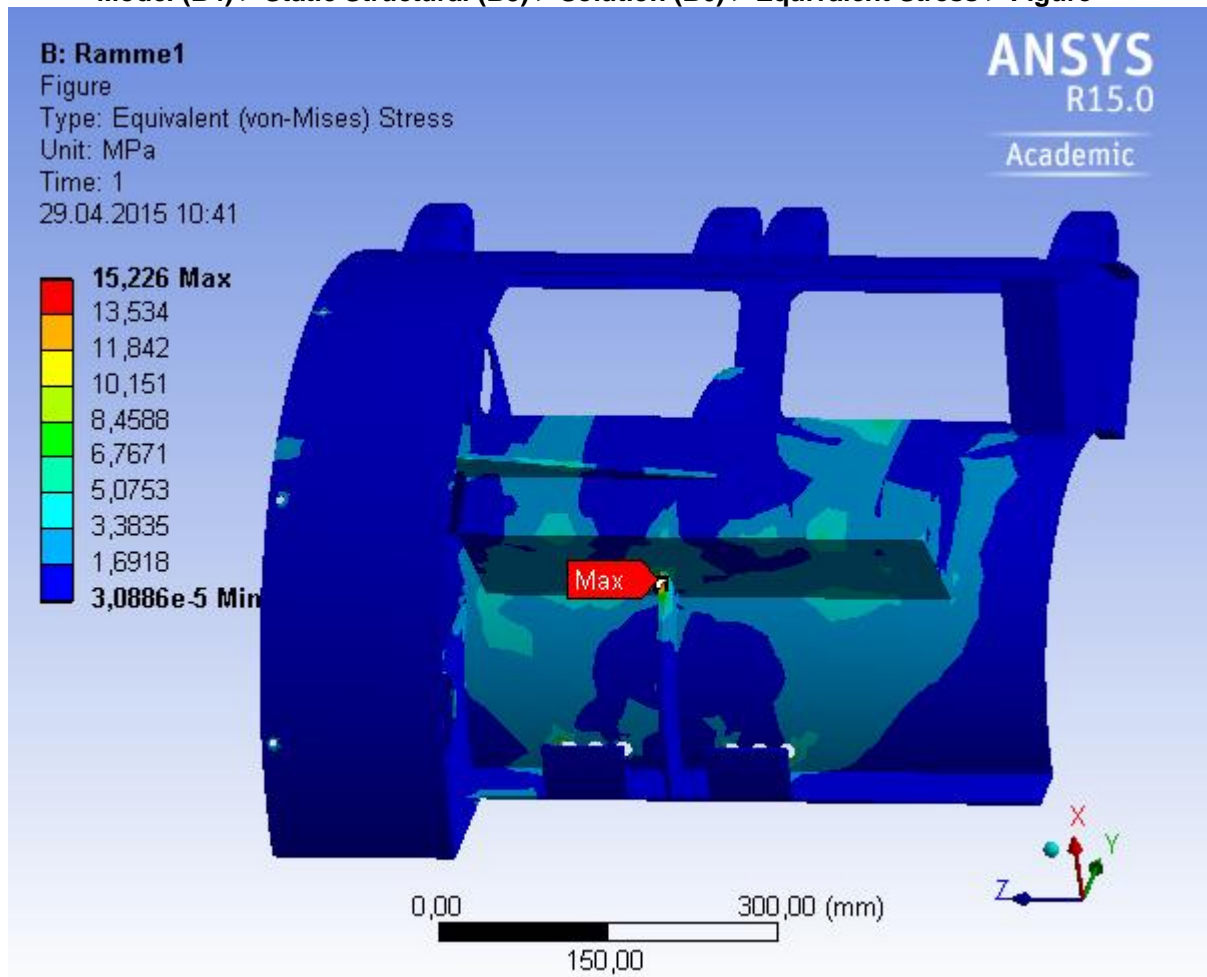


Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results**

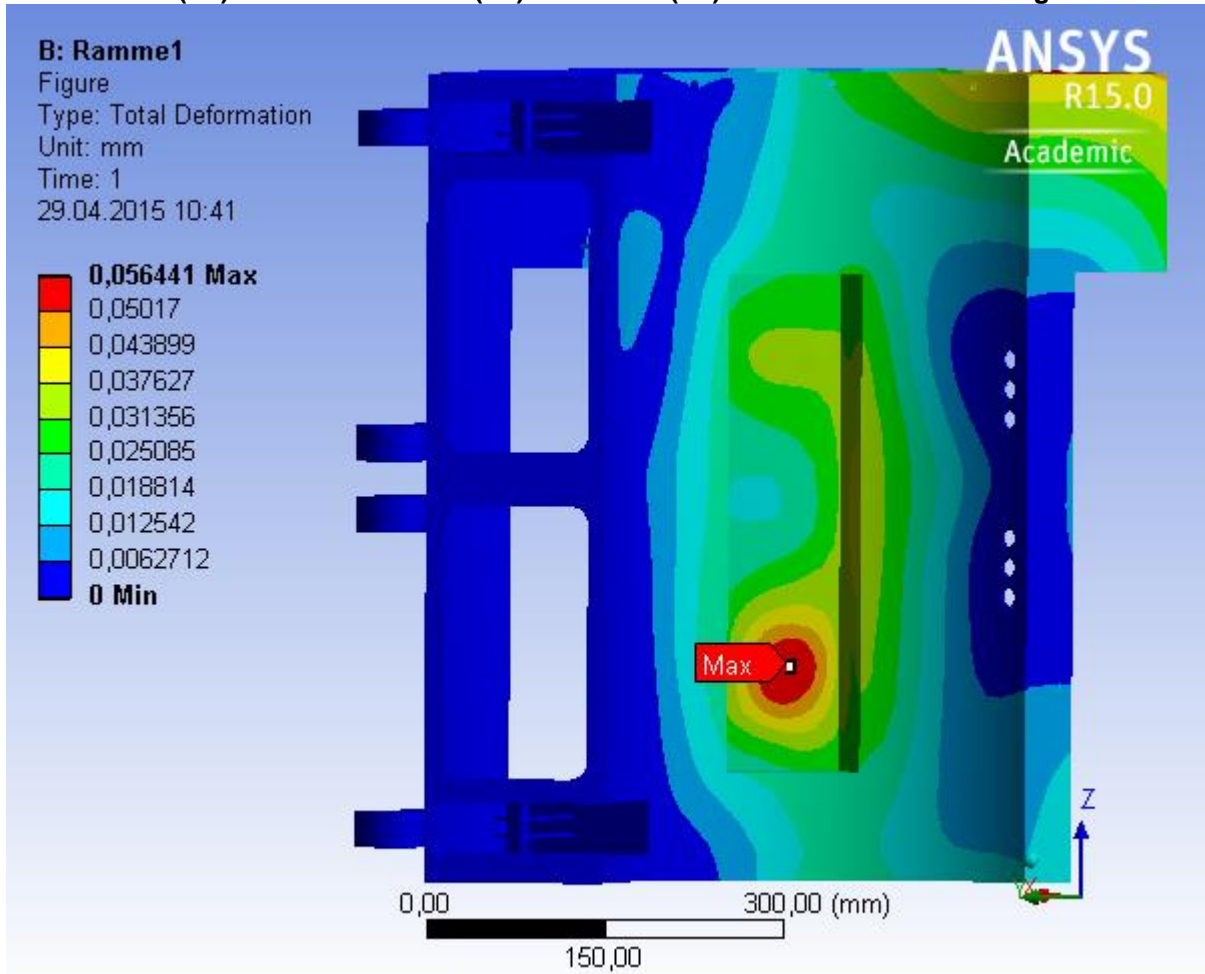
Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Integration Point Results</b>		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
<b>Results</b>		
Minimum	3,0886e-005 MPa	0, mm
Maximum	15,226 MPa	5,6441e-002 mm
<b>Minimum Value Over Time</b>		
Minimum	3,0886e-005 MPa	0, mm
Maximum	3,0886e-005 MPa	0, mm
<b>Maximum Value Over Time</b>		
Minimum	15,226 MPa	5,6441e-002 mm
Maximum	15,226 MPa	5,6441e-002 mm
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

FIGURE 7  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress > Figure



**FIGURE 8**

**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure**



*Material Data  
 Aluminum Alloy*

**TABLE 13**  
**Aluminum Alloy > Constants**

Density	2,77e-009 tonne mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	2,3e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	8,75e+008 mJ tonne <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>

**TABLE 14**  
**Aluminum Alloy > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa	0,
-----------------------------------	----

**TABLE 15**  
**Aluminum Alloy > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa	280,
--------------------------------	------

**TABLE 16**  
**Aluminum Alloy > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
280,

**TABLE 17**  
**Aluminum Alloy > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
310,

**TABLE 18**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22,

**TABLE 19**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Thermal Conductivity**

Thermal Conductivity W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>	Temperature C
0,114	-100,
0,144	0,
0,165	100,
0,175	200,

**TABLE 20**  
**Aluminum Alloy > Alternating Stress R-Ratio**

Alternating Stress MPa	Cycles	R-Ratio
275,8	1700,	-1,
241,3	5000,	-1,
206,8	34000	-1,
172,4	1,4e+005	-1,
137,9	8,e+005	-1,
117,2	2,4e+006	-1,
89,63	5,5e+007	-1,
82,74	1,e+008	-1,
170,6	50000	-0,5
139,6	3,5e+005	-0,5
108,6	3,7e+006	-0,5
87,91	1,4e+007	-0,5
77,57	5,e+007	-0,5
72,39	1,e+008	-0,5
144,8	50000	0,
120,7	1,9e+005	0,
103,4	1,3e+006	0,
93,08	4,4e+006	0,
86,18	1,2e+007	0,
72,39	1,e+008	0,
74,12	3,e+005	0,5
70,67	1,5e+006	0,5
66,36	1,2e+007	0,5
62,05	1,e+008	0,5





**TABLE 21**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Resistivity**

Resistivity ohm mm	Temperature C
2,43e-005	0,
2,67e-005	20,
3,63e-005	100,

**TABLE 22**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	71000	0,33	69608	26692

**TABLE 23**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
1,



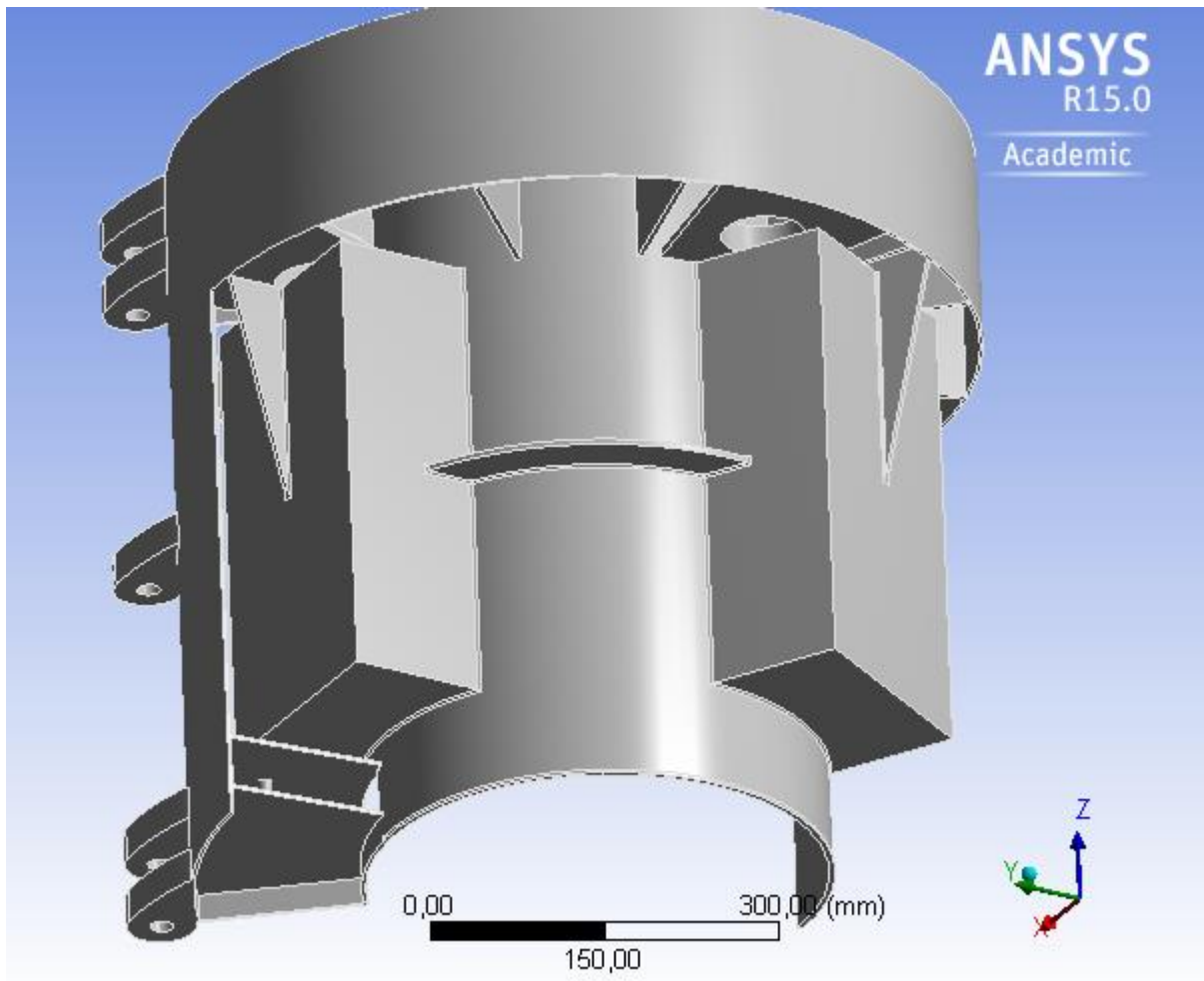
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Vedlegg P: ANSYS-rapport rammedel 2



### Project

First Saved	Wednesday, April 01, 2015
Last Saved	Monday, April 06, 2015
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No





## Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Ramme1.ipt](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
    - [Body Sizing](#)
  - [Named Selections](#)
  - [Static Structural \(B5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Aluminum Alloy](#)

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (B4)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (B4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	H:\Application Data\Bachelor dokument\Ny ramme + moms\Tegning\Ny versjon\Med stempel\Fire børster\Etter avkutting\Ramme1.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	624,26 mm
Length Y	700, mm
Length Z	680, mm
<b>Properties</b>	
Volume	6,2613e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	1,7344e-002 t
Scale Factor Value	1,



Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	30746
Elements	15253
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\131573\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Ramme1.ipt</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Aluminum Alloy
Nonlinear Effects	Yes



Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	624,26 mm
Length Y	700, mm
Length Z	680, mm
<b>Properties</b>	
Volume	6,2613e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	1,7344e-002 t
Centroid X	-68,913 mm
Centroid Y	83,093 mm
Centroid Z	125,63 mm
Moment of Inertia Ip1	1790,3 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	887,27 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	1376,5 t·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	30746
Elements	15253
Mesh Metric	None

Coordinate Systems

**TABLE 4**  
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

Mesh

**TABLE 5**  
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium



Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	9,0059e-003 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	Yes
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	30746
Elements	15253
Mesh Metric	None

**TABLE 6**  
**Model (B4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	40, mm
Behavior	Soft



*Named Selections*

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Named Selections > Named Selections**

Object Name	<i>Lager1</i>	<i>Sylinderlager</i>	<i>Rammekraft</i>	<i>Dragkraft</i>
State	Fully Defined			
<b>Scope</b>				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Face	11 Faces	6 Faces	1 Face
<b>Definition</b>				
Send to Solver	Yes			
Visible	Yes			
Program Controlled Inflation	Exclude			
<b>Statistics</b>				
Type	Manual			
Total Selection	1 Face	11 Faces	6 Faces	1 Face
Suppressed	0			
Used by Mesh Worksheet	No			

*Static Structural (B5)*

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled



Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	H:\Application Data\Bachelor dokument\Ny ramme + moms\Ansys\Ramme2\Ramme2_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

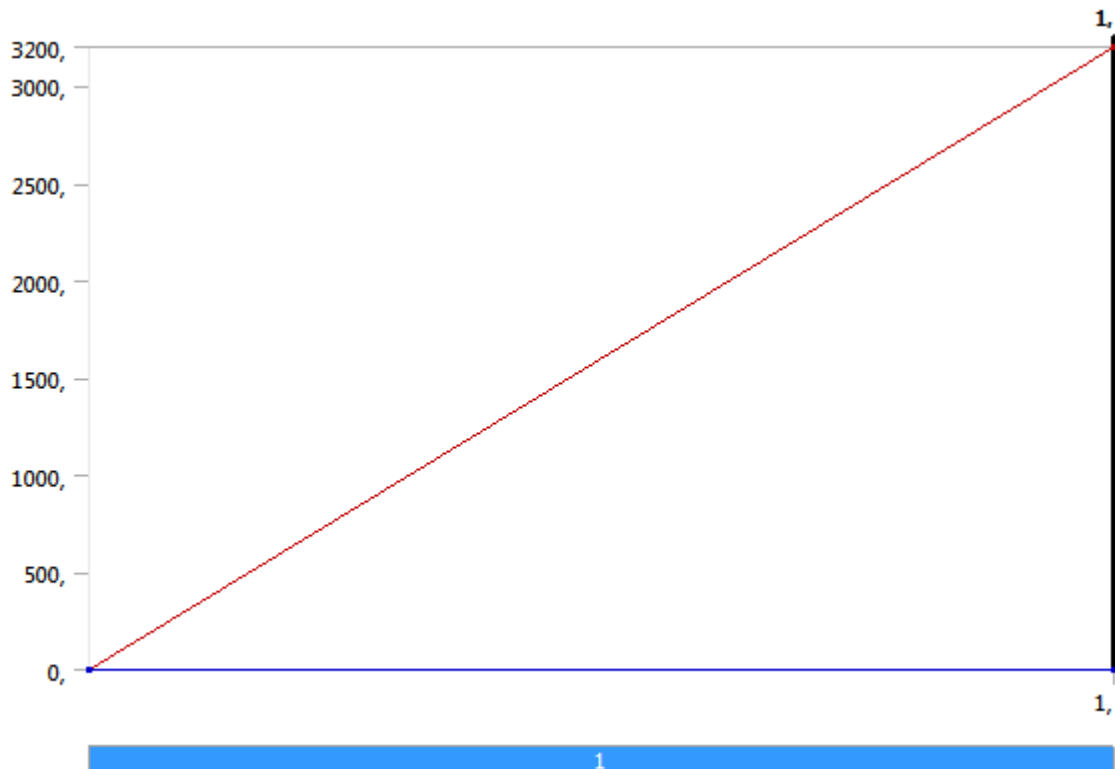
Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Cylindrical Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Force 6</i>	<i>Force 7</i>	<i>Force 8</i>	<i>Force 9</i>
State	Fully Defined										
<b>Scope</b>											
Scoping Method	Named Selection			Geometry Selection							
Named Selection	Lager1	Sylinderlager	Rammekraft								
Geometry	1 Face										
<b>Definition</b>											
Type	Fixed Support	Cylindrical Support	Force								



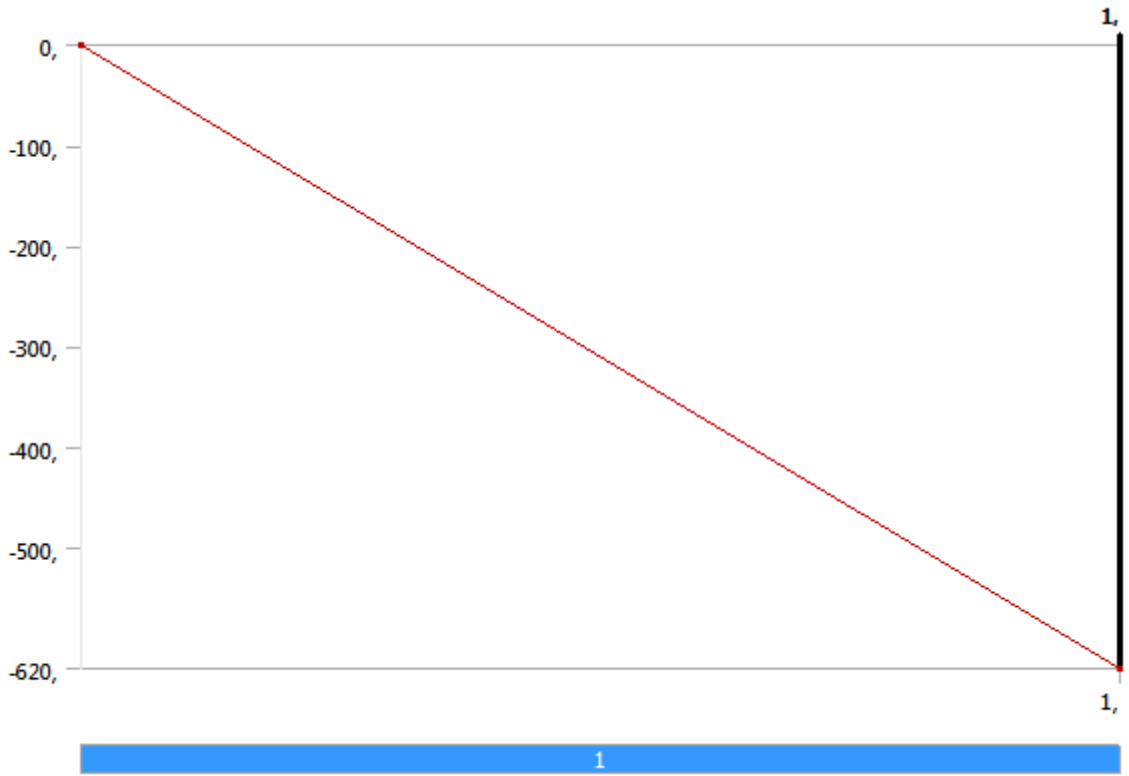


Suppressed	No		
Radial	Fixed		
Axial	Fixed		
Tangential	Fixed		
Define By		Components	Vector
Coordinate System		Global Coordinate System	
X Component		3200, N (ramped)	
Y Component		0, N (ramped)	
Z Component		0, N (ramped)	
Magnitude			-620, N (ramped)
Direction			Defined

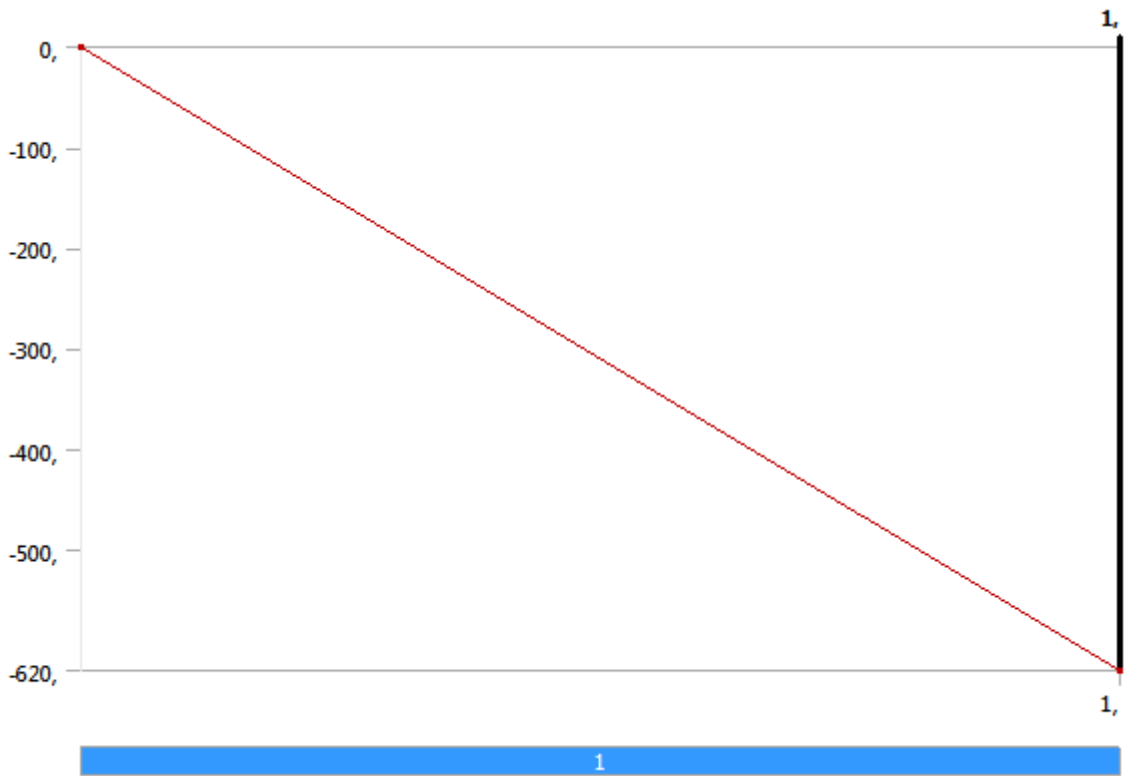
**FIGURE 1**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force**



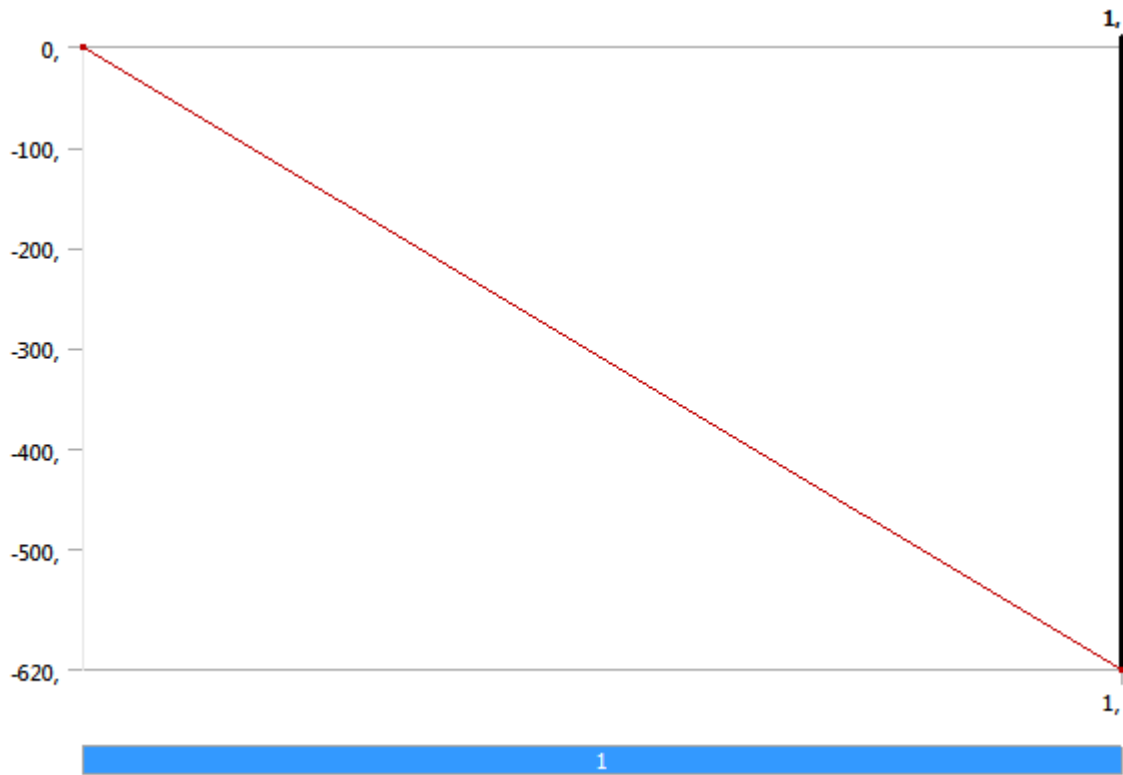
**FIGURE 2**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 2**



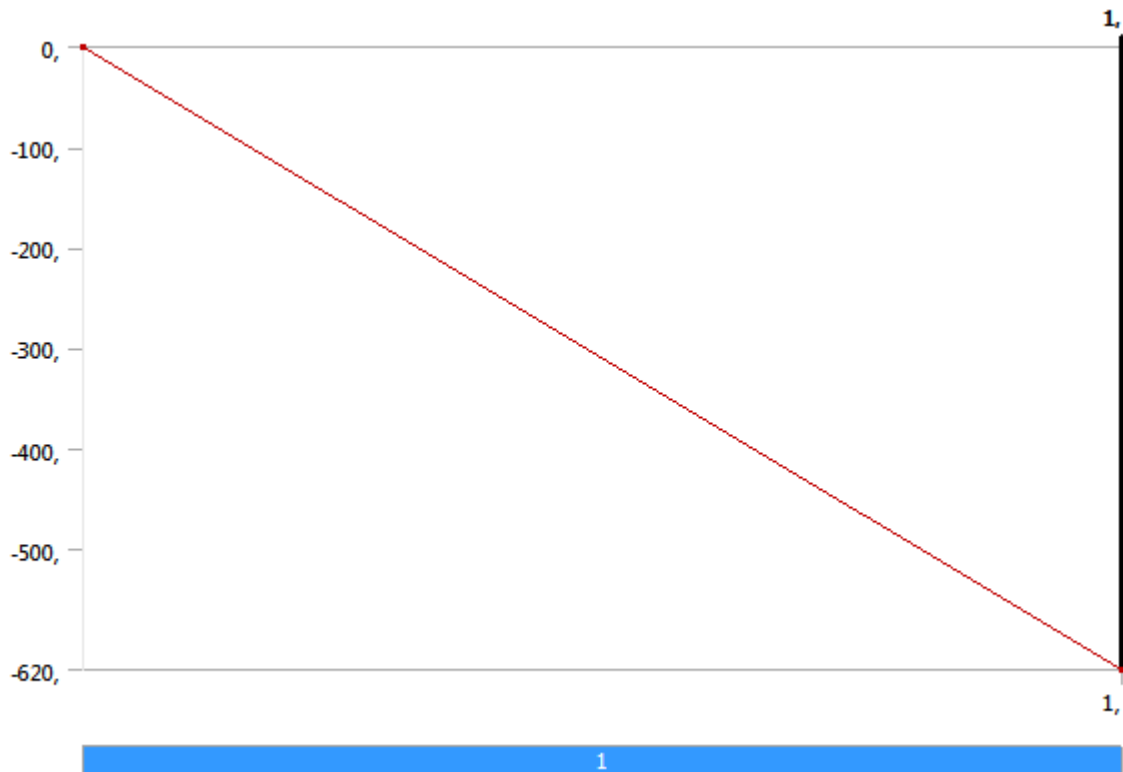
**FIGURE 3**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 3**



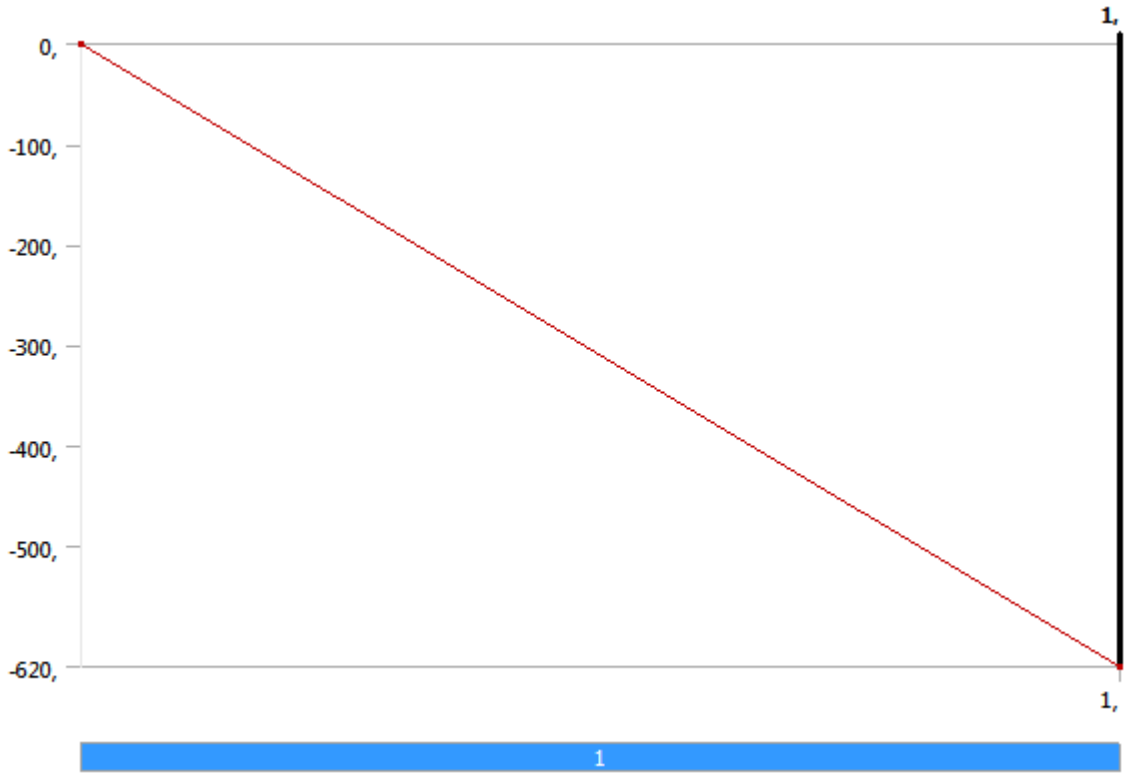
**FIGURE 4**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 4**



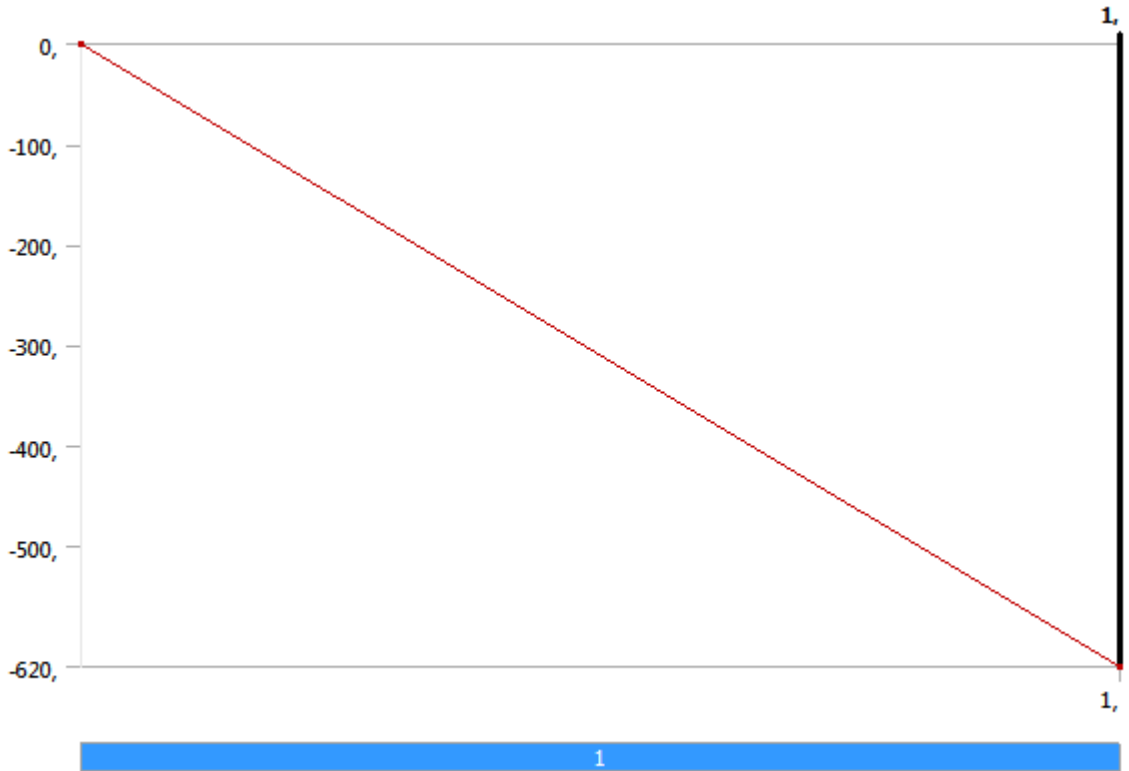
**FIGURE 5**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 5**



**FIGURE 6**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 6**

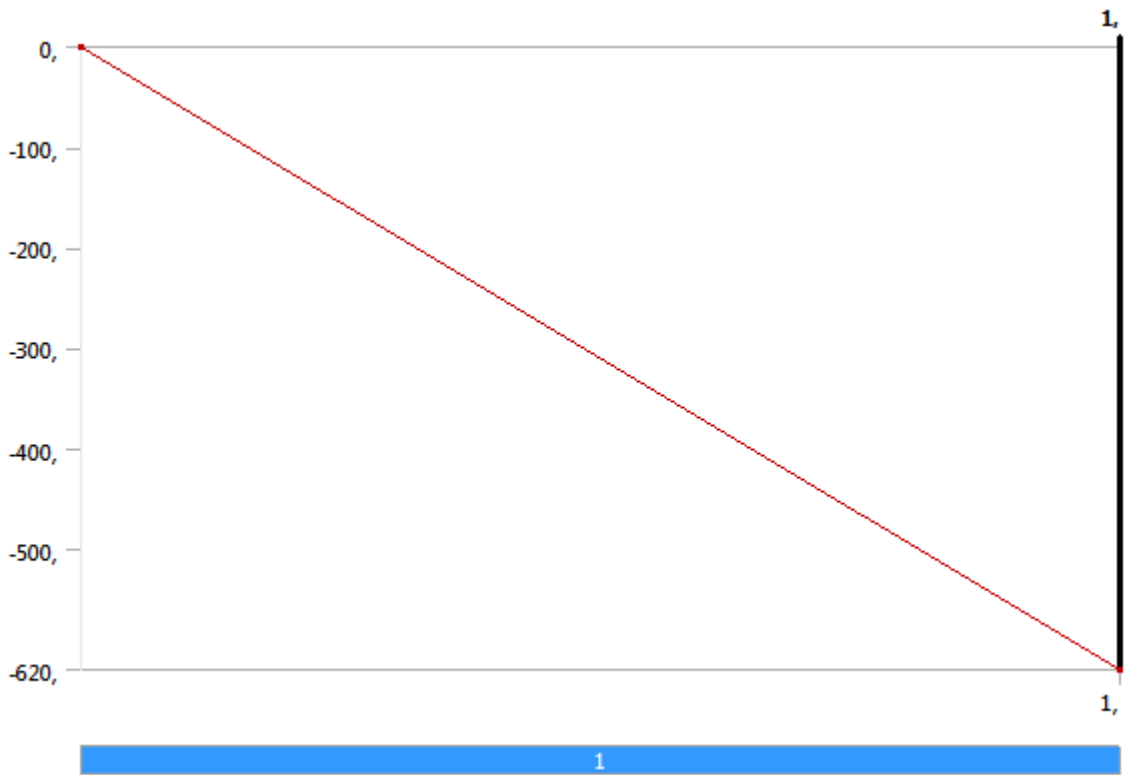


**FIGURE 7**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 7**

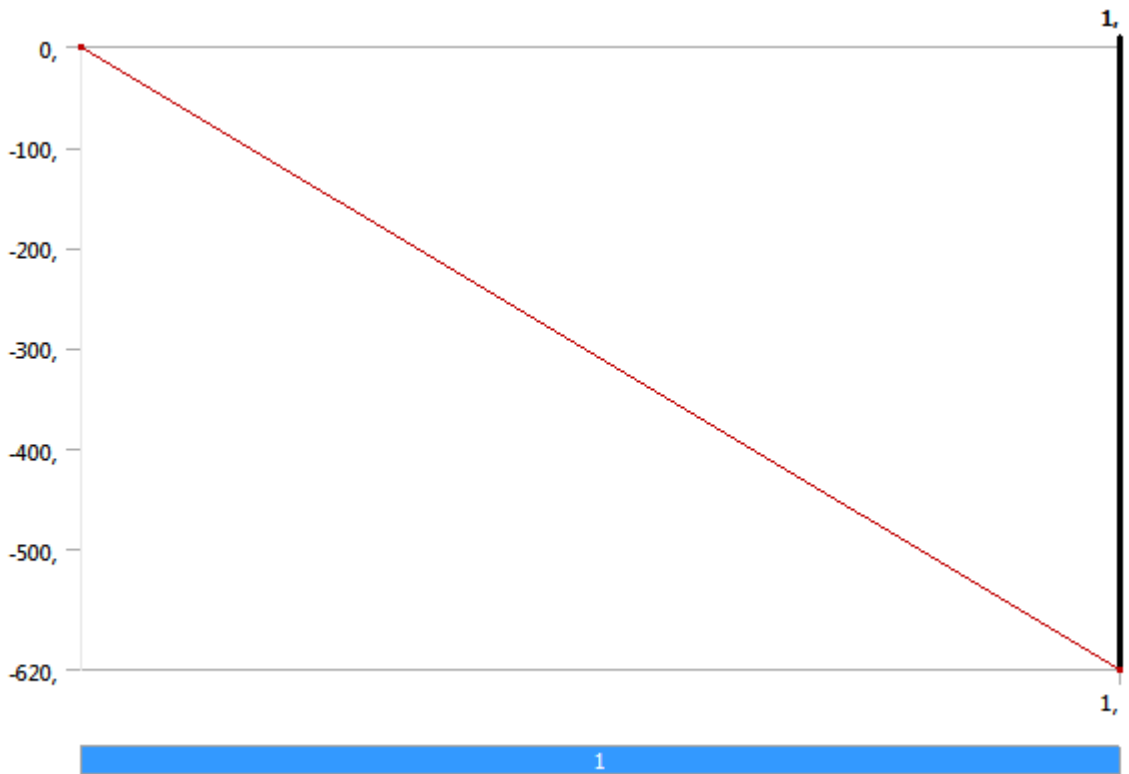




**FIGURE 8**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 8**



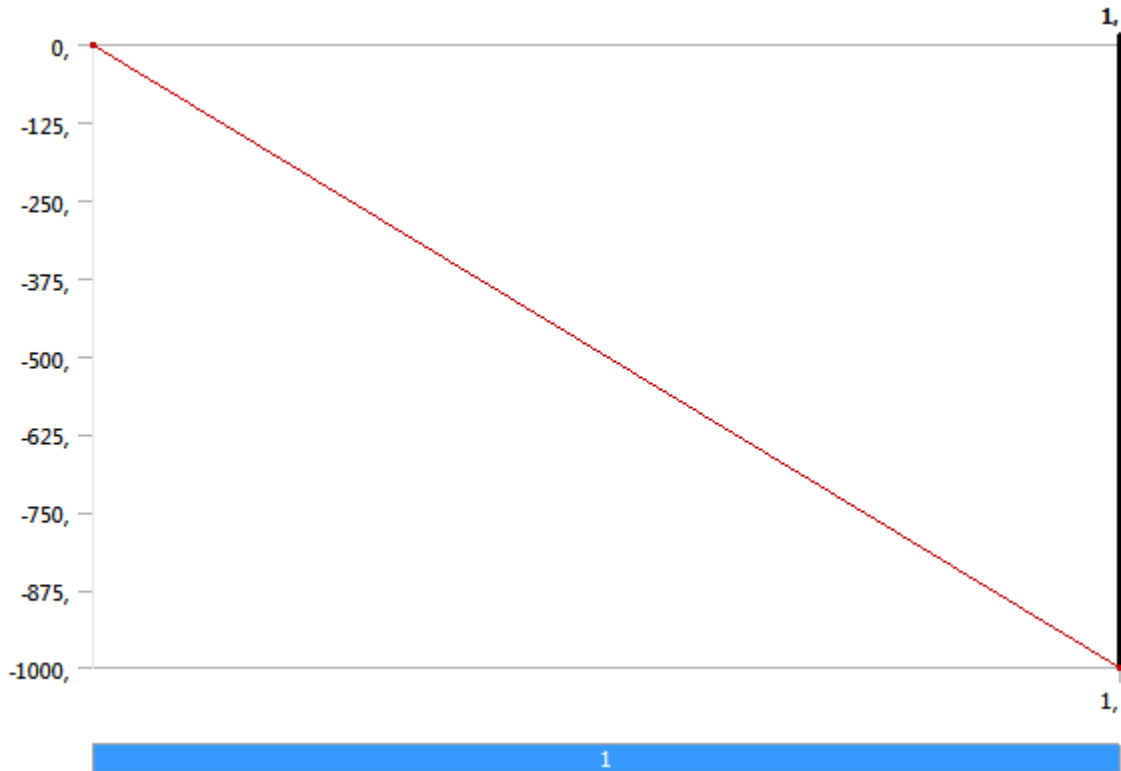
**FIGURE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 9**



**TABLE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

Object Name	<i>Force 10</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	Dragkraft
<b>Definition</b>	
Type	Force
Define By	Vector
Magnitude	-1000, N (ramped)
Direction	Defined
Suppressed	No

**FIGURE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 10**



*Solution (B6)*

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	



Status	Done
--------	------

**TABLE 13**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

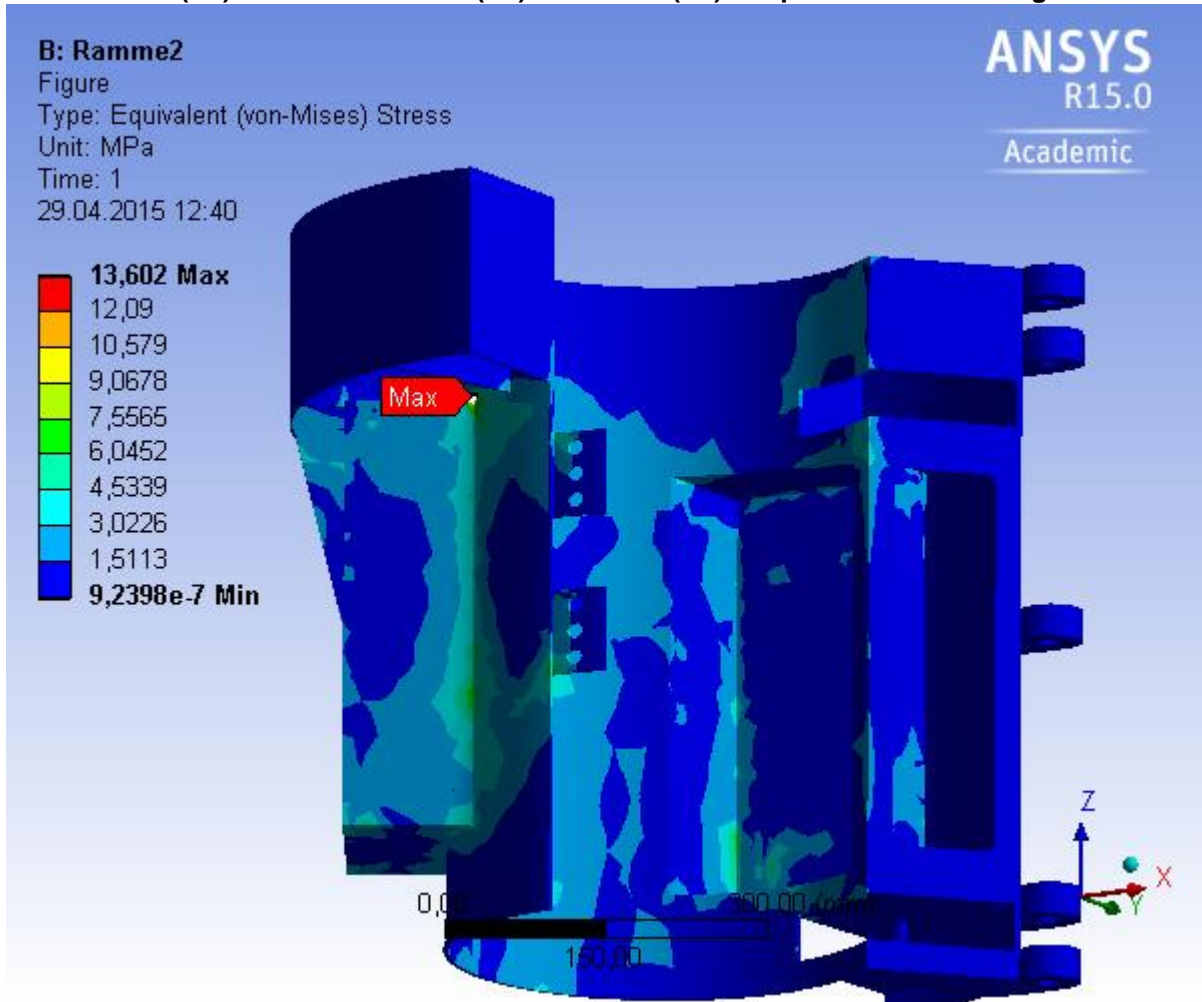
Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 14**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Integration Point Results</b>		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
<b>Results</b>		
Minimum	9,2398e-007 MPa	0, mm
Maximum	13,602 MPa	7,9625e-002 mm
<b>Minimum Value Over Time</b>		
Minimum	9,2398e-007 MPa	0, mm
Maximum	9,2398e-007 MPa	0, mm
<b>Maximum Value Over Time</b>		
Minimum	13,602 MPa	7,9625e-002 mm
Maximum	13,602 MPa	7,9625e-002 mm
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	

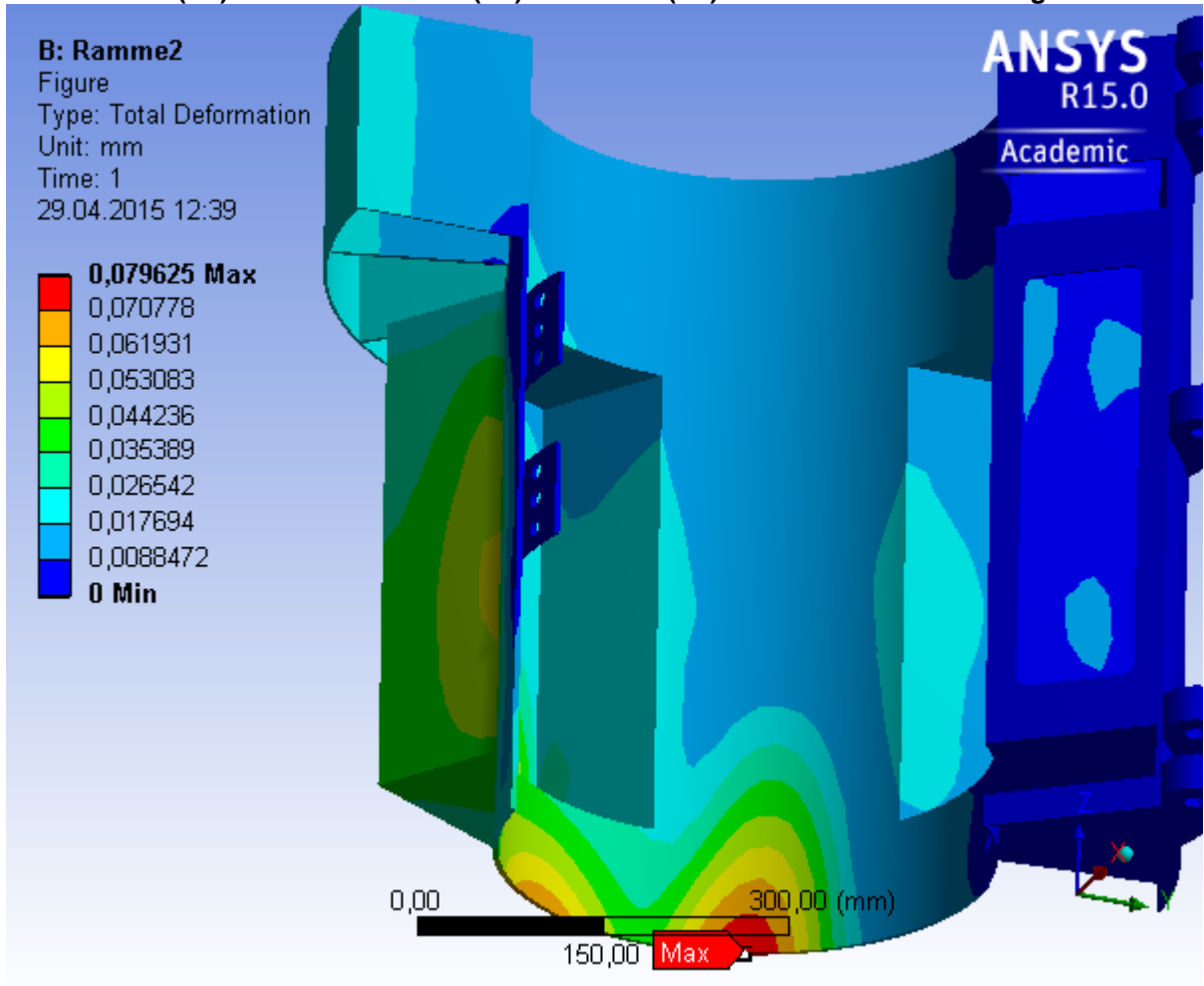
Iteration Number	1
------------------	---

**FIGURE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress > Figure**





**FIGURE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure**



*Material Data  
 Aluminum Alloy*

**TABLE 15**  
**Aluminum Alloy > Constants**

Density	2,77e-009 tonne mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	2,3e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	8,75e+008 mJ tonne <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>

**TABLE 16**  
**Aluminum Alloy > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa	0,
-----------------------------------	----

**TABLE 17**  
**Aluminum Alloy > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa	280,
--------------------------------	------

**TABLE 18**  
**Aluminum Alloy > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
280,

**TABLE 19**  
**Aluminum Alloy > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
310,

**TABLE 20**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22,

**TABLE 21**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Thermal Conductivity**

Thermal Conductivity W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>	Temperature C
0,114	-100,
0,144	0,
0,165	100,
0,175	200,

**TABLE 22**  
**Aluminum Alloy > Alternating Stress R-Ratio**

Alternating Stress MPa	Cycles	R-Ratio
275,8	1700,	-1,
241,3	5000,	-1,
206,8	34000	-1,
172,4	1,4e+005	-1,
137,9	8,e+005	-1,
117,2	2,4e+006	-1,
89,63	5,5e+007	-1,
82,74	1,e+008	-1,
170,6	50000	-0,5
139,6	3,5e+005	-0,5
108,6	3,7e+006	-0,5
87,91	1,4e+007	-0,5
77,57	5,e+007	-0,5
72,39	1,e+008	-0,5
144,8	50000	0,
120,7	1,9e+005	0,
103,4	1,3e+006	0,
93,08	4,4e+006	0,
86,18	1,2e+007	0,
72,39	1,e+008	0,
74,12	3,e+005	0,5
70,67	1,5e+006	0,5
66,36	1,2e+007	0,5
62,05	1,e+008	0,5



**TABLE 23**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Resistivity**

Resistivity ohm mm	Temperature C
2,43e-005	0,
2,67e-005	20,
3,63e-005	100,

**TABLE 24**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	71000	0,33	69608	26692

**TABLE 25**  
**Aluminum Alloy > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
1,



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

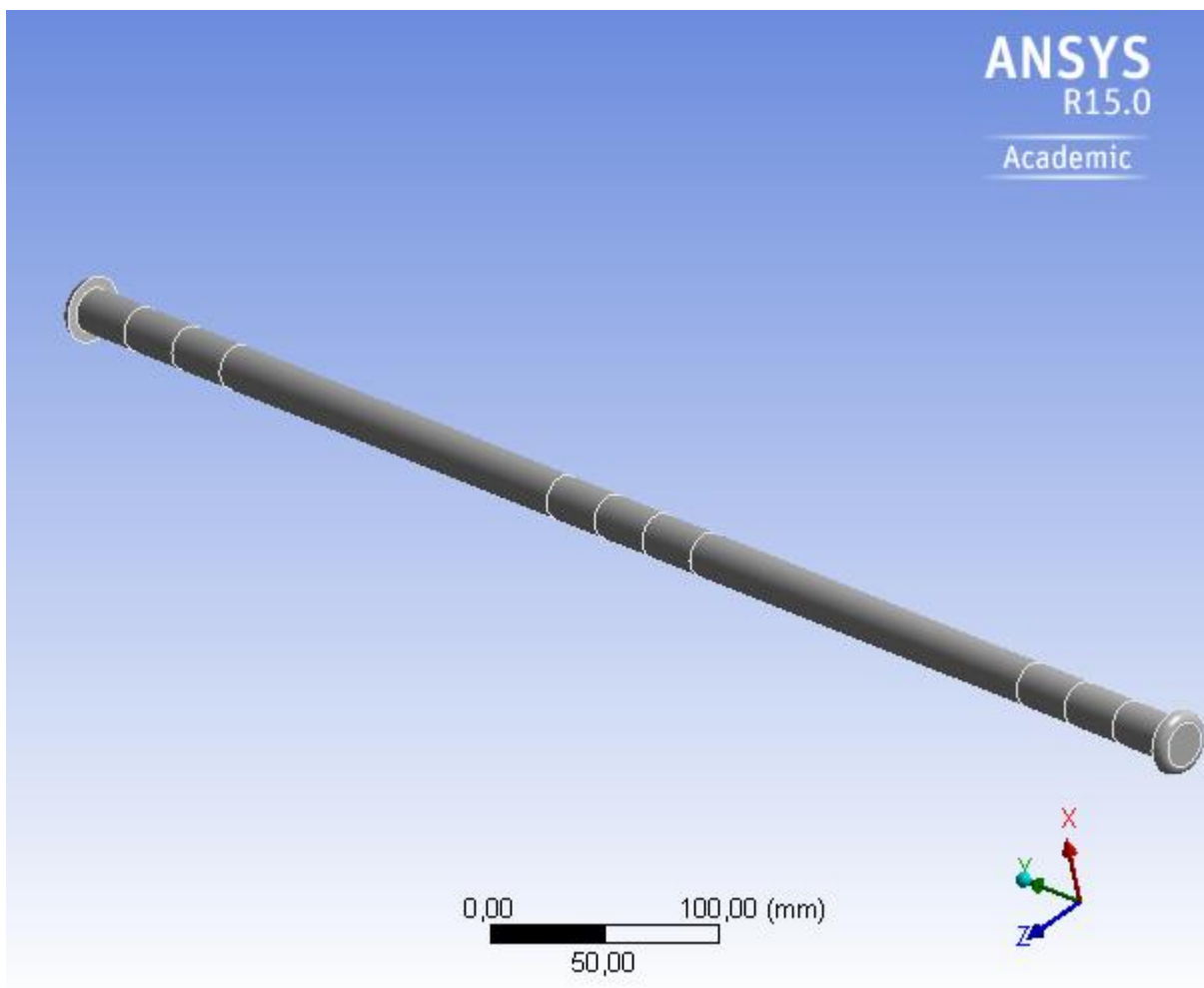
# DEEPOCEAN

## Vedlegg Q: ANSYS-Rapport gjennomgående bolt



### Project

First Saved	Wednesday, April 01, 2015
Last Saved	Wednesday, April 29, 2015
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No





*Contents*

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Staget.ipt](#)
      - [Parts](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Connections](#)
    - [Contacts](#)
      - [Contact Regions](#)
  - [Mesh](#)
  - [Named Selections](#)
  - [Static Structural \(B5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Stainless Steel](#)

*Units*

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

*Model (B4)  
Geometry*

**TABLE 2  
Model (B4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	H:\Application Data\Bachelor dokument\Inventor\Staget.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Material
<b>Bounding Box</b>	
Length X	30, mm
Length Y	690, mm
Length Z	30, mm
<b>Properties</b>	
Volume	2,1937e+005 mm <sup>3</sup>
Mass	1,7001e-003 t



Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	13
Active Bodies	13
Nodes	5990
Elements	1026
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\131573\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Body Groups**

Object Name	<i>Staget.ipt</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Assignment	Stainless Steel
Coordinate System	Default Coordinate System
<b>Bounding Box</b>	
Length X	30, mm
Length Y	690, mm
Length Z	30, mm
<b>Properties</b>	
Volume	2,1976e+005 mm <sup>3</sup>
Mass	1,7001e-003 t
Centroid X	1,359e-008 mm
Centroid Y	340, mm
Centroid Z	1,95e-012 mm



Moment of Inertia Ip1	69,251 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	8,7204e-002 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	69,251 t·mm <sup>2</sup>
Statistics	
Nodes	5990
Elements	1026
Mesh Metric	None

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Geometry > Staget.ipt > Parts**

Object Name	Solid1	Solid2	Solid3	Solid4	Solid5	Solid6	Solid7	Solid8	Solid9	Solid10	Solid11
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Material											
Assignment	Stainless Steel										
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	20, mm	30, mm	20, mm								
Length Y	30, mm	5, mm	30, mm	205, mm	30, mm			205, mm	30, mm		
Length Z	20, mm	30, mm	20, mm								
Properties											
Volume	9399, mm <sup>3</sup>	3051,8 mm <sup>3</sup>	9399, mm <sup>3</sup>	64337 mm <sup>3</sup>	9399, mm <sup>3</sup>			64337 mm <sup>3</sup>	9399, mm <sup>3</sup>		
Mass	7,2842e-005 t	2,3652e-005 t	7,2842e-005 t	4,9861e-004 t	7,2842e-005 t			4,9861e-004 t	7,2842e-005 t		
Centroid X	- 2,9052e-008 mm	1,7528e-007 mm	2,9052e-008 mm	- 1,5818e-017 mm	2,9052e-008 mm			- 3,9977e-016 mm	2,9052e-008 mm		



Centroid Y	15, mm	- 2,2925 mm	45, mm	75, mm	192,5 mm	310, mm	340, mm	370, mm	487,5 mm	605, mm	635, mm
Centroid Z	1,1535 e-016 mm	- 2,4499 e-007 mm	- 1,1191 e-016 mm	- 6,7213 e-017 mm	7,8372 e-017 mm	2,5962 e-016 mm	4,1758 e-016 mm	5,4447 e-017 mm	- 9,4766 e-016 mm	5,9953 e-016 mm	2,0425 e-016 mm
Moment of Inertia Ip1	7,2792 e-003 t·mm <sup>2</sup>	1,2219 e-003 t·mm <sup>2</sup>	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>		1,7586 t·mm <sup>2</sup>	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>		1,7586 t·mm <sup>2</sup>	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>		
Moment of Inertia Ip2	3,6321 e-003 t·mm <sup>2</sup>	2,3519 e-003 t·mm <sup>2</sup>	3,6321e-003 t·mm <sup>2</sup>		2,4905 e-002 t·mm <sup>2</sup>	3,6321e-003 t·mm <sup>2</sup>		2,4905 e-002 t·mm <sup>2</sup>	3,6321e-003 t·mm <sup>2</sup>		
Moment of Inertia Ip3	7,2792 e-003 t·mm <sup>2</sup>	1,2219 e-003 t·mm <sup>2</sup>	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>		1,7586 t·mm <sup>2</sup>	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>		1,7586 t·mm <sup>2</sup>	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>		
<b>Statistics</b>											
Nodes	274	154	274	1608	274		1608	274			
Elements	44	18	44	297	44		297	44			
Mesh Metric	None										

**TABLE 5**  
**Model (B4) > Geometry > Staget.ipt > Parts**

Object Name	<i>Solid12</i>	<i>Solid13</i>
State	Meshed	
<b>Graphics Properties</b>		
Visible	Yes	
Transparency	1	
<b>Definition</b>		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
<b>Material</b>		
Assignment	Stainless Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
<b>Bounding Box</b>		
Length X	20, mm	30, mm
Length Y	30, mm	5, mm
Length Z	20, mm	30, mm
<b>Properties</b>		
Volume	9399, mm <sup>3</sup>	3051,8 mm <sup>3</sup>
Mass	7,2842e-005 t	2,3652e-005 t
Centroid X	2,9052e-008 mm	1,7528e-007 mm
Centroid Y	665, mm	682,29 mm
Centroid Z	2,7685e-018 mm	2,4513e-007 mm
Moment of Inertia Ip1	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>	1,2219e-003 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	3,6321e-003 t·mm <sup>2</sup>	2,3519e-003 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	7,2792e-003 t·mm <sup>2</sup>	1,2219e-003 t·mm <sup>2</sup>





Statistics		
Nodes	274	154
Elements	44	18
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

**TABLE 6**  
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

Connections

**TABLE 7**  
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

**TABLE 8**  
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	1,7283 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All



Group By	Bodies
Search Across	Bodies

**TABLE 9**  
**Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions**

Object Name	<i>Contact Region</i>	<i>Contact Region 2</i>	<i>Contact Region 3</i>	<i>Contact Region 4</i>	<i>Contact Region 5</i>	<i>Contact Region 6</i>	<i>Contact Region 7</i>	<i>Contact Region 8</i>	<i>Contact Region 9</i>	<i>Contact Region 10</i>	<i>Contact Region 11</i>
State	Fully Defined										
<b>Scope</b>											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face										
Target	1 Face										
Contact Bodies	Solid1	Solid3	Solid4	Solid5	Solid6	Solid7	Solid8	Solid9	Solid10	Solid11	Solid11
Target Bodies	Solid2	Solid3	Solid4	Solid5	Solid6	Solid7	Solid8	Solid9	Solid10	Solid11	Solid12
<b>Definition</b>											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7283 mm										
Suppressed	No										
<b>Advanced</b>											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
<b>Geometric Modification</b>											
Contact Geometry Correction	None										



**TABLE 10**  
**Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions**

Object Name	<i>Contact Region 12</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	Solid12
Target Bodies	Solid13
<b>Definition</b>	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	1,7283 mm
Suppressed	No
<b>Advanced</b>	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
<b>Geometric Modification</b>	
Contact Geometry Correction	None

*Mesh*

**TABLE 11**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	62,8320 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5



Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	Yes
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	5990
Elements	1026
Mesh Metric	None

*Named Selections*

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Named Selections > Named Selections**

Object Name	<i>Kraft</i>	<i>Friksjonslager</i>	<i>Fast lager</i>
State	Fully Defined		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	12 Edges	11 Faces	6 Faces
<b>Definition</b>			
Send to Solver	Yes		
Visible	Yes		
Program Controlled Inflation	Exclude		
<b>Statistics</b>			
Type	Manual		
Total Selection	12 Edges	11 Faces	6 Faces
Suppressed	0		
Used by Mesh Worksheet	No		



Static Structural (B5)

**TABLE 13**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	Static Structural (B5)
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 14**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	H:\Application Data\Bachelor

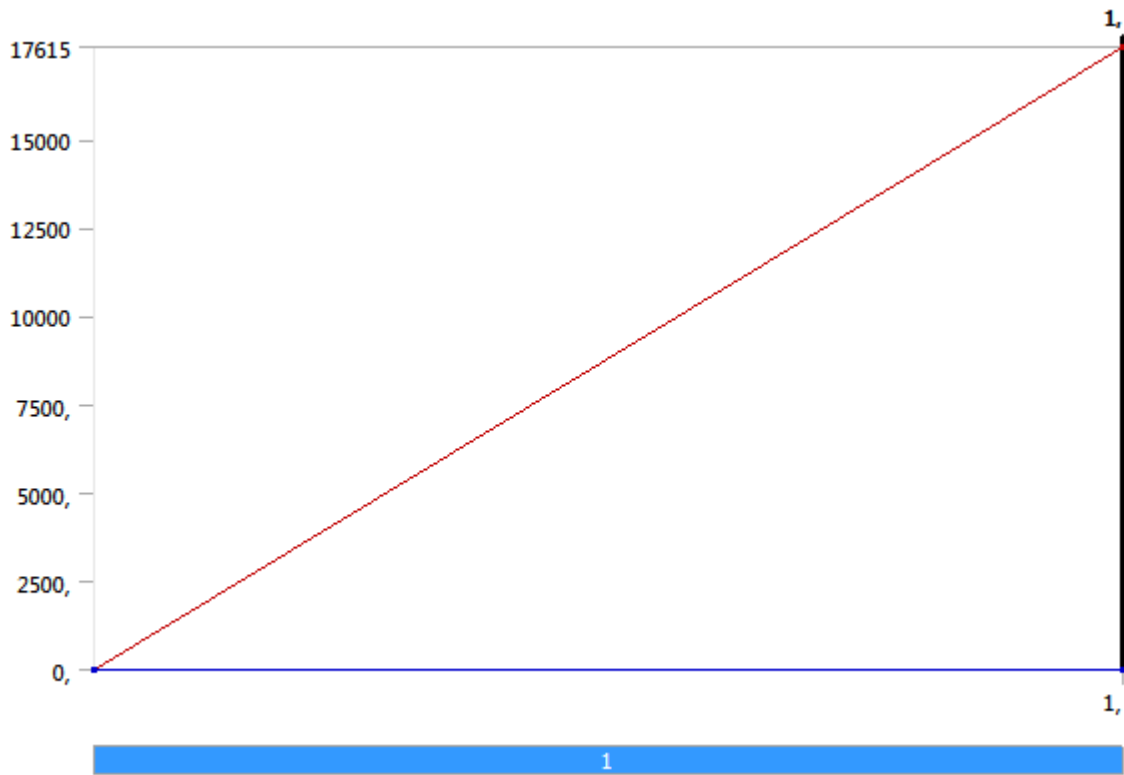


	dokument\Inventor\Stag\Stag_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 15**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

Object Name	<i>Frictionless Support</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>
State	Fully Defined		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Named Selection		
Named Selection	Friksjonslager	Fast lager	Kraft
<b>Definition</b>			
Type	Frictionless Support	Fixed Support	Force
Suppressed	No		
Define By	Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	17615 N (ramped)		
Y Component	0, N (ramped)		
Z Component	0, N (ramped)		

**FIGURE 1**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force**



*Solution (B6)*

**TABLE 16**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 17**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors



Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 18**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Integration Point Results</b>		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
<b>Results</b>		
Minimum	6,2534e-010 MPa	0, mm
Maximum	30,183 MPa	6,0527e-004 mm
Minimum Occurs On	Solid13	
Maximum Occurs On	Solid11	
<b>Minimum Value Over Time</b>		
Minimum	6,2534e-010 MPa	0, mm
Maximum	6,2534e-010 MPa	0, mm
<b>Maximum Value Over Time</b>		
Minimum	30,183 MPa	6,0527e-004 mm
Maximum	30,183 MPa	6,0527e-004 mm
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	



FIGURE 2

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress > Figure

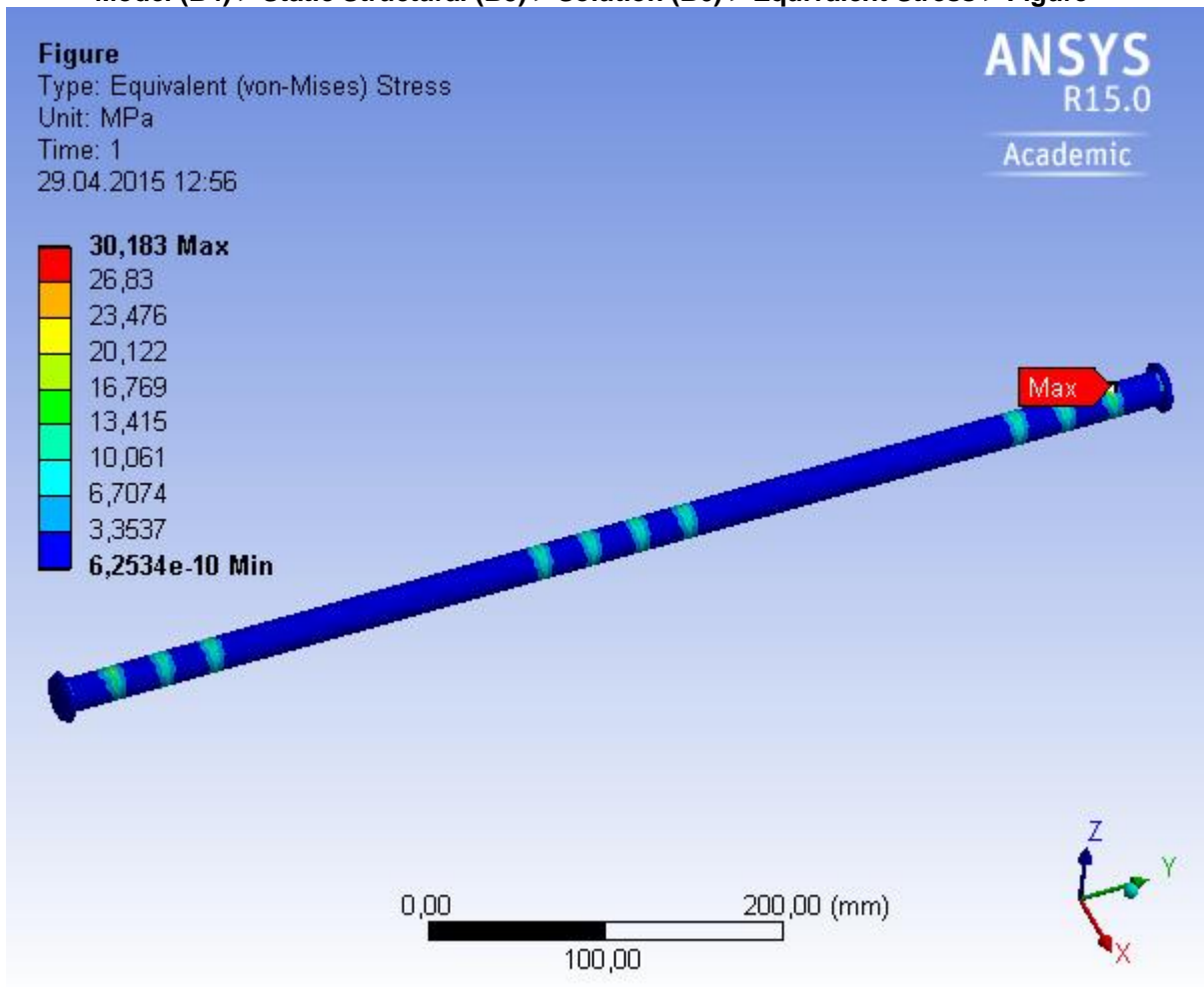
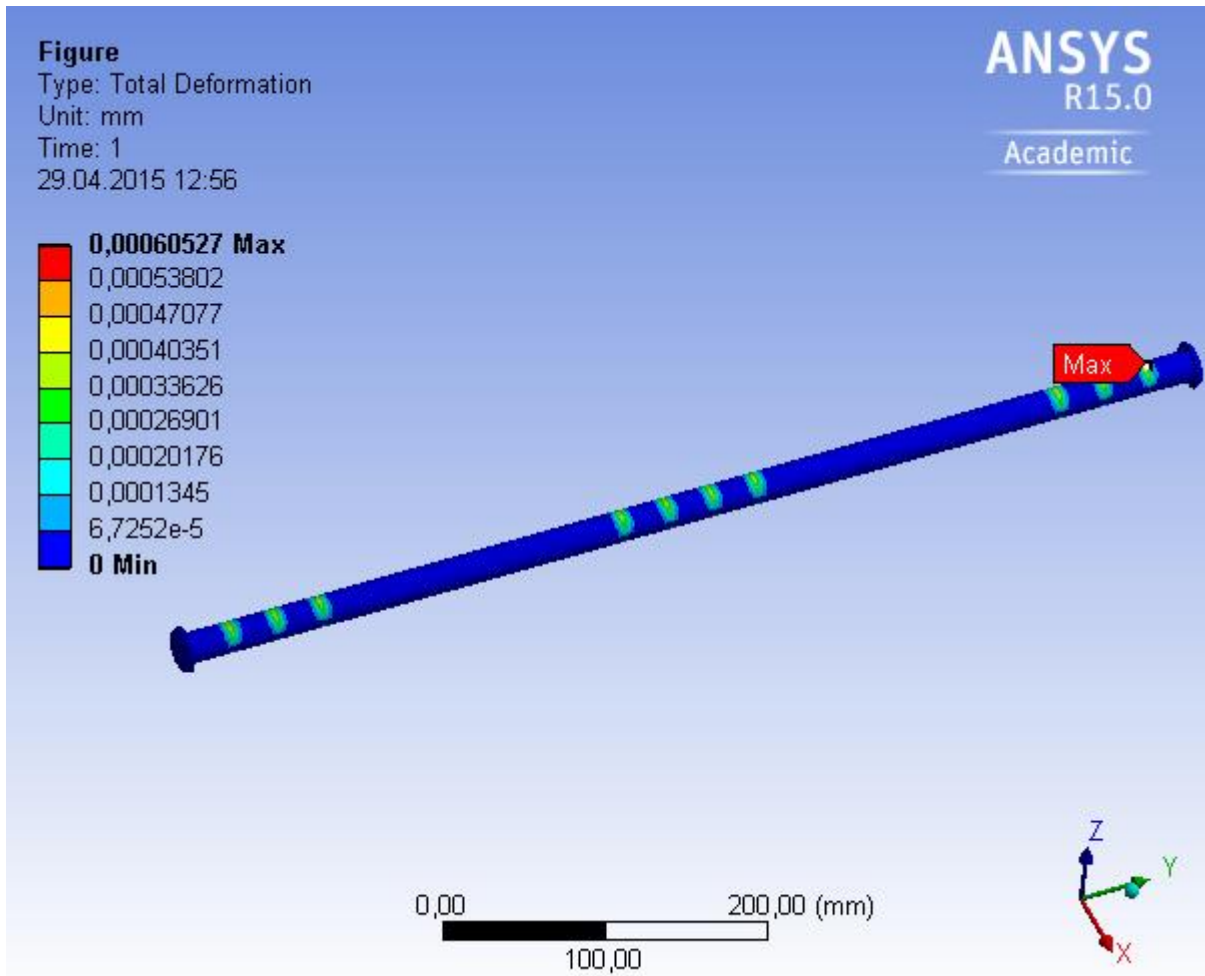


FIGURE 3

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure



*Material Data  
 Stainless Steel*

**TABLE 19**  
**Stainless Steel > Constants**

Density	7,75e-009 tonne mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,7e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,8e+008 mJ tonne <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	1,51e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	7,7e-004 ohm mm

**TABLE 20**  
**Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa	0,
-----------------------------------	----

**TABLE 21**  
**Stainless Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa	207,
--------------------------------	------



**TABLE 22**  
**Stainless Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
207,

**TABLE 23**  
**Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
586,

**TABLE 24**  
**Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22,

**TABLE 25**  
**Stainless Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	1,93e+005	0,31	1,693e+005	73664

**TABLE 26**  
**Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
1,



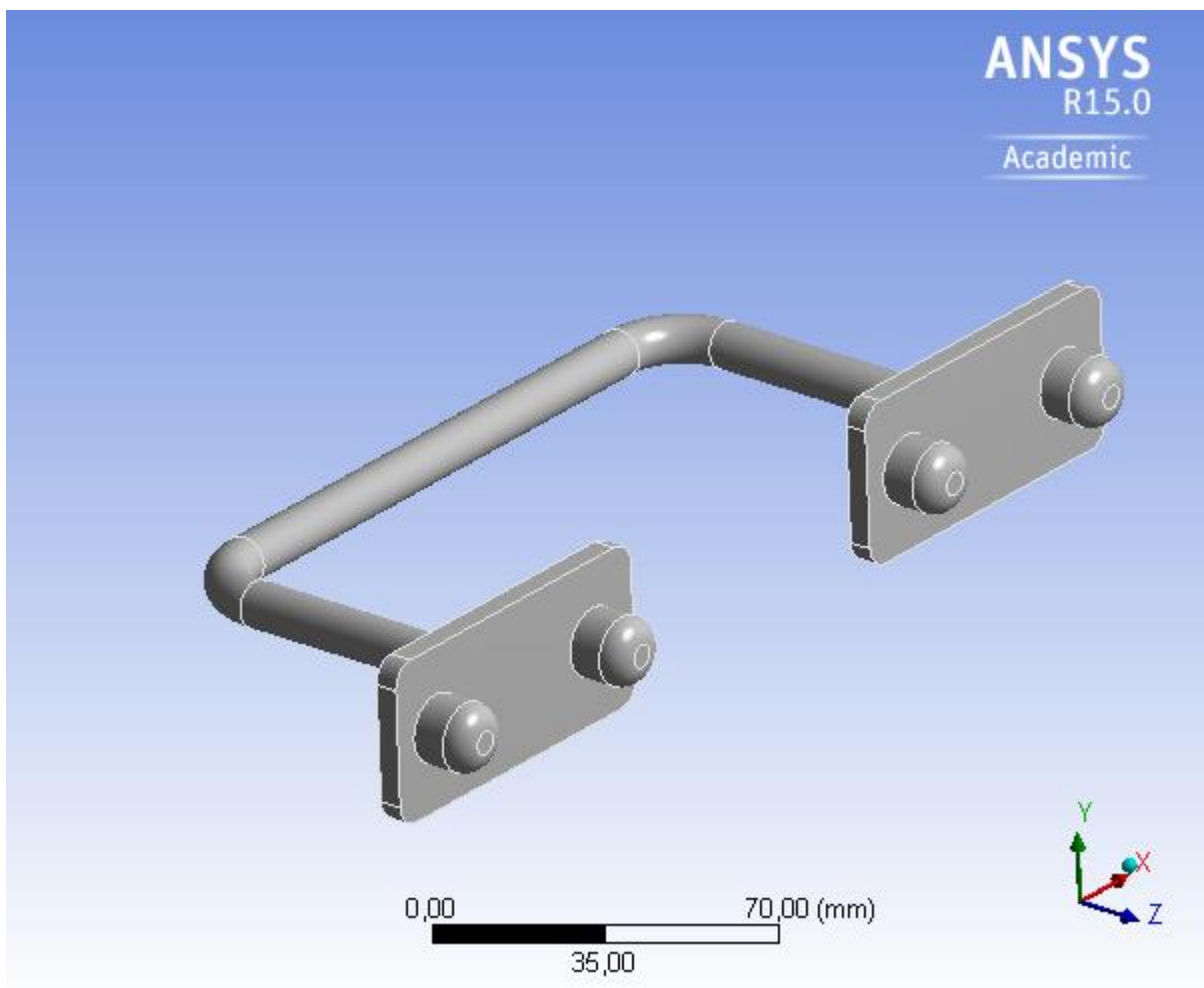
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Vedlegg R: ANSYS-rapport låsemekanisme



### Project

First Saved	Thursday, April 16, 2015
Last Saved	Wednesday, April 29, 2015
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No





## Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Lås for 2D.ipt](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
    - [Body Sizing](#)
  - [Named Selections](#)
  - [Static Structural \(B5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Stainless Steel](#)

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)	Degrees	rad/s	Celsius
Angle		Degrees		
Rotational Velocity		rad/s		
Temperature		Celsius		

## Model (B4)



**TABLE 2**  
**Model (B4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	E:\Skule\Bachelor\Tegning\Ferdi\Ferdi med Lås\Lås for 2D.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	225, mm
Length Y	36, mm
Length Z	100, mm
<b>Properties</b>	
Volume	57704 mm <sup>3</sup>
Mass	0,4472 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	8143
Elements	4235
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\134755\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Lås for 2D.ipt</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
<b>Material</b>	
Assignment	Stainless Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	225, mm
Length Y	36, mm
Length Z	100, mm
<b>Properties</b>	
Volume	57704 mm <sup>3</sup>
Mass	0,4472 kg
Centroid X	-1,057e-008 mm
Centroid Y	1,0833e-010 mm
Centroid Z	-19,943 mm
Moment of Inertia Ip1	542,89 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	2823,1 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	2328,3 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	8143
Elements	4235
Mesh Metric	None

### Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]



**TABLE 5**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	Mesh
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	5,0 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	Yes
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	8143
Elements	4235
Mesh Metric	None



**TABLE 6**  
**Model (B4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	5, mm
Behavior	Soft

*Named Selections*

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Named Selections > Named Selections**

Object Name	<i>Kraft</i>	<i>Lager</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	4 Faces	2 Faces
<b>Definition</b>		
Send to Solver	Yes	
Visible	Yes	
Program Controlled Inflation	Exclude	
<b>Statistics</b>		
Type	Manual	
Total Selection	4 Faces	2 Faces
Suppressed	0	
Used by Mesh Worksheet	No	

*Static Structural (B5)*

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No



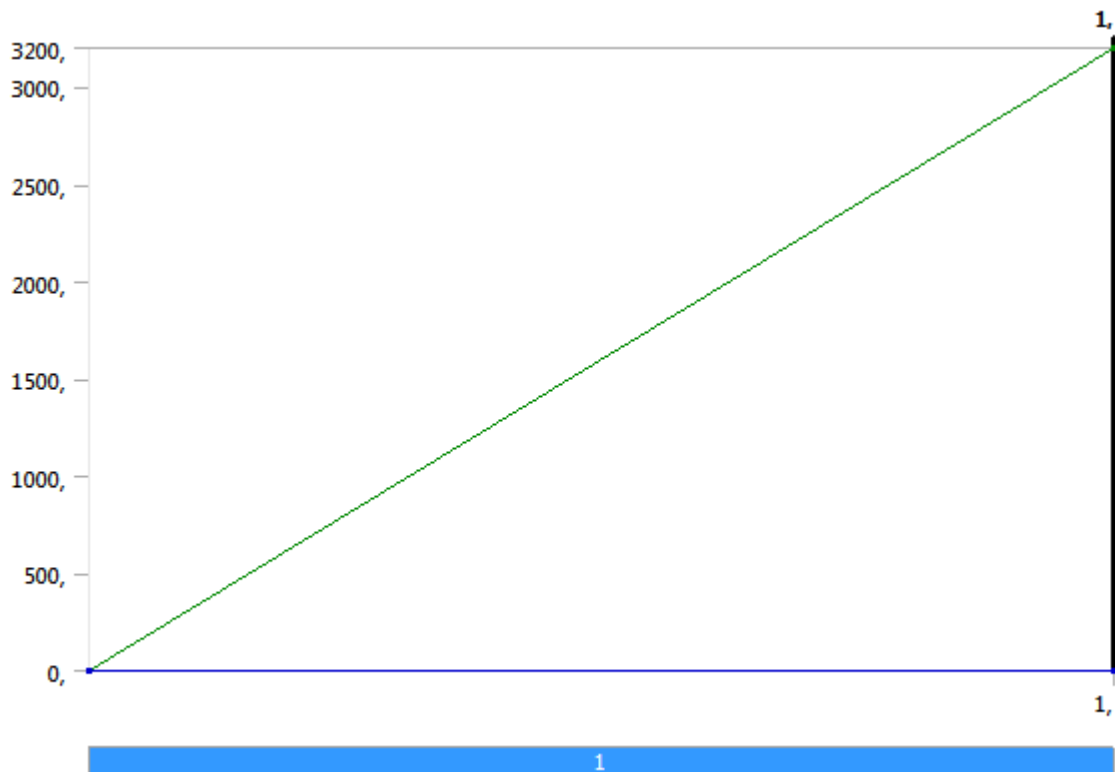
**TABLE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\Skule\Bachelor\Ansys\Lås_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

Object Name	<i>Force</i>	<i>Cylindrical Support</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Named Selection	
Named Selection	Kraft	Lager
<b>Definition</b>		
Type	Force	Cylindrical Support
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0, N (ramped)	
Y Component	3200, N (ramped)	
Z Component	0, N (ramped)	
Suppressed	No	
Radial		Fixed
Axial		Fixed
Tangential		Fixed

**FIGURE 1**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force**





**TABLE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 13**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Integration Point Results</b>		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
<b>Results</b>		
Minimum	1,5885e-010 MPa	0, mm
Maximum	44,025 MPa	1,9999e-002 mm
<b>Minimum Value Over Time</b>		
Minimum	1,5885e-010 MPa	0, mm
Maximum	1,5885e-010 MPa	0, mm
<b>Maximum Value Over Time</b>		
Minimum	44,025 MPa	1,9999e-002 mm
Maximum	44,025 MPa	1,9999e-002 mm
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

FIGURE 2

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress > Figure

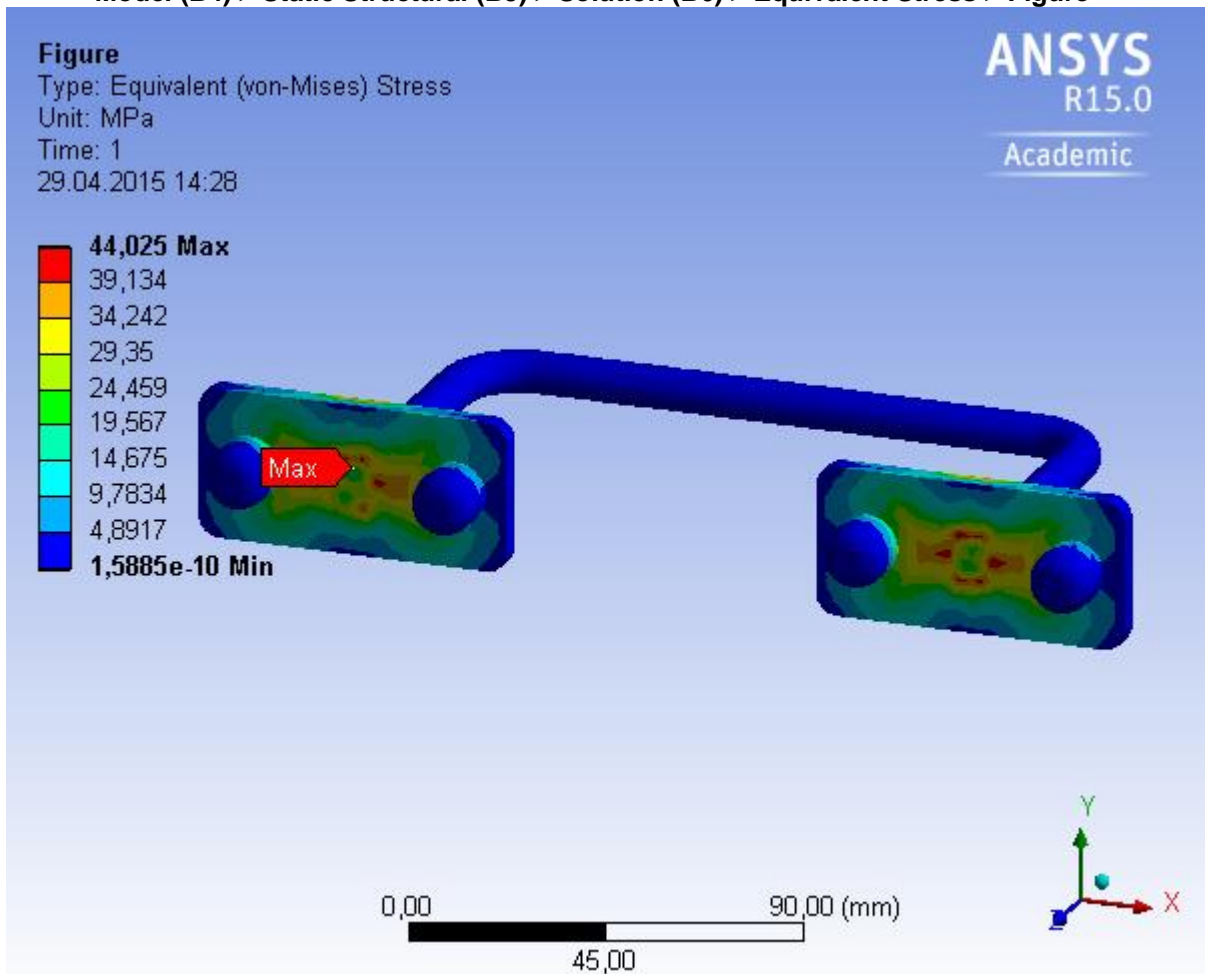
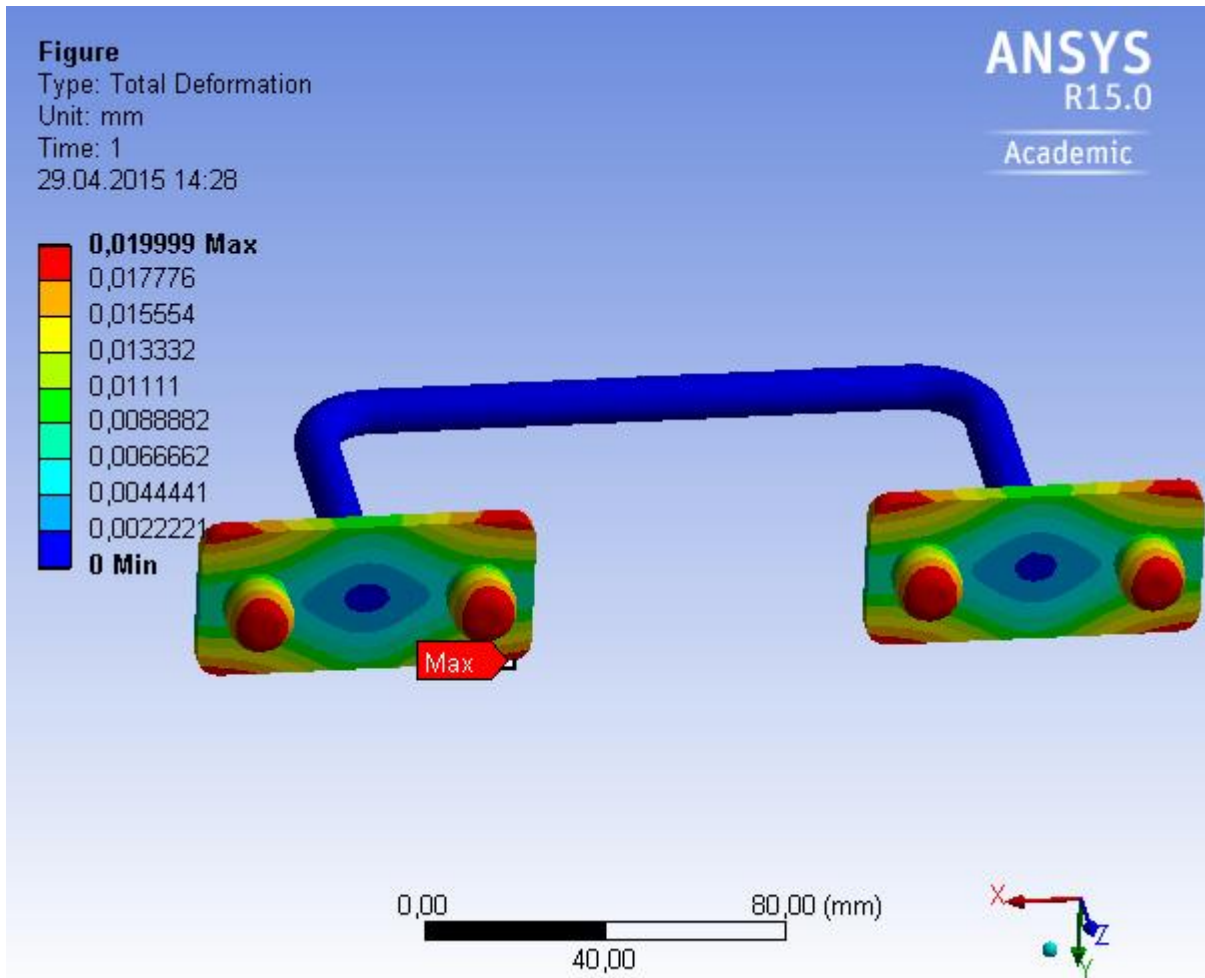


FIGURE 3

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure





**TABLE 14**  
**Stainless Steel > Constants**

Density	7,75e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,7e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,8e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	1,51e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	7,7e-004 ohm mm

**TABLE 15**  
**Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

**TABLE 16**  
**Stainless Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
207,

**TABLE 17**  
**Stainless Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
207,

**TABLE 18**  
**Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
586,

**TABLE 19**  
**Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22,

**TABLE 20**  
**Stainless Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	1,93e+005	0,31	1,693e+005	73664

**TABLE 21**  
**Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
1,