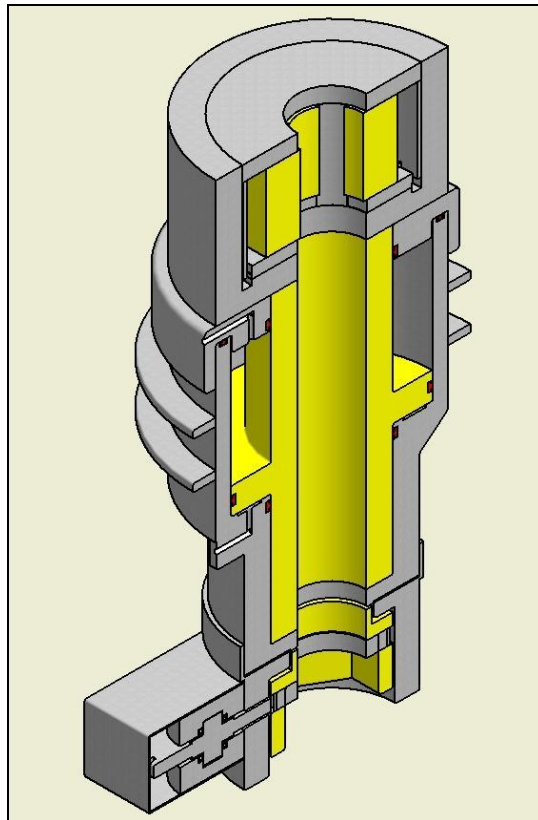




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Design av undervanns boltstrekker



BachelorOppgave utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

---

*Maskin, Energi- og Prosessteknikk*

Av: Jan Kåre Helvik  
Andreas Høvring

Kand.nr. 63  
Kand.nr. 79



---

## Forord

Som avslutning på ingeniørutdannelsen ved Høgskolen Stord/Haugesund skrives en bacheloroppgave. Denne oppgaven går ut på å løse en gitt problemstilling, ved hjelp av kunnskap en skal ha tatt til seg i løpet av utdanningen.

Gruppens oppgave gikk ut på å designe en undervanns boltstrekker for stramming av rørklammer, som igjen skal brukes for løfting av for eksempel produksjonslinjer eller en plattformstigerør. Denne oppgaven ble gitt etter kontakt med Imenco AS.

Denne oppgaven har bydd på store utfordringer som gruppen har løst ved bruk av tilegnede kunnskap fra fagene Maskinkonstruksjon II, Material og tilvirkning, Teknisk Tegning og Grunnleggende Maskinkonstruksjon, Oljehydraulikk, og Undervannsteknologi.

Gruppen ønsker å rette en stor takk til følgende personer:

- Jens Christian Lindaas, intern veileder fra Høgskolen Stord Haugesund
- Odd Einar Lindøe, ekstern veileder fra Imenco AS
- Steinar Gregersen, Brødr. Haukaas Mek. Verksted, kostnadsberegninger
- Bjørn Bjerkelund, Sauer-Danfoss, Informasjon om hydraulisk motor OMM 20
- Per Gjesdal, Vestpak AS, forslag til valg av pakninger.

I tillegg ønsker vi å takke:

- Arne Kinn, Engineer Manager, Imenco AS
- Bryan Seville, Hydratight, presentasjon av bedriftens løsning på boltstrekker

Dato: 08.05.09

---

Jan Kåre Helvik

---

Andreas Høvring

---

## Sammendrag

Imenco AS har sett et økende behov for kompetanse innen nedrustning i Nordsjøen, og for å opprettholde sin posisjon som stor underleverandør til den maritime industri har de her sett et kommende behov for verktøy og hjelpemiddel til løft av store rør-elementer. Og siden det på grunn av store kostnader ved maritime operasjoner hele tiden er ønskelig med løsninger for å korte ned det operasjonelle tidsvinduet, er det blitt utviklet et forslag på rørklammer som skal plasseres rundt nettopp rør-elementer. Dette klammeret skal deretter strammes ved hjelp av boltstrekker.

Som en illustrasjon på hvordan en boltstrekker kan se ut fikk gruppen utlevert en skisse over en boltstrekker for stramming av rørklammer som bedriften allerede hadde designet. Denne løsningen var underdimensjonert og burde forbedres.

Det finnes i dag mange andre løsninger på markedet som er dimensjonert for den ønskede kraften, men disse har fremdeles et forbedring potensial på grunn av kort slaglengde og at de fleste av dem må opereres ved hjelp av dykker.

Gruppens problemstilling ble da å designe en ny eller forbedre den eksisterende løsningen til Imenco AS, slik at boltstrekkeren fikk en kapasitet til å gi en kraft på 2452,5kN, og en slaglengde på 150mm.

Gruppen kom frem til et forslag om en ny og forbedret boltstrekker etter en gjennomgang av eksisterende løsninger på markedet. Ved hjelp av en intern diskusjon om hvilken løsning som passet best, måtte den utvalgte dimensjoneres for aktuelle laster ved hjelp av håndberegninger. Deretter kunne ideen legges på tegnebordet og designes i Autodesk Inventor. Til slutt ble designet kontrollert, for å sjekke om de manuelle beregningene stemte. Programmet som ble brukt til analysen var Ansys Workbench.

Rapporten er et produkt av gruppens forsøk på å gi Imenco AS et forslag til et design som kan være med og bidra til dens ønske om å forbli en stor underleverandør til den maritime industri.

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag .....	2
1.0 Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn for oppgave .....	5
1.2 Fakta om oppdragsgiver Imenco AS .....	6
1.3 Målsetting for oppgave.....	7
1.4 Dataverktøy og hjelpemidler .....	7
1.5 Begrensninger .....	7
2.0 Løfting av store rørdimensjoner.....	8
2.1 Undervannsløfting, en industri.....	8
2.2 Markedspotensial ved produktløsning for undervannsløfting.....	9
2.3 utfordringer ved undervannsløfting .....	10
2.4 Løfteoperasjonen .....	11
3.0 Konstruksjon av boltestrekker .....	12
3.1 Eksisterende produkter .....	12
3.2 Fremgangsmåte for løsning .....	16
3.3 Prosjektets bakgrunn: grunnmodell.....	17
3.4 Ulike konstruksjonsforslag/forbedringsforslag, og begrunnelse av valgt løsning .....	18
3.5 Utfordring 1: Konstruksjon med hensyn til vekt, materiale, og dimensjonering .....	20
3.5.1 Dimensjonering .....	20
3.5.2 Materialvalg .....	41
3.5.3 Pakningsvalg .....	42
3.5.4 Kontrollberegninger i Ansys .....	43
3.6 Utfordring 2: Konstruksjon med hensyn på operasjonsvennlighet .....	45
3.6.1 Muligheter for tilpasning til ROV-fartøyets brukergrensesnitt .....	45
3.6.2 Forslag til operasjonsprosedyre.....	46
3.7 Utfordring 3: Konstruksjonens krav til trykkforsyning .....	48
3.7.1 Hydraulikk og trykk-kompensering med hensyn på dybde .....	48
3.8 Kostnadsoverslag .....	50
3.9 Konklusjon.....	52

---

4.0 Ferdig produkt .....	53
Referanser .....	58
Faglitteratur .....	58
Figurliste .....	59
Pakningsleverandør.....	60
Materialleverandører.....	60
Vedlegg .....	61
Vedlegg A:    Tegninger av: Komplette boltstrekker montert på rørklammer	
Vedlegg B:    Tegninger av: Boltstrekker og dens deler	
Vedlegg C:    Tegninger av: Vår løsning til gjengegriper	
Vedlegg D:    Tegninger av: Vår løsning til understell	
Vedlegg E:    Tegninger av: Komplette boltstrekker med understell og gjengegriper	
Vedlegg F:    Tegning av: Vår løsning til hydraulikk	
Vedlegg G:    Teknisk data for S165M	
Vedlegg H:    Teknisk data for Aluminiumsbronse	
Vedlegg I:    Teknisk data på Pakninger: Pur-Red	
Vedlegg J:    Ansysberegninger	
Vedlegg K:    Teknisk data på OMM 20 hydraulisk motor	
Vedlegg L:    Kostnadsoverslag	
Vedlegg M:    Boltstrekker med ribber	

---

## 1.0 Innledning

### 1.1 Bakgrunn for oppgave

En bachelor-oppgave står som avslutning for ingeniørutdanningen ved Høgskolen Stord/Haugesund. Gruppen var interessert i å skrive en oppgave i samarbeid med en lokal subsea-aktør, og fant raskt Imenco AS som en spennende bedrift å ta kontakt med. De så ut til å jobbe med utfordrende problemstillinger som kunne friste. Etter at en forespørsel ble levert kom det et forslag tilbake fra Odd Einar Lindøe som gruppen enkelt kunne si ja til.

Tidene forandrer seg, også i Nordsjøen, og Imenco AS har sett et behov for forbedring av undervannsverktøy for bruk ved nedrustning av oljeinstallasjoner. I Nordsjøen finner en masse plattformer, rørledninger, og undervannsinstallasjoner. Når disse etter hvert blir gamle, og olje- og gassfelt blir tømt, må disse fjernes. Ved slike store undervanns løfteoperasjoner kreves det kraftig verktøy og utstyr. For eksempel ved snakk om store produksjonslinjer eller ikke minst en plattformstigerør, hvor det kan dreie seg om rørdiameter på halvannen meter. Av den grunn er tanken å bruke rørklamper på rørene, med kjettinger for selve løftingen. For å stramme disse rørklamrene trengs det boltstrekker. Disse strammer boltene, som igjen strammer rørklammeret. Fra før hadde Imenco AS en slik strekker, men den var underdimensjonert i forhold til de nevnte utfordringene.

Av den grunn gikk bedriftens forslag til oppgave ut på å forbedre denne strekkeren, eller å designe en ny og forbedret. Gruppen falt for forslaget med en gang, og det ble avtalt et møte på nyåret. Deltakere på møtet var gruppen sammen med skolens veileder Jens Christian Lindaas for HSH. For bedriften deltok Arne Kinn, ”Engineer Manager”, sammen med Odd Einar Lindøe, som veileder for bedriften. De sistnevnte presenterte en eksisterende boltstrekker som ikke hadde tilstrekkelig kapasitet for de behov bedriften siktet til. Denne hadde en maksimal strekkraft på bare 2060 kN og et arbeidstrykk på maksimalt 210 bar. Oppgaven kunne bestå i enten å forbedre denne løsningen, eller å designe en helt ny. Gruppen stod fritt til å bestemme selv.

Bedriften la så frem kriterier for hvilke egenskaper de ønsket for løsningen, og sammen med Jens Christian Lindaas fikk en definert selve oppgaven.

## 1.2 Fakta om oppdragsgiver Imenco AS



Figur 1: Imenco AS

Imenco AS er en stor underleverandør til den maritime industrien. De designer, utvikler og produserer et stort utvalg produkter innenfor løfting, undervannskameraer og -verktøy. De produserer også overvåkingsutstyr og tankingsutstyr for helikopter. I år, 2009, har selskapet 30 års jubileum, ettersom Imenco AS ble stiftet 23.april 1979. Med sine om lag 70 ansatte leverer bedriften tjenester til noen av de største olje- og boreselskapene i verden.



### 1.3 Målsetting for oppgave

Målsettingen for oppgaven er å modifisere eksisterende løsning eller å designe en ny boltstrekker. Denne skal ha en slaglengde på 150mm, operere med et arbeidstrykk på 70 MPa, og ha en maksimal tyngde på ca 1000 kN. En ville være kontaktsøkende mot både lokale og andre bedrifter som kan vise seg å være nyttige å hente informasjon fra for å få frem et produkt med tilstrekkelig brukergrensesnitt.

### 1.4 Dataverktøy og hjelpemidler

I tillegg til kjennskap til formler og kunnskap tilegnet gjennom utdanningen, har gruppen benyttet DAK programmet Inventor for selve designet av boltstrekkeren, og deretter brukt Ansys for kontroll av design. Gruppen har også benyttet Paint, et tegneprogram i Windows Vista/XP, for å tegne enkle skisser, samt Microsoft Office Visio 2007 for å lage et P&ID over hydraulikk-systemet.

### 1.5 Begrensninger

Hovedbegrensningen i denne oppgaven er ytterdiameteren til boltstrekkeren. Denne skal være minst mulig, og for å få til dette kan man bruke tynt gods. Problemet som oppstår da er store elastiske eller varige deformasjoner i selve strekkeren. Den vil gi etter for den store hydrauliske belastningen. I tillegg vil boltstrekkerens store slaglengde gjøre at boltstrekkeren ikke blir veldig kompakt, og den vil dermed bli lettere påvirket av de elastiske deformasjonene.

Gruppen må derfor finne en god løsning for å oppnå en stiv boltstrekker, samtidig som den har liten ytterdiameter.

---

## 2.0 Løfting av store rørdimensjoner

### 2.1 Undervannsløfting, en industri.

Ocean Traveler avsluttet i 1967 prøveboring på lisens 001 for Esso. De første oljespor var et faktum, men funnet var ikke lønnsomt. Full treff ble det derimot for Phillips, som i 1969 fant olje på Ekofisk.

Siden det norske olje-eventyret som smått startet i 1966, ved at Esso hentet opp de første oljedråpene fra norsk undergrunn, er det en kjennsgjerning at teknologien har utviklet seg radikalt med årene. Norsk teknologi relatert til olje-industrien er langt på vei ettertraktet over hele kloden. Det dreier seg om alt fra teknologi med hensyn på optimalisering for utvinning av olje og gass, og til teknologi for å redusere utslipp av giftige gasser fra samme medium. Og en ser ikke ut til å nøye seg med det.

Teknologisk utvikling har ført til at en langt større andel av installasjonen i Nordsjøen er lokalisert på havbunnen. Ventiltre er etter hvert blitt vanlig å installere under vann. Slike installasjoner er ofte besparende med tanke på vesentlig lavere budsjettering for vedlikehold, og ofte langt mindre omfattende installasjon. Og med den utviklingen har det ført med seg utfordringer innen undervannsløfting. Undervannsfartøy, ROV (Remotely operated underwater vehicle), er det mest vanlige verktøyet å benytte på lokasjonen. Ved hjelp av hydraulisk styrte armer, elektrisk/hydraulisk fremdrift og kamera som gir visuell kontakt for ROV-opererende personell, gjøres dykkere overflødig. Noe som fører til at omfattende sikkerhetskrav rundt dykkere faller bort. Og det utvalgte ROV-fartøyet som er brukervennlig i forhold til operasjonen den er satt inn til kan være langt mer anvendelig på havbunnen enn en dykker. Ifølge Oljedirektoratet er det uforsvarlig med dykking til dypere enn 180 meters dyp. Og på Petroleumstilsynets hjemmeside beskrives dykking som en sikkerhetsutfordring med så store fysiske og psykiske krav til dykkeren at det kan ha helsemessige påvirkninger.

Det er relativt tunge løft det er snakk om ved installasjon av ventiltre, men når en beveger seg mot en tid der det blir mer og mer snakk om nedrustning av gamle installasjoner som det ikke lengre svarer seg å opprettholde produksjon på, beveger en seg inn på dimensjoner som kan være langt større og knapt sammenlignbare. Alt fra gamle produksjonslinjer til hele installasjoner.

I 1966 var det vel neppe noen som helst som tenkte på utfordringer ved nedrustning av kommende installasjoner, eller de miljømessige aspekter ved selve demonteringen. I vår tid er det derimot blitt nødt til å ta denne biten seriøst, og flere og flere selskap har for lengst begynt å se potensialet i denne gryende industrien.

---

## 2.2 Markedspotensial ved produktløsning for undervannsløfting.

I dag er det ikke lengre bare snakk om oppbygging og optimalisering av oljefelt i nordsjøen, men også nedstengning og nedrustning av gamle felt som enten er tomme for olje og gass eller rett og slett ikke svarer seg å opprettholde produksjonen på.

En nedrustning innebærer store operasjoner og kanskje med tunge løft. Det benyttes for eksempel store ressurser på å utvikle en løsning hvor en skal kunne transportere hele plattformer til lands med skip for videre opphugging. Dette er et av mange prosjekter som selskap relatert til oljeindustrien jobber med.

Det dreier seg om en stadig voksende industri, og for å imøtekomme de utfordringer tunge løft innebærer, finnes det sikkerhetsmessige barrierer som kanskje er større enn hva en har måttet forholde seg til tidligere. Ikke bare med tanke på det faktiske forhold at det er snakk om store dimensjoner og tunge lasteoperasjoner, men også det åpenbare problemet med hensyn på natur og miljø. Feil håndtering ved nedrustning kan føre til seriøse miljøutslipp samtidig som det viser seg at det er nødvendig å ta hensyn til fiskeforekomster langs kysten vår.

## 2.3 utfordringer ved undervannsløfting

Siden en så de første ROV-ene på norsk sokkel på slutten av 1970-tallet, kalt ”eyeball” og opererte på Ekofisk-området, har teknologien, som på de fleste andre områder, gitt et positivt utslag på undervannsfarkoster. Brukergrensesnittet har utviklet seg som følge av at fremdriften, mobiliteten og det visuelle ved hjelp av kamera har forbedret seg radikalt samtidig som den hydrauliske kapasiteten og bruksområdet har blitt utvidet.

De begrensninger som et ROV-fartøy gir behøver ikke være noe stort problem. Der dens brukergrensesnitt kommer til kort vil supplering av verktøy og utstyr fra overflatefartøy kunne løse de fleste utfordringer. Men ROV-ens brukskapasitet kan spare mye tid, kostnader og generelt en operasjons kompleksitet. Desto mer anvendelig ROV-en er, desto mindre hjelp trengs det fra uavhengige operasjonelle systemer og prosedyrer.

Den største utfordringen kan altså ligge i brukergrensesnitt. Alt kan forbedres, og selv om den store teknologiske utviklingen i undervannsbransjen og oljeindustrien har gjort store underverker og langt på vei gjort installasjoner under havoverflaten enklere, er det mye som kan forbedres.

For undervannsløfting har utviklingen ført til rimelig avansert hivkompenserings-system. Denne form for kompensering ved undervannsløfting gjør at en unnslipper rimelig store energiutvekslinger som kan oppstå ved endring av fartøyets bevegelse i hiv-retning. Ved en slik stor energiutveksling nær havbunnen, for eksempel en kompressormodul som er nær ved å få kontakt med bunnrammen når den får en energiutveksling mot rammen ettersom fartøyet på overflaten beveger seg i samme retning, vil det kunne gjøre skader på moduler og kanskje også fartøyets operasjonelle systemer.

Det nevnes at nedrustning begynner å bli en større og større industri. Marine løfteoperasjoner blir bare tyngre og tyngre, noe som vil være den største utfordringen for aktører som ønsker å konkurrere om disse oppdragene. Ikke bare løftekapasitet fra overflatefartøy, men det må også dimensjoneres tilstrekkelig i festeanordninger på objektet.

Oppdragsutførende selskap ser det hensiktsmessig å søke etter løsninger hvor en kan korte ned på operasjonstid for fartøy, ettersom det vil være besparende både på kostnader og miljø.

Etter hvert eksisterer det mye rør på havbunnen. For eksempel produksjonslinjer som ved nedrustninger trengs fjernet, og ved andre tilfeller kanskje trengs oppgradert. Strukturen for understellet på installasjoner i Nordsjøen er ofte dominert av rør. Her ligger det en utfordring i å designe komponenter som kan fungere som bindemiddel mellom røret og wiren fra overflatefartøyet. Løftekapasiteten vil måtte være så stor at dimensjoneringen forhindrer varig deformering på metallet. Samtidig som komponenten ikke bør være så stor at den blir vanskelig å håndtere på overflatefartøyets dekk.

## 2.4 Løfteoperasjonen

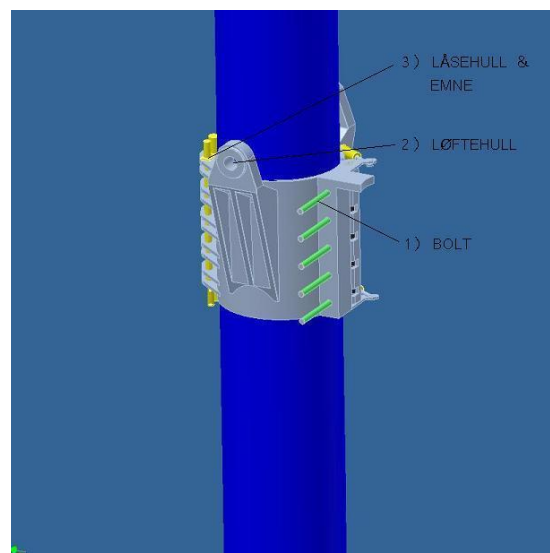
Intensjonen med denne boltstrammeren er at en gruppe av disse skal kunne stramme et rørklammer tilstrekkelig nok til at rør-elementet skal kunne løftes etter dette klammeret.

På klammer-modellen som er vist på fig 2 til høyre er det satt opp en løsning med 5 bolter som strammer det rundt røret. Det er på disse boltene det trengs boltstrammere for å gi tilstrekkelig stramming av klammeret (fig.1 punkt 1).

Overflatefartøy skal stå for selve løftet og kobles opp mot klammeret ved hjelp av en to kroker som står diagonalt overfor hverandre i klammerets diameter (fig.1 punkt 2)

Selve gapet på klammeret står diagonalt overfor klemflatene som boltene skal stramme mot hverandre. Klammeret tres over røret fra denne siden hvor gapet deretter blir låst lukket ved hjelp av et emne som strekkes aksialt gjennom tilrettelagte låsehull (fig 1 punkt 3).

En ROV vil stå for oppgaven å styre klammeret over røret og å låse gapet, og koble klammeret opp mot løfteutstyret som er senket ned fra overflatefartøy. Selve boltstrekkerne vil være monterte på dekk, og det eneste ROVen må gjøre da er å koble seg til hydraulikken og starte strekkingen.



Figur 2: 1:Rørklammer, 2: Løftehull, 3: Låsehull og emne

## 3.0 Konstruksjon av boltstrekker

### 3.1 Eksisterende produkter



På markedet i dag finnes det mange forskjellige typer hydrauliske boltstrekkerer. Felles for disse er at de er kompakte og løfter tungt. Et av problemene med disse er den korte slaglengden, noe som medfører at de må skifte grep for å strekke lengre enn hva de er beregnet for. Den maksimale slaglengden for flertallet av disse er alt fra 10mm til maksimum 30mm.

Det kompakte designet gjør at det må benyttes et høyt trykk for å oppnå den kraften som trengs for å strekke boltene. Noen av de kraftigste boltstrekkerne benytter seg av et trykk på 1500bar for å oppnå en tilsvarende kraft som ønskes i denne oppgaven. Dette betyr at det ikke er problemer med kraftmengden som trengs, men med hvor lang slaglengde som behøves.

Figur 3: Tentec Boltstrekker

Et annet problem med strekkerne er at selve mutteren må strammes for hånd. Dette betyr at de må håndteres av dykkere, noe som ikke vil egne seg for dypt vann. For Norge sin del, vil det ikke være aktuelt å bruke dykkere ved større dyp enn 180m. Det vil si at en slik løsning vil være uaktuell for Nordsjøen, da mye av utstyret befinner seg dypere enn 180m.

Ut i fra den informasjonen som er blitt gitt av diverse leverandører av slike boltstrekkerer fant gruppen ut at de vanligste løsningene som ble brukt er tilnærmet like Hydratight sin. Forskjellige leverandører leverer samme løsning med litt forskjellige spesifikasjoner. For eksempel kunne den ene leverandøren levere en som kunne strekke med en kraft på 15kN mer enn den største strekkeren til Hydratight.

Gruppen har derfor valgt å konsentrere seg om Hydratight og Imenco sine versjoner, men har allikevel valgt å ta med HTI og Tentec sine strekkere for å vise likhetene mellom disse og Hydratight sin.

## Hydratight Aquajack



Figur 4: Hydratight Aquajack

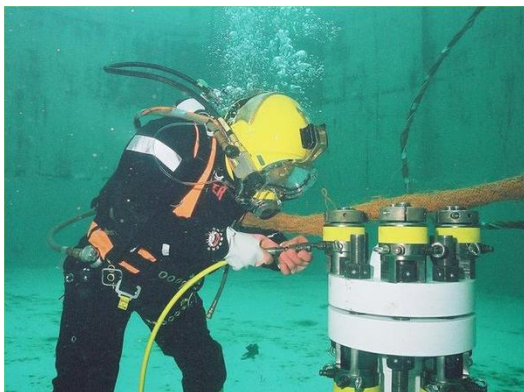
Dette er en kompakt boltstrekker, som finnes i mange forskjellige størrelser. Disse kan strekke bolter med en kraft på alt fra 17kN til 232kN, mens slaglengden begrenser seg til 20-30mm. Dette betyr at strekkeren må skifte grep vist den skal strekke mer enn de 20-30mm.

I tillegg har disse heller ikke noen hydraulisk stramming av mutteren når bolten blir strukket, og noen stoppfunksjon for stempelet finnes heller ikke. Men istedenfor blir det benyttet et indikatormerke som

fungerer på den måten at når dette vises, må pumpen stoppes slik at stempelet stanser. Det vil si at disse må være dykkeropererte, noe som ikke egner seg for større dyp. Selve låsingen av mutteren fungerer på den måten at man presser den splittede mutteren sammen slik at den går i lås. En mekanisk aktivert lås.



Figur 5: Hydratight Aquajack



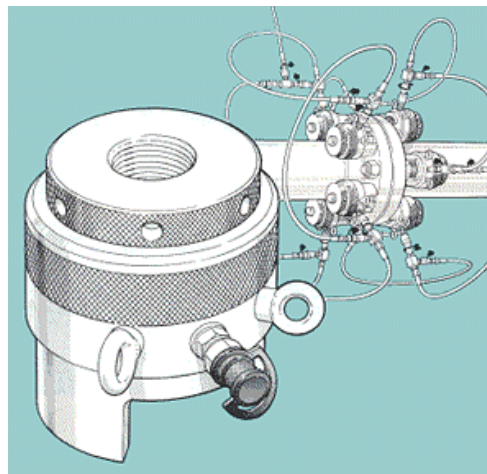
Figur 6: Dykker som operer Aquajack



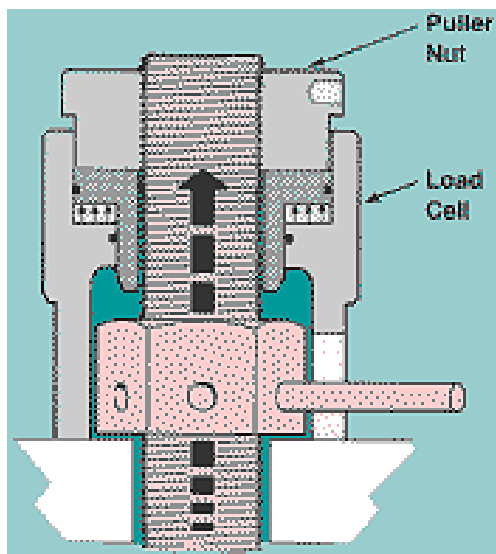
## HTI undervannsboltestrekker

Denne boltstrekkeren er tatt med for å vise likhetene mellom Hydratight sin Aquajack og resten av markede sine varianter. Denne har bare en slaglengde på 25mm, og har en annerledes låsemekanisme for bolten. Bolten skrues fast i stempelet, en vanskelig løsning med tanke på montering/demontering og skifting av grep. Fig. 7 viser boltstrekker i serie kobling for synkron stramming av en rørflens.

Denne boltstrekkeren er åpenbart mer anvendelig ved sammenkobling mellom rør enn ved montering av klammer på rør.



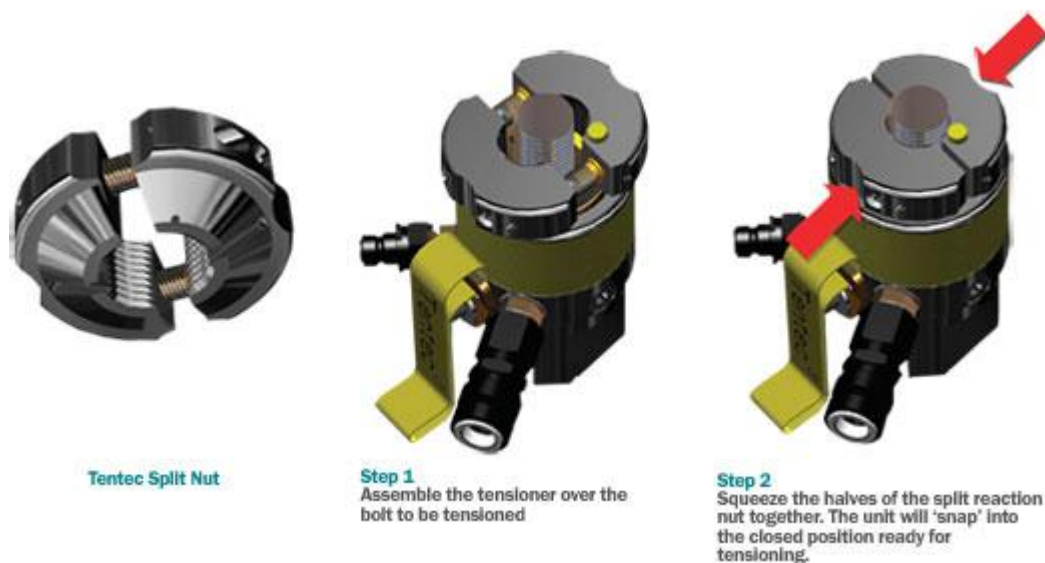
Figur 7: HTI Boltstrekker i serie



Figur 8: HTI strekker snitt



## Tentec Optimus-V



Figur 9: Optimus-V operasjonsprosedyre

Optimus-V er også tatt med for å vise likheter. Denne har en maksimal slaglengde på 30mm, og et maksimalt arbeidstrykk på 1500bar. Det benyttes samme låsemekanisme som i Hydratight sin strekker. I fig 9 vises det hvordan en slik strekker gjøres klar.

Dette er noen av boltstrekkene som finnes på markedet, og som beskrevet og sett over er løsningene tilnærmet like. Ingen av disse nevnte passer kriteriene som er gitt i denne oppgaven, da det i tillegg ønskes mer automatikk og en større slaglengde.

### 3.2 Fremgangsmåte for løsning

Gruppen startet opp med et møte med Imenco for å få definert ønskede krav og spesifikasjoner. Deretter begynte en å innhente informasjon om eksisterende produkter og løsninger, for så å begynne med en ide myldring. Flere løsninger ble vurdert opp mot hverandre før det ble bestemt hvilken løsning som passet best for formålet.

Minst mulig ytterdiameter og en vekt på +/-100kg var noen av kravene som ble stilt. Dette spilte en stor rolle for hvilket forslag som ble valgt. Deretter ble det gjort en del håndberegninger på hvordan boltstrekkeren skulle bli, og et design ble lagt frem i Inventor. Ved hjelp av håndberegningene kunne gruppen også finne ut hvilke materialer og pakninger som måtte benyttes.

Til slutt ble huset og stempelet til boltstrekkeren testet i Ansys for å ta en kontroll sjekk av gruppens beregninger.

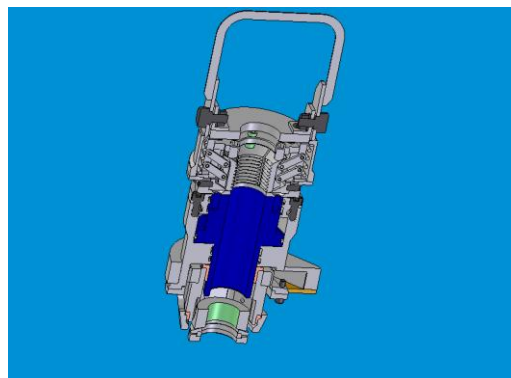
### 3.3 Prosjektets bakgrunn: grunnmodell

Strekkeren til Imenco (se fig 10 og 11) er, som nevnt tidligere i kapittel 1.1, grunnmodellen for vår oppgave. Denne er forskjellig fra Hydratight sin på den måten at den har en stoppfunksjon for stempelet når dette når sin fulle slaglengde, og den har også en hydraulisk motor for stramming av mutteren. Dette forenkler operasjonen veldig, og bruk av dykker vil være unødvendig.

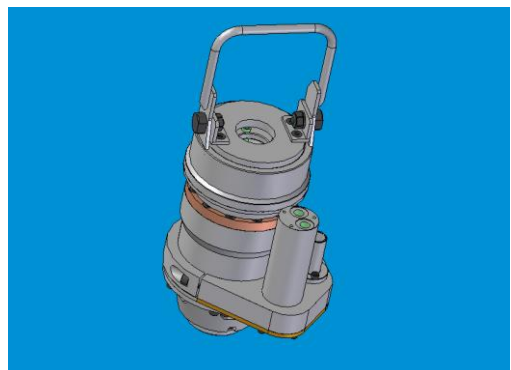
Problemet med denne, som nevnt tidligere i kapittel 1.1, er at den ikke er dimensjonert for så store krefter som

det behøves i denne oppgaven. Den har også et problem med topplokket, som skal stoppe stempelet når det når full slaglengde. Topplokket er boltet fast, noe som tar mye plass, og kommer til å ta enda mer plass ved et enda høyere arbeidstrykk. Det er derfor ønskelig å se på andre løsninger her.

Denne har også en mekanisk låsing av bolten slik at den kan strekkes. Denne må aktiveres ved hjelp av en ROV, men det er ønskelig å få til en hydraulisk løsning for å lukke/åpne mekanismen slik at det blir enklere å kunne skifte grep.



Figur 10: Imenco Boltstrekker snitt



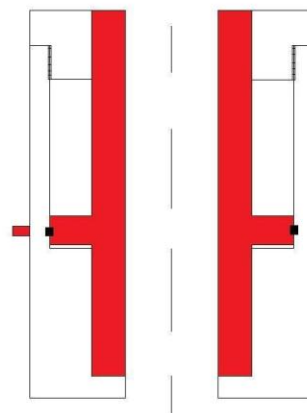
Figur 11: Imenco Boltstrekker

### 3.4 Ulike konstruksjonsforslag/forbedringsforslag, og begrunnelse av valgt løsning

Som nevnt i kap 3.2 begynte gruppen med å innhente informasjon om de boltstrekkerene som er på markedet, og ut i fra dette kunne gruppen komme med egne løsningsforslag og forbedringer. Kriteriene det ble jobbet etter var minst mulig ytre diameter og vekt. Gruppen kom da frem til 3 mulige løsninger.

#### Løsningsforslag 1(Figur 12):

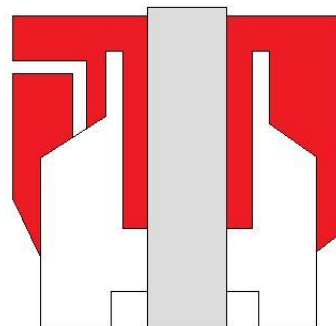
Var et enkelt design, som er en forbedring av Imenco AS sin boltstrekker. Forandringene som er gjort her er å bruke gjenger på innsiden istedenfor bolting på topplokket. Dette gjør at strekkeren får en minst mulig ytterdiameter. Fordelene med denne er det robuste og enkle designet. Ulempene er at vist det blir for mye elastisk deformasjon i toppen, vil topplokket bli presset ut.



Figur 12: Løsningsforslag 1

#### Løsningsforslag 2(Figur13):

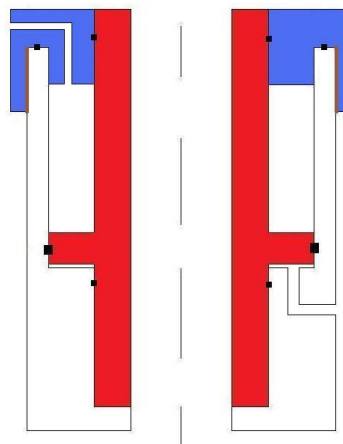
Er en omvendt boltstrekker, som presser istedenfor å strekke. Fordelen her er veldig robust design, men vil av den grunn være veldig dyr å produsere da den hadde blitt en stor tung metall klump. Et annet problem er at det vil bli vanskelig å få den til å trekke seg sammen igjen ved hjelp av hydraulikk. Den har heller ingen stoppfunksjon for stempelen når det når sin fulle slaglengde.



Figur 13: Løsningsforslag 2

#### Løsningsforslag 3(Figur 14):

Er akkurat lik løsningsforslag nr 1, bortsett fra at gjengene til topplokket er plassert på utsiden av boltstrekkeren. Når gjengene blir plassert på utsiden vil det bli ekstra tykkelse der for topplokket dekker, som vist på tegningen. Dette hjelper på den måten at det vil bli mindre elastiske deformasjonen ved toppen. Dette er også en forbedring av Imenco AS sin versjon.



Figur 14: Løsningsforslag 3

	Løsningsforslag 1	Løsningsforslag 2	Løsningsforslag 3
Fordeler	Liten ytre diameter, robust, enkel. Enkel å vedlikeholde.	Robust, mindre påvirket av elastiske deformasjoner, stabil	Ekstra tykkelse på toppen, liten ytre diameter nederst, enkel. Enkelt vedlikehold.
Ulemper	For stor elastisk deformasjon i toppen vil gjøre at topplokket blir presset ut.	Stor og tung, ingen stopp funksjon for stempel, vanskelig å trekke sammen.	Ingen.
Konklusjon	Problemet med topplokket blir for stort, i tillegg vil det være vanskelig å få maskinert en slik løsning	Uaktuell, da designet er for stort og tungt.	Gruppen ser på denne løsningen som den beste ut i fra de ønskede spesifikasjoner.
Valgt løsning			Løsningsforslag 3

Gruppen velger da å gå for løsningsforslag 3. Grunnen til dette er fordelene som ses med denne løsningen, og som vil være en forbedring av en allerede fungerende boltstrekker.

### 3.5 Utfordring 1: Konstruksjon med hensyn til vekt, materiale, og dimensjonering

#### 3.5.1 Dimensjonering

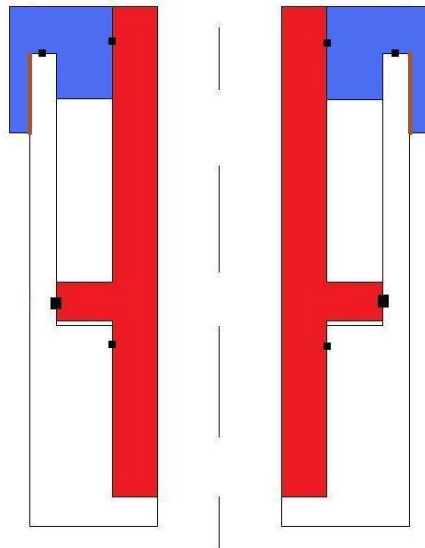
Gruppen har valgt å hovedsaklig konsentrere seg om selve boltstrekkeren, men har valgt å ta med eksempler på løsning av understellet og et forslag til gjengegriper.

For å kunne dimensjonere og designe selve boltstrekkeren, har gruppen utført en del håndberegninger på hver enkelt del av strekkeren.

Boltstrekkeren kan deles inn i 3 deler:

- ”Huset”
- Stempelet
- ”Toppløkk”

Ved hjelp av disse håndberegningene får man en viss formening om hvordan strekkeren må være, og deretter ble kalkulasjonene kontrollert via Ansys for å se om beregningene faktisk stemte og fungerte.

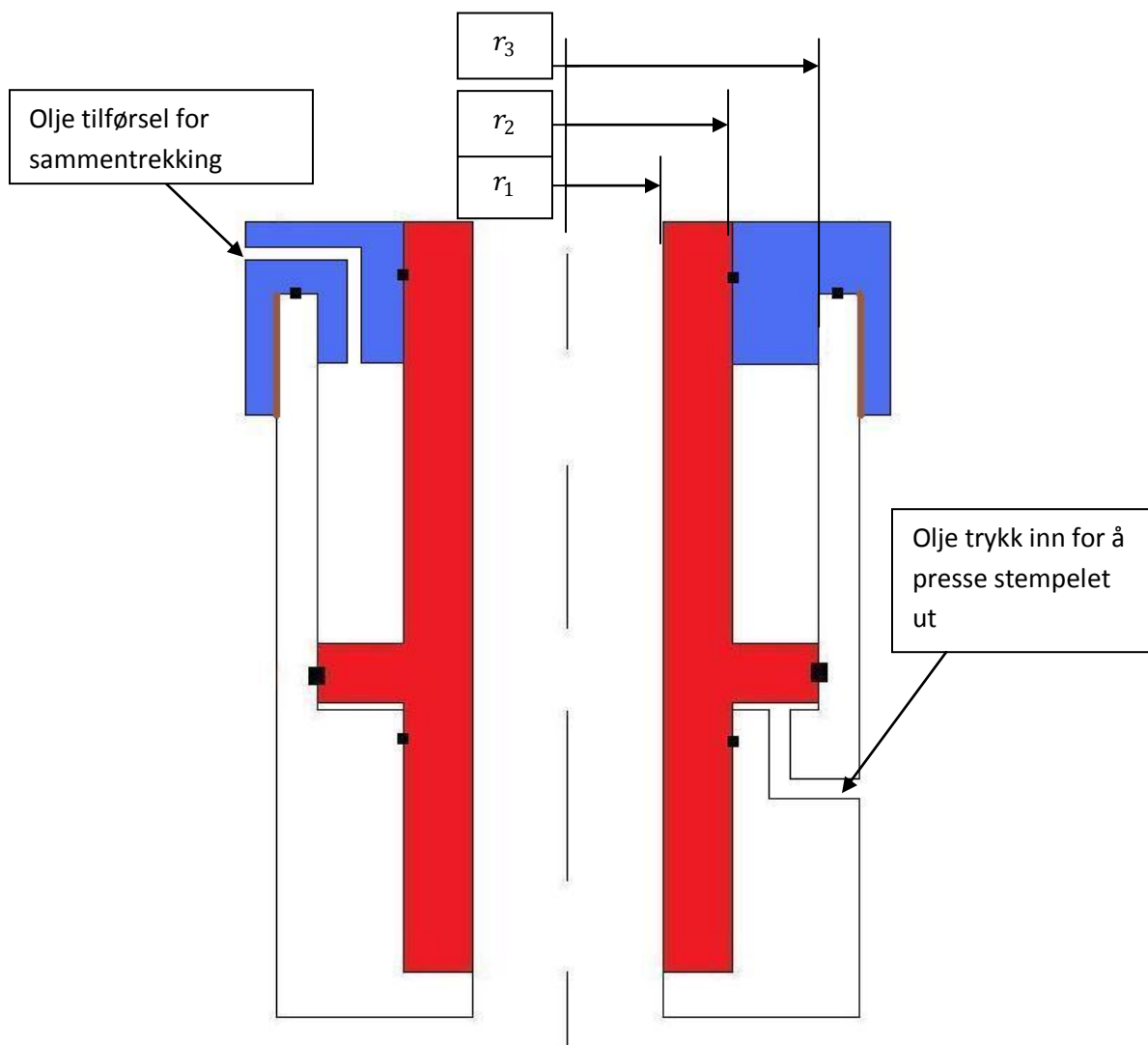


Figur 15: Boltstrekker skisse

Av fig 15 er stempelet markert rødt. ”Huset” er hvitt, og toppløkket er markert blått. Deretter er det merket med svart hvor det er tenkt å bruke pakninger.

Gruppen har først listet opp alle verdiene som er blitt gitt i oppgaven og som gir et grunnlag for kravspesifikasjoner:

- Bolt diameter:  $3,25'' = 0,08255\text{m}$
- Innvendig definert radius:  $r_1 = 0,045\text{m}$
- Slaglengde:  $L = 0,150\text{m}$
- Innvendig trykk:  $P = 700\text{bar} = 70\text{MPa}$
- Sikkerhetsfaktor:  $n = 1,2$
- Masse: 250 Tonn
- Løftekraft:  $F = 250\text{T} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2452,5\text{kN}$



Figur 16: Boltstrekker, hvor stampelet er markert rødt, "huset" hvitt, og topplokket blått.

Som man ser av fig.16 kommer det til å være olje på oversiden av stempelet slik at det skal være en mulighet til å kjøre stempelet ned igjen ved endt operasjon. Dette vil kreve et langt mindre trykk enn hva som behøves ved strekking av bolten. Dermed trenger man ikke til å ta hensyn til dette trykket ved dimensjonering.

### Tykkelse på løfte sylinder(stempelet)

Gruppen har definert den indre radiusen til boltstrekkeren som 0,045m. Dette gir litt klaring på hver side av bolten, og gjør at jekken får et minst mulig "footprint".

Gruppen begynte innenfra og ut, og så derfor først på hvor stort areal selve strekkesylinderen måtte ha, markert rød i Fig.16. Altså veggtykkelsen, og hvilken flytegrense dette materialet måtte ha for å tåle de 250 tonnene boltstrekkeren skulle "løfte". Gruppen ville først prøve å se om det gikk an å bruke aluminiumsbronse, ett veldig bra og enkelt material å bruke. Grunnen til dette er at det har en veldig liten friksjonskoeffisient, og er samtidig korrosjons bestandig. Gruppen har også valgt å ta med SuperDuplex for å vise hvor mye veggtykkelsen kan minskes i forhold til ved bruk av Aluminiumsbronse OM7. Se kapitel 3.5.2 og vedlegg H for mer informasjon om OM7.

### Ved bruk av Aluminiumsbronse

Aluminiumsbronse har en flytegrense på:

$$\sigma_{\text{flyt}} = 280\text{MPa}$$

I oppgaven skal det benyttes en sikkerhetsfaktor på 1,2. Derfor må flytegrensen deles på 1,2:

$$\sigma_{\text{till}} = \frac{\sigma_{\text{flyt}}}{n} = \frac{280\text{MPa}}{1,2} = \underline{234\text{MPa}}$$

Løftearealet som må til da blir:

$$\text{Areal} = A = \frac{F}{\sigma_{\text{till}}} = \frac{2452500\text{N}}{234 \cdot 10^6\text{Pa}} = \underline{0,0105\text{m}^2}$$

Som igjen gir  $r_2$ :

$$A = \pi r_2^2 - \pi r_1^2 \rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{A}{\pi} + r_1^2} = \sqrt{\frac{0,0105\text{m}^2}{\pi} + (0,045\text{m})^2} = \underline{0,075\text{m}}$$

Ved å trekke den indre radiusen fra den ytre får en veggtykkelsen:



$$t = r_2 - r_1 = 0,075\text{m} - 0,045\text{m} = \underline{0,03\text{m}}$$

Velger å runde opp  $t$  til  $0,035\text{m}$ , da Aluminiums bronse OM7 har en E-modul på  $115\text{ GPa}$ . Dette betyr at det må brukes ekstra tykt gods for å minimere de elastiske deformasjonene.

Da blir  $r_2 = r_1 + t = 0,045 + 0,035 = 0,08\text{m}$ .

### Ved bruk av Superduplex

SuperDuplex har en flytegrense på:

$$\sigma_{\text{flyt}} = 700\text{MPa}$$

I oppgaven skal det benyttes en sikkerhetsfaktor på  $1,2$ . Derfor må flytegrensen deles på  $1,2$ :

$$\sigma_{\text{till}} = \frac{\sigma_{\text{flyt}}}{n} = \frac{700\text{MPa}}{1,2} = \underline{583\text{MPa}}$$

Løftearealet som må til da blir:

$$\text{Areal} = A = \frac{F}{\sigma_{\text{till}}} = \frac{2452500\text{N}}{583 \cdot 10^6\text{Pa}} = \underline{0,00420\text{m}^2}$$

Som igjen gir  $r_2$ :

$$A = \pi r_2^2 - \pi r_1^2 \rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{A}{\pi} + r_1^2} = \underline{0,06\text{m}}$$

Ved å trekke den indre radiusen fra den ytre får en veggykkelsen:

$$t = r_2 - r_1 = 0,06\text{m} - 0,045\text{m} = \underline{0,015\text{m}}$$

Får da at det trengs en veggykkelse på  $0,015\text{m}$ .

Gruppen ønsker lavest mulig vekt, og eneste muligheten for å få til dette er å minske veggykkelsen. Problemet som oppstår da er at en kommer til å få en større utvidelse som følge av at E-modulen endrer seg minimalt i forhold til flytegrensen til stål. Det vil da si at man bør ha enn viss veggykkelse for å unngå elastiske deformasjoner.

Men ved bruk av Aluminiumsbronse vil E-modulen endre seg drastisk, dermed må veggykkelsen økes, noe som igjen fører til vektøkning. E-modulen er tilnærmet lik for alle typer stål, og ligger på ca  $220\text{GPa}$ , mens for Aluminiumsbronse ligger den på ca  $115\text{GPa}$ .

---

For å konkludere med hvilket materiale som burde brukes så gruppen først på de elastiske deformasjonene som kommer til å oppstå i løpet av operasjonen.

## Den elastiske deformasjonen i stempelet

Stempelet kan ses på som tre hoveddeler. Det nederste partiet, under setet. Den øvre delen blir ikke utsatt for trykket på 700MPa, men blir påvirket av endringene som vil skje i den nedre delen ved trykk påvirkning.

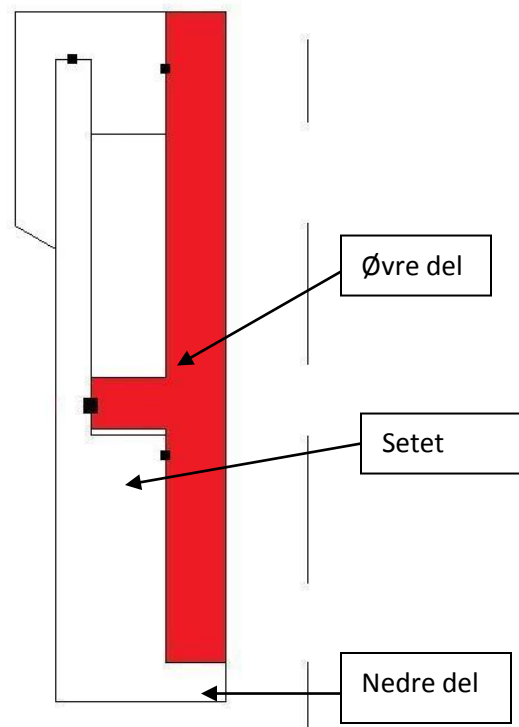
Delen av stempelet som fungerer som løfteflate, er sammen med dens tykkelse definert som setet. Stempelet er på fig.17 til høyre markert med fargen rød.

Trykket vil få størst areal å påvirke når stempelet er ved full slaglengde. Arealet endrer seg etter hvert som stempelet går mot sin fulle slaglengde. Dette vil gi varierende elastiske deformasjoner på stempelets vegger. Ved påføring av trykk vil det i starten være større areal i setet på stempelet enn i dens innervegg. Det vises av formelen  $p = \frac{F}{A}$ .

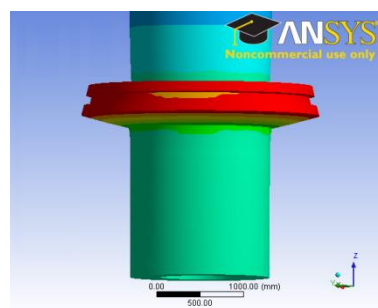
Deformasjonen vil komme med hensyn på krefter, i dette tilfellet i aksial retning, setet vil bøyes opp i samme retning, og nedre del på stempelet vil følge etter som følge av indre krefter i stålet, og presses utover til en større radius. Se figur 18. Etter hvert som stempelet vil gli oppover i huset, vil arealet på veggen overgå arealet på setet, som da fører til at nedre vegg trekkes sammen. Stålets indre krefter er bindeleddet i forholdet mellom utvidelse/kontraksjon av stempelets struktur.

Deformasjonen ved maksimalt utstrakt stempel vil kunne beskrives nedenfra og opp på følgende måte:

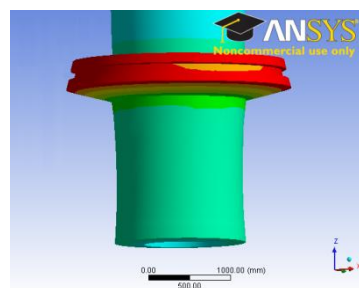
Den nederste del av nedre vegg vil bare være påvirket av indre spenninger i metallet, og trekkes mer og mer sammen jo mer en nærmer seg midten av nedre veggs høyde. Etter hvert hvor en nærmer seg setet vil sammentrekningen igjen avta, og setet vil være presset nedover, og øvre vegg utvides fra nederst og mer når en går høyere opp i veggen. Men avtar sammen med de indre spenningene etter hvert som avstanden til spenningskilden avtar. Se figur 19.



Figur 17: Boltstrekker med forklaring



Figur 18: Deformasjon ved stempel strukket 30 mm ut.



Figur 19: Deformasjon ved stempel strukket 150 mm ut.

Når gruppen har konstruert denne boltstrekkeren og dens stempel, har den måtte ta utgangspunkt i forskjellige momenter:

Stempelets øvre vegg.

For at husets innside skal kunne defineres som en trykktank må hullet hvor stempelet skal trekkes ut av huset og skyve på gjengegriperen være utstyrt med en pakning. Denne trykktanken benyttes som nevnt lengre oppe ved sammentrekking av boltestrammeren etter fullført klammertilstramming. Pakningen har en begrensning på om lag 0,2-0,3mm, det vil si at den bare vil kunne holde tett ved maksimum 0,2-0,3mm klaring mellom metallflatene. Dette må dermed tas hensyn til når en definerer størrelse på hullet, og tykkelse på stempelveggen ettersom tykkelsen vil avgjøre omfanget av deformasjon som følge av metallens indre krefter påført fra setet og den nedre innerveggen.

Stempelet.

For at denne boltstrekkeren skal få en funksjon som jekk må stempelet også utstyres med pakning for å gi løfteflaten sitt funksjonsformål. De midlertidige deformasjonene vil stille krav til pakningen, og når den nedre innerveggen får det suverene arealet, vil setet som nevnt lengre oppe trekkes mer og mer imot stempelets skyveretning, og trekkes sammen til en mindre radius. Denne deformasjonen vil kreve mer av pakningen.

Stempelets indre vegg.

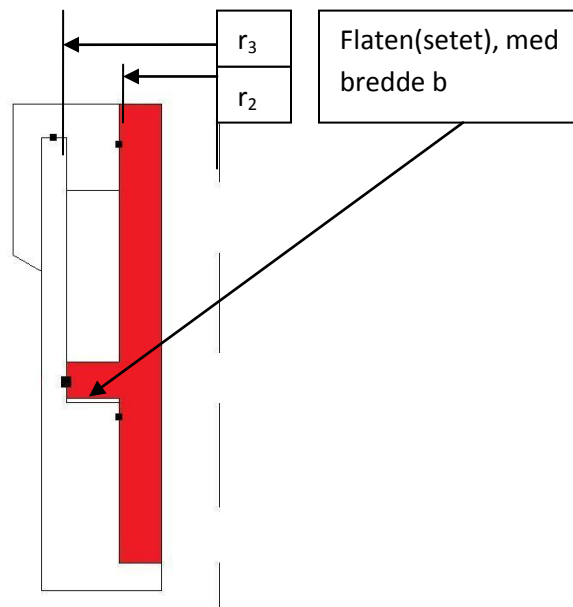
For å unngå for store deformasjoner som følge av metallens indre krefter, må gruppen påse at veggen dimensjoneres tilstrekkelig for å redusere deformasjonen.

### **Konklusjon:**

Gruppen velger etter å ha vært i kontakt med Imenco AS å gå for Aluminiumsbronse. Dette materialet har høy mekanisk styrke og hardhet, og er i tillegg korrosjonsbestandig. Det er også enklere å behandle i forhold til SuperDuplex. En annen fordel er dens lave friksjonskoeffisient. Gruppen har deretter sjekket materialet i Ansys Workbench(se kap 3.5.4), for å se om det var muligheter for å bruke det.

Se vedlegg H for teknisk data på Aluminiumsbronse OM7, og se kap 3.5.2 for mer informasjon om valgt materiale.

## Flaten som skal til for å gi kraften F



Figur 20: Skisse over boltstrekker

Flaten som skal til for å gi en kraft F på 2452,5kN, setet, er definert som flaten som blir eksponert for  $P = 700$  bar.

Selve løftearealet, arealet som må til finner en ved:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{P} = \frac{2452,5\text{kN}}{70\text{MPa}} = \underline{0,035\text{m}^2}$$

Den indre radiusen frem til løfteflaten er gitt som:

$$r_2 = 0,08\text{m}$$

Bruker samme formel som ble benyttet for å finne tykkelsen på selve stempelet:

$$\text{Areal} = A = \pi r_3^2 - \pi r_2^2 \rightarrow r_3 = \sqrt{\frac{A}{\pi} + r_2^2}$$

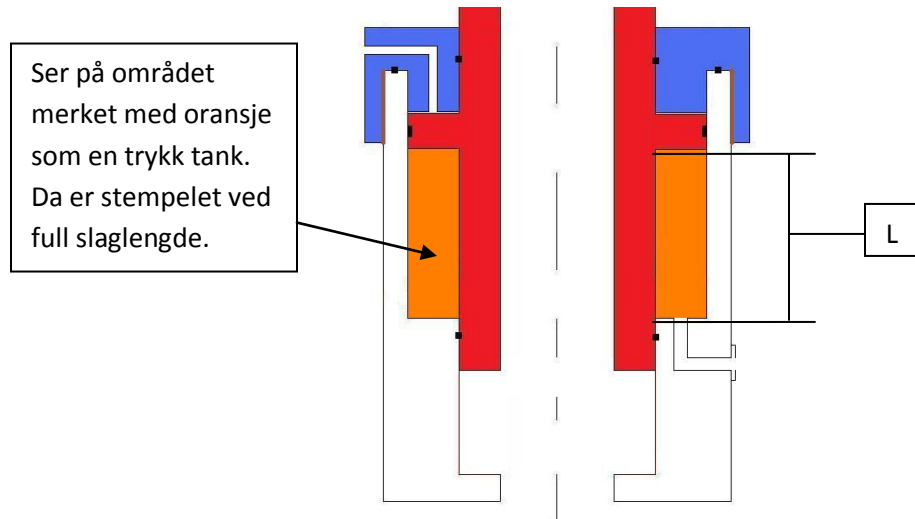
$$r_3 = \sqrt{\frac{A}{\pi} + r_2^2} = \underline{0,132\text{m}}$$

Dette gir en bredde på:

$$b = r_3 - r_2 = 0,132 - 0,08 = \underline{0,052\text{m}}$$

## ”Huset”

For å finne tilstrekkelig tykkelse på veggene i selve ”huset”, valgte gruppen å se på ”huset” som en trykktank med liten veggtykkelse. Det mest utsatte punktet vil være det området hvor stempelet beveger seg, og det er dette område gruppen har valgt å se på som en tynnvegget trykktank. ”Tanken” vil da en lengde  $L$  på 0,150m, og en innvendig bunnflate på  $0,035 \text{ m}^2$ , som er arealet til setet.



Figur 21: Boltstrekker med merket område for trykktank

Man kan enten anta en tykkelse og deretter finne ut hvilke material man kan bruke, eller finne et passende materiale først og deretter tykkelsen som trengs. Det regnes fortsatt med en sikkerhetsfaktor på 1,2. Gruppen har valgt å regne med en ønsket tykkelse, for så å finne ut hvilket materiale man bør bruke.

Det er mest hensiktsmessig med en liten veggtykkelse da dette designet skal ha en minst mulig total diameter. Man har da antatt en veggtykkelse på 0,02m. Dette gir ”huset” en total diameter på 0,304m.

Med disse fakta finner gruppen de radielle, aksiale, og tangentielle spenningene.

Radielle spenninger:

$$\sigma_z = \frac{P \cdot A}{A} = 700 \cdot 10^5 \text{Pa} = \underline{70\text{MPa}}$$

Aksiale spenninger:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{P \cdot A}{\pi \cdot d \cdot t} = \frac{700 \cdot 10^5 \text{Pa} \cdot 0,035\text{m}^2}{\pi \cdot 0,104\text{m} \cdot 0,020\text{m}} = \underline{374\text{MPa}}$$

Tangentielle spenninger:

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{P \cdot l \cdot d}{2 \cdot l \cdot t} = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t} = \frac{700 \cdot 10^5 \text{Pa} \cdot 0,104\text{m}}{2 \cdot 0,020\text{m}} = \underline{182\text{MPa}}$$

Med disse verdiene kan man finne  $\sigma_{jf}$  ved de aksiale og tangentielle spenningene. De radielle spenningene er neglisjerbare på grunn av at disse ikke vil påvirke  $\sigma_{jf}$  i samme grad som de to andre. Det er heller ikke skjærspenninger i dette tilfelle. Får da:

$$\begin{aligned} \sigma_{jf} &= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \\ &= \sqrt{(374\text{MPa})^2 + (182\text{MPa})^2 - (374\text{MPa} \cdot 182\text{MPa}) + 0} = \underline{325\text{MPa}} \end{aligned}$$

Materialet som må brukes er da:

$$\sigma_{\text{till}} = n \cdot \sigma_{jf} = 1,2 \cdot 325\text{MPa} = \underline{390\text{MPa}}$$

Materialet gruppen har valgt å bruke, etter anbefalinger fra Imenco AS, på huset er S165M. Dette har en flytegrense på 620 MPa, og en E-Modul på 220 GPa. Mer info om materialet finnes i kapitel 3.5.2 og vedlegg G.



## Den elastiske deformasjonen av "huset":

For å finne ut om materialet som er valgt for "huset" kan benyttes, må man regne på hvor stor utvidelsen blir, den elastiske deformasjonen. Hvis materialet utvider seg for mye får man problemer med pakningene. Disse tåler bare en utvidelse på 0,2-0,3mm i radius, etter informasjon av paknings leverandør Vestpak As, se kap 3.5.3

E-modulen til materialet er 220 GPa

Bretter ut cylinderen, og får lengden:

$$L = O = 2 \cdot \pi \cdot r_3 = 2 \cdot \pi \cdot 0,132\text{m} = \underline{0,83\text{m}}$$

Bruker deretter formlene for Hooke`s lov.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma_x}{E}$$

Løser ligningen med hensyn på  $\Delta L$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma_x}{E} \rightarrow \Delta L = \frac{\sigma_x \cdot O}{E}$$

Setter inn tallene og deler E-modulen på sikkerhetsfaktoren 1,2 for å ta hensyn til sikkerheten.

$$\Delta L = \frac{\sigma_x \cdot O}{\frac{E}{n}} = \frac{182\text{Mpa} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,132\text{m}}{\frac{220\text{Gpa}}{1,2}} = \underline{8,24 \cdot 10^{-4}\text{m}}$$

Den utvider seg med andre ord 0,824 mm i omkrets.

$$\Delta L + L = 8,24 \cdot 10^{-4}\text{m} + 0,83\text{m} = \underline{0,83082\text{m}}$$

$$2 \cdot \pi \cdot r_{\text{utvidet}} = 0,83082\text{m} \rightarrow r_{\text{utvidet}} = \frac{0,83082\text{m}}{2\pi} = \underline{0,13223\text{m}}$$

Det betyr at ”huset” utvider seg i radius:

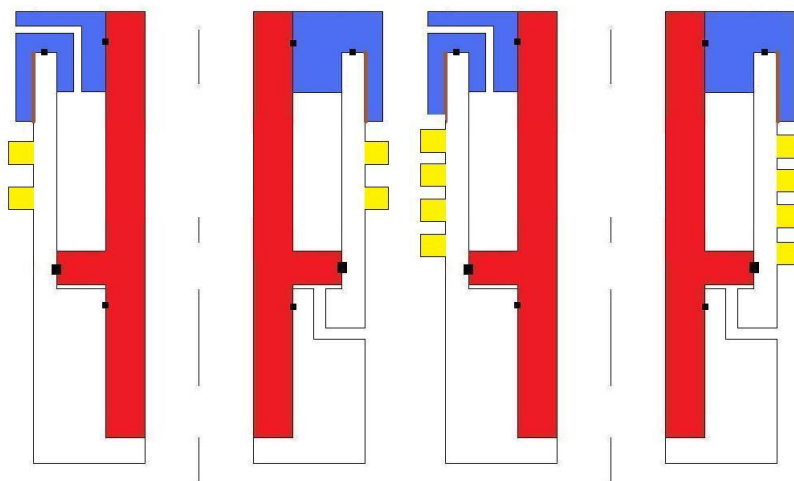
$$r_{\text{utvidet}} - r_3 = 0,13223\text{m} - 0,13200\text{m} = \underline{0,00023\text{m}}$$

Huset vil ved full slaglengde utvide seg 0,23 mm i radius. Ut i fra informasjonen gitt i fra pakningsleverandøren vil pakningene kun tåle en utvidelse på 0,2 til 0,3 mm. Dette betyr at tykkelsen på veggene må økes for å minske utvidelsen. Ved å øke veggtykkelsen vil vekten øke, dette er noe som ikke er ønsket. Gruppen kom derfor med en ide om å heller benytte ribber for å minske den elastiske deformasjon, og for å få en minst mulig vektøkning.

Utvidelsen vil ikke være et stort problem, fordi utvidelsen vil være størst når stempelet er ved full slaglengde. Da vil utvidelsen være størst midt på ”huset”, og dermed ikke påvirke pakningene mellom stempelet og ”huset”.

## Konklusjon

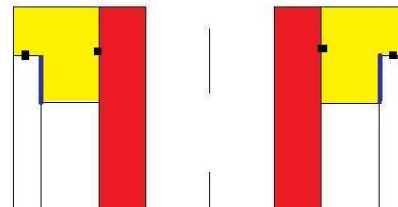
Gruppen valgte først å prøve med to ribber på midten, deretter med 4 stk vist 2 ikke var nok, for å minske den elastiske deformasjonen av huset. Se kap 3.5.4 for informasjon om valget.



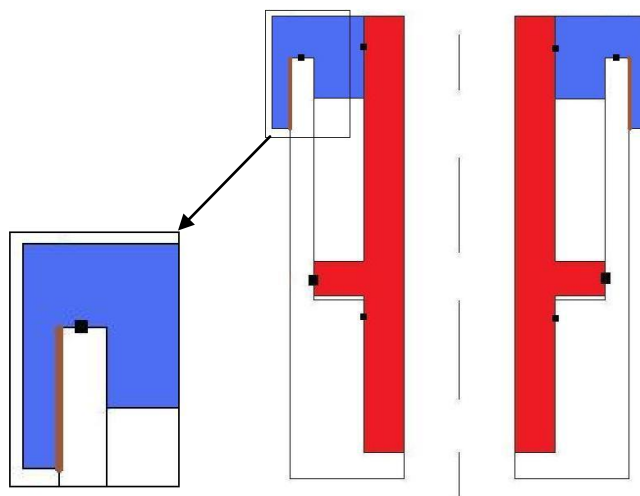
Figur 22: Boltstrekere med 2 og 4 ribber markert med gult

## ”Toppløkk”

Toppløkket skal stoppe stempelet når dette når full slaglengde. I tillegg skal dette ”lokke” være enkelt å ta av for å kunne vedlikeholde strekkeren og eventuelt bytte ut stempelet og pakninger. Da bolting av lokket krevde for mye plass fant gruppen ut at gjenger kunne være en bra løsning. Først ble det foreslått å bruke gjenger på innsiden av ”huset”(se fig 23) for å unngå at strekkeren ikke ble for bred, men etter en prat med Imenco As, fant gruppen ut at det ville bli vanskelig å få maskinert slike gjenger, og ved en eventuell for stor elastisk deformasjon ville lokket bli presset ut. Det ble derfor foreslått gjenger på utsiden av ”huset” istedenfor. Dette har en fordel med at det blir ekstra veggtykkelse på toppen av ”huset”, noe som gjør at den elastiske deformasjonen vil bli mindre.



Figur 23: Gjenger på innsiden merket med mørkeblått



Figur 24: Toppløkk med gjenger

Som man ser ut ifra Fig.24, skal gjengene, markert med brunt, være på utsiden av ”huset”. Toppløkket er markert blått.

For å finne ut hvor stor gjengehøyde man måtte ha på utsiden brukte gruppen formelen for skjærspenningen i gjengene:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d_y \cdot H}$$

Der:

- $\tau$  = skjærpåkjenningen i gjengene
- $d_y=0,304\text{m}$  ytrediameteren til boltstrekkeren
- $H$  er gjengehøyden
- $\sigma_{jf} = 325\text{MPa}$  for ”huset”

Dette gir:

$$\sigma_{jf} \text{ m/sikkerhetsfaktor} = \sqrt{3\tau^2} \rightarrow \tau = \sqrt{\frac{\sigma_{jf}^2}{3}} = \sqrt{\frac{325^2\text{MPa}}{3}} = \underline{188\text{MPa}}$$

Setter dette inn i formelen for skjærspenning og løser ligningen med hensyn på  $H$ .

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d_y \cdot H} \rightarrow H = \frac{F}{\pi \cdot \tau \cdot d_y} \rightarrow H = \frac{2452,5\text{kN}}{\pi \cdot 188\text{Mpa} \cdot 0,304\text{m}} = \underline{0,014\text{m}}$$

Boltstrekkeren trenger 0,014m med gjengehøyde, for å tåle trykket på 700bar. Dette er egentlig ganske lite, derfor bestemte gruppen seg for å benytte en gjengehøyde på 0,05m. Dermed har en satt inn en rimelig høy sikkerhetsfaktor, uten at det påvirker designkostnad eller størrelse noe nevneverdig.

$$\text{Sikkerhetsfaktor: } \frac{h_{\text{justert}}}{h_{\text{utregnet}}} = \frac{0,050\text{m}}{0,014\text{m}} = \underline{3,6}$$

”Lokket” og ”huset” med gjenger vil være i samme stålkvalitet. Derfor er det viktig at friksjonsvinkelen mellom stålene er større enn stigningsvinkelen til gjengene, slik at dette ikke sklir opp.

Med opplysninger om friksjonstallet til S165m, fra stålleverandøren Scana Stål, har stål mot stål en friksjon på og  $\mu = 0,42$ .

Friksjonsvinkelen er gitt som:

$$\mu = \tan(\varphi) \rightarrow \varphi = \tan^{-1}(\mu) \rightarrow \varphi = \tan^{-1}(0,42) = 22,8^\circ$$

Det må også tas hensyn til sikkerhetsfaktoren på 1,2

$$\frac{22,8^\circ}{1,2} = 19^\circ$$

Det må da benyttes en stigningsvinkel:

$$\begin{aligned} \text{Stigningsvinkel} &\leq \text{friksjonsvinkelen} \\ \text{Stigningsvinkel} &\leq 19^\circ \end{aligned}$$

Deretter ble gjengene valgt, disse har benevnningen M300x3. Da har gjengene en stigning på 3mm og får en stigningsvinkel på:

$$\tan(\varphi) = \frac{h}{\pi \cdot d} \rightarrow \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{h}{\pi \cdot d}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,003\text{m}}{\pi \cdot 0,304}\right) = 0,18^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Stigningsvinkel} &\leq 19^\circ \\ 0,18^\circ &< 19^\circ \end{aligned}$$

Da stigningsvinkelen er mindre enn friksjonsvinkelen vil dette gå bra.

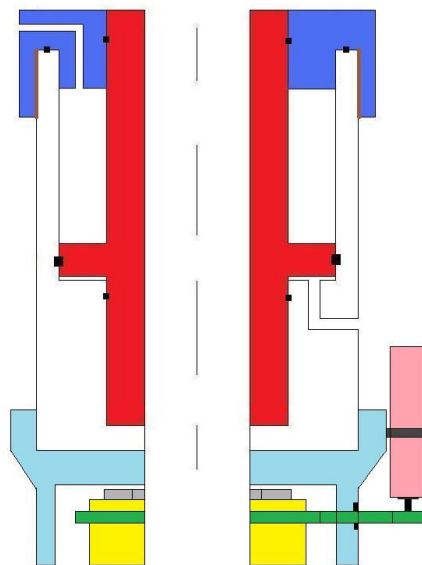
## Hydraulisk stramming av mutter

Imenco AS ønsket automatisk stramming av mutteren. For å få til automatisk stramming ønsket gruppen å bruke, på samme måte som på Imenco As sin strekker, en liten hydraulisk motor. Fra motoren ønsket gruppen tannhjul eller reimoverføring til en hylse, som igjen roterte mutteren.

Gruppen kontaktet da først Sauer-Danfoss for innhenting av informasjon om deres hydrauliske motorer. Det ble da anbefalt å bruke en liten orbital motor, med benevnningen OMM 20. Denne leverte et dreiemoment på 25Nm og ett turtall på 400rpm. Se vedlegg K for mer informasjon.



Figur 25: OMM 20



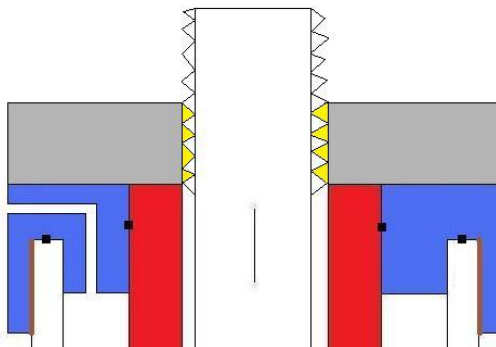
Figur 26: Strekker med understell

Fig. 24 er et eksempel på hvordan en boltstrekker med automatisk stramming kan se ut. Her er understellet markert med lyseblått, pipen med gult, og tannhjul eller reimdrift markert grønt, og motoren er markert med rosa.

---

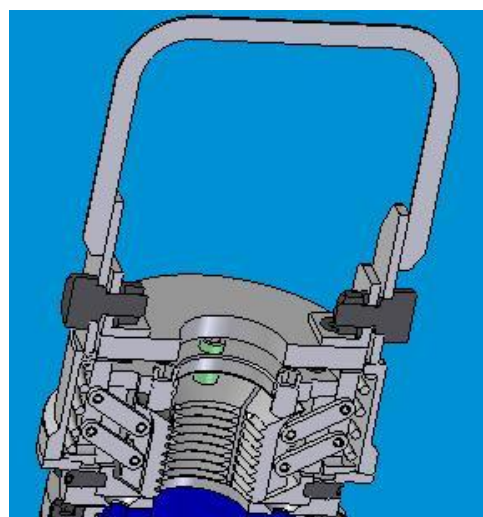
Gruppen har valgt å fokusere på tannhjulsdrift da dette er den løsningen som er blitt brukt tidligere hos Imenco AS. Videre har gruppen designet et forslag til en løsning på et slikt understell med hydraulisk stramming av mutteren. Forslaget kan ses i Vedlegg D. Dette forslaget er bare et eksempel og det er ikke gjort noen beregninger på dette understellet.

## Gjengegripping av bolt



Figur 27: Gjengegriper

For å strekke bolten, må strekkerens stempel festes i bolten. Imenco AS har selv en løsning på dette, som fungerer veldig bra. Problemet med denne er at den består av mange deler, og den er heller ikke konstruert for så store krefter som i dette tilfellet. Denne kan lett designes om slik at den holder. En slik lås fungerer på den måten at den griper fast i gjengene på bolten. Vist man antar at bolten har samme flytegrense og skjærspenning som materialet til topplokket, kan man beregne på samme måte som for topplokket hvor mange gjenger en slik lås må gripe over for at den skal holde ved gitt kraft.



Figur 28: Imenco sin gjengegriper

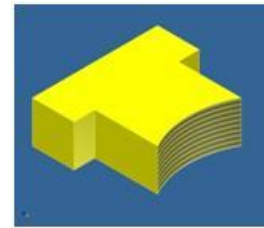
Man vet ut i fra spesifikasjonene som er gitt at bolten har en diameter på 0,08255m. Den blir utsatt for en kraft på 2452,5kN og en skjærspenning på 188MPa, hentet i fra dimensjonering av "Toppløkket". På fig.25 ser man en enkel gjengegriper, hvor gjenge griperen er markert i grått, med gule gjenger. Gjengene går inni gjengene på bolten. Det som skjer er at gjengegriperen sitter fast i bolten, og når stempelet da går ut, "løftes gjengegriperen med bolten.



Gruppen har også designet en egen gjengegriper. Denne er helt hydraulisk, altså det må være trykk på den hele tiden for at den skal stå i lås.

Denne består av:

- Hus
- Sporer
- Gjengestempel
- Lokk

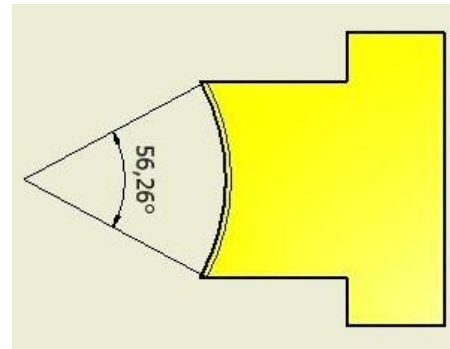


Figur 29: Gjengestempel

Gruppen har kun valgt å gjøre beregninger på gripe høyden til gjenge stempelet, da dette forslaget bare er et eksempel.

Selve gripe mekanismen vil bestå av fire stempel med lik gjenge-profil som bolten. Som figuren ved siden av viser, vil vinkelgrepet til vært enkelt stempel dekke  $56,26^\circ$ . Det vil dermed si at stemplene vil ha følgende dekningsgrad på boltens horisontale snitt:

$$\frac{4 \cdot 56,26^\circ}{360} \cdot 100 = \underline{62,51\%}$$



Figur 30: Gjengestempel

Dette betyr at diameteren til bolten må ganges med 62,51 % for å finne ut hvor mye av bolten som blir grepet om.

For å beregne hvor stor gjenge høyde som skal gripes over bruker man samme formel som er brukt for beregning av gjengehøyde til topplokk:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{bolt}} \cdot H \cdot n} \rightarrow H = \frac{F}{\pi \cdot \tau \cdot d_{\text{bolt}} \cdot n} \rightarrow H = \frac{2452,5\text{kN}}{\pi \cdot 188\text{Mpa} \cdot 0,08255\text{m} \cdot 0,6251 \cdot 1,2} = \underline{0,070\text{m}}$$

Beregningene over sier oss hvor mange gjenger i høyden gjengegriperen må gripe over. Dette ble regnet ut med sikkerhetsfaktor til 70mm.

Forslaget til gjengegriper kan ses i vedlegg D, og er på samme måte som understellet bare et eksempel på hvordan det kan løses. Hovedproblemet med gruppens gjengegriper er at den ikke har en mekanisk låsemekanisme, kun hydraulisk. Problemet med hydraulikk er at den ikke er like sikker som ved bruk av en mekanisk lås. Dette kan lett modifiseres, men siden gruppen har valgt å rette sitt hovedfokus mot boltstrekken har man ikke sett noe mer på en slik løsning

---

### 3.5.2 Materialvalg

#### Aluminiumsbronse

Det ble valgt å bruke aluminiumsbronse på stempelet og på understellets pipe og tannhjul, som nevnt i kapittel 3.5.1. Dette materialet ble valgt på grunn av den høye mekaniske styrken, at det er korrosjons bestandig, og dets lave friksjons koeffisient. Materialet er derfor brukervennlig for maritimt miljø, olje, og kjemikaliebruk. Noe som passer bra for kriteriene i denne oppgaven, da det kan være boltstrekkeren må være under vann over lengre tid. I tillegg er det viktig at stempelet glir lett i ”huset”.

Aluminiumsbronse er også lett å bearbeide.

Se vedlegg H for teknisk data om Aluminiumsbronse.

#### S165M

S165 er et rustfritt materiale, som ble valgt å bruke på ”huset”, topplokket, huset til understellet og hele gjengegriperen. Materialet er seigherdet stål, noe som gjør at det får høyere flytegrense, strekkfasthet, hardhet, og slagseighet enn tilsvarende stål som er varmevalset eller i normalisert form. Materialet er også brukbart i korrosivt miljø, og blir blant annet brukt til propeller og bolter.

For at boltstrekkeren skal kunne stå lenge undervann kan utsiden av ”huset”, ”lokket”, understellet, og gjengegriperen males, og etter endt operasjon vil stempelet trekket seg inn i ”huset” igjen, noe som medfører at de umalte flatene med S165M kun vil bli blottet for sjøvann en kort periode.

Materialet er ferrittisk martensittisk, med bra mekaniske egenskaper.

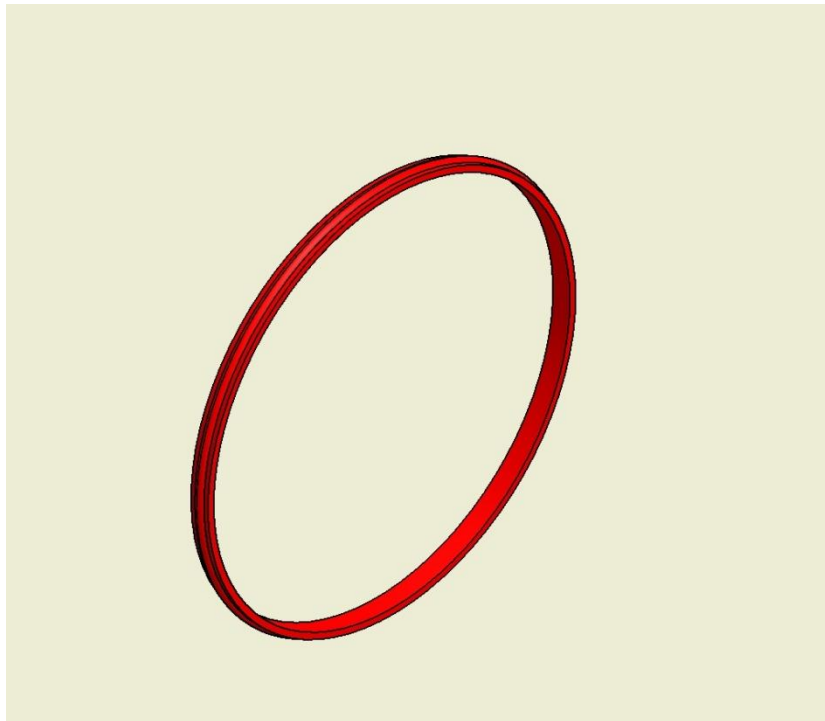
Se vedlegg G for teknisk data om S165M.

### 3.5.3 Pakningsvalg

Under møtet med Imenco AS ble gruppen anbefalt å kontakte Freudenberg, en pakningsleverandør, for informasjon om hvilke pakninger som burde brukes. Gruppen kom da i kontakt med Vestpak AS, som er en del av Freudenberg.

Vestpak AS fikk da se skisser av selve strekkeren, og det ble gitt informasjon om spesifikasjonene. Gruppen fikk da tilbakemelding på hvilke pakninger som burde brukes og hvor det var mest hensiktsmessig å plassere de. Det ble også anbefalt hvilke materiale pakningene burde være i. Det materialet som ble anbefalt var PUR-Red U203, se vedlegg I for teknisk informasjon, og skulle være et godt universalt materiale for vårt formål. Gruppen valgte derfor å gå for deres anbefaling.

Gruppen fikk deretter mål på pakningene, og hvor de burde være i en tegning i fra Vestpak AS, og ut i fra dette ble pakningene tegnet og plassert inn i modellen.



Figur 31: Dynamisk pakning

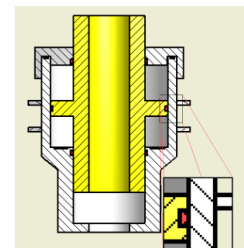
### 3.5.4 Kontrollberegninger i Ansys

#### 3.5.4.1 Fremgangsmåte for analyse i Ansys Workbench 11.0

Oppgaveløsningens deler ble som nevnt i kapittel 1.4 designet til 3D-modeller i Inventor. Videre ble de konvertert til å passe i Ansys. Her ble de påsatt de maksimale kreftene de ville kunne eksponeres for. Ansys deler modellen opp i et nett av fraksjoner som sammen representerer selve modellen. Når analysen kjøres blir beregninger foretatt i samtlige fraksjoner. Jo finere nett, større oppløsning, jo mer nøyaktig resultat. Skolen sin Ansys-versjon, Academic Teaching Introductory, har begrensninger på hvor fin oppdeling den takler. Jo finere oppløsning, jo tyngre jobb for analyseprogrammet. Det kan også nevnes at avrundinger på deler som er vist på 2d-tegningene som står som vedlegg i denne rapporten har måttet blitt fjernet før analysen ble gjennomført. Denne begrensningen har resultert i en analyse som kanskje ikke er så nøyaktig som gruppen skulle ønske. Dette er videre tatt i betraktning i neste delkapittel.

#### 3.5.4.2 Vurdering av analysen

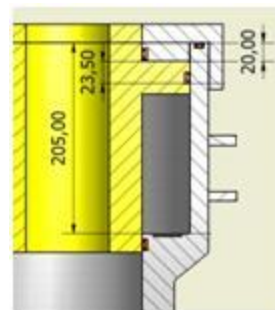
Etter at grovdesignet ble gjort ut i fra håndberegningene, ble ”huset” og stempelet testet i Ansys. Dette ble gjort for å sjekke om beregningene og designet fungerte. Som følge av at en skulle ta hensyn til oppgavens krav til massestørrelse ved dimensjonering av huset, antok gruppen at huset ville være underdimensjonert i forhold til elastisk deformasjon. Pakningene hadde en begrensning på hvor stort gap de kunne dekke, dermed måtte en ta hensyn til maksimale deformasjoner. Løsningen ble å bruke ribber på utsiden av sylinderveggen for å redusere den elastiske deformasjonen av husets sylindervegg som eksponeres for hydraulikktrykket. Hvor mange som trengtes og hvor store var derimot usikkert. Gjennom Ansys-analyser med prøving og feiling kom en frem til en sluttløsning som gruppen kunne se seg tilfreds med. En endte opp med en løsning med to ribber med avstand på 100 og 160 mm fra overkant av hus til overkant av ribber. Som følge av at disse nevnte deformasjonene ble ansett som de viktigste å ta hensyn til, ble det foretatt analyser av delene som omfattes i den totale radielle deformasjonen pakningen på stempelet skal kompensere for. Se figur 30. Det vil si delene som eksponeres for det hydrauliske trykket. Kraftene som topplokket utsettes for kommer av den elastiske deformasjonen av disse nevnte delene. Når sylinderveggen på huset eksponeres for et trykk på opp mot 700 bar, vil den flaten av huset som er i kontakt med topplokket, det vil si gjengeflaten, få en elastisk deformasjon i radiell retning. Les delkapittel 3.5.1.



Figur 32: Boltstrekker med halvveis utstrakt stempel

Kreftene som følge av denne elastiske utvidelsen vil gi en påkjenning på lokkets yttervegg. Samtidig vil lokket hjelpe til og begrense husets deformasjon. Ribbene er plassert med hensyn på hvor husets påkjenninger vil være størst. Gruppen har dermed vært mindre opptatt av å bruke ribbene til å avlaste gjengekontakten, og heller utnyttet lokket til å være med og begrense husets elastiske deformasjon.

I Ansys-rapporten, se vedlegg J, ser en at den største stresspåkjenningen ligger i toppen av huset. Denne er derimot ikke helt reell, ettersom en ikke har tatt hensyn til en faktisk eksponeringsflate som er 55 mm lavere enn husets indre sylinderflate. Lokket bygger 20 mm ned, og stempelets sete bygger 35 mm i høyden. Se figur 31. Det betyr at den virkelige eksponeringsflaten overfor et hydraulisk trykk på 700 bar er 150 mm. Samtidig som lokket stiver av hele 50 mm nedover på veggens utside. Gruppen anser dermed at resultatet fra analysen indikerer en god margin mellom deformasjon og pakningens maksimale tetningsevne.



Figur 33: Boltstrekker fullt utstrekt

Analysen viser en elastisk deformasjon på rett i overkant av 0,26 mm i huset, mot i overkant av 0,1 på stempelet. Og tar en med de hensynene nevnt over, kan en konkludere med at den elastiske deformasjonen ikke er mer enn hva pakningsvalget kan ta seg av.

---

## 3.6 Utfordring 2: Konstruksjon med hensyn på operasjonsvennlighet

### 3.6.1 Muligheter for tilpasning til ROV-fartøyets brukergrensesnitt

Boltstrekkeren og dens tilhørende deler er laget for enkelt å tilpasse ROV-ens brukergrensesnitt. Elementer som inngår i den påstanden er:

- Hydraulikk-system.

Forslag til hydraulisk system innbefatter bruk av ROV-ens eget hydraulikk-system. Standard komponenter er tatt med, dermed kan det benyttes tilkoblingsløsninger, slanger og etc. som allerede er i bruk ved undervannsoperasjoner.

- Boltstrekker.

Boltstrekkeren har ytre flater som gir store muligheter for enkelt å tilpasse designet opp mot ROV-ens brukergrensesnitt. Eneste begrensning i forhold til tilpassingsmuligheter er at det må tas hensyn til plassering av flere boltstrekkerer ved siden av hverandre. Men i vårt løsningsforslag har vi plassert understellet ut fra røret som skal klemmes rundt. Det ville være naturlig å plassere et grensesnitt for ROV ovenfor dette.

- Gjengegriper.

Vårt forslag til gjengegriper har på grunn av tidsmessige årsaker ikke blitt komplett ettersom en mekanisk låsing av stemplene ikke er tatt med. Dette var planlagt å ha med. Hydraulisk kjøre stemplene inn i gjengegrep for så å gi de alle en mekanisk lås. Flere idèer har vært tenkt på, blant annet en sylinder med plassert på oversiden av selve gjengegriperen med fire stenger som peker ned mot hvert sitt gjengestempel. Når disse stemplene kjøres inn i gjengegrep, passer stengene ned i hull i disse. Altså stenger som låser ved å trenge gjennom lokket og ned i gjengestemplene.

- Understellet.

Understellet er koblet opp mot boltstrekkeren, og er på den måten koblet opp mot dens brukergrensesnitt. Av tidsmessige grunner har vi ikke fått komplett et design som enkelt binder sammen boltstrammeren og understellet.

Den totale vekten på komplett boltstrekker, med gjengegriper og understell skulle være overkommelig for en ROV å føre i posisjon på et klammer.

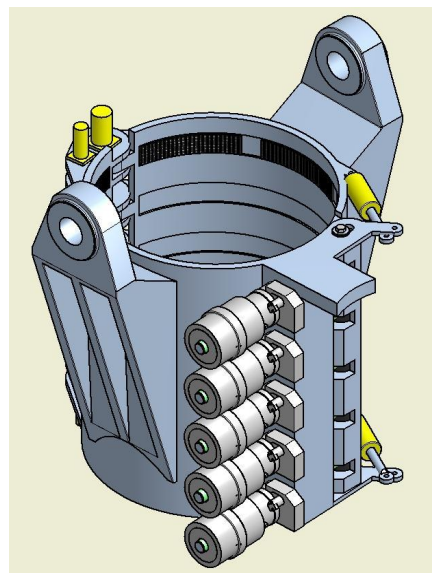
### 3.6.2 Forslag til operasjonsprosedyre.

En operasjonsprosedyre må baseres på en sikker og nøyaktig utførelse. Dette kan enklest oppnås ved å begrense kompleksiteten. Det kan gjøres ved å minimere antall samkjørte aktiviteter, og å tilrettelegge aktivitetene slik at de kan utføres nøyaktig og sikkert uten for store krav til ferdigheter.

En annen faktor som spiller en stor rolle er tiden. Ved å begrense hvor lang varighet operasjonen vil ha, begrenses en stor utgiftspost for planlagte operasjonen. Tiden kan begrenses ved å være best mulig forberedt til utførelsen av alle oppgaver, som igjen kan oppnås ved å gi konkrete oppgaver til all personell som skal delta i operasjonen, og på forhånd ha gjennomkjøring av operasjonen et gitt antall repetisjoner, avhengig av operasjonens kompleksitet.

Gruppen baserer sitt forslag til prosedyre på de overnevnte faktorer og det brukergrensesnittet som er mulig å få til på den designede boltstrekkeren. En forutsetter også at rør-elementet er klargjort for å bli fjernet:

1. Boltstrekkerer med understell og gjengegriper monteres på rørklammer på dekk, eventuelt allerede klargjort fra land. Se fig.34. Gjengegriper låses på bolt.
2. ROV1 senkes ned og lokaliserer røret. Holder tilstrekkelig avstand for å ha god oversikt over lokasjonen.
3. Rørklammeret senkes ned i åpen stilling ved hjelp av overflatefartøyets krane, og stoppes ved forsvarlig klaring fra rør-elementet.
4. ROV2 senkes ned og oppnår fysisk kontakt med klammeret og styrer det mot rør-elementet.
5. To aktiviteter kjører samtidig, kran fra overflatefartøy låser klammeret forsiktig mens ROV2 manøvrerer det til korrekt lokasjon på rør-elementet.
6. Når denne samkjøringen har klart å føre klammeret over røret og holde det stabilt i riktig posisjon, settes ROV1 til å lukke klammeret og låse det.
7. ROV1 trekker seg tilbake på observasjonspost.
8. ROV2 kobler til det hydrauliske utstyret, se vedlegg F, og det hele trykkes. Utførende personell fra overflatefartøy observerer tilstrekkelig og stabilt trykk fra –PT1.



Figur 34: Rørklammer med boltstrekkerer



9. Retningsventil –V1 aktiveres samtidig med –V3. –PB1 og –PB3 er forhåndsinnstilt på lavt trykk.
10. Det observeres et stabilt trykk fra –PT2 og –PT4.
11. –PB1 justeres opp gradvis og –PB3 settes til operasjonsverdi, sitt designtrykk.
12. Boltstrekkerne strammer rørklammeret ved strekking av boltene, mens motoren på understellet roterer og strammer mutrene.
13. Når trykket på –PT2 øker til opp mot 700 bar, eller annen forhåndsberegnet verdi basert på hvilke krefter som kreves for å løfte rør-elementet, er det en indikasjon på at klammeret er tilstrekkelig strammet, og –V1 og –V3 kan settes i midtstilling.
14. ROV2 kan koble fra det hydrauliske utstyret og trekke seg bort fra elementet over i en passende plassering for observasjon.
15. Kran-operatør får klarsignal til hiv. Operatøren kan med fordel være linket opp mot ROV-kamera og ha ”live” overvåkning av sin egen hiv-operasjon.
16. Rør-elementet heves. Kran-operatør vil ha full kontroll over bevegelsene ettersom ROV1 og ROV2 er plassert i passende observasjonsvinkler i forhold til objektet som heves.
17. Elementet løftet til overflaten, og svinges inn på dekk.
18. Når elementet er låret ned på dekk, sikres det mot bevegelser av dekkspersonell, før kran-operatør gir tilstrekkelig slakk for å kunne frigi kranen fra elementet.
19. ROV1 og ROV2 heves opp og settes tilbake om bord på fartøyet.
20. Dekkspersonell deaktiverer gjengegriperen og fjerner de komplette boltstrekkerne med gjengegriper og understell, og kontrollerer dem for synlige skader.
21. Operasjonen anses som ferdig, overflatefartøy kan kobles bort fra DP, og returnere til land.

---

### 3.7 utfordring 3: Konstruksjonens krav til trykkforsyning

#### 3.7.1 Hydraulikk og trykk-kompensering med hensyn på dybde

Det er tre bevegelige deler som har behov for hydraulikk. Gjengegriperen, boltstrekkeren og muttertrekkeren. Gruppen valgte her å se på disse tre som delsystemer i selve hydraulikk systemet. Disse har hver sin retningsventil, V1-V3, som styres av elektromagneter med doble viklinger for å kunne snu strømningsretningen gjennom de bevegelige delene. I tillegg har alle tre delsystemene egne trykktransmittere, PT2-PT4, som gir operatøren kontroll over hvilke trykk som til enhver tid befinner seg på sugesiden. Før retningsventilene er hvert av disse delsystemene utstyrt med justerbare reduksjonsventiler, PB1-PB3, som sørger for ønsket trykk til sine respektable delsystemer. Disse får forsyning fra samme hydrauliske pumpe og har her felles trykktransmitter for å gi indikasjon på hvilket trykk pumpen gir. Parallelt med pumpen ligger avlastningsventilen BP1, som sørger for et jevnt trykk på distribusjonen ut til delsystemene ved å sende overtrykket i retur. Med andre ord vil den også sørge for sirkulasjon av hydraulikk når alle retningsventilene står midtstilt.

Siden hydraulikken skal kunne forsynes fra ROV-ens eget hydraulikksystem som vanligvis ligger på 200 bar, trengs det en trykkforsterker, Pint, for å forsterke det opp til boltstrekkerens behov på 700 bar. Denne forsterkeren kan med fordel monteres lokalt ved selve boltstrekkeren, og på den måten kunne forsyne flere samtidig.

Muttertrekkeren skal skru mutteren til etter hvert som bolten strekkes. Og her løser en det ved å ha en volumstrømsregulator i serie før sugesiden på motoren til å bestemme maksimalt turtall på motoren, og en avlastningsventil, BP2, som slipper gjennom trykk når mutteren er trekket til. På den måten begrenser avlastningsventilen momentet motoren skaper.

Returen fra disse delsystemene samles mot en felles varmeveksler. Denne veksleren benyttes til å holde konstant temperatur. Temperaturen på havbunnen vil vanligvis kunne ligge på rundt 5-7 grader celcius. Ved å bruke en slik varmeveksler oppnår en mindre temperaturredifferanse gjennom systemets kretser, og gjennom formelen nedenfor vil det sørge for en jevn hastighet på hydraulikkstrømmen:

$$c = \frac{Re \cdot \nu}{d}$$

Hvor  $c$  er strømningshastigheten,  $Re$  Reynoldstallet,  $\nu$  viskositeten og  $d$  er diameteren.

Denne varmeveksleren kan en naturligvis se bort fra dersom en ikke har noe stort behov for jevn strømning, og heller vil prioritere å slippe å ta den med i selve operasjonen.

Til slutt på returlinen står et filter i parallell med en tilbakeslagsventil som er utstyrt med fjær for å slippe gjennom dersom filteret skulle tettes.

Se vedlegg F, for tegning av vårt forslag til hydraulikken.

### 3.8 Kostnadsoverslag

For å få et kostnadsoverslag kontaktet gruppen Brødr. Haukås mek. Verksted As på Aksdal. Alle del-tegningene ble sendt over, og tilbake kom det et prisoverslag hvor material, produsering, og sammensetnings kostnader var tatt med. Det ble levert et kostnadsoverslag på 1 stk prototype, og ett på 5 stk serie produserte boltstrekker. Ved serieproduksjon av boltstrekkerne vil prisen selvsagt bli lavere, 61000kr billigere pr stk. Gruppen har lagt ved begge kostnads overslagene i vedlegg L.

Tabellene nedenfor er et mer oversiktlig kostnadsoverslag på hver del.

Prisene som er brukt i disse tabellene er stk pris ved serieproduksjon av 5 stk. Grunnen til at gruppen velger å bruke disse er at det ikke vil være logisk å produsere kun 1 stk totalt sammensatt boltstrekker da man trenger 5 stykker for å stramme et rørklammer.

Prisliste for 1 stk boltstrekker:

	Antall	Varebetegnelse	Stk. pris
	1	”Huset”	32750kr
	1	Stempel	41744kr
	1	”Toppløkket”	6947kr
Total pris			81441kr

Prisliste for 1 stk understell:

	Antall	Varebetegnelse	Stk.pris
	1	Pipeholder	5635kr
	1	Tannhjul	4199kr
	1	Pipe	5714kr
	1	Motortannhjul	2969kr
	1	Feste for motor og tannhjul	6493kr
	1	Feste for tannhjul	4095kr
	1	Deksel	9319kr
	1	Motorfeste	1968kr
Total pris			40392kr

Som man ser av prisliten for understellet ser man at dekselet koster 9319kr, dette skal bare være ett beskyttelses deksel for tannhjulene, og behøver ikke å være i samme materialkvalitet som de andre delene. Prisen på denne stemmer derfor ikke helt.

Prisliste for 1 stk gjengegriper:

	Antall	Varebetegnelse	Stk. pris
	4	Gjengestempel	3131kr
	1	Sporhus	12904kr
	1	Gjengegriperlokk	5163kr
	1	Gjengegriperhus	9361kr
Total pris			39952kr

Prisliste for totalpris 1stk med montering:

	Antall	Varebetegnelse	Stk.pris
	1	Boltstrekker	81441kr
	1	Understell	40392kr
	1	Gjengegriper	39952kr
	1	Montering	10530kr
Totalpris			172315kr

Prisliste for totalpris 5 stk med montering:

	Antall	Varebetegnelse	Stk.pris
	5	Boltstrekker	81441kr
	5	Understell	40392kr
	5	Gjengegriper	39952kr
	5	Montering	10530kr
Totalpris			861575kr

Prisene er uten MVA.

Se vedlegg for kostnadsoverslag.

### 3.9 Konklusjon

Vi skulle forsøke å finne et design med stor kapasitet uten at det skulle gi for store utfordring med tanke på håndtering av utstyret. En hydraulisk strekking av bolt for å stramme et rør-klammer. Utfordringer låg på rekke og rad. Hvordan strekke bolten mest mulig, unngå for store dimensjoner som begrenser bruksområdet, designe en gjengelåsing som boltstrekkeren skulle strekkes fra/til, hvordan få mutteren til å entre etter hvert som bolten ble strukket, og kan det hele løses på en kostnadsforsvarlig måte?

Vårt valg av materiale er mye basert på hva som allerede er i bruk i det maritime miljø og råd fra veileder. Vi har prøvd å holde oss litt konservativ i løsning av oppgaven, ettersom det er jevnt over god kvalitet på eksisterende maritime produkter. Samtidig som nytenkning ofte kan føre til gjennombrudd i en problemstilling. En kan da angripe problemet fra en annen vinkel og kanskje komme med en enkel løsning.

Et eksempel på at vi har gjort dette ligger i patentet med å la stempelet skyve ut fra boltens forankringspunkt. Dette gir et lavere ”footprint” uten at det går ut over den totale høyden på løsningen.

Vi vil anse en løsning med kombinasjon av ”gammel klokskap” og nytenkning som sunn og fornuftig, og ofte den bedre løsningen.

Ut i fra beregninger og ansys rapporter kan gruppen konkludere med at det vil være fullt mulig å produsere og bruke en slik boltstrekker. Vår eksterne veileders tilbakemelding på kostnadsoversikten viser også at det økonomiske aspektet kan forsvares. Vårt ønske om å designe et vedlikeholdsvennlig produkt gjør det enda enklere å forsvares. Løsningen er gjenbrukbar, det anbefales derimot en overhaling av verktøyet etter bruk for å sørge for at det vil ha samme kvalitet ved neste operasjon.

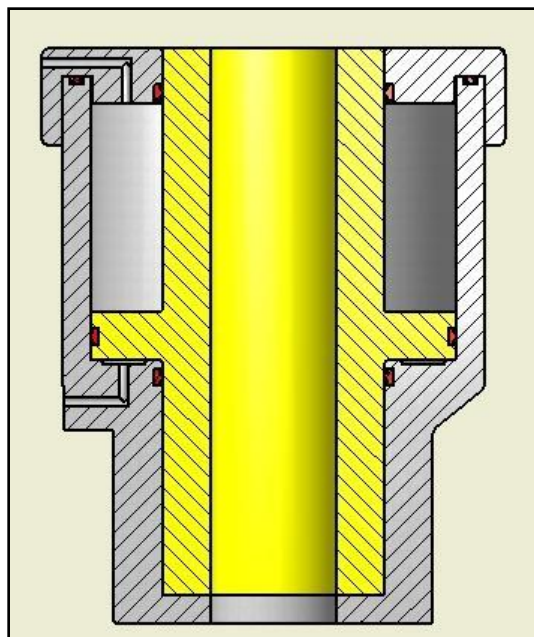
Av tidmessige grunner har vi ikke funnet en løsning på kontinuerlig overvåking av hvor langt ut stempelet har blitt strekket. For å løse dette kan det brukes mekaniske målere som enkelt monteres på oversiden av huset. En volumstrømsmåler på trykk-siden av boltstrekkeren vil også kunne registrere hvor mye volum som er blitt fortrenget, og dermed ved hjelp av dimensjoner på strekkeren kunne regne ut hvor langt ute stempelet er.

Vi mener at vi med denne løsningen har klart å finne et produkt som er svært brukervennlig og vil heller ikke være for krevende å operere. I tillegg vil den være tidsbesparende under operasjon, noe som ikke bare vil være kostnadsbesparende, men også miljøvennlig, ettersom det kreves mye energi for et fartøy å holde seg på DP.

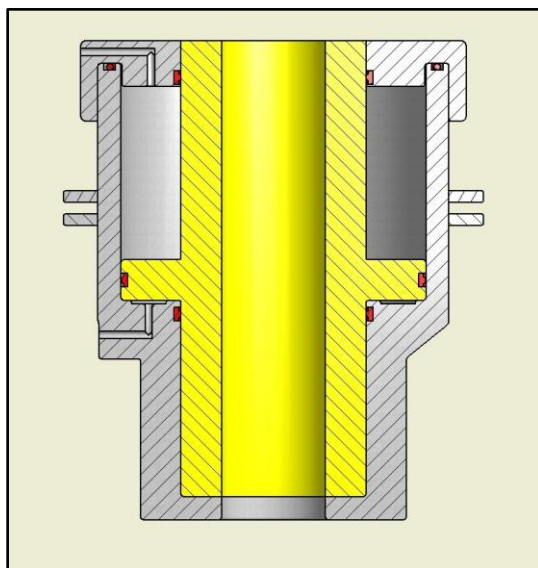
Dermed vil vi konkludere med at vår løsning kan bidra til en sikrere, mer miljøvennlig, og mindre kostbar operasjon.

## 4.0 Ferdig produkt

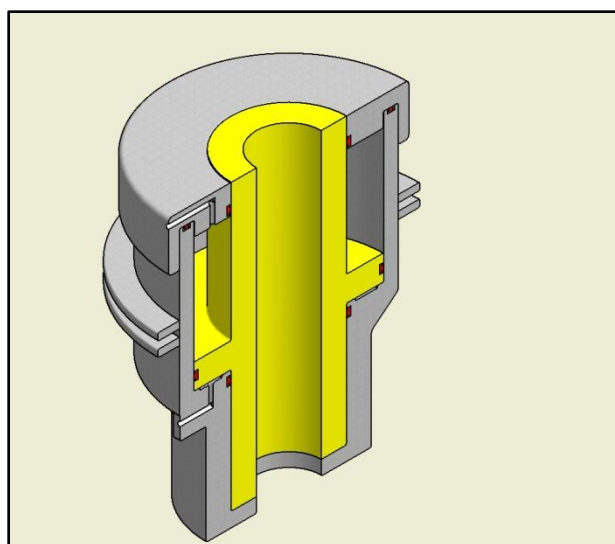
I dette kapitlet vises 3D bilder av boltstrekkeren, for å vise hvordan det ferdige produktet kommer til å se ut.



Figur 35: Ferdig boltstrekker snitt uten ribber

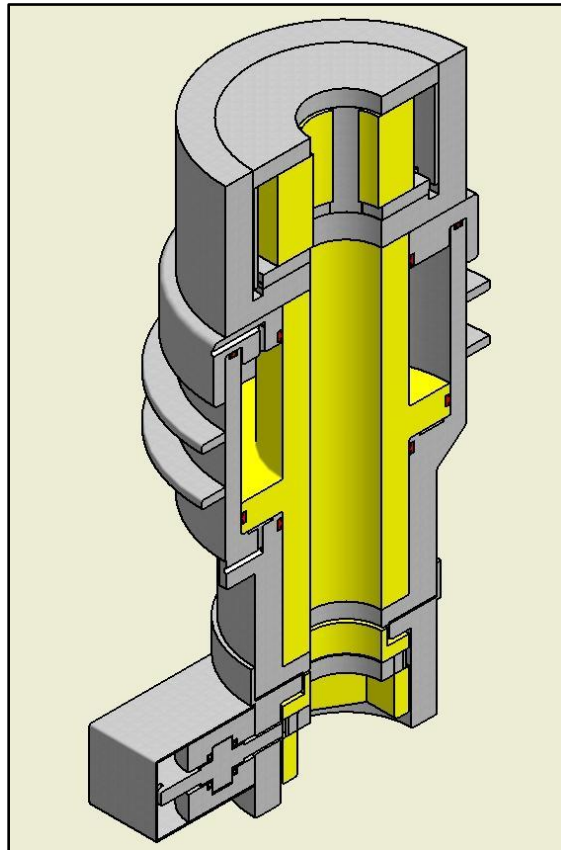


Figur 36: Ferdig boltstrekker med 2 stk ribber

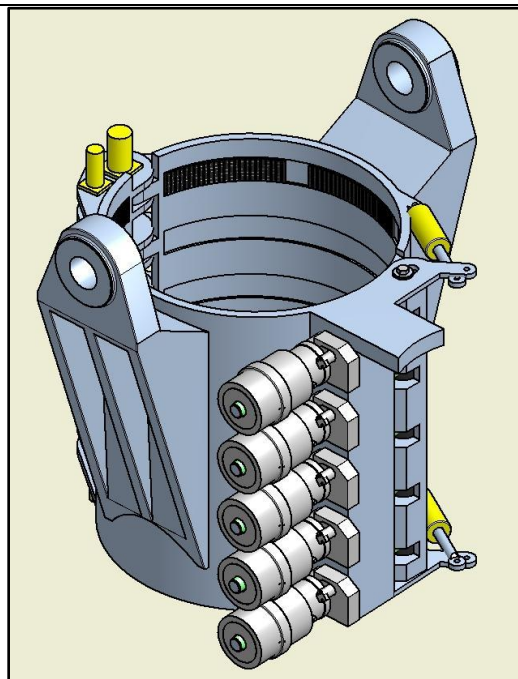


Figur 37: Boltstrekker med snitt og 2 stk ribber

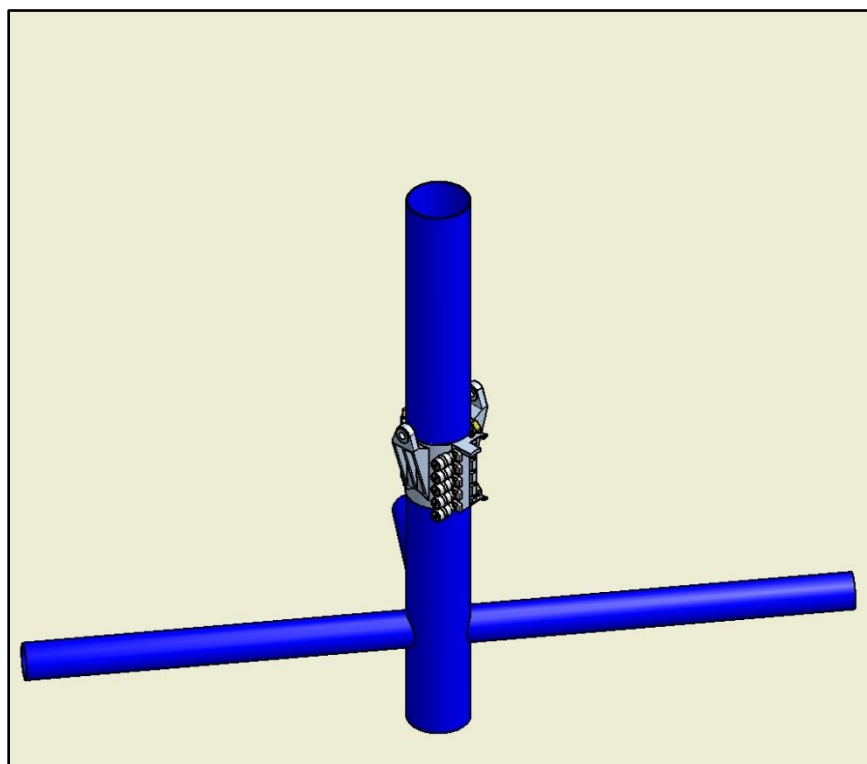




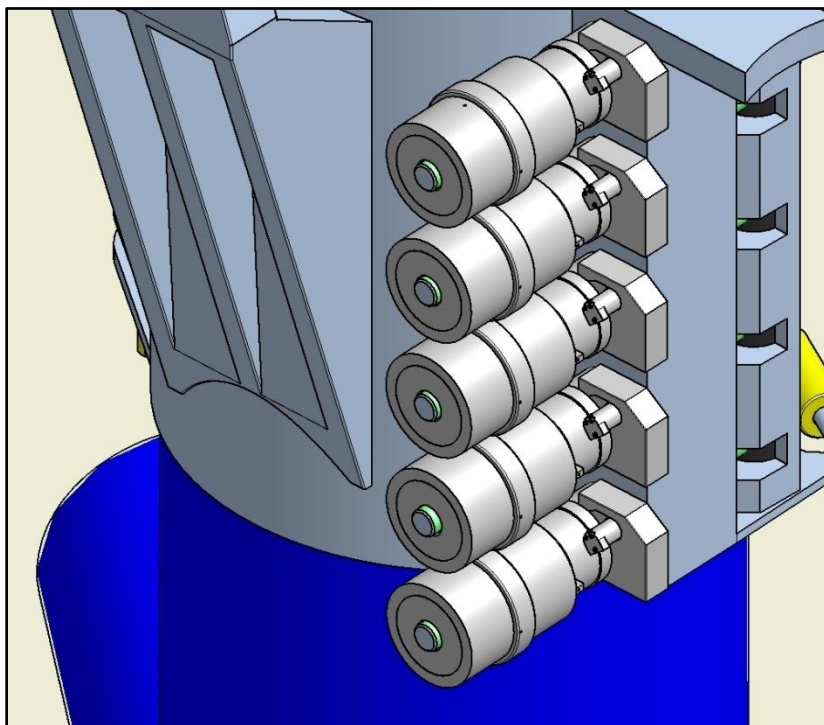
Figur 38: Komplet boltstrekker med gjengegriper og understell



Figur 39: Boltstrekere med understell og gjengegriper montert på rørklammer



Figur 40: Rørklammer montert på rør/stigerør



Figur 41: Nærbilde av klammer montert på rør

---

## Referanser

### Faglitteratur

1. Norsk Oljemuseum ved Harald Tønnesen – informasjon til kap.2.1
2. Hydratight ved Bryan Seville – informasjon om Hydratight sine boltstrekker - kap 3.1
3. <http://www.hydratight.com/en/products/tension/aquajack-subsea-tensioner> - Aquajack boltstrekker - kap 3.1
4. [http://www.htico.com/subsea\\_tensioners.htm](http://www.htico.com/subsea_tensioners.htm) - HTI boltstrekker - kap 3.1
5. <http://www.tentec.net/optimus-v.htm> - Tentec boltstrekker – kap 3.1
6. Imenco AS ved Odd Einar Lindøe – informasjon om deres boltstrekker kap 3.3
7. [www.olaussensmetall.no](http://www.olaussensmetall.no) – For informasjon om Aluminiumsbronse
8. <http://www.scana.no/scana-steel-stavanger/> - For informasjon om S165M
9. Kontruksjonselementer – Dahlvig-Christensen-Strømnes

## Figurliste

- Fig 1: <http://www.imenco.no/bilder/tumbdir/Fasade.jpg>
- Fig 2: Rørklamme selvlagt i Inventor
- Fig 3: <http://www.tentec.net/Images/Products/optimusV/main.jpg>
- Fig 4: [http://www.hydratight.com/en/files/uploads/products/aquajack\\_1.jpg](http://www.hydratight.com/en/files/uploads/products/aquajack_1.jpg)
- Fig 5: [http://www.hydratight.com/en/files/uploads/products/aquajack\\_2.jpg](http://www.hydratight.com/en/files/uploads/products/aquajack_2.jpg)
- Fig 6: [http://www.hydratight.com/en/files/uploads/products/aquajack\\_3.JPG](http://www.hydratight.com/en/files/uploads/products/aquajack_3.JPG)
- Fig 7: <http://www.htico.com/img/Subsea.gif>
- Fig 8: <http://www.htico.com/img/Subsea2.gif>
- Fig 9: <http://www.tentec.net/Images/Products/optimusV/bottom.jpg>
- Fig 10: Fått i fra Imenco AS
- Fig 11: Fått i fra Imenco AS
- Fig 12: Selvlagt skisse
- Fig 13: Selvlagt skisse
- Fig 14: Selvlagt skisse
- Fig 15: Selvlagt skisse
- Fig 16: Selvlagt skisse
- Fig 17: Selvlagt skisse
- Fig 18: Ansys illustrasjon
- Fig 19: Ansys illustrasjon
- Fig 20: Selvlagt skisse
- Fig 21: Selvlagt skisse
- Fig 22: Selvlagt skisse
- Fig 23: Selvlagt skisse
- Fig 24: Selvlagt skisse
- Fig 25: Fått av Sauer-Danfoss
- Fig 26: Selvlagt skisse
- Fig 27: Selvlagt skisse
- Fig 28: Fått av Imenco As
- Fig 29: Selvlagt i Ineventor
- Fig 30: Selvlagt i Ineventor
- Fig 31: Selvlagt i Ineventor
- Fig 32: Selvlagt i Ineventor
- Fig 33: Selvlagt i Ineventor
- Fig 34: Selvlagt i Ineventor
- Fig 35: Selvlagt i Ineventor
- Fig 36: Selvlagt i Ineventor
- Fig 37: Selvlagt i Ineventor
- Fig 38: Selvlagt i Ineventor
- Fig 39: Selvlagt i Ineventor

---

Fig 40: Selvlagt i Ineventor

Fig 41: Selvlagt i Ineventor

## **Pakningsleverandør**

Vestpak AS

## **Materialleverandører**

Scana Stål avd. Stavanger leverer delvis rustfritt S165M  
Se vedlegg G for mer informasjon om materialet

Olaussens metall AS leverer Aluminiumsbronse OM7  
Se vedlegg H for mer informasjon om materialet

---

## Vedlegg

Vedlegg A: Tegninger av: Komplette boltstrekker montert på rørklammer

Vedlegg B: Tegninger av: Boltstrekker og dens deler

Vedlegg C: Tegninger av: Vår løsning til gjengegriper

Vedlegg D: Tegninger av: Vår løsning til understell

Vedlegg E: Tegninger av: Komplette boltstrekker med understell og gjengegriper

Vedlegg F: Tegning av: Vår løsning til hydraulikk

Vedlegg G: Teknisk data for S165M

Vedlegg H: Teknisk data for Aluminiumsbronse

Vedlegg I: Teknisk data på Pakninger: Pur-Red

Vedlegg J: Ansysberegninger

Vedlegg K: Teknisk data på OMM 20 hydraulisk motor

Vedlegg L: Kostnadsoverslag

Vedlegg M: Boltstrekker med ribber





Vedlegg A:  
Tegninger av:  
Komplett boltestrekker montert på rørklammer



Vedlegg B:  
Tegninger av:  
Boltstrekker og dens deler



Vedlegg C:  
Tegninger av:  
Vår løsning til gjengegriper



Vedlegg D:  
Tegninger av:  
Vår løsning til understell





Vedlegg E:  
Tegninger av:  
Komplett boltstrekker med understell og  
gjengegriper



Vedlegg F:  
Tegning av:  
Vår løsning til hydraulikk



Vedlegg G:  
Teknisk data for S165M



Vedlegg H:  
Teknisk data for Aluminiumsbronse





Vedlegg I:  
Teknisk data på Pakninger: Pur-Red



# Vedlegg J: Ansysberegninger



Vedlegg K:  
Teknisk data på OMM 20 Hydraulisk motor



Vedlegg L:  
Kostnadsoverslag





Vedlegg M:  
Tegninger av:  
Boltstrekker med ribber

